Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!
Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

Московский государственный университет
инженерной экологии

А.С. ТИШКОВЕЦ

СТРАТЕГИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ В ЭКОНОМИКЕ ЗНАНИЙ

ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Московский государственный университет
инженерной экологии

А.С. ТИМОНИН

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И ПРИРОДООХРАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

СПРАВОЧНИК

Издание 2-е, переработанное и дополненное

Том 1

Рекомендовано редакционно-издательским советом в качестве учебного пособия по специальности 170500- Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов.

Издательство Н. Бочкаревой
КАЛУГА
2002

Рецензенты:

В. Я. Лебедев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Процессы и аппараты химической технологии» Ивановского государственного химико-технологического университета;

В.М. Ульянов, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Машины и аппараты химических и пищевых производств» Дзержинского филиала Нижегородского государственного технического университета.

А.С. Тимонин

Т41 Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник. Т. 1. — Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2002. — 852 с.

В справочнике изложены основы конструирования и расчета общетехнологического и природоохранного оборудования для химической, нефтехимической, нефтегазовой, химико-фармацевтической, пищевой, биотехнологической, горно-обогатительной и других отраслей народного хозяйства. В нем приведены сведения об основных конструкционных материалах и их сортаменте, методах изготовления неразъемных соединений (сварка, пайка, склеивание), нанесении защитных покрытий. Рассмотрены основные нормализованные и типовые элементы и узлы технологического и природоохранного оборудования, изложены методы прочностных расчетов основных узлов и элементов данного оборудования.

В справочнике приведены основное типовое общетехнологическое и природоохранное оборудование, типовая промышленная трубопроводная арматура, насосы, вентиляторы, газо- и воздуходувки общепромышленного применения.

Справочник рассчитан на инженерно-технических работников, занятых конструированием и проектированием технологического и природоохранного оборудования. Он необходим студентам и преподавателям соответствующих специальностей при курсовом и дипломном проектировании.

ББК 34.42

© МГУИЭ, 2002
© Тимонин А.С., 2002
© Издательство Н. Бочкаревой, 2002

ISBN 5-89552-043-X

ПРЕДИСЛОВИЕ

Появление удачного справочника в той или иной отрасли науки и техники является особым событием, так как справочник представляет особо емкую информационную базу, в которую сведены данные множества источников информации в удобной для пользователя форме. Справочником пользуются академик и профессор, инженер-конструктор и инженер-исследователь, студент и преподаватель. Кто из специалистов не знает выдающегося справочника по математике И.Н. Бронштейна и К.А. Семендяева, выдержавшего более десяти изданий, или справочника конструктора-машиностроителя В.И. Анурьева, выдержавшего восемь изданий. В отрасли химического машино- и аппаратостроения таким выдающимся справочником является справочник «Основы конструирования и расчета химической аппаратуры» А.А. Лащинского и А.Р. Толчинского. Несмотря на то, что последнее издание справочника датировано 1970 годом, он до сих пор является настольной книгой любого конструктора химического оборудования, преподавателя и студента профильных вузов и средних специальных учебных заведений.

Однако следует признать, что тридцатилетний период все-таки наложил свой отпечаток на ряд разделов справочника: устарели нормативные методики расчета целого ряда оборудования, в конструкторской практике появились новые конструкционные материалы, сортамент и изделия, за прошедший период принято множество новых государственных и отраслевых стандартов, касающихся содержательного материала справочника. Поэтому назрела настоятельная необходимость создания нового справочника, в котором устранены выше отмеченные недостатки, а также продолжено обобщение новых сведений нормативно-технической документации, появившейся за последние годы.

Как показывает практика конструирования, технологическое и природоохранное оборудование целого ряда технологических производств, природоохранных цехов и участков нефтехимической, химической, горно-обогатительной, горно-металлургической, химико-фармацевтической, биотехнологической, пищевой, производства строительных материалов и других отраслей народного хозяйства разрабатывается и конструируется на принципах и элементной базе, характерной для химического машино- и аппаратостроения. При этом природоохранные системы по своей сути также являются технологическими.

Вышеприведенные аргументы послужили основанием для названия справочника.

Автор считает своим долгом отметить, что в основу предлагаемого справочника положены труды выдающихся отечественных специалистов в области основ расчета и конструирования химического оборудования и крупнейших систематизаторов в этой области знаний: Г.Л. Вихмана, А.Э. Генкина, А.Д. Домашнева, З.Б. Канторовича, Э.Э. Кольман-Иванова, А.С. Криворота, С.А. Круглова, А.М. Кузнецова, А.А. Лащинского, В.И. Ливщица, Н.Н. Логинова, Ю.И. Макарова, М.Ф. Михалева, И.И. Поникарова, З.З. Рахмилевича, В.И. Рачкова, И.И. Румянцева, Н.М. Самсонова, В.И. Соколова, В.Н. Соколова, В.Н. Стабникова, А.Р. Толчинского, С.А. Фарамазова, Д.Е. Шкоропада и др., а также ведущих организаций, занимающихся разработкой технологического и природоохранного оборудования, норм и методов его расчета: ЛенНИИхиммаш, НИИхиммаш (г. Москва), ДзержинскНИИхиммаш, ИркутскНИИхиммаш, НИИэмальхиммаш, СеверодонецкНИИхиммаш, УкрНИИхиммаш, ВНИИнефтемаш, ГИПРОгазоочистка, НИИОгаз.

Справочник состоит из трех томов. Первый том содержит сведения об основных конструкционных материалах, их свойствах, выпускаемом сортаменте, способах изготовления неразъемных соединений, покрытиях, конструировании и расчете основных элементов и узлов технологического и природоохранного оборудования. Второй том содержит сведения об основном типовом технологическом и природоохранном оборудовании. Третий том содержит сведения о промышленной трубопроводной арматуре, насосах, вентиляторах, газо- и воздуходувках вакуумном оборудовании, широко применяемых в технологических и природоохранных системах.

Работа над справочником проводилась на кафедре «Автоматизированное конструирование машин и аппаратов» МГУИЭ, которую возглавляет заслуженный деятель науки РФ, академик ИА РФ, д.т.н., профессор В.И. Муштаев, оказывавший всемерную поддержку автору на всех этапах работы над справочником.

Особую благодарность автор выражает проф. В. Я.Лебедеву и проф. В.М. Ульянову, рецензентам справочника, советы и замечания которых существенно улучшили содержание и форму представления материала.

Автор будет весьма признателен всем читателям, которые выскажут в любой форме свои замечания по содержанию справочника. Замечания и пожелания следует направлять по адресу: 107884, ГСП, г. Москва, ул. Старая Басманная, 21/4, МГУИЭ, кафедра АКМ и А, проф. А.С.Тимонину.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ

Вышедшее в свет первое издание справочника вызвало целый ряд отзывов и замечаний, как по структуре издания, так и по сути изложенных в нем материалов. Автор весьма признателен читателям за присланные отзывы и замечания в адрес справочника. Проанализировав поступившие замечания, автор с большинством из них согласен, поэтому существенно переработал и дополнил вторую, четвертую и двенадцатую главы, внес изменения и дополнения и в другие части и главы справочника.

Однако автор посчитал необходимым оставить без изменения главу 18 «Укрепление отверстий в стенках аппаратов» и часть материалов главы 20 «Опоры аппаратов». Приведенные в этих главах методики расчета в текущее время не являются нормативными, т.к. появились новые государственные стандарты, регламентирующие нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий в стенках аппаратов, обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. Но изложенные в главах 18 и 20 справочника методики, хотя и не являются нормативными, широко используются в расчетной практике на этапах технического проектирования, т.к. отличаются простотой и наглядностью. Кроме того, данные методики широко вошли в учебную и другую научно-техническую литературу, используемую при обучении студентов и молодых специалистов. Нормативные же методики вынесены в приложения первого тома справочника.

Автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность следующим специалистам, приславшим развернутые отзывы в мой адрес по содержанию справочника:

А.Г. Ветошкину, д.т.н., профессору, зав. кафедрой «Экология» Пензенской государственной архитектурно-строительной академии;

В.Г. Жукову, д.т.н., профессору, зав. кафедрой «Сопротивление материалов, расчеты и конструирование пищевых машин» Московского государственного университета прикладной биотехнологии;

В.И. Коновалову, д.т.н., профессору, зав. кафедрой «Процессы и аппараты химической технологии» Тамбовского государственного технического университета;

А.А. Коптеву, к.т.н., профессору, зав. кафедрой «Конструирование машин и аппаратов» Тамбовского государственного технического университета;

И.И. Поникарову, д.т.н., действительному члену международной инженерной академии, профессору кафедры «Машины и аппараты химических производств» Казанского государственного технологического университета.

И.А. Щупляку, д.т.н., профессору, зав. кафедрой «Машины и аппараты химических производств» Санкт-Петербургского государственного технологического института.

Кроме того, автор искренне признателен д.т.н., профессору М.Г. Лагуткину и к.т.н., доценту А.А Пахомову, являющихся преподавателями кафедры «Автоматизированное конструирование машин и аппаратов» МГУИЭ, за высказанные замечания в адрес первого издания справочника, а также предоставленные дополнительные справочные материалы и примеры расчетов элементов оборудования, которые включены во второе издание.

Автор выражает искреннюю благодарность ЗАО «Трест Коксохиммонтаж» и ОАО «Строительные технологии» за финансовую поддержку реализации проекта переиздания справочника.

Автор

Московский государственный университет инженерной экологии —

ведущее высшее учебное заведение страны в области подготовки специалистов по охране окружающей среды и рациональному природопользованию.

Московскому государственному университету инженерной экологии в декабре 2000 года исполнилось 80 лет. Свою историю вуз ведет от механического отделения Московского практического химико-технологического института имени Д.И.Менделеева, открытого в 1920 году.

В 1931 году распоряжением ВСНХ СССР механическое отделение МХТИ было преобразовано сначала в Московский институт инженеров химического машиностроения, а в 1933 году - в Московский институт химического машиностроения (МИХМ), ставший широко известным научной общественности не только нашей страны, но и всего мира.

В становлении и развитии МИХМа принимали участие выдающиеся ученые и педагоги страны - академики И.И.Артоболевский, П.Л.Капица, М.В.Кирпичев, Я.М.Колотыркин, члены-корреспонденты АН СССР Н.М.Караваев, Б.К.Климов, С.З.Рогинский. Кроме этих ученых создателями научных школ были профессора А.Г.Горст, А.А.Гухман, Е.М.Дудников, З.Б.Канторович, П.И.Николаев, А.Н.Плановский, И.П.Усюкин, С.Н.Шорин, С.И.Щепкин и многие другие. Их трудами были заложены основы традиций и методик подготовки инженеров-механиков в МИХМе, сочетавшие глубокие знания фундаментальных дисциплин с практическим обучением разработки технологий и конструированию оборудования важнейших химических, нефтехимических и смежных с ними производств.

В МИХМе подготовлено более 40 000 инженеров, около 2200 кандидатов и 300 докторов наук.

В 1993 году институт получил статус Московской государственной академии химического машиностроения. Значительно расширилось количество специальностей и направлений подготовки. Были открыты факультеты инженерной экологии и экономики и управления.

Расширение профиля подготовки специалистов, все большее внимание, которое уделялось в академии решению проблем инженерной защиты окружающей среды, закономерно привели к тому, что в 1997 году академия получила статус Московского государственного университета инженерной экологии (МГУИЭ). В настоящее время на девяти факультетах университета обучается около 3500 студентов по 12 специальностям высшего профессионального образования. В аспирантуре университета обучаются и ведут научные исследования более 200 аспирантов по 17 научным специальностям.

Из 350 преподавателей 95 имеют ученые степени доктора наук и звание профессора, 180 - кандидаты наук, доценты.

Университет расположен в центре Москвы на Старой Басманной улице. Основой главного корпуса МГУИЭ является построенное в 1801 году здание дворца князя А.Б.Куракина. Вуз имеет хорошо развитую инфраструктуру: комбинат питания, современное общежитие, спортивные базы и лагеря, профилакторий.

В составе Московского государственного университета инженерной экологии функционирует девяти факультетов:

экологии и природопользования;
инженерной экологии;
машиностроительный;
автоматизации и информационных технологий;
техники и физики низких температур;
экономики и управления;
общепрофессионального образования;
вечернего обучения;
дополнительного профессионального образования.

Подготовка студентов ведется по следующим направлениям и специальностям высшего профессионального образования:

656600 Защита окружающей среды

320700 Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов

330200 Инженерная защита окружающей среды

655400 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

170500 Машины и аппараты химических производств

653800 Стандартизация, сертификация и метрология

072000 Стандартизация и сертификация

651100 Техническая физика

070200 Техника и физика низких температур

101700 Холодильная, криогенная техника и кондиционирование

654600 Информатика и вычислительная техника

220300 Системы автоматизированного проектирования

657900 Автоматизированные технологии и производства

210200 Автоматизация технологических процессов и производств

655300 Химическая технология энергонасыщенных материалов и изделий

171200 Автоматизированное производство химических предприятий

651700 Материаловедение, технология материалов и покрытий

121000 Конструирование и производство изделий из композиционных материалов

060000 Специальности экономики и управления

060800 Экономика и управление на предприятии (по отраслям)

061100 Менеджмент организации

Наши адрес и телефоны

Почтовый адрес: 107066, г.Москва, ГСП, ул. Старая Басманная, 21/4.
Телефон: (095)267-07-01 - ректорат,
267-10-21 -приемная комиссия.
Факс: (095)261-49-61,
261-96-12.
E-mail: msuie.ru

ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

α - угол,...^{0};
$\alpha_т$ - коэффициент линейного расширения, 1/^{0}C;
Δ - перемещение, м;
δ_u - прогиб вала в точке крепления элемента от единичной поперечной силы, приложенный в том же сечении, м;
δ_{uj} - то же, приложенный в сечении j, м;
μ - коэффициент Пуассона;
τ - касательное напряжение, МПа;
$\tau_в$ - время, с;
ω - угловая скорость, рад/с;
ρ - плотность, кг/м^3;
υ - линейная скорость, м/с;
σ - нормальные напряжения, МПа;
[ ] - допускаемое значение при расчетной температуре;
$[\ ]_p$ - допускаемое значение из условия устойчивости;
$[\ ]_\delta$ - допускаемое значение из условия прочности;
$[\ ]_E$ - эквивалентное значение из условия устойчивости;
$a_н$ - ударная вязкость, Дж/см^2;
b - ширина, м;
$b_п$ - ширина прокладки, м;
c - общая прибавка, м;
c_1 - прибавка для компенсации коррозии, м;
c_2 - прибавка для компенсации минусового допуска, м;
c_3 - технологическая прибавка, м;
D, d - диаметры, м;
f - коэффициент трения;
E - модуль продольной упругости, МПа;
e - эксцентриситет, м;
F - площадь, м^2;
F - сила, Н;
G - сила тяжести, Н;
g - ускорение свободного падения, м^2/с;
H, h - высота, м;
I - осевой момент инерции плоской фигуры, м;
m - масса, кг;
J - момент инерции вращающихся масс, кг·м^2;
L, l - длина, м;
M - момент силы, Н·м;
n - коэффициент запаса прочности;
n - частота вращения, с$^{-1}$;
N - мощность, Вт;
n_u - коэффициент устойчивости;
p - давление, МПа;
P - осевая сила, Н;
q - линейная нагрузка, Н/м;
Q - поперечная сила, Н;
R, r - радиусы, м;
R_A, R_B - реакция опор, Н;
s - толщина стенки, м;
t - температура, ^{0}C;
Δt - разность температур, ^{0}C;
T - время, с;
V - объем, м^3;
W - момент сопротивления плоской фигуры, м^3;
z - число деталей.

ИНДЕКСЫ

б - болт, шпилька (по смыслу);
в - по пределу временного сопротивления;
д - действительное;
Е` - эквивалентное значение;
и - испытания;
к - корпус, крышка;
п - прокладка;
пр - приведенное значение;
см - смятия;
ср - среднее;
т - по пределу текучести;
т - трубы;
у - условное;
ф - фланец;
о - начальное значение;
R - расчетное значение.

ЧАСТЬ I

КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

ГЛАВА 1

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К КОНСТРУКЦИОННЫМ МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Специфические условия работы технологической аппаратуры, характеризуемые диапазоном давлений от глубокого разрежения (вакуума) до избыточных давлений порядка 250 МПа и выше, большим интервалом рабочих температур от - 254 до + 1000 ° С и выше при агрессивном воздействии среды, предъявляют высокие требования к выбору конструкционных материалов проектируемой аппаратуры.

Наряду с обычными требованиями высокой коррозионной стойкости в определенных агрессивных средах к конструкционным материалам, применяемым в технологическом аппаратостроении, одновременно предъявляются также требования высокой механической прочности, жаростойкости и жаропрочности, сохранения удовлетворительных пластических свойств при высоких и низких температурах, устойчивости при знакопеременных или повторных однозначных нагрузках (циклической прочности), малой склонности к старению и др.

В расчетах на прочность технологической аппаратуры конструктору часто приходится учитывать общую равномерную по поверхности коррозию металлов и сплавов, для чего необходимо знать проницаемость материала в *мм/год* при заданных рабочих условиях агрессивной среды (концентрация, температура, давление). Она учитывается при выборе величины прибавки на коррозию к рассчитанной толщине стенки аппарата. В ряде случаев при конструировании технологической аппаратуры необходимо учитывать также и другие виды коррозионного разрушения материалов. Например, в химических аппаратах, выполненных из кислотостойкой стали и находящихся под постоянным повышенным давлением, при совместном действии коррозионной среды и растягивающих напряжений в ряде случаев наблюдается коррозионное растрескивание металла, происходящее обычно внезапно без видимых изменений материала. Это явление не имеет места при наличии в металле напряжений сжатия. Кроме того, коррозионное растрескивание происходит в небольшом количестве агрессивных сред и зависит от величины давления и температуры. Известно, что ускоренное растрескивание аппаратуры из кислостойких сталей, находящейся под постоянно действующей нагрузкой, имеет место в растворах NaCl, $MgCl_2$, $ZnCl_2$, LiCl, H_2S, морской воде и т.д. Латуни обнаруживают склонность к коррозионному растрескиванию в среде аммиака.

Для технологической аппаратуры химических и нефтехимических производств преимущественно применяются конструкционные материалы, стойкие и весьма стойкие в агрессивных средах. Материалы пониженной стойкости применяются в исключительных случаях, когда доказана целесообразность использования их вместо стойких, но более дорогих и дефицитных материалов.

При выборе материалов для аппаратов, работающих под давлением при низких и высоких температурах, необходимо учитывать, что механические свойства материалов существенно изменяются в зависимости от температуры. Как правило, прочностные свойства металлов и сплавов повышаются при низких температурах и понижаются при высоких.

При статическом приложении нагрузки важными характеристиками для оценки прочности материала являются предел текучести $\sigma_т$ (или условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ или $\sigma_{1,0}$) и предел прочности $\sigma_в$. Упругие свойства металлов характеризуются значениями модуля упругости E и коэффициентом Пуассона μ.

Указанные характеристики являются основными при расчетах на прочность деталей аппаратуры, работающей под давлением при низких (от - 40 до - 254 ° С), средних (от + 200 до - 40 ° С) и высоких (выше + 200 ° С) температурах.

Для работы при низких температурах по нормам Госгортехнадзора следует выбирать металлы, у которых порог хладоломкости лежит ниже заданной рабочей температуры. Однако в химической промышленности на протяжении многих лет безаварийно эксплуатируется при рабочих температурах до - 40 ° С большое количество аппаратов, трубопроводов, арматуры, насосов и другого оборудования, изготовленных из углеродистой стали обыкновенного качества и из серого или ковкого чугуна, т. е. из материалов, имеющих ударную вязкость KCU при указанной температуре менее 2 Дж/см².

Поэтому при выборе металла для работы при низких температурах следует исходить не только из величины ударной вязкости, но также учитывать величину и характер приложенной нагрузки (статическая, динамическая, пульсирующая), наличие и характер концентраторов напряжений и чувствительность металла к надрезам, начальные напряжения в конструкции, способ охлаждения металла (за счет содержащегося в аппарате хладоносителя или за счет окружающей среды).

При статическом приложении нагрузки в ряде случаев допускается изготовление аппаратов из ме-

таллов, приобретающих хрупкость при пониженных рабочих температурах, но не имеющих дефектов, нарушающих однородность структуры и способствующих концентрации напряжений. Технология изготовления аппаратов из таких материалов должна исключать возможность возникновения высоких начальных напряжений в конструкции. К таким аппаратам можно отнести свободно опирающиеся емкости для жидких и газообразных продуктов, содержащихся в них под небольшим избыточным давлением, металлоконструкции неответственного назначения и др.

При динамическом приложении нагрузки, кроме указанных выше характеристик, необходимо учитывать также и величину ударной вязкости $a_н$. Для многих углеродистых и легированных сталей ударная вязкость при низких температурах (обычно ниже - 10 ° С) резко понижается, что исключает применение этих мате-риалов в таких условиях. Ударная вязкость для большинства цветных металлов и сплавов (медь и ее сплавы, алюминий и его сплавы, никель и его сплавы), а также хромоникелевых сталей аустенитного класса при низких температурах, как правило, уменьшается незначительно и пластические свойства этих материалов сохраняются на достаточно высоком уровне, что и позволяет применять их при рабочих температурах порядка до - 254 ° С.

Для оборудования, подверженного ударным или пульсирующим нагрузкам и предназначенного для работы при низких температурах, следует применять металлы и сплавы с ударной вязкостью KCU не ниже 3 Дж/см^2 при рабочих температурах. Для деталей, имеющих концентраторы напряжений (болты, шпильки), рекомендуются материалы, у которых при рабочей температуре величина ударной вязкости KCU не менее 4 Дж/см^2.

При высокой температуре наблюдается значительное снижение основных показателей, характеризующих прочностные свойства металлов и сплавов. Кроме того, поведение металлов под нагрузкой при высоких температурах резко отличается от их поведения при нормальной температуре внутри производственных помещений. Предел прочности $\sigma_в$ и предел текучести $\sigma_т$ зависят от времени пребывания под нагрузкой и скорости нагружения, так как с повышением температуры металл из упругого состояния переходит в упругопластическое и под нагрузкой непрерывно деформируется (явление ползучести). Температуры, при которых начинается ползучесть, у разных металлов различны. Для углеродистых сталей обыкновенного качества ползучесть наступает уже при температурах выше 375 ° С, для низколегированных сталей — при температурах выше 525 ° С, для жаропрочных — при еще более высоких температурах.

С увеличением времени пребывания металла под нагрузкой характеристики прочности уменьшаются тем значительнее, чем выше температура эксплуатации оборудования. Поэтому при расчете на прочность аппаратов, работающих длительное время при высоких температурах, допускаемые напряжения определяют по отношению к условному пределу ползучести $\sigma_{пл}$ или по пределу длительной прочности $\sigma_{дл}$. Для химической аппаратуры допускаемая скорость ползучести принимается ≤ 10^{-7} мм/мм·ч (10^{-5} % в год), для крепежных деталей — ≤ 10^{-9} мм/мм·ч (10^{-7} % в год).

Понижение механических свойств при высоких температурах обусловлено происходящими в металле структурными и фазовыми превращениями. К структурным изменениям такого рода можно отнести явление графитизации углеродистой и молибденовой сталей, образование ферритной фазы в хромоникелевых сталях и др., присущие последним при длительной работе металла в условиях высокой температуры. В ряде случаев стабильность структуры стали в течение длительного срока службы оборудования удается обеспечить путем термической обработки стали. В большинстве случаев для аппаратуры, предназначенной для работы при высоких температурах, применяются специальные марки жаропрочных сталей, характеризуемых достаточной механической прочностью и стабильностью структуры при высоких температурах. Наряду с жаропрочностью эти металлы должны обладать жаростойкостью, т. е. способностью противостоять коррозионному воздействию среды в условиях длительной работы материала при высоких температурах. При непрерывном процессе окалинообразования рабочее сечение металла уменьшается, что приводит к повышению рабочего напряжения и ухудшению условий безопасной эксплуатации оборудования.

Некоторые детали аппаратуры (болты, шпильки, пружины и др.) вследствие повышения пластичности металла при высоких температурах работают в условиях постепенного снижения напряжений, вызванных первоначально приложенной нагрузкой (затягом), при сохранении геометрических размеров (явление релаксации напряжений). Расчет таких деталей следует производить на предварительную нагрузку (затяг), обеспечивающую на заданный период времени остаточную нагрузку, необходимую для нормальной работы конструкции.

При выборе конструкционных материалов для технологической аппаратуры необходимо также учитывать физические свойства материалов (теплопроводность, линейное температурное расширение), а также некоторые другие соображения технико-экономического порядка, такие, как технология изготовления аппаратуры, дефицитность и стоимость материала, наличие стандарта или утвержденных технических условий на его поставку, освоенность материала промышленностью и др.

Создаваемая конструкция технологической аппаратуры должна быть не только технически совершенной, отвечающей всем требованиям современного уровня машиностроения, но и технологичной в изготовлении, экономичной. Так как стоимость изделия в значительной мере определяется стоимостью примененных для его изготовления материалов, то при всех прочих равных условиях предпочтение должно быть отдано более дешевым и менее дефицитным материалам.

В технологическом аппаратостроении основным способом выполнения металлических неразъемных соединений является сварка и в ряде случаев пайка. Хорошая свариваемость металлов является одним из основных и необходимых условий, определяющих пригодность материала для создаваемой конструкции. Необходимо также стремиться к максимально возможному, без ущерба для конструкции, сокращению номенклатуры применяемых марок материалов и типоразмеров.

Аппаратуру не рекомендуется изготовлять целиком из дорогостоящих и дефицитных материалов. Технико-экономическая нецелесообразность применения монолитных толстолистовых высоколегированных сталей и цветных металлов не вызывает сомнения. Коррозии обычно подвержена лишь внутренняя поверхность аппаратов. Для обеспечения амортизационного срока службы аппарата достаточен слой коррозионностойкого металла толщиной в несколько миллиметров. Таким образом, представляется целесообразным изготовлять аппаратуру для активных коррозионных сред из двухслойного проката, облицовочный слой которого может быть выполнен из требуемого коррозионностойкого металла или сплава. Например, вместо монолитной толстолистовой нержавеющей стали 12Х18Н10Т или 10Х17Н13М2Т целесообразно применять двухслойную листовую сталь 16ГС + 12Х18Н10Т или Ст3сп5 + 10 Х17Н13М2Т.

В настоящее время металлургической промышленностью освоен ряд новых марок высоколегированных сталей с малым содержанием никеля, которые и рекомендуется применять в технологическом аппаратостроении в качестве заменителей дефицитных хромоникелевых сталей или сталей с большим содержанием никеля. К таким сталям относятся 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т и др.

Для активных коррозионных сред наиболее целесообразно изготовление технологической аппаратуры из неметаллических материалов: природных кислотоупоров, керамики, фарфора, стекла, углеграфитовых материалов, пластических масс (фаолита, полиэтилена, винипласта и др.) или из углеродистой стали, покрытой кислотостойкими эмалями, резиной или пластмассами (для соответствующих сред, давления и температуры).

В последнее время в конструировании технологической аппаратуры все большее применение находят композиционные материалы, которые по механической прочности превосходят даже качественные стали, а по коррозиционной стойкости не уступают керамике, стеклу и эмалям.

Таким образом, при конструировании технологической аппаратуры к конструкционным материалам должны предъявлять следующие требования:

1) достаточная общая химическая и коррозионная стойкость материала в агрессивной среде с заданными концентрацией, температурой и давлением, при которых осуществляется технологический процесс, а также стойкость против других возможных видов коррозионного разрушения (межкристаллитная коррозия, электрохимическая коррозия сопряженных металлов в электролитах, коррозия под напряжением и др.);

2) достаточная механическая прочность при заданных давлении и температуре технологического процесса, с учетом специфических требований, предъявляемых при испытании аппаратов на прочность, герметичность и т. п. и в эксплуатационных условиях при действии на аппараты различного рода дополнительных нагрузок (ветровая нагрузка, прогиб от собственного веса и т. д.);

3) наилучшая способность материала свариваться с обеспечением высоких механических свойств сварных соединений и коррозионной стойкости их в агрессивной среде, обрабатываться резанием, давлением, подвергаться сгибу и т. п.;

4) низкая стоимость материала, недефицитность и освоенность его промышленностью. Необходимо стремиться применять двухслойные стали, неметаллические материалы, стали с покрытиями из неметаллических материалов. Номенклатура применяемых материалов как по наименованию, маркам, так и по сортаменту должна быть минимальной с учетом ограничений, предусматриваемых ведомственными нормами и действующими на заводах-изготовителях инструкциями;

5) качество, химический состав и механические свойства материалов и полуфабрикатов должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов и ТУ и быть подтверждены сертификатами заводов-поставщиков. При отсутствии сертификатов все необходимые испытания должны быть проведены на заводе-изготовителе аппарата;

6) возможность простой утилизации при выработке сроков эксплуатации оборудования, узлов и деталей

ГЛАВА 2

СТАЛИ

Сталь является наиболее распространенным конструкционным материалом при изготовлении технологического и природоохранного оборудования. Она обладает хорошей прочностью, весьма технологична при обработке и изготовлении полуфабрикатов, обладает низкой стоимостью по отношению к другим конструкционным материалам, выдерживает высокие температуры и агрессивное воздействие коррозионноактивных сред. Для изготовления стальных аппаратов применяются следующие стали в виде полуфабрикатов:

- сталь углеродистая обыкновенного качества по ГОСТ 380–94, поставляемая в виде листового, сортового и фасонного проката, труб, поковок и т. д., по степени раскисления – спокойная (сп), полуспокойная (пс), реже – кипящая (кп), по требованиям от 2-й до 6-й категорий;

- *сталь качественная углеродистая конструкционная*, поставляемая в виде листового проката по ГОСТ 5520–79 и в виде сортового проката и труб по ГОСТ 1050–88;

- сталь низколегированная (с содержанием легирующих элементов до 2,5%), поставляемая в виде листового проката по ГОСТ 5520–79 и ГОСТ 19282–89, сортового и фасонного проката, труб и поковок по ГОСТ 19281–89;

- сталь легированная конструкционная (с содержанием легирующих элементов до 10%), поставляемая в виде сортового проката, труб и поковок по ГОСТ 4543–71;

- сталь теплоустойчивая по ГОСТ 20072–74, поставляемая в виде листового и сортового проката и труб;

-стали высоколегированные и сплавы коррозионностойкие, жаростойкие и жаропрочные по ГОСТ 5632–72, поставляемые в виде листового проката, труб и поковок;

-стали и сплавы с особыми свойствами, поставляемые в виде листового и сортового проката и труб по специальным ТУ;

- стали двухслойные, поставляемые в виде листового проката по ГОСТ 10885–75 и специальным ТУ с основным слоем из углеродистых, низколегированных и легированных сталей и плакирующим слоем из коррозионностойких материалов;

- отливки из конструкционной, нелегированной и легированной сталей, поставляемые по ГОСТ 977—88.

В табл. 2.1 приведены марки стали, рекомендуемые для сварных аппаратов с инертными средами, работающих без давления и устанавливаемых на открытом воздухе или в неотапливаемом помещении в зависимости от средней температуры самой холодной пятидневки.

Марки сталей имеют следующее обозначение:

углеродистые обыкновенного качества — последовательно указываются: марка стали, степень раскисления и категория требований, например Ст3сп3;

качественные, углеродистые конструкционные — двумя цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента, например 20 (для обозначения котельных марок в конце ставится буква К, например 20К);

легированные — комплексом цифр и букв, причем первые две цифры указывают на содержание углерода в сотых долях процента (отсутствие цифр означает, что

Таблица 2.1

Марки сталей, рекомендуемые для сварных аппаратов, работающих без давлений с инертными средами (ОСТ 26-291 — 94)

Средняя температура воздуха наиболее холодной пятидневки, ^{0}С	Марка стали и обозначение стандарта
Не ниже – 30	Ст3пс3, Ст3сп3, Ст3Гпс3 по ГОСТ 14637-89
	15К-3, 16К-3, 18К-3, 20К-3 по ГОСТ 5520-79
	16ГС-3, 09Г2С-3, 10Г2С1-3 по ГОСТ 5520-79
От – 31 до – 40	Ст3пс4, Ст3сп4, Ст3Гпс4 по ГОСТ 14637-89
	15К-5, 16К-5, 18К-5, 20К-5 по ГОСТ 5520-79
	16ГС-6, 09Г2С-6, 10Г2С1-6 по ГОСТ 5520-79
От – 41 до – 60	09Г2С-8, 10Г2С1-8 по ГОСТ 5520-79

Примечания: **1.** Для материалов, не приведенных в табл. 2.1, нижний температурный предел применения должен определяться исходя из требований табл. 2.2. **2.** Материалы для сосудов и аппаратов, устанавливаемых в районах со средней температурой воздуха наиболее холодной пятидневки ниже – 40 ^{0}С, выбираются специализированной научно-исследовательской организацией. **3.** *Если при проверке качества стали на соответствие требованию табл. 2.1 и 2.2 рекомендуют различные категории* стали по ГОСТ 14637–89 или ГОСТ 5520–79, то необходимо применять сталь более высокой категории. **4.** Пределы применения двухслойных сталей определяются по основному слою. **5.** Допускается испытание сталей на ударный изгиб при средней температуре воздуха наиболее холодной пятидневки для заданного района установки сосуда или аппарата. **6.** Пуск, остановку и испытание сосудов и аппаратов на герметичность в зимнее время следует проводить в соответствии с требованиями ОСТ 26-291–94.

среднее содержание углерода составляет около 0,01%), затем последовательно указываются буквы, означающие наличие в стали того или иного легирующего элемента, за каждой из букв одной или двумя цифрами указывается примерное содержание данного элемента в процентах (отсутствие цифр означает, что содержание данного элемента составляет до 1,5%).

2.1. Листовая сталь

Из листовой стали изготовляются корпусы (обечайки), днища, фланцы, различные тарелки, трубные решетки и многие другие детали аппаратов. Листовой прокат — основной материал для большинства аппаратов.

Рекомендуемые марки, технические требования, виды испытаний и условия применения листовой стали в зависимости от рабочих параметров приведены в табл. 2.2 для листовой стали, в табл. 2.3 — для двухслойной листовой стали.

При заказе углеродистых сталей обыкновенного качества по ГОСТ 14637–89, углеродистых и низколегированных сталей по ГОСТ 5520–79 должна указываться категория стали.

При заказе сталей по ГОСТ 5520–79 необходимо требовать поставку стали с содержанием серы и фосфора не более 0,035 %, а сталей марки 20 К категорий 5 и 11 – поставку в нормализованном состоянии.

Листовую углеродистую сталь марки Ст3сп и двухслойную сталь с основным слоем и стали марки Ст3сп толщиной более 25 мм и марки Ст3Гпс толщиной более 30 мм допускается применять при условии проведения испытаний металла на ударный изгиб на предприятии — изготовителе аппарата или сосуда. Испытания на ударный изгиб следует проводить на трех образцах. При этом величина ударной вязкости KCU должна быть не менее: 50 Дж/см^2 (5 кгс·м/см^2) при температуре + 20 ^{0}С; 30 Дж/см^2 (3 кгс·м/см^2) при температуре – 20 ^{0}С и после механического старения, а на одном образце допускается величина ударной вязкости не менее 25 Дж/см^2 (2,5 кгс·м/см^2).

Листовая сталь толщиной листа более 60 мм, предназначенная для сосудов и аппаратов, работающих под давлением более 10 МПа (100 кгс/см^2), должна подвергаться на предприятии – поставщике металла ультразвуковому контролю или другими равноценными методами.

Обозначения в марках стали: Г — марганец, С — кремний, Х — хром, Н — никель, М — молибден, В — вольфрам, Ф — ванадий, Т — титан, Д — медь, Ю — алюминий, Б — ниобий, Р — бор, А — азот (в конце обозначения не ставятся). Наличие в конце обозначения буквы А обозначает высококачественную сталь, а Ш (через дефис) — особо высококачественную.

В табл. 2.4 и 2.5 приведены основные механические свойства листовых и двухслойных сталей. Механические свойства двухслойных сталей соответствуют механическим свойствам их основного слоя при одинаковых рабочих условиях.

Для изготовления аппаратов применяется листовой прокат, состав и размеры которого приведены в табл. 2.6–2.9.

Сталь листовая обозначается словом «Лист», затем дробью, в числителе которой указываются размеры листа в миллиметрах (толщина × ширина × длина), затем указывается ГОСТ 19903–74 (для горячекатаной) или ГОСТ 19904–90 (для холоднокатаной), а в знаменателе — марка стали (с указанием категории или состояния материала и качества поверхности) и указывается ГОСТ технических требований (ГОСТ 380–94, ГОСТ 5520–79, ГОСТ5582–75 или ГОСТ 7350–77). Для сталей коррозионностойких, жаростойких и жаропрочных в числителе перед размерами листа указываются через тире точность проката (А или Б), вид кромки (НО или О), неплоскостность (ПН, ПУ или ПВ). Двухслойная сталь обозначается словом «Лист», затем—дробью, в числителе которой указываются размеры листа в миллиметрах (толщина × ширина × длина), затем указывается ГОСТ 10885—85, а в знаменателе — марка основного слоя + марка плакированного слоя.

Таблица 2.2

Рекомендуемые марки листовой стали (ОСТ 26-291–94)

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и дополнительные требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
Ст3кп2, Ст3пс2, Ст3сп2 ГОСТ 380—94 ГОСТ 14637—89	ГОСТ 14637—89	От + 10 до + 200	1,6 (16)	ГОСТ 14637—89	п. 2
		От —15 до + 350	0,07 (0,7)		
Ст3кп2, Ст3пс2, Ст3сп2 ГОСТ 380—94 ГОСТ 14637—89		От — 30 до +550	—		п.3

Продолжение табл. 2.2

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и дополнительные требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
Ст3сп4, Ст3пс4, Ст3Гпс4 ГОСТ 380—94 ГОСТ 14637—89	ГОСТ 14637—89	От — 20 до + 200	5 (50)	ГОСТ 14637—89 и полистно при температуре стенки выше 200° С	пп. 4, 11, 13, 17, 20
Ст3пс3, Ст3сп3, Ст3Гпс3 ГОСТ 380—94 ГОСТ 14637—89		Св. 0 до + 200			
Ст3сп5, Ст3пс5, Ст3Гпс5 ГОСТ 380—94 ГОСТ 14637—89		От — 20 до +425			
Ст4сп3 ГОСТ 380—88 ГОСТ 14637—89		Св. 0 до + 200	Не ограничено	ГОСТ 14637–89	пп. 6, 11
Ст3сп, Ст3пс, Ст3Гпс категорий 3, 4, 5 в зависимости от температуры стенки ГОСТ 380—94 ГОСТ 14637—89	Группы 1 и 2 по ТУ 14-1-3023—80	От — 20 до + 425	5 (50)	ТУ 14-1-3023—80	пп. 4, 11, 13
08кп ГОСТ 1050—88	ГОСТ 9045—80	От — 40 до + 475	Не ограничено	ГОСТ 9045—80	п. 7
	ГОСТ 1577—81			Категория 2 по ГОСТ 1577—81	п. 7
20К ТУ 14-1-4088—86	ТУ 14-1-4088—86	От — 20 до + 425		ТУ 14-1-4088—86, полистно при температуре стенки выше 200° С и п. 2.2.7 ОСТ 26—291—94	п. 11
16К, 18К, 20К, 22К категории 5 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	От — 20 до + 200	Не ограничено	ГОСТ 5520—79	пп. 1, 5, 11, 12, 18, 19
16К, 18К, 20К, 22К категории 3 ГОСТ 5520—79		Св. 0 до + 200			
16К, 18К, 20К, 22К категории 18 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	От + 200 до + 475	Не ограничено	ГОСТ 5520—79	пп. 1, 5, 11, 12, 18, 19
16К, 18К, 20К, 22К категории 11 ГОСТ 5520—79		От — 20 до + 475			
22К ТУ 108.11-543—80	ТУ 108.11-543—80	От — 20 до + 350		ТУ 108.11-543—80	
09Г2С, 10Г2С1 категорий 7, 8, 9 в зависимости от температуры стенки ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	От — 70 до + 200	Не ограничено	ГОСТ 5520—79	пп. 5, 8, 10, 11, 18

Продолжение табл. 2.2

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и дополнительные требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
17ГС, 17Г1С, 16ГС, 09Г2С, 10Г2С1 категории 6 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	От — 40 до + 200	Не ограничено	ГОСТ 5520—79	пп. 5, 8, 10, 11, 18
17ГС, 17Г1С, 16ГС, 09Г2С, 10Г2С1 категории 3 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	От — 30 до + 200	Не ограничено	ГОСТ 5520—79	пп. 5, 11, 18
17ГС, 17Г1С категории 12 16ГС, 09Г2С, 10Г2С1 категорий 11, 12, 17 ГОСТ 5520—79		От — 40 до +475			пп. 5, 9, 11, 18, 19
09Г2С, 09Г2СА ТУ 302.02.122—91	ТУ 302.02.122—91	От — 70 до + 475		ТУ 302.02.122—91	п. 11
17ГС, 17Г1С, 16ГС, 14Г2, 09Г2С категории 3 ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89	От — 30 до + 200		ГОСТ 19281—89	пп. 11, 14, 15, 16, 18, 26, 27
17ГС, 17Г1С, 16ГС, 14Г2, 09Г2С категории 4 ГОСТ 19281—89		От — 40 до + 200			
17ГС, 17Г1С, 16ГС, 14Г2, 09Г2С категории 12 ГОСТ 19281—89		От — 40 до + 475		ГОСТ 19281—89	пп. 11, 14, 15, 16, 18, 26, 27
09Г2С-ш ТУ 14-1-2072—77	ТУ 14-1-2072—77	От — 60 до + 450		ТУ 14-1-2072—77	п. 11
09Г2СЮЧ, 09ХГ2СЮЧ ТУ 14-1-5065—91	ТУ 14-1-5065—91	От — 70 до + 475		ТУ 14-1-5065—91	п. 11
12МХ ГОСТ 20072—74	ТУ 14-1-5093—92	От — 40 до + 540		ТУ 14-1-5093—92	—
12МХ ГОСТ 20072—74	ТУ 14-1-642—73; ТУ 24-10-003—70	От — 40 до + 540	Не ограничено	ТУ 14-1-642—73; ТУ 24-10-003—70	—
12ХМ ТУ 14-1-642—73, ТУ 24-10-003—70		От —40 до +560			
12ХМ категории 3 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520-79	От — 40 до + 560		ГОСТ 5520—79	—
12ХМ ТУ 14-1-2304—78	ТУ 14-1-2304—78	От — 40 до + 560		ТУ 14-1-2304—78	
12ХМ ТУ 302.02.031—89	ТУ 302.02.031—89	От — 40 до + 550		ТУ 302.02.031—89	

Продолжение табл. 2.2

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и дополнительные требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
10Х2М1А-А, 10Х2М1А (10Х2М1А-ВД, 10Х2М1А-ш) ТУ 302.02.121—91	ТУ 302.02.021—91	От — 40 до + 550	Не ограничено	ТУ 302.02.121—91	—
10Х2М1А-А ТУ 302.02.128—91					
15Х5М ГОСТ 20072—74	Группа М2б по ГОСТ 7350—77; ТУ 14-1-2657—79	От — 40 до + 650		Группа М2б по ГОСТ 7350—77	пп. 21, 25
10Х2ГНМ ТУ 108.11.928—87, ТУ 14—5117—92	ТУ 108.11.928—87	От —40 до + 550		ТУ 108.11.928—87; ТУ 14-5117—92	—
20ЮЧ ТУ 14-1-4853—90	ТУ 14-1-4853—90	От — 40 до + 475	Не ограничено	ТУ 14-1-4853—90	—
09ХГ2НАБЧ ТУ 14-1-3333—82	ТУ 14-1-3333—82			ТУ 14-1-3333—82	—
16ГМЮЧ ТУ 14-1-4824—90	ТУ 14-1-4824—90	От — 40 до + 600		ТУ 14-1-4824—90	—
15Х2МФА-А ТУ 302.02-014—89	ТУ 302.02-014—89	От — 40 до +510		ТУ 302.02-014—89	—
		Св. + 510 до + 560	10 (100)		
12Х2МФА ТУ 108.131—86	ТУ 108.131—86	От — 40 до + 500	Не ограничено	ТУ 108.131—86	—
15Г2СФ категорий 12, 13, 14 в зависимости от температуры стенки ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89	От — 60 до + 350		ГОСТ 19281—89	пп. 14, 15, 16, 18, 26, 27
15Г2СФ ТУ 14-1-4502—88	ТУ 14-1-4502—88	От — 60 до + 350		ТУ 14-1-4502—88	—
09Г2ФБ, 10Г2ФБ ТУ 14-1-4083—86	ТУ 14-1-4083—86	От — 60 до + 420	10 (100)	ТУ 14-1-4083—86	—
09Г2БТ, 10Г2БТ, 07ГФБ-У ТУ 14-1-4083—86	ТУ 14-1-4083—86	От — 70 до + 200	Не ограничено	ТУ 14-1-4083—86	—
10ХСНД, 15ХСНД категории 3 ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89	От — 30 до + 200	16 (160)	ГОСТ 19281—89	пп. 14, 15, 16, 18, 26, 27
10ХСНД, 15ХСНД категории 4 ГОСТ 19281—89		От —40 до + 200			

Продолжение табл. 2.2

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и дополнительные требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
10ХСНД, 15ХСНД категорий 11, 12 ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89	От — 40 до + 475	16 (160)	ГОСТ 19281—89	пп. 14, 15, 16, 18, 26, 27
Д40, Е40 ГОСТ 5521—86	ГОСТ 5521—86	От — 40 до + 200		ГОСТ 5521—86	—
А, В ГОСТ 5521—86	ГОСТ 5521—86 ГОСТ 380—88	От 0 до + 200	Не ограничено	ГОСТ 5521—86 ГОСТ 380—88	пп. 4, 20
Е32, Д32 ГОСТ 5521—86		От — 20 до + 200			
10Х14Г14Н4Т ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	От — 196 до + 500		Группа М2б по ГОСТ 7350—77; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	пп. 21, 25
08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77; ТУ 14-1-2676—79; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	От — 40 до + 300	Не ограничено	Группа М2б по ГОСТ 7350—77 с механическими свойствами по ТУ 14-1-2676—79; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	пп. 21, 25
02Х8Н22С6, 02Х8Н22С6-ПД, 02Х8Н22С6-ш ТУ 14-1-3802—84 ТУ 14-1-3801—84 ТУ 14-1-5075—91	ТУ 14-1-3802—84; ТУ 14-1-3801—84; ТУ 14-1-5075—91	От — 40 до + 120	—	ТУ-14-1-3802—84; ТУ 14-1-3801—84; ТУ 14-1-5075—91	—
03Х19АГ3Н10 ТУ 14-1-2261—77	ТУ 14-1-2261—77	От — 196 до + 450	Не ограничено	ТУ 14-1-2261—77	—
03Х21Н21М4ГБ ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	От — 70 до + 450		Группа М2б по ГОСТ 7350—77	пп. 21, 25
08Х18Г8Н2Т ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	От — 20 до + 300	5 (50)	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	пп. 21, 25
07Х13АГ20 ТУ 14-1-2640—79 ТУ 14-1-3342—82	ТУ 14-1-2640—79; ТУ 14-1-3342—82	От — 70 до + 300		ТУ 14-1-2640—79; ТУ 14-1-3342—82	—
08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75; ТУ 14-1-31-99—81; ТУ 14-1-31-08—80	От — 253 до + 610	Не ограничено	Группа М2б по ГОСТ 7350—77; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75; ТУ 14-1-31-99—81; ТУ 14-1-31-08—80	пп. 21, 25
08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-2542—78; ТУ 108-930—80; ТУ 108-1151—82; ТУ 14-1-394—72	От — 253 до +610	Не ограничено	ТУ 14-1-2542—78; ТУ 14-1-394—72; ТУ 108-930—80; ТУ 108-1151—82	—
		От + 610 до + 700	5 (50)		

Продолжение табл. 2.2

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и дополнительные требования	Примечания
		темпера-тура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2),		
08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	От + 610 до + 700	5 (50)	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	пп. 21, 25
08Х18Н12Б ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350-77	От — 196 до + 610	Не ограничено	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	пп. 21, 25
03Х18Н11 ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-3071—80, ТУ 14-1-2144—74; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	От —253 до +450		ТУ 14-1-3071—80; ТУ 14-1-2144—74; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	—
10Х17Н13М2Т ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	От —253 до +350		Группа М2б по ГОСТ 7350—77; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—77	пп. 21, 22, 25
		Св. +350 до +700			
08Х17Н13М2Т ГОСТ 5632—72	Группа А по ТУ 14-1-394—72	От —253 до +700		ТУ 14-1-394—72	—
10Х17Н13М3Т ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77; группа А по ТУ 14-1-394—75; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	От +196 до +350	Не ограничено	Группа М2б по ГОСТ 7350—77; группа А по ТУ 14-1-394—75 группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	пп. 21. 25
02Х18Н11 ТУ 14-1-3071—80	ТУ 14-1-3071—80	От — 253 до +450	5 (50)	ТУ 14-1-3071—80	—
10Х17Н13М3Т ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	Св. +350 до +600	Не ограничено	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	пп. 21, 22, 25
08Х17Н15М3Т ГОСТ 5632—72		От —196 до +600			
03ХН28МДТ, 06ХН28МДТ ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	От — 196 до + 400		Группы М2а и М3а по ГОСТ 7350—77; группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	пп. 21, 25
03Х17Н14М3 ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-1154—74; ТУ 14-1-692—73; ТУ 14-1-2144—77; ТУ 14-1-3120—80	От — 196 до + 450		ТУ 14-1-1154—74; ТУ 14-1-692—73; ТУ 14-1-2144—77; ТУ 14-1-3120—80	—
08Х18Н10 ГОСТ 5632—72	Группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75; ТУ 14-1-31-99—81	От — 253 до + 600		Группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75; ТУ 14-1-31-99—81	—
08Х18Н10Т, 08Х17Н13М2Т ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77			ГОСТ 7350—77	пп. 21, 25
15Х18Н12С4ТЮ ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-1410—75; ТУ 14-1-1337—75	От — 20 до + 200	2,5 (25)	ТУ 14-1-1410—75; ТУ 14-1-1337—75	—
12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	От — 253 до + 350	Не ограничено	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	пп. 21, 25
		От — 253 до + 610			пп. 21, 22, 25
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72		От + 610 до +700	5 (50)		

Продолжение табл. 2.2

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и дополнительные требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	Группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75 ТУ 14-1-31-99—81	От — 253 до + 350	Не ограничено	Группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75, ТУ 14-1-31-99—81	—
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-2542—78; ТУ 108-1151—82; ТУ 108-930—80			ТУ 14-1-2542—78; ТУ 108-1151—82; ТУ 108-930—80	—
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-394—72	От — 253 до + 610	Не ограничено	ТУ 14-1-394—72	п. 22
		От + 610 до + 700	5(50)		
08Х13 ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	От — 40 до + 550	До 0,07 (0,7)	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	пл. 21, 23, 25, 28
	Группа М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	От — 40 до + 550	До 0,07 (0,7)	Группы М2а и М3а по ГОСТ 5582—75	—
08Х13, 12Х13, 20Х13 ГОСТ 5632—72		От — 40 до + 550	Не ограничено	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	пп. 3, 21, 25, 28 п. 24 (для сталей марок 12Х13, 20Х13)
08Х17Т ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	От + 20 до + 700	—	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	пп.3, 21, 25
15Х25Т ГОСТ 5632—72		От +20 до +1000			

Примечания.

1. Допускается применять сталь марок 15 и 20 по ГОСТ 1577—70 при тех же условиях, что сталь марок 16К, 18К и 20К, при этом объем и виды испытаний этих сталей на предприятии-изготовителе аппаратов должны быть проведены по ГОСТ 5520—79 в том же объеме, что и для сталей марок 15К, 16К, 18К и 20К соответствующих категорий.

2. Толщина листа не более 16 мм.

3. Для трубных решеток, а также ненагруженных деталей внутренних устройств и других неответственных конструкций.

4. Допускается применять листовой прокат сталей марок: Ст3сп, Ст3пс категорий 4 и 5 толщиной не более 25 мм; Е32, Д32, Ст3Гпс — толщиной не более 30 мм; для сталей категории 3 — толщиной не более 40 мм.

5. Механические свойства листов по ГОСТ 5520—79 толщиной менее 12 мм проверяются на листах, взятых от партии.

6. Допускается применять сталь марок Ст5пс2 и Ст5сп2 для деталей, не подлежащих сварке, при тех же параметрах, что и сталь марки Ст4сп3 с испытанием на ударный изгиб на предприятии-изготовителе аппаратов или их отдельных деталей.

7. Прокладки из стали марки 08кп толщиной не более 2 мм применяются при температуре стенки до–70° С.

8. Для сосудов и аппаратов из стали марки 10Г2С1, работающих под давлением, температура стенки должна быть не ниже – 60° С.

9. При толщине листов более 60 мм и менее 12 мм применяется сталь категории 12.

10. Допускается применение стали марки 10Г2 по ГОСТ 1577—70 при температурах стенок от –70 до – 41° С с техническими требованиями для стали марки 09Г2С в этом температурном интервале.

11. Испытание на механическое старение производится в том случае, если при изготовлении сосудов и аппаратов, имеющих температуру стенки выше 200° С, сталь подвергается холодной деформации (вальцовка, гибка, отбортовка и др.).

12. Для сталей марок 16К, 18К, 20К испытание при – 20° С производится на металлургическом предприятии. Значение ударной вязкости должно быть не менее 30 Дж/см^2 (3 кгс·м/см^2).

13. При толщине листов менее 5 мм допускается применение сталей по ГОСТ 14637—89 категории 2 вместо сталей категорий 3 и 4. При толщине листов менее 7 мм допускается применение сталей по ГОСТ 14637—89 категорий 3 и 4 вместо категорий 6 и 5 соответственно.

14. Листы по ГОСТ 19281—89 должны поставляться с обязательным выполнением пунктов 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.7, 2.2.9, 2.2.12 ГОСТ 19281—89, а также должен проводиться контроль макроструктуры по ГОСТ 5520—79 от партии листов.

Продолжение табл. 2.2

15. Листы, поставляемые по ГОСТ 19281—89, должны быть испытаны полистно при температуре стенки ниже –30° С, выше 200° С или давлении более 5 МПа (50 кгс/см^2) при толщине листа 12 мм и более.

16. Для нетермообработанных сосудов.

17. Для сталей, поставляемых по ГОСТ 5521—76, при температуре стенки выше 200° С необходимо проведение испытания на старение.

18. При толщине листов менее 5 мм допускается применение сталей по ГОСТ 5520—79 категории 2 вместо сталей категорий 3—17. При толщине листов менее 7 мм допускается применение сталей по ГОСТ 5520—79 категории 3 вместо категории 18, категории 6 вместо категорий 12 и 17.

19. По согласованию со специализированной научно-исследовательской организацией допускается применение сталей марок 16К, 18К, 20К по ГОСТ 5520—79 категории 10 вместо категории 18; стали 16ГС, 09Г2С по ГОСТ 5520—79 категорий 12, 13, 14 и 15 (в зависимости от температуры стенки, если она ниже 0° С) вместо стали категории 17.

20. Допускается применение сталей марок Ст3сп, Ст3пс, Ст3Гпс категорий 3 и 4 по ГОСТ 5521—76 на параметры аналогичных сталей по ГОСТ 14637—89. Допускается применение сталей марок 09Г2, 09Г2С, 10Г2С1Д по ГОСТ 5521—76 при температуре стенки от – 40 до +200° С.

21. Допускается применение стали по ГОСТ 7350—77 группы поверхности М3б и М4б при условии, что в расчете на прочность должны быть учтены глубина залегания дефектов и минусовые отклонения.

22. Для сред, не вызывающих межкристаллитную коррозию.

23. Для изделий толщиной до 12 мм.

24. Для изготовления деталей, не подлежащих сварке.

25. Коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная толстолистовая сталь по ГОСТ 7350—77 должна быть заказана горячекатаной, термически обработанной, травленой, с обрезной кромкой, с качеством поверхности по группе М2б и требованием по стойкости к межкристаллитной коррозии.

26. При заказе проката толщиной до 32 мм включительно класс прочности должен быть 325, 345; при толщине более 32 мм класс прочности — 265, 295.

27. ГОСТ 19281—89 распространяется на прокат из сталей повышенной прочности, применяемых для сосудов, не подвергаемых термической обработке. Возможность применения проката из сталей по ГОСТ 19281—89 для сосудов, подвергаемых термической обработке, должна согласовываться со специализированной научно-исследовательской организацией.

28. *Для внутренних не подлежащих сварке деталей сосудов допускается применение стали марки 08Х13 при температуре стенки от – 60 до +550 ° С.*

Таблица 2.3

Рекомендуемые марки листовой двухслойной стали (ОСТ 26-291–94)

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия: температура стенки, °С	Рабочие условия: давление среды, МПа (кгс/см^2), не более	Виды испытаний и требования	Примечания
Ст3ст4+08Х13 ГОСТ 10855—85	ГОСТ 10885–85	От — 20 до + 200	5 (50)	ГОСТ 10885–85	пп. 1, 3
Ст3сп3+08Х13 ГОСТ 10885—85		Св. 0 до + 200			
Ст3сп5+08Х13 ГОСТ 10885—85		От — 20 до + 425			пп. 1, 3, 5
Ст3сп4 с плакирующим слоем из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 06Х28МДТ ГОСТ 10885—85		От — 20 до + 200			пп. 1, 3

Продолжение табл. 2.3

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
Ст3сп3 с плакирующим слоем из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85	ГОСТ 10885—85	Св. 0 до + 200	5 (50)	ГОСТ 10885—85	пп. 1, 3
Ст3сп5 с плакирующим слоем из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85	ГОСТ 10885—85	От — 20 до + 425	5(50)	ГОСТ 10885—85	пп. 1, 3, 5
20К-5+08Х13 ГОСТ 10885—85		От — 20 до + 200	Не ограничено		
20К-3+08Х13 ГОСТ 10885—85		От 0 до +200			
20К-10+08Х13 ГОСТ 10885—85		Св. 0 до +475			пп. 1, 3
20К-11+08Х13 ГОСТ 10885—85	ГОСТ10885—85	От — 20 до + 475	Не ограничено	ГОСТ 10885—85	
20К-5 с плакирующим слоем из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85		От — 20 до + 200			пп. 1, 3
20К-3 с плакирующим слоем из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85		От 0 до + 200			
20К-10 с плакирующим слоем из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85		Св. 0 до + 425			пп. 1, 2, 3, 5

Продолжение табл. 2.3

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
20К-11 с плакирующим слоем из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85	ГОСТ 10885—85	От — 20 до + 425	Не ограничено	ГОСТ 10885—85	пп. 1, 2, 3, 5
16ГС-6+08Х13, 09Г2С-6+08Х13 ГОСТ 10885—85		От — 40 до + 200			
16ГС-3+08Х13, 09Г2С-3+08Х13 ГОСТ 10885—85		От — 30 до + 200			
16ГС-17+08Х13, 09Г2С-17+08Х13 ГОСТ 10885—85		От — 40 до + 475			
09Г2С категорий 7, 8, 9 в зависимости от температуры стенки с плакирующим слоем из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85		От — 70 до + 200			пп. 1, 4, 5
16ГС-6, 09Г2С-6 с плакирующим слоем из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т	ГОСТ 10885—85	От — 40 до + 200	Не ограничено	ГОСТ 10885—85	
08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85					пп. 1, 3, 5
16ГС-3, 09Г2С-3 с плакирующим слоем из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85		От — 30 до + 200			

Продолжение табл. 2.3

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
16ГС-17, 09Г2С-17 с плакирующим слоем из сталей марок 12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, 06ХН28МДТ, ГОСТ 10885—85	ГОСТ 10885—85	От — 40 до + 425	Не ограничено	ГОСТ 10885—85	пп. 1, 2, 4, 5
12МХ+08Х13 ГОСТ 10885—85	ГОСТ 10885—85	От — 40 до + 540	Не ограничено	ГОСТ 10885—85 и п. 2.2.6 ОСТ 26-291—94	п. 1
12ХМ+08Х13 ГОСТ 10885—85		От — 40 до + 560			
15Г2СФ с плакирующим слоем из сталей марок 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т, ТУ 14-1-4688—89; ТУ 14-1-4212—87	ТУ 14-1-4212—87; ТУ 14-1-4688—89	От — 40 до + 425		ГОСТ 5520—79	—
20К+НМжМц 28-2,5-1,5 ТУ 14-1-1034—74; ГОСТ 10885—85	ТУ 14-1-1034—74; ГОСТ 10885—85	От — 20 до + 425	5(50)	ТУ 14-1-1034—74	—
12ХМ+08Х18Н10Т ГОСТ 10885—85; ТУ 14-1-2726—79 (изм. 1)	ГОСТ 10885—85; ТУ 14-1-2726—79	От — 40 до + 560	Не ограничено	ГОСТ 10885—85; ТУ 14-1-2726—79	п. 1

Примечания.

1. При заказе листов из двухслойной стали по ГОСТ 10885—85 толщиной более 25 мм, предназначенных для сосудов и аппаратов, работающих под давлением более 4 МПа (40 кгс/см^2), необходимо требовать сцепления слоев по первому классу сплошности.

2. Допускается применять двухслойные стали с коррозионностойким слоем из сталей марок 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М3Т, 10Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т при температуре стенки, не превышающей максимально допустимую для стали основного слоя, при толщине плакирующего слоя не более 15% от общей толщины, но не более 8 мм.

3. При толщине двухслойных листов менее 10 мм допускается применение основного слоя сталей по ГОСТ 14637—89 и ГОСТ 5520—79 категории 2 вместо сталей категорий 3, 4, 5, 6. При толщине двухслойных листов менее 12 мм допускается применение сталей основного слоя категорий 3 и 4 вместо категорий 6 и 5 соответственно.

4. По согласованию со специализированной научно-исследовательской организацией допускается применение двухслойных сталей с основным слоем из сталей марок 16ГС, 09Г2С по ГОСТ 5520—79 и ГОСТ 19281—73 категорий 12, 13, 14 и 15 (в зависимости от температуры стенки, если она ниже 0° С) вместо стали категории 17.

5. Испытания проводятся полистно на предприятии-поставщике металла при температуре стенки ниже – 30° С, выше 200° С при давлении более 5 МПа (50 кгс/см^2) при толщине листа 12 мм и более.

Таблица 2.4

Механические свойства листовой стали

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (*d* – диаметр оправки, *a* – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	—20	— 40	— 70			
Ст3кп2 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89	ГОСТ 14637—89	Горячекатаное	До 20	235 (24)	360—460	27	—	—	—	—	—	—	—
			Св. 20 до 40	225 (23)		26							
			Св. 40 до 100	215 (22)	(37—47)	24							
			Св. 100	195 (20)		24							
Ст3пс2; Ст3сп2 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89			До 20	245 (25)	370—480	26	—	—	—	—	—	—	—
			Си. 20 до 40	235 (24)		25							
			Св. 40 до 100	225 (23)	(38—49)	23							
			Св. 100	205 (21)		23							
Ст3сп4; Ст3пс4 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89			До 20	245 (25)	370—480	26	—	39(4) при s=5—9 мм; 29(3) при s=10—30 мм	—	—	—	—	—
			Св. 20 до 40	235 (24)		25							
			Св. 40 до 100	225 (23)	(38—49)	23							
			Св. 100	205 (21)		23							
Ст3Гпс4 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—80			До 20	245 (25)	370—490	26	39(4) при s=5—9 мм 29(3) при s=10—30 мм	—	—	—	—	*d* =0,5a при s ≤20 мм: *d* =1,5a при s >20 мм	—
			Со. 20 до 40	235(24)		25							
			Св. 40 до 100	225 (23)	(38—50)	23							
			Св. 100	205 (21)		23							

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+20	—20	—40	—70			
Ст3пс3: Ст3сп3 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89	ГОСТ 14637—89	Горячекатаное	До 20	245 (25)	370—480	26	78(8) при s=5—9 мм; 69(7) при s=10—25 мм;	—	—	—	—	—	—
			Св. 20 до 40	235 (24)		25							
			Св. 40 до 100	225 (23)	(38—49)	23							
			Св. 100	205 (21)		23							
Ст3Гпс3 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89	ГОСТ 14637—89		До 20	245 (25)	370—490	26	49 (5) при s=26—40 мм	—	—	—	—	—	—
			Св. 20 до 40	235 (24)		25							
			Св. 40 до 100	225 (23)	(38—50)	23							
			Св. 100	205 (21)		23							
Ст3сп5: Ст3пс5 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89	ГОСТ 14637—89		До 20	245 (25)	370—480	26	—	39(4) при s=5—9 мм; 29(3) при s=10—25 мм	—	—	39(4) при s=5—9 мм; 29(3) при s=10—25 мм	d=0,5a при s≤20 мм:	—
			Св. 20 до 40	235 (24)		26							
			Св. 40 до 100	225 (23)	(38—49)	23							
			Св. 100	205 (21)		23							
Ст3пс5 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89	ГОСТ 14637—89		До 20	245 (25)	370—490	26	—	39(4) при s=5—9 мм; 29(3) при s=10—30 мм	—	—	39(4) при s=5—9 мм; 29(3) при s=10—30 мм	d=1,5a при s >20 мм	—
			Св. 20 до 40	235 (24)		25							
			Св. 40 до 100	225 (23)	(38—50)	23							
			Св. 100	205 (21)		23							

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (*d* – диаметр оправки, *a* – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
Ст4сп3 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89	ГОСТ 14637—89	Горячекатаное	До 20 Св. 20 до 40 Св. 40 до 100 Св. 100	265 (27) 255 (26) 245 (25) 235 (24)	410—530 (42—54)	24 23 21 21	69(7) при s =5—9 мм; 59(6) при s=10—25 мм; 39(4) при s=26—40 мм	—	—	—	—	—	—
08кп ГОСТ 1050—88	В. Г., группа III по ГОСТ 9045—80	Холоднокатаное термически обработанное	0,5—1,5 1,5—2,0 2,0—3,0		255—363 (26—37)	26 28 30	—	—	—	—	—	—	—
20ЮЧ ТУ 14-1-4853—90	ТУ 14-1-4853—90	Горячекатаное	10—160	235 (24)	410 (42)	23	—	—	49 (5)	—	29 (3)	*d* = 1,5a при s<30 мм; *d* = 2a при s >30 мм	—
Ст3пс ГОСТ 380—94	Группа 1 по ТУ 14-1--3023—80	—	До 10 Св. 10 до 20	235 (24)	360 (37) 350 (36)	24 23	—	—	—	—	—	—	—
	Группа 2 по ТУ 14-1--3023—80	—	До 10 Св. 10 до 20	275 (28) 265 (27)	370 (38) 350 (36)	24 23	—	—	—	—	—	—	—
Ст3сп; Ст3Гпс ГОСТ 380—94	Группа 1 по ТУ 14-1-3023—80 гр. 1	—	До 10 Св. 10 до 20	245 (25) 235 (24)	370 (38) 360 (37)	24 23	—	—	—	—	—	—	—
	Группа 2 по ТУ 14-1-3023—80	—	До 10 Св. 10 до 20	275 (28) 265 (27)	385 (39) 370 (38)	24 23	—	—	—	—	—	—	—

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (*d* – диаметр оправки, *a* – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
15Г2СФ ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89	Горячекатаное или термически обработанное	До 10 Св. 10 до 40	390 (40)	510 (52)	19	—	—	44 (4,5) 39 (4)	34 (3,5) 29 (3)	29 (3)	*d* =2a	—
15Г2СФ ТУ 14-1-4502—88	ТУ 14-1-4502—88	Термически обработанное	34—50	392 (40)	548 (55)	18	59 (6)	—	34 (3,5)	29 (3) при –60 °С	—	—	—
10Х2ГНМА-А ТУ 108.11.928—87	ГОСТ 108.11.928—87	Термически обработанное	20—50 51—80 81—100 111—240	461 (47) 441 (45) 412 (42) 353 (36)	608 (62) 568 (58) 549 (56) 490 (50)	18	98 (10) 78 (8)	—	39 (4)	39 (4) 29 (3)	—	*d* =2a *d* =2,5a *d* =3a	—
10Х2ГНМ ТУ 14-1-5117—92	ТУ 14-1-5117—92	Нормализация + отпуск	10—20 21—50 51—80 81—110 111—200	530 (54) 460 (47) 430 (44) 410 (42) 335 (34)	640 (65) 590 (60) 570 (58) 550 (56) 490 (50)	18	98 (10) 98 (10) 78 (8) 78 (8) 78 (8)	—	39 (4) 39 (4) 39 (4) 39 (4) 39 (4)	39 (4) 29 (3)	—	*d* =2a *d* =2a *d* =2,5a *d* =3a *d* =3a	—
10Х2ГНМ ТУ 14-1-5117—92	ТУ 14-1-5117—92	Закалка + отпуск	10—20 21—50 51—80 81—110 111—200	590 (60) 540 (55) 510 (52) 490 (50) 440 (45)	740 (75) 685 (70) 645 (66) 630 (64) 570 (58)	18	98 (10) 98 (10) 78 (8) 78 (8) 78 (8)	—	39 (4)	78 (8) 78 (8) 39 (4) 39 (4) 29 (4)	—	*d* =2a *d* =2a *d* =2,5a *d* =3a *d* =3a	—
16ГМЮЧ ТУ 14-1-4826—40	ТУ 14-1-4826—90	Термически обработанное	—	275 (28)	450 (46)	20	59 (6)	—	29 (3) при —50°С	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (*d* – диаметр оправки, *a* – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
18К-3 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	Нормализованное	До 20	275 (28)	431—519 (44—53)	20	59 (6)	—	—	—	—	—	—
			От 21 до 40	265 (27)									
			От 41 до 60	255 (26)									
18К-5 ГОСТ 5520—79			До 20	275 (28)			—	29 (3)	—	—	—	*d* =2,5a	—
			От 21 до 40	265 (27)									
			От 41 до 60	255 (26)									
18К-11 ГОСТ 5520—79			До 20	275 (28)			—	29 (3)	—	—	29 (3)		—
			От 21 до 40	265 (27)									
			От 41 до 60	255 (26)									
20К-3 ГОСТ 5520—79			До 20	245 (25)	402—509 (41—52)	25	59 (6)	—	—	—	—	—	—
			От 21 до 40	235 (24)		24	54 (5,5)						
			От 41 до 60	225 (23)		23	49 (5)						
20К-5 ГОСТ 5520—79		Без нормализации	До 20	245 (25)		25	—	29 (3)	—	—	—	*d* =1,5a при s ≤30 мм	—
			От 21 до 40	235 (24)		24							
			От 41 до 60	225 (23)		23							

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
20К-11 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	Без нормализации	До 20 От 21 до 40 От 41 до 60	245 (25) 235 (24) 225 (23)		25 24 23	—	29 (3)	—	—	29 (3) 24 (2,5) 24 (2,5)	d =2,5a при s >30 мм	—
20К ТУ 14-1-3922—75; ТУ 14-1-4088—86	ТУ 14-1-3922—75	Горячекатаное	60—160	205 (21)	392 (40)	20	49 (5)	—	—	—	29 (3)	d =2a	—
	ТУ 14-1-4088—86		4—20 21—40 41—60	245 (25) 230 (23,5) 225 (23)	410—520 (41—52)	25 24 23	—	29 (3)	—	—	—		—
22К ГОСТ 5520—79; ТУ 108.11. 543—80	ГОСТ 5520—79	При толщине до 35 мм термически обработанное или без термической обработки; при толщине не более 35 мм — без термической обработки	До 60 Св. 60	265 (27) 255 (26)	431—590 (44—60)	22	58 (6)	—	—	—	29 (3)	d =2a при s≤70 мм	—

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
16К-3 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	Нормализованное	До 20 21—40 41—60	255 (26) 245 (25) 235 (24)	402—490 (41—50)	22	69 (7)	—	—	—	—	—	—
16К-5 ГОСТ 5520—79			До 20 21—40 41—60	255 (26) 245 (25) 235 (24)			—	29 (3)	—	—	—	— d =2a	—
16К-11 ГОСТ 5520—79			До 20 21—40 41—60	255 (26) 245 (25) 235 (24)			—	29 (3)	—	—	34 (3,5)	—	—
16ГС-3 ГОСТ 5520—79		Горячекатаное или термически обработанное	До 5 5—10 10—20 21—32 33—60 61—100	325 (33) 325 (33) 315 (32) 295 (30) 285 (29) 275 (28)	490 (50) 490 (50) 480 (49) 470 (48) 460 (47) 450 (46)	21	59 (6)	—	—	—	—	—	—
16ГС-6 ГОСТ 5520—79			До 5 5—10 10—20 21—32 33—60 61—100	325 (33) 325 (33) 315 (32) 295 (30) 285 (29) 275 (28)	490 (50) 490 (50) 480 (49) 470 (48) 460 (47) 450 (46)	21	—	—	— 39 (4) 29 (3) 29 (3) 29 (3) 29 (3)	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (*d* – диаметр оправки, *a* – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
16ГС-17 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	Термически обработанное	До 5 5—10 10—20 21—32 33—60 61—100	325 (33) 325 (33) 315 (32) 295 (30) 285 (29) 275 (28)	490 (50) 490 (50) 480 (49) 470 (48) 460 (47) 450 (46)	21	—	—	— 39 (4) 29 (3) 29 (3) 29 (3) 29 (3)	—	—	*d* =2a	Предел текучести не менее: 230 МПа при 250°С, 200 МПа при 300°С, 180 МПа при 350°С, 160 МПа при 400°С
09Г2С-3 ГОСТ 5520—79		Горячекатаное или термически обработанное	До 5 5—10 10—20 21—32 33—60 61—80 81—160	345 (35) 345 (35) 325 (33) 305 (31) 285 (29) 275 (28) 265 (27)	490 (50) 490 (50) 470 (48) 460 (47) 450 (46) 440 (45) 430 (44)	21	— 64 (6,5) 59 (6) 59 (6) 59 (6) 59 (6) 59 (6)	—	—	—	—	—	—
09Г2С-6 ГОСТ 5520—79			До 5 5—10 10—20 21—32 33—60 61—80 81—160	345 (35) 345 (35) 325 (33) 305 (31) 285 (29) 275 (28) 265 (27)	490 (50) 490 (50) 470 (48) 460 (47) 450 (46) 440 (45) 430 (44)	21	—	—	— 39 (4) 34 (3,5) 34 (3,5) 34 (3,5) 34 (3,5) 34 (3,5)	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
09Г2С-7, 8, 9 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	Горячекатаное или термически обработанное	До 5	345 (35)	490 (50)	21	—	—	—	—	—	—	Значения ударной вязкости для стали марки 09Г2С-7 при —50°С и стали марки 09Г2С-8 при —60°С не ниже значений при —70°С
			5—10	345 (35)	490 (50)					34 (3,5)			
			10—20	325 (33)	470 (48)					29 (3)			
			21—32	305 (31)	460 (47)					29 (3)			
			33—60	285 (29)	450 (46)					29 (3)			
			61—80	275 (28)	440 (45)					29 (3)			
			81—160	265 (27)	430 (44)					29 (3)			
09Г2С-17 ГОСТ 5520—79			До 5	345 (35)	490 (50)	21	—	—	—	—	29 (3)	—	Предел текучести не менее: 230 МПа при 250°С, 200 МПа при 300°С, 180 МПа при 350°С, 160 МПа при 400°С
			5—10	345 (35)	490 (50)					39 (4)			
			10—20	325 (33)	470 (48)					34 (3,5)			
			21—32	305 (31)	460 (47)					34 (3,5)			
			33—60	285 (29)	450 (46)					34 (3,5)			
			61—80	275 (28)	440 (45)					34 (3,5)			
			81—160	265 (27)	430 (44)					34 (3,5)			

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
09Г2С ТУ 14-1-3832—84	ТУ 14-1-3832—84	Термообработанное	12—20 21—32 33—60 61—80 81—120	325 (33) 305 (31) 285 (29) 275 (28) 265 (27)	470 (48) 460 (47) 450 (46) 440 (45) 430 (44)	21	78 (8)	—	59 (6)	39 (4)	39 (4)	—	—
16ГС ТУ 14-1-3832—84	ТУ 14-1-3832—84		12—20 21—32 33—60 61—120	315 (32) 295 (30) 285 (29) 275 (28)	480 (49) 470 (48) 460 (47) 450 (46)		—	—	—	—	—	—	—
10Г2С1-3 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	Термически обработанное	До 5 5—10 10—20 21—32 33—60 61—80 81—100	355 (36) 345 (35) 335 (34) 325 (33) 325 (33) 295 (30) 295 (30)	490 (50) 490 (50) 480 (49) 470 (48) 450 (46) 430 (44) 430 (44)	21	— 64 (6,5) 59 (6) 59 (6) 59 (6) 59 (6) 59 (6)	—	—	—	—	—	—
10Г2С1-7, 8, 9 ГОСТ 5520—79			До 5 5—10 10—20 21—32 33—60 61—80 81—100	355 (36) 345 (35) 335 (34) 325 (33) 325 (33) 295 (30) 295 (30)	490 (50) 490 (50) 480 (49) 470 (48) 450 (46) 430 (44) 430 (44)	21	—	—	—	— 29 (3) 24 (2,5) 24 (2,5) 24 (2,5) 24 (2,5) 24 (2,5)	—	—	Значения ударной вязкости для стали марки 10Г2С1-7 при —50°С и стали марки 10Г2С1-8 при —60°С не ниже значений при —70°С

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (*d* – диаметр оправки, *a* – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
10Г2С1-17 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	Термически обработанное	До 5 5—10 10—20 21—32 33—60 61—80 81—100	355 (36) 345 (35) 335 (34) 325 (33) 325 (33) 295 (30) 295 (30)	490 (50) 490 (50) 480 (49) 470 (48) 450 (46) 430 (44) 430 (44)	21	—	—	— 39 (4) 29 (3) 29 (3) 29 (3) 29 (3) 29 (3)	—	29 (3)	—	Предел текучести не менее: 260 МПа при 250°С, 230 МПа при 300°С, 210 МПа при 350°С, 180 МПа при 400°С
17ГС ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79	Термически обработанное	До 5 5—10 10—20	345 (35) 345 (35) 335 (34)	510 (51) 510 (52) 490 (50)	23	—	—	— 44 (4,5) 34 (3,5)	—	29 (3)	—	—
17Г1С ГОСТ 5520—79			До 5 5—10 10—20	355 (36) 355 (36) 345 (35)	510 (52)	23	—	—	— 44 (4,5) 39 (4)	—	29 (3)	—	—
14Г2 ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89	Термически обработанное или горячекатаное	До 5 5—10 10—20 21—32 33—60	325 (33)	450 (46)	21	59 (6)	—	39 (4) 39 (4) 34 (3,5) 29 (3) 29 (3)	29 (3) 24 (2,5)	29 (3)	—	—

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+20	—20	—40	—70			
12МХ ГОСТ 20072—74	ТУ 14-1-642—73	Термически обработанное	4—60	235 (24)	440 (45)	24	59 (6)	—	—	—	—	d = 2a	—
12ХМ ТУ 14-1-642—73						22							
12ХМ-3 ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5520—79		4—50	245 (25)	440—560 (44—56)	22	59 (6)	—	—	—	—	d = 2a	—
			51—100	235 (24)	430 (44)	20	49 (5)					d = 2,5a	
			101—160	225 (23)	420 (43)	18	39 (4)					d = 3a	
12ХМ ТУ 14-1-2304—78	ТУ 14-1-2304—78		10—50	245 (25)	440 (45)	22	59 (6)	—	—	—	—	d = 2a	—
			51—100	235 (24)	430 (44)	20	49 (5)					d = 2a	
			101—160	225 (23)	420 (43)	18	39 (4)					d = 3a	
12ХМ ТУ 302.02.031—89; ГОСТ 5520—79	ТУ 302.02.031—89	Термически обработанное	20—50	245 (25)	440 (45)	22	34 (3,5)	—	—	—	—	d = 2a для термически обработанных листов	—
			51—100	235 (24)	430 (44)	20	34 (3,5)						
			101—160	225 (23)	420 (43)	18	34 (3,5)						
15Х5М ГОСТ 20072—74	Группа М2б по ГОСТ 7350—77		50	236 (24)	470 (48)	18	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+20	—20	—40	—70			
10Х2М1А-ВД-Ш ТУ 302.02 121—91	ТУ 302.02 121—91	Термически обработанное	30—150	310 (31,5)	490 (50)	18	49 (5)	—	29 (3)	—	—	d = 2a, на изгиб в холодном состоянии угол 90°	—
10Х2М1А-А ТУ 302.02. 128—91	ТУ 302.02.128—91		20—80	390 (39,7)	490 (50)	18	64 (6,5)	—	49 (5)	—	—	—	—
09Х2НАБЧ ТУ 14-1--3333—82	ТУ 14-1-3333—82	Нормализованное	7—100	314 (32)	490 (50)	22	—	—	49 (5)	34 (3,5) при –60°С	29 (3)	d = 2a при s>30 мм	—
15Х2МФА-А ТУ 302.02.014—89	ТУ 302.02.014—89	Термически обработанное	30—160	390 (40)	490—735 (50—75)	14	49 (5)	—	—	—	—	—	$T_{Ко}$≤0°С
12Х2МФА ТУ 108.131—86	ТУ 108.131—86		60—300	431 (44)	539—735 (55—75)								

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
14Г2 ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89	Горячекатаное или термически обработанное	До 5 6—10 11—20 21—32 33—60	325 (33)	450 (46)	21	59 (6)	—	39 (4) 39 (4) 34 (3,5) 29 (3) 29 (3)	29 (3) 29 (3) 29 (3) 24 (2,5) 24 (2,5)	29 (3)	d = 2a	—
10ХСНД ГОСТ 19281—89			До 5 5—10	390 (40)	510 (51)	19	—	—	44 (4,5) 44 (4,5)	34 (3,5) 34 (3,5)	—	d = 2a	—
10ХСНД ГОСТ 19281—89			10—15 15—32 32—40	390 (40)	510 (51)	19	—	—	39 (4) 39 (4) 39 (4)	29 (3) 29 (3) 29 (3)	29	—	—
15ХСНД ГОСТ 19281—89			До 5 6—10 11—20 21—32	345 (35)	490 (50)	21	64 (6,5)	—	39 (4) 39 (4) 29 (3) 29 (3)	29 (3) 29 (3) 29 (3) 29 (3)	29	d = 2a	—
09Г2ФБ, 10Г2ФБ ТУ 14-1-4083—86	ТУ 14-1-4083—86	Контролируемая прокатка	4—9	450 (46)	550 (56)	22	—	—	—	59 (6) при –60°С	—	—	—
			10—28	430 (44)	520 (53)	17	—	—	—	39 (4) при –60°С	—	—	Ударная вязкость KCU 59 Дж/см^2 (6 кгс·м/см^2) при – 15°С

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
09Г2БТ, 10Г2БТ ТУ 14-1-4083—86	ТУ 14-1-4083—86	Контролируемая прокатка	10—28	430 (44)	520 (53)	17	—	—	—	39 (4)	—	—	Ударная вязкость KCU 59 Дж/см^2 (6 кгс·м/см^2) при – 15°С
07ГФБ-У ТУ 14-1-4083—86			10—28	340 (35)	470 (48)	16	—	—	—	—	—	—	Ударная вязкость KCU 59 Дж/см^2 (6 кгс·м/см^2) при – 15°С
Д-40 ГОСТ 5521—86	ГОСТ 5521—86	Термически обработанное или без термической обработки	5—7 7,5—9,5 10—32	390 (40)	530—690 (54—70)	19	—	—	—	—	—	—	Работа удара KV при температурах 0, —20, —40°С 25Дж (2,5 кгс·м) для s=5—7мм, 30Дж (3,1 кгс·м) для s=7,5—9,5 мм, 36Дж (3,7 кгс·м) для s=10 и более мм

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (*d* – диаметр оправки, *a* – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+20	—20	—40	—70			
Е-40 ГОСТ 5521—86	ГОСТ 5521—86	Термически обработанное или без термической обработки	10—32	390 (40)	530—690 (54—70)	19	—	—	—	—	—	—	Работа удара KV при температурах 0, —20, —40°С 25Дж (2,5 кгс·м) для s=5—7мм, 30Дж (3,1 кгс·м) для s=7,5—9,5 мм, 36Дж (3,7 кгс·м) для s=10 и более мм
А ГОСТ 5521—86			4—60				—	—	—	—	—	—	—
В ГОСТ 5521—86			5—7 7,5—9,5 10—40	235 (24)	400—490 (41—50)	22	—	—	—	—	—	—	Ударная вязкость KCU при +20°С 19Дж/см^2 (1,9 кгс·м/см^2) при s=5—7мм, 24Дж/см^2 (2,4 кгс·м/см^2) для s=7,5—9,5 мм, 27Дж/см^2 (2,8 кгс·м/см^2) для s=10—40мм

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
Е-32 ГОСТ 5521—86	ГОСТ 5521—86	Термически обработанное или без термической обработки	5—7 7,5—9,5 10—40	315 (32)	470—590 (48—60)	22	—	—	—	—	—	—	Работа удара KV при температурах 0, —20, —40°С 22Дж (2,2 кгс·м) для s=5—7мм, 26Дж (2,7 кгс·м) для s=7,5—9,5 мм, 31Дж (3,2 кгс·м) для s=10 мм и более
Д-32 ГОСТ 5521—86			5—7 7,5—9,5 10—40				—	—	—	—	—	—	Работа удара KV при температурах 0, —20, —40°С 22Дж (2,2 кгс·м) для s=5—7мм, 26Дж (2,7 кгс·м) для s=7,5—9,5 мм, 31Дж (3,2 кгс·м) для s=10 мм и более

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (*d* – диаметр оправки, *a* – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
10Х14Г-14Н4Т ГОСТ 5632—72	Группа М26 по ГОСТ 7350—77	Термически обработанное	6—50	245 (25)	590 (60)	40	—	—	—	—	—	—	—
08Х22Н6Т ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-2676—79		4—50 20—50	345 (35) 345 (35)	440 (45) 590 (60)	18 13	59 (6)	—	—	—	—	—	—
02Х8Н22С6 ТУ 14-1-3802—84; ТУ 14-1-3801—84	ТУ 14-1-3802—84		1,5—3,9	195 (20)	540 (55)	40	—	—	—	—	—	—	—
	ТУ 14-1-3801—84		4—11										
08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5582—75		1,5—3,9	—	509 (52)	45	—	—	—	—	—	—	—
12Х18Н9Т ГОСТ 5632—72	Группа М26 по ГОСТ 7350—77		4—50	220 (22)	530 (54)	43	—	—	—	—	—	—	—
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	Группа 1 ТУ 14-1-394—72		4—50	216 (22)	—	38	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5582—75	Термически обработанное	0,7—3,9	205 (21)	530 (54)	40	—	—	—	—	—	—	—
12Х18Н10Т ТУ 108-1151—82, ТУ 14-1-2542—78, ТУ 108-930—80	ТУ 14-1-1151—82		40—160	236 (24)	530 (54)	38	—	—	—	—	—	—	—
	ТУ 14-1-2542—78		4—120										
	ТУ 108-930—80		51—160	196 (20)	490 (50)	35—38	—	—	—	—	—	—	—
08Х13 ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5582—75		1,5—3,9	—	40	21	—	—	—	—	—	—	—
20Х13 ГОСТ 5632—72	Группа М26 по ГОСТ 7350—77	Термически обработанное	4—50	372 (38)	509 (52)	20	—	—	—	—	—	—	—
08Х17Т ГОСТ 5632—72			4—50	—	431 (44)	18	—	—	—	—	—	—	—
15Х25Т ГОСТ 5632—72			4—50	—	440 (45)	14	20 (2)	—	—	—	—	—	—

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
ХН32Т ТУ 14-1-625—73	ТУ 14-1-625—73	Термически обработанное и травленое	5—20	176 (18)	490 (50)	30	—	—	—	—	—	—	—
12Х13 ГОСТ 5632—72	Группа М26 по ГОСТ 7350—77	Термически обработанное	4—50	335 (34)	—	21	—	—	—	—	—	—	—
08Х18Н12Б ГОСТ 5632—72			4—50	206 (21)	509 (52)	40	—	—	—	—	—	—	—
10Х17Н13-М2Т ГОСТ 5632—72			4—50	236 (24)	530 (54)	37	—	—	—	—	—	—	—
08Х17Н13-М2Т ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-394—72		50—75	196 (20)	509 (52)	40	—	—	—	—	—	—	—
10Х17Н13-М3Т ГОСТ 5632—72	Группа М26 по ГОСТ 7350—77		4—50	236 (24)	530 (54)	37	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180 °, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
08Х17Н15-М3Т ГОСТ 5632—72	Группа М26 по ГОСТ 7350—77	Термически обработанное	4—50	196 (20)	509 (52)	40	—	—	—	—	—	—	—
03ХН28-МДТ ГОСТ 5632—72			4—50	220 (22)	550 (55)	35	—	—	—	—	—	—	—
03Х17Н14М3 ТУ 14-1-1154—74; ТУ 14-1-692—73; ТУ 14-1-2144—77; ТУ 14-1-3120—80	ТУ 14-1-1154—74		8—20	196 (20)	490 (50)	40	—	—	—	—	—	—	α-фаза – 0,5 балла
	ТУ 14-1-692—73		0,8—3,9										
	ТУ 14-1-2144—77		20—50										
	ТУ 14-1-3120—80		5—20										
15Х18Н12-С4ТЮ ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-1410—75	Нагартованное	1,2—3,0	588 (60)	784 (80)	10	—	—	—	—	—	—	α-фаза – 0,5 балла
	ТУ 14-1-1410—75	Термически обработанное	1,2—3,0	345 (35)	784 (80)	10	—	—	—	—	—	—	α-фаза – 0,5 балла
	ТУ 14-1-1337—75		1,5—3,9	196 (20)	539 (55)	40	—	—	—	—	—	—	

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d – диаметр оправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после механического старения		
							+ 20	— 20	— 40	— 70			
08Х21Н6-М2Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 7350—77	Темически обработанное	4—50	360 (40)	688 (70)	14	59 (6)	—	—	—	—	—	При s>25 мм механические свойства не нормируются, но проверяются
	ТУ 14-1-894—74		5—20										
	ТУ 14-1-2676—79		20—50										
03Х19АГ3Н10 ТУ 14-1-2261—77	ТУ 14-1-2261—77		6—20	—	637 (65)	45	—	—	—	—	—	—	—
03Х21Н21М4ГБ ГОСТ 5632—72	ГОСТ 7350—77		10—20	294 (30)	588 (60)	30	—	—	—	—	—	—	—
08Х18Г8Н2Т ГОСТ 5632—72			5—20	343 (35)	588 (60)	20	59 (6)	—	—	—	—	—	—
07Х13АГ20 ТУ 14-1-2640—79; ТУ 14-1-3342—82	ТУ 14-1-2640—79		6—20	343 (35)	657 (67)	40	—	—	—	—	—	—	Ударная вязкость KCU 98 Дж/см^2 (10 кгс·м/см^2) при —196 °С
	ТУ 14-1-3342—82												

Продолжение табл. 2.4

Марка стали, обозначение ста ндартов или технических условий	Технические тр ебования	Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текуч ести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопроти вление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удл инение δ_5, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее					Изгиб в холо дном состо янии на 180 °, мм (d – диаметр отправки, a – толщина образца)	Примечание
							при температуре, °С				после мех анического стар ения		
							+20	—20	—40	—70			
08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	Группа М2б по ГОСТ 7350—77	Темически обрабо-танное	4—50	206 (21)	509 (52)	43	—	—	—	—	—	—	—
	Группа А по ТУ 14-1-394—72		50—75										
08Х18Н10Т ГОСТ 5582—75	ГОСТ 5582—75	Термически обработанное	0,7—3,9	—	510 (52)	45	—	—	—	—	—	—	—
08Х18Н10Т ТУ 14-1-3199—81; ТУ 14-1-3108—80; ТУ 14-1-2542—78; ТУ 108-930—80; ТУ 108-1151—82	ТУ 14-1-3199—81		0,5—3,0	270 (27,5)	519 (53)	40	—	—	—	—	—	—	—
	ТУ 14-1-3108—80		0,5: 3,0: 3,8—4,2	—	500 (51)	40	—	—	—	—	—	—	—
	ТУ 14-1-2542—78		4—12	206 (21)	509 (52)	43	—	—	—	—	—	—	—
	ТУ 108-930—80		50—160	196 (20)	490 (50)	35—38	—	—	—	—	—	—	—
	ТУ 108-1151—82		40—160	206 (21)	509 (52)	43	—	—	—	—	—	—	—
03Х18Н11 ТУ 14-1-3071—80; ТУ 14-1-2144—74	ТУ 14-1-3071—80		6—20	196 (20)	509 (52)	45	—	—	—	—	—	—	—
	ТУ 14-1-2144—74		20—50	192 (19,5)	480 (49)	40	—	—	—	—	—	—	—
02Х18Н11 ТУ 14-1-3071—80	ТУ 14-1-3071—20		6—20	196 (20)	509 (52)	45	—	—	—	—	—	—	—

Механические свойства стали листовой двухслойной (ОСТ 26-291—94)

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Обозначение стандарта на марку стали		Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение, δ_5, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/мм^2), не менее			Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d — диаметр оправки, a — толщина образца)
	основного слоя	коррозионностойкого слоя						при 20°С	после механического старения	при нижнем пределе применения	
Ст3сп3 + 08Х13, Ст3сп3 + 12Х18Н10Т, Ст3сп3 + 08Х18Н10Т, Ст3сп3 + 10Х17Н13М2Т, Ст3сп3 + 08Х17Н15М3Т, Ст3сп3 + 06ХН28МДТ, Ст3сп4 + 08Х13, Ст3сп4 + 10Х17Н13М3Т, Ст3сп4 + 10Х17Н13М2Т, Ст3сп4 + 08Х17Н15М3Т, Ст3сп4 + 06ХН28МДТ, Ст3сп5 + 12Х18Н10Т, Ст3сп5 + 10Х17Н13М3Т ГОСТ 10885—85	ГОСТ 14637—89	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	4—120	По ГОСТ 14637—89 для стали Ст3сп (см. таблицу 2.4)						
Ст3сп5 + 10Х17Н13М2Т, Ст3сп5 + 08Х17Н15М3Т, Ст3сп5 + 08Х18Н10Т, Ст3сп5 + 06ХН28МДТ, Ст3сп6 + 12Х18Н10Т, Ст3сп6 + 08Х18Н10Т, Ст3сп6 + 10Х17Н13М3Т, Ст3сп6 + 10Х17Н13М2Т, Ст3сп6 + 08Х17Н15М3Т, Ст3сп6 + 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85	ГОСТ 14637—89	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	4—120	По ГОСТ 14637—89 для стали Ст3сп (см. таблицу 2.4)						
20К-3 + 08Х13, 20К-3 + 12Х18Н10Т, 20К-3 + 08Х18Н10Т, 20К-3 + 10Х17Н13М3Т, 20К-3 + 10Х17Н13М2Т, 20К-3 + 10Х17Н15М3Т, 20К-3 + 06ХН28МДТ, 20К-5 + 08Х13, 20К-5 + 12Х18Н10Т, 20К-5 + 08Х18Н10Т, 20К-5 + 10Х17Н13М3Т ГОСТ 10885—85	ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	4—120	По ГОСТ 5520—79 для стали 20К (см. таблицу 2.4)						

Продолжение табл. 2.5

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Обозначение стандарта на марку стали		Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение, δ_5, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/мм^2), не менее			Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d — диаметр оправки, a — толщина образца)
	основного слоя	коррозионностойкого слоя						при 20°С	после механического старения	при нижнем пределе применения	
Ст3сп3 + 08Х13, Ст3сп3 + 12Х18Н10Т, Ст3сп3 + 08Х18Н10Т, Ст3сп3 + 10Х17Н13М2Т, Ст3сп3 + 08Х17Н15М3Т, Ст3сп3 + 06ХН28МДТ, Ст3сп4 + 08Х13, Ст3сп4 + 10Х17Н13М3Т, Ст3сп4 + 10Х17Н13М2Т, Ст3сп4 + 08Х17Н15М3Т, Ст3сп4 + 06ХН28МДТ, Ст3сп5 + 12Х18Н10Т, Ст3сп5 + 10Х17Н13М3Т ГОСТ 10885—85	ГОСТ 14637—89	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	4—120	По ГОСТ 14637—89 для стали Ст3сп (см. таблицу 2.4)						
Ст3сп5 + 10Х17Н13М2Т, Ст3сп5 + 08Х17Н15М3Т, Ст3сп5 + 08Х18Н10Т, Ст3сп5 + 06ХН28МДТ, Ст3сп6 + 12Х18Н10Т, Ст3сп6 + 08Х18Н10Т, Ст3сп6 + 10Х17Н13М3Т, Ст3сп6 + 10Х17Н13М2Т, Ст3сп6 + 08Х17Н15М3Т, Ст3сп6 + 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85	ГОСТ 14637—89	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	4—120	По ГОСТ 14637—89 для стали Ст3сп (см. таблицу 2.4)						
20К-3 + 08Х13, 20К-3 + 12Х18Н10Т, 20К-3 + 08Х18Н10Т, 20К-3 + 10Х17Н13М3Т, 20К-3 + 10Х17Н13М2Т, 20К-3 + 10Х17Н15М3Т, 20К-3 + 06ХН28МДТ, 20К-5 + 08Х13, 20К-5 + 12Х18Н10Т, 20К-5 + 08Х18Н10Т, 20К-5 + 10Х17Н13М3Т ГОСТ 10885—85	ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	4—120	По ГОСТ 5520—79 для стали 20К (см. таблицу 2.4)						

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Обозначение стандарта на марку стали		Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение, δ_5, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее			Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (*d* — диаметр оправки, *a* — толщина образца)
	основного слоя	коррозионностойкого слоя						при 20°С	после механического старения	при нижнем пределе применения	
09Г2С-3 + 12Х18Н10Т, 09Г2С-3 + 08Х18Н10Т, 09Г2С-3 + 10Х17Н13М3Т, 09Г2С-3 + 10Х17Н13М2Т, 09Г2С-3 + 08Х17Н15М3Т, 09Г2С-3 + 06ХН28МДТ, 09Г2С-6 + 08Х13, 09Г2С-6 + 12Х18Н10Т ГОСТ 10885—85	ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	4—120	По ГОСТ 5520—79 для стали 09Г2С (см. таблицу 2.4)						
09Г2С-6 + 08Х18Н10Т, 09Г2С-6 + 10Х17Н13М3Т, 09Г2С-6 + 10Х17Н13М2Т, 09Г2С-6 + 08Х17Н15М3Т, 09Г2С-6 + 06ХН28МДТ, 09Г2С-7 + 08Х13, 09Г2С-7 + 12Х18Н10Т, 09Г2С-7 + 08Х18Н10Т, 09Г2С-7 + 10Х17Н13М3Т, 09Г2С-7 + 10Х17Н13М2Т, 09Г2С-7 + 08Х17Н15М3Т, 09Г2С-7 + 06ХН28МДТ, 09Г2С-8 + 12Х18Н10Т, 09Г2С-8 + 08Х18Н10Т, 09Г2С-8 + 10Х17Н13М3Т, 09Г2С-8 + 10Х17Н13М2Т ГОСТ 10885—85	ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	4—120	По ГОСТ 5520—79 для стали 09Г2С (см. таблицу 2.4)						
09Г2С-8 + 08Х17Н15М3Т, 09Г2С-8 + 06ХН28МДТ, 09Г2С-9 + 08Х13, 09Г2С-9 + 12Х18Н10Т, 09Г2С-9 + 08Х18Н10Т, 09Г2С-9 + 10Х17Н13М3Т ГОСТ 10885—85	ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	4—120	По ГОСТ 5520—79 для стали 09Г2С (см. таблицу 2.4)						

Продолжение табл. 2.5

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Обозначение стандарта на марку стали		Состояние материала	Толщина s, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение, δ_5, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее			Изгиб в холодном состоянии на 180°, мм (d — диаметр оправки, a — толщина образца)
	основного слоя	коррозионностойкого слоя						при 20°С	после механического старения	при нижнем пределе применения	
09Г2С-9 + 10Х17Н13М2Т, 09Г2С-9 + 08Х17Н15М3Т, 09Г2С-9 + 06ХН28МДТ, 09Г2С-17 + 12Х18Н10Т, 09Г2С-17 + 08Х18Н10Т, 09Г2С-17 + +10Х17Н13М3Т, 09Г2С-17 + +10Х17Н13М2Т, 09Г2С-17 + +08Х17Н15М3Т, 09Г2С-17 + 06ХН28МДТ ГОСТ 10885—85	ГОСТ 5520—79	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	4—120	По ГОСТ 5520—79 для стали 09Г2С (см. таблицу 2.4)						
12МХ + 08Х13 ГОСТ 10885—85	ГОСТ 20072	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	4—120	225 (22,5)	430 (43)	24	60 (6)	—	—	d = 2a
12ХМ + 08Х13, 12ХМ + 08Х18Н10Т ГОСТ 10885—85	ГОСТ 5520—79			4—120	По ГОСТ 5520—79 для стали 12ХМ (см. таблицу 2.4)						
12ХМ + 08Х18Н10Т ТУ 14-1-2726—79				65—120	По ГОСТ 5520—79 для стали 12ХМ (см. таблицу 2.4)						
20К + НМЖМц28-2,5-1,5 ТУ 14-1-1034—74	ГОСТ 5520—79	ГОСТ 492—73	Термически обработанное	4—120	По ГОСТ 5520—79 для стали 20К (см. таблицу 2.4)						
20К + НМЖМц28-2,5-1,5 ГОСТ 10885—85											
15Г2СФ + 08Х18Н10Т, 15Г2СФ + 12Х18Н10Т, 15Г2СФ + 10Х17Н13М2Т, 15Г2СФ + 08Х17Н15М3Т ТУ 14-1-4175—86	ГОСТ 19281—89	ГОСТ 5632—72	Термически обработанное	22—50	390 (40)	550 (56)	18	49 (5)	—	29 (3) при —40° С	ГОСТ 10885—85
15Г2СФ + 12Х18Н10Т, 15Г2СФ + 10Х17Н13М2Т, 15Г2СФ + 08Х17Н15М3Т ТУ 14-1-4212—87				8—21	По ГОСТ 19281—89 для стали 15Г2СФ (см. таблицу 2.4)						

Примечания.

1. Ударная вязкость основного слоя при нормальной и пониженной температурах нормируется для стали листовой двухслойной толщиной10 мм и более, а после механического старения —толщиной 12 мм и более.

2. Сопротивление срезу при определении прочности соединения слоев должно быть не менее 150 МПа (15 кгс/мм^2).

Таблица 2.6

Рекомендуемые состав и размеры стального листового проката, мм

Основные размеры	Листовой прокат		
	Сталь листовая горячекатаная (ГОСТ 19903—74)	Сталь листовая холоднокатаная (ГОСТ 19904—90)	Сталь листовая горячекатаная двухслойная коррозионностойкая (ГОСТ 10885—85)
Ширина	500—3800	500—2300	1200—2800
Длина	1 200—12 000	1000—6000	2000—9400
Толщина листа стали:			
углеродистой обыкновенного качества (ГОСТ 380—94)	0,5—160 (в листах) 1,2—12 (в рулонах)	0,5—5 (в листах) 0,5—3 (в рулонах)	4—160 —
Качественной углеродистой низколегированной (ГОСТ 5520—79)	4—160	—	4—160
котельной (ГОСТ 5520—79)	4—60	—	4—160
коррозионностойкой, жаростойкой и жаропрочной	1,5—3,9 (ГОСТ 5582—75) 4—50 (ГОСТ 7350—77)	0,7—3,9 (ГОСТ 5582—75) 4—5 (ГОСТ 7350—77)	— —

Таблица 2.7

Рекомендуемые размеры листовой горячекатаной стали, мм

Толщина	Ширина	Длина	Толщина	Ширина
В листах			В рулонах	
0,4–0,6	500–1000	750–2000	1,2–12,0	500–630
0,63–0,75	500–1250	710–2500	1,5–12,0	650–950
0,8–0,9	500–1250	710–2500	1,2–12,0	1000–1250
1,0	600–1250	1420–2500	1,5–12,7	1400–1500
1,2–1,4	600–1250	1420–3000	3–12	1600–1800
1,5–1,8	600–1500	1420–6000	6–10	1900–2000
2,0–2,8	600–1500	1420–6000	7–10	2100–2200
3,0–3,9	600–1800	1420–6000		
4,0–5,6	600–1800	1420–6000		
6,7–7,0	760–2000	2000–7000		
8–10	710–2500	2000–12000		
11–12	1000–2500	2000–12000		
13–25	1000–2800	2500–12000		
26–40	1250–3600	2500–12000		
42–160	1250–3800	2500–9000		

Таблица 2.8

Рекомендуемые размеры листовой холоднокатанной стали, мм

Толщина	Ширина	Длина	Толщина	Ширина
В листах			В рулонах	
0,35–0,5	500–1100	1000–3000	0,5–3,0	500–1000
0,55–0,65	500–1250	1000–3500	0,55–3,0	1100–1250
0,7–0,75	500–1420	1000–4000	0,7–3,0	1400
0,8–1,0	500–1500	1000–4000	0,7–2,5	1420
1,1 –1,3	500–1800	1000–4200	0,8–2,5	1500
1,4–2,0	500–1800	1000–6000	1,1–2,5	1600–1800
2,2–3,2	500–2300	1000–6000	2,1–2,5	1900–2300
3,5–3,9	250–2300	2000–4750		
4,0–5,0	1250–2300	3000–4500		

Таблица 2.9

Листы двухслойные коррозионностойкие

Общая толщина листов, мм	Толщина коррозионностойкого слоя, мм	Общая толщина листов, мм	Толщина коррозионностойкого слоя, мм
4	0,7—1,1	22; 24; 25; 26	3,0–4,0
4; 5	0,8—1,2	28; 30	3,5–5,0
6; 7	1,0—1,8	32; 34; 36; 38	4,0–6,0
8; 9; 10; 11; 12; 13; 14;15	2,0—3,0	40; 42; 45; 48; 50; 52; 55; 60	
16; 17; 18; 19; 20; 21	2,5—3,1		

Примечание. В двухслойной стали, изготовленной электрошлаковой сваркой, промежуточный слой относится к основному. Длина и ширина двухслойных листов соответствуют ГОСТ 19903–74.

Технологическое оборудование кроме высоких механических нагрузок испытывает в ряде случаев агрессивное воздействие коррозионноактивных сред. В этом случае агрегаты, узлы и детали оборудования должны изготавливаться из коррозионностойких сталей. В нашей стране принята десятибалльная шкала коррозионной стойкости материалов, которая приведена в табл. 2.10.

Рекомендуемые марки сталей для изготовления коррозионностойкого оборудования приведены в табл. 2.11.

В табл. 2.12 приведены сведения коррозионной стойкости различных марок сталей в тех или иных условиях эксплуатации.

Таблица 2.10

Десятибалльная шкала коррозионной стойкости

Группа стабильности	Скорость коррозии металла, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	0,001	1
Весьма стойкие	0,001 до 0,005	2
	0,005 » 0,01	3
Стойкие	0,01 » 0,05	4
	0,05 » 0,1	5
Пониженностойкие	0,1 » 0,5	6
	0,5 » 1,0	7
Малостойкие	1,0 » 5,0	8
	5,0 » 10,0	9
Нестойкие	10,0	10

Таблица 2.11

Коррозионностойкие стали, применяемые в РФ (ГОСТ 5632—72)

Структурный класс	Марка	Область применения
Ферритный	08Х13, 08Х18Т1	Изделия, подвергающиеся действию слабоагрессивных сред (атмосферные осадки, слабые растворы минеральных и органических кислот) при комнатной температуре
	15Х25Т	Детали, не подвергающиеся действию ударных нагрузок, работающие в средах окислительного характера
Аустенитный	08Х18Н10Т	Сварная аппаратура, работающая в окислительных средах типа азотной кислоты и др.
	08Х17Н13М2Т	Сварная аппаратура, работающая в кипящей фосфорной, серной, 10%-ной уксусной кислоте и сернокислых средах
	10Х14Г14М4Т	Сварная аппаратура, работающая в окислительных средах слабой агрессивности, а также при температурах до −253 °С
	03Х21Н21М4ГБ	Сварная аппаратура по производству фосфорных удобрений
Аустенитоферритный	08Х22Н6Т	Сварная аппаратура в химической, пищевой и других отраслях промышленности; является заменителем стали типа Х18Н10Т при температуре до 300 °С
	08Х21Н6М2Т	Заменитель стали 10Х17Н13М2Т
Мартенситный	20Х13, 30Х13, 40Х13	Режущий, измерительный и хирургический инструмент, упругие элементы, предметы домашнего обихода
Аустенитомартенситный	07Х16Н6	Высокопрочные штампосварные конструкции и детали, работающие в слабоагрессивных условиях
	08Х17Н5М3	Нагруженные детали, работающие в атмосферных условиях, слабоагрессивных условиях восстановительного характера
Мартенситоферритный	12Х13	Предметы домашнего обихода, изделия, работающие в слабоокислительных условиях
	14Х17Н2	Нагруженные детали, работающие в слабоагрессивных условиях окислительного характера в авиационной, химической промышленности

Таблица 2.12

Коррозионная стойкость (в баллах) сталей в различных средах

Коррозионная среда	t, °С	08Х13, 12Х13	08Х18Т1	15Х25	08Х21Н5Т	08Х21Н6М2Т	08Х18Н10Т	08Х17Н13М2Т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Азотная кислота концентрации, %:								
5	20	5	4	3	–	–	3	3
5	85	7	5	5	–	–	4	4
5	$t_{кип}$	8	7	5	–	–	–	–
10	20	5	4	4	–	3	3	–
10	85	7	5	5	4	5	5	5
10	$t_{кип}$	8	7	6	5	5–6	5–6	5–6
50	20	6	6	5	–	–	3	3
50	80	8	7	6	4	5	5	4–5
50	$t_{кип}$	9	8	7	6	6	6	6–7
65	20	6	5	5	–	–	4	4
65	85	9	8	7	5	5	5	5
65	$t_{кип}$	10	9	8	7–8	–	8	8
Серная кислота концентрации, %:								
10	20	10	10	10	5	4	5	4
10	75	10	10	10	7	6	7	7
10	$t_{кип}$	10	10	10	10	10	10	10
40	20	10	10	10	7–8	6–7	7–8	6–7
40	50	10	10	10	8	7	8	7
40	100	10	10	10	10	10	10	10
60	20	9	8	8	4	4	4	3–4
60	70	10	10	10	10	9	10	9
60	100	10	10	10	10	10	10	10
98	20	6	6	6	4	3	4	3
98	100	8	8	7	10	9	10	9
100	20	5	4	4	4	3	5	3
100	70	–	–	–	–	7	9	8
150	10	10	10	–	10	10	10	10
Смесь кислот концентрации, % (азотная+ +серная):								
1,0+50	50	–	–	–	4	4	5	4
3,0+30	50	–	–	–	4	4	5	5
3,0+30	$t_{кип}$	–	10	10	–	–	7	–
5,0+15	$t_{кип}$	–	–	–	5	5	5	5
5,0+50	50	–	–	–	5	5	5	5
5,0+65	100	–	–	–	9	9	10	9
15+80	60	7	6	6	–	–	6	–
25+75	60	8	7	5	5	5	5	5
36+5	85	–	–	–	5	–	5	5
Соляная кислота концентрации, %:								
0,5	20	8	6	6	–	5	5	4
0,5	50	8	7	7	–	6	6	5
0,5	$t_{кип}$	10	10	10	10	9	9	8
5	20	9	8	8	7	6	6	5
5	60	10	10	10	10	9	9	8
10	20	10	10	10	7	6	6	6
10	60	10	10	10	10	9	9	9
20	20	10	10	10	9	8	8	7
20	20	10	10	10	9	8	8	7
20	60	10	10	10	10	8	8	8
30	20	10	10	9	8	8	7	6
30	60	10	10	10	9	9	8	7
37	20	10	10	10	10	9	9	7

Продолжение табл. 2.12

Коррозионная среда	t, °С	08Х13, 12Х13	08Х18Т1	15Х25	08Х21Н5Т	08Х21Н6М2Т	08Х18Н10Т	08Х17Н13М2Т
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Уксусная кислота концентрации, %:								
1	90	5	5	5	4	3	4	3
1	$t_{кип}$	–	–	–	5	4	5	4
5	20	6	5	4	1	1	1	1
5	75	8	6	6	4	3	4	3
5	$t_{кип}$	10	8	7	6	5	6	5
15	20	7	6	6	1	1	1	1
15	80	8	7	7	4	3	5	3
15	$t_{кип}$	10	9	8	–	5	8	5
50	20	7	7	6	1	1	3	1
50	60	–	–	–	4	3	4	3
50	100	10	9	8	–	5	8	5
80	20	6	5	5	1	1	2	2
80	80	9	8	–	–	4	5	5
80	$t_{кип}$	10	9	8	8	6	8	6
98	$t_{кип}$	–	–	–	6	5	7	5
100	20	6	5	–	–	4	5	4
100	90	9	–	–	6	5	6	5
100	$t_{кип}$	10	10	–	–	7	8	6
Фосфорная кислота концентрации, %:								
5	20	4	3	3	1	1	1	1
5	50	5	4	3	2	2	2	2
10	$t_{кип}$	9	8	–	4	4	4	4
50	20	8	7	5	2	2	3	3
50	85	–	8	6	5	4	5	4
50	$t_{кип}$	10	9	8	2	2	–	5
85	20	4	4	3	4	3	4	3
85	85	9	8	8	7	6	6	4
85	$t_{кип}$	10	10	10	5	5	8	7
90	110	10	10	10	–	–	10	10
Фтористо-водородная кислота концентрации, %:								
5	20	–	–	–	10	10	10	7
10	20	–	–	–	–	–	7	7
40	20	10	10	10	10	10	10	8
Щавелевая кислота концентрации, %:								
5	20	8	7	6	–	–	5	4
5	85	8	7	7	–	6	7	5
10	20	8	7	6	5	5	5	5
10	75	8	8	8	–	–	7	6
10	$t_{кип}$	10	10	10	8	7	10	8
25	85	9	9	8	9	7	9	8
25	$t_{кип}$	10	10	10	–	9	10	8
Едкое кали (КОН) концентрации, %:								
25	$t_{кип}$	4	4	4	3	3	4	3
50	20	2	2	2	2	2	2	2
50	$t_{кип}$	7	7	7	5	5	7	6
Расплав	300	10	10	10	10	10	10	10
Едкий натр концентрации, %:								
10	90	5	5	–	5	4	5	4
20	50	4	4	–	4	3	4	3
20	$t_{кип}$	8	5	–	5	5	5	5
60	90	8	7	7	5	5	5	5
60	160	–	–	–	9	8	9	8
90	300	9	9	9	–	–	8	8
Расплав	318	10	10	10	9	9	10	10

2.2. Международное сопоставление стандартных марок сталей

Развитие рыночных отношений между нашей страной и западным сообществом существенно увеличило поставки импортного технологического оборудования, которое изготавливается из конструкционных сталей, отвечающих национальным стандартам стран–производителей оборудования. Поставляемое оборудование может подвергаться ремонту, конструктивным доработкам, а для этих целей могут использоваться отечественные конструкционные стали и сварочная проволока. Ниже в таблицах 2.13 – 2.19 приведено сопоставление отечественных конструкционных сталей со стандартными сталями ряда европейских стран.

Таблица 2.13

Сталь углеродистая обыкновенного качества

№ п/п	Сводный перечень							
	Венгрия	Болгария	Чехия, Словакия	Югославия	Польша	Германия	Румыния	Россия
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Fe 310–0 (A 0)	ACт0	10 000	И.0000	St0S	1.0035 Fe 310–0		Ст0–2
2		ACт1кл						Ст1кп2
3		ACт1пс						Ст1пс2
4		ACт1сп						Ст1сп2
5		ACт2					OL 34	
6		BCт2кп	11 343	И.0270				Ст2кп2
7		BCт2пс						Ст2пс2
8		BCт2сп		И.0261				Ст2сп2
9	Fe E 235 B (A 38)	ACт3				1.0037 Fe E 235 B	OL 37.2	
10	Fe E 235 BFU (A 38 X)	BCт3кп	11 373	И.0370	St3SX	1.0036 Fe E 235 BFU	OL 37.1	Ст3кп2
11		BCт3пс			St3SY			Ст3пс2
12		BCт3пс2			St3SYU			Ст3пс3
13		BCт3пс3						Ст3пс4
14		BCт3пс4						Ст3пс5
15		BCт3сп	11 375	И.0361	St3V		OL 37.3k	Ст3сп2
16	Fe E 235 BFN (A 38 B)	BCт3сп2			St3SU	1.0038 Fe E 235 BFN		Ст3сп3
17	Fe E 235 C (37 C)					1.0116 Fe E 235 C		
18	Fe E 235 D (37 D)					1.0116 Fe E 235 D		
19		BCт3сп3			St3SM		OL 37.4k	Ст3сп4
20					St3SJ			Ст3сп6
21		ACт4	11 423	И.0460	St4S		OL 42.3	
22		BCт4кп			St4SX			Ст4кп2
23		BCт4пс			St4SY			Ст4пс2
24		BCт4пс2			St4SYU			Ст4пс3
25		BCт4сп	11 425				OL 44.2k	Ст4сп2
26	Fe E 275 B (A 44 B)				St4V	1.0044 Fe E 275 B		
27		BCт4сп2					OL 42.1a	Ст4сп3
28	Fe E 275 C					1.0144 Fe E 275 C		
29	Fe E 275 D					1.0144 Fe E 275 D		
30	Fe E 355 B (52 B)					Fe E 355 B		
31	Fe E 355 C (52 C)					1.0570 Fe E 355 C		
32	Fe E 355 D (52 D)					1.0570 Fe E 355 D		
33	Fe 490–2 (A 50)	ACт5сп	11 500	И.0545	St5	1.0050 Fe 490–2	OL 50.1k	Ст5сп3
34	Fe 590–2 (A 60)	ACт6	11 600	И.0645	St6	1.0060 Fe 590–2	OL 60.1k	Ст6сп3
35	Fe 690–2 (A 70)		11 700	И.0745	St7	1.0070 Fe 690–2	OL 70.1k	

Таблица 2.14

Сталь конструкционная низколегированная

№ п/п	Сводный перечень							
	Венгрия	Болгария	Чехия, Словакия	Югославия	Польша	Германия	Румыния	Россия
	1	2	3	4	5	6	7	8
1		09Г2			09G2		09 Mn 16	09Г2
2		09Г2Д			09G2Cu			09Г2Д
3		14Г2						14 Г2
4	45 D			И.0483	15GA	P 275 N	OCS 44.5a	17ГС
5	52 C		11 523	И.0562				
6		18Г2			18G2A			
7		17Г1С						17Г1С
8	52 D			И.0563		1.0562 P 355 N		
9		09Г2С						09Г2С
10		10Г2С1						10Г2С1
11		15ГФ						15ГФ
12	52 E	10Г2САФ	11 503		15G2ANNb	1.0566 PL 355 N G1	OCS 52.7a	
13						1.1106 PL 355 N G2		
14		14Г2АФ						14Г2АФ
15		14Г2АФД						14Г2АФД
16		17Г2САФ			18G2AV			16Г2АФ
17		09Г2Б						10Г2Б
18		10ХСНД	16 211					10ХСНД
19	E 420 C						OCS 55.3a	
20	E 420 D					1.8902 P 420 N	OCS 55.4a	
21	E 420 E					1.8912 PL 420 N G1	R 55	
22	E 460 C						OCS 58.3a	
23	E 460 D					1.8905 P 460 N	OCS 58.4a	
24	E 460 E					1.8915 PL 460 N G1	R 58	
25						1.8918 PL 460 N G2		

Таблица 2.15

Сталь коррозионностойкая

№ п/п	Сводный перечень							
	Венгрия	Болгария	Чехия, Словакия	Югославия	Польша	Германия	Румыния	Россия
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	X 8 Cr 13	0Х13	17 020	И.4170	0H13	1.4000 X 6 Cr 13		08Х13
2		0Х13Ю			0H13J	1.4002 X 6 CrAl 13	7 AlCr 130	
3	X 12 Cr 13	1Х13	17 021		1H13	1.4006 X 10 Cr 13	10 Cr 130	12Х13
4	X 20 Cr 13	2Х13	17 022	И.4172	2H13	1.4021 X 20 Cr 13	20 Cr 130	20Х13
5	X 30 Cr 13	3Х13	17 023		3H13	1.4028 X 30 Cr 13	30 Cr 130	30Х13
6	X 40 Cr 13	4Х13	17 024	И.4175	4H13	1.4031 X 38 Cr 13	40 Cr 130	40Х13
7	X 10 CrTi 17	Х17Т	17 040					
8					0H17T	1.4510 X 6 CrTi 17	8 TiCr 170	08Х17Т
9	X 10 Cr 17				H17			
10					3H17M	1.4122 X 35 CrMo 17	35 MoCr 165	
11		9Х18	17 042		H18		90 Cr 180	95Х18
12						1.4112 X 90 CrMoV 18	90 VMoCr 180	
13	X 105 CrMo 17					1.4125 X 105 CrMo 17		
14	X 14 CrNi 17 2	1Х17Н2			H17N2			14Х17Н2
15		2Х17Н2		И.4570	2H17N2	1.4057 X 20 CrNi 17 2	22 NiCr 170	20Х17Н2
16			17 460		1H17N4G9		12 NNiMnCr 180	12Х17Г9АН4
17		2Х13Н4Г9			H13N4G9			20Х13Н4Г2
18	X 8 CrNiTi 18 10	0Х18Н10Т	17 247		0H18N10T	1.4541 X 6 CrNiTi 18 10	10 TiNiCr 180	08Х18Н10Т
19	X 8 CrNi 18 10	0Х18Н10	17 240	И.4580	0H18N9	1.4301 X 5 CrNi 18 10	5 NiCr 180	08Х18Н10
20	X 12 CrNi 18 9	Х18Н9	17 241		1H18N9	1.4310 X 12 CrNi 17 7	12 NiCr 180	12Х18Н9
21			17 242		2H18N9			17Х18Н9
22			17 248	И.4572	1H18N9T			
23	X 12 CrNiTi 18 9	Х18Н9Т	17 246				10 TiNiCr 180	12Х18Н10Т

№ п/п	Сводный перечень							
	Венгрия	Болгария	Чехия, Словакия	Югославия	Польша	Германия	Румыния	Россия
	1	2	3	4	5	6	7	8
24	X 12 CrNiS 18 9					1.4305 X 10 CrNiS 18 9		
25						1.4311 X 2 CrNiN 18 10		
26	X 3 CrNi 19 11	000Х18Н11	17 249		00H18N10	1.4306 X 2 CrNi 19 11	2 NiCr 185	03Х18Н11
27						1.4429 X 2 CrNiMoN 17 13 3		
28	X 8 CrNiNb 18 10	0Х18Н12Б		И.4582	0H18N12Nb	1.4550 X 6 CrNiNb 18 10		08Х18Н12Б
29		Х18Н12Т			1H18N12T			12Х18Н12Т
30	X 8 CrNiMoTi 17 12 2	0Х17Н13М2Т			H17N13M2T	1.4571 X 6 CrNiMoTi 17 12 2	10 TiMoNiCr 175	
31			17 348	И.4574				10Х17Н13М2Т
32	X 3 CrNiMo 17 14 3	000Х17Н14М2	17 349		00H17N14M2	1.4404 X 2 CrNiMo 17 13 2		
33			17 350			1.4435 X 2 CrNiMo 18 14 3	2 MoNiCr 175	03Х17Н14М3
34						1.4449 X 5 CrNiMo 17 13		
35		0Х17Н15М3Т	17 356		0H17N16M3T			08Х17Н15М3Т
36	X 3 CrNiMo 18 16 4					1.4438 X 2 CrNiMo 18 16 4		
37		0Х17Н20М2Д2Т				1.4506 X 5 NiCrMoCuTi 20 18		

Таблица 2.16

Сталь углеродистая качественная конструкционная литейная

№ п/п	Сводный перечень							
	Венгрия	Болгария	Чехия, Словакия	Югославия	Польша	Германия	Румыния	Россия
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ац 400	15Л	42 2630	ИL.0300	L400	1.0420 GS – 38	ОТ 400 – 1	15Л
2	Ац 450	25Л	42 2640	ИL.0400	L450	1.0446 GS – 45	ОТ 450 – 1	25Л
3	Ац 500	35Л	42 2650	ИL.0500	L500	1.0551 GS – 52	ОТ 500 – 1	35Л
4		40Л					ОТ 550 – 1	40Л
5	Ац 550	45Л	42 2660		L600		ОТ 600 – 1	45Л
6	Ац 600		42 2670	ИL.0600	L650	1.0558 GS – 60	ОТ 700 – 1	55Л
7				ИL.0602		1.0555 GS – 62		
8				ИL.0700		1.0554 GS – 70		

Таблица 2.17

Сталь низколегированная литейная

№ п/п	Сводный перечень							
	Венгрия	Болгария	Чехия, Словакия	Югославия	Польша	Германия	Румыния	Россия
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Aö 55 C	55СЛ	42 2719					
2		15ГЛ						
3	Aö 20 Mn 6	20Л	42 2714		L20G	1.1120 GS–20 Mn 5	T 20 Mn 14	20ГЛ
4		20ГФЛ	42 2723					20ФЛ
5		30ГЛ				1.1165 GS–30 Mn 5		
6	Aö 35 Mn 6	35ГЛ	42 2715	ИL.3131	L335G	1.1167 GS–36 Mn 5	T 35 Mn 14	35ГЛ
7		35ГФЛ	42 2724					
8		40ГФЛ					T 40 VMn 17	
9		45ГЛ				1.1159 GS–46 Mn 4		
10	Aö 30 MnSi 5	30ГСЛ		ИL.3130			T 30 SiMn 12	30ГСЛ
11		25ХГЛ						
12	Aö 35 MnCrSi 5	35ХГСЛ	42 2726		L35HGS		T 35 SiCrMn 11	35ХГСЛ
13		15ХЛ						
14		30ХЛ		ИL.4100	L30H			32Х06Л
15	Aö 40 Cr 4	40ХЛ			L40H			40ХЛ
16		50ХЛ	42 2739					
17		60ХГЛ	42 2735					
18		70Х2ГЛ	42 2736					
19		25ХМЛ			L25HM	1.7218 GS–25 CrMo 4		
20		30ХМЛ						
21				ИL.4731	L35HM	1.7220 GS–34 CrMo 4	T 34 MoCr 09	35ХМЛ
22		40ХМЛ		ИL.4732		1.7225 GS–42 CrMo 4		
23	Aö 30 CrNiMo 6 6	30ХНМЛ					T 30 MoCrNi 14	30ХНМЛ
24				ИL.5430		1.6582 GS–34 CrNiMo 6		
25		40ХН2ЛА	42 2750					
26	Aö 40 CrV 5	40ХФЛ			L40HF			
27		75ХНМФЛ	42 2753					
28		12ДХНМФЛ					T 14 VMoCuCr Ni 16	12ДХН1МФЛ
29		12ДН2ФЛ						12ДН2ФЛ
30		13ХНДФТЛ						13ХНДФТЛ

Таблица 2.18

Сталь коррозионностойкая литейная

№ п/п	Сводный перечень							
	Венгрия	Болгария	Чехия, Словакия	Югославия	Польша	Германия	Румыния	Россия
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	AöX 12 Cr 13	1Х13Л	42 2905				T 15 Cr 130	15Х13Л
2		1Х13НЛ	42 2904	ИL.4575	LH14N	1.4008 G–X 8 CrNi 13		
3	AöX 20 CrNi 14	2Х13Л	42 2906		LH14	1.4027 G–X 20 Cr 14	T 20 Cr 130	20Х13Л
4	AöX 20 CrNi 17 2			ИL.4570		1.4059 G–X 22 CrNi 17		
5		0Х12Н4МЛ		ИL.4579		1.4313 G–X 5CrNi 13 4	T 8 MoNiCr 125	
6		Х21Н5Л	42 2953		LH21N5		T 12 NiCr 210	
7		Х21Н5ТЛ	42 2938				T 12 TiNiCr 210	
8		Х21Н5АЛ					T 12 NNiCr 210	
9		Х21Н5М2Л	42 2943					
10		Х19Н7АЛ					T 12 NNiCr 190	
11	AöX 7 CrNi 18 9	0Х18Н10СЛ			LH18N9M	1.4308 G–X 6 CrNi 18 9	T 7 NiCr 180	07Х18Н9Л
12	AöX 12 CrNi 18 9	Х18Н10СЛ	42 2931	ИL.4571	LH18N9	1.4312 G–X 10 CrNi 18 8	T 15 NiCr 180	10Х18Н9Л
13	AöX CrNiTi 18 9	Х18Н10ТСЛ	42 2933		LH18N9T		T 15 TiNiCr 180	12Х18Н9ТЛ
14				ИL.4572		1.4552 G–X 5 CrNiNb 18 9		10Х18Н11БЛ
15	AöX 7 CrNiMo 18 10	0Х18Н10М2СЛ			L0H18N10M2	1.4408 G–X 6 CrNiMo 18 10	T 7 MoNiCr 180	
16		Х18Н10М2СЛ	42 2942	ИL.4573	LH18N10M2	1.4410 G–X 10 CrNiMo 18 9	T 15 MoNiCr 180	
17	AöX 12 CrNiMoTi 18 10	Х18Н10М2ТСЛ	42 2941		LH18N10M2T		T 15 TiMoNiCr 180	
18	AöX 10 CrNiMoTi 18 12						T 12 TiMoNiCr 175	12Х18Н12М3ТЛ
19				ИL.4574		1.4581 G–X 5 CrNiMoNb 18 10	T 10 MoNiCr 180	
20						1.4085 G–X 70 Cr 29	T 75 Cr 280	
21						1.4136 G–X 70 CrMo 29 2	T 70 MoCr 280	
22	AöX 120 CrMo 29 2					1.4138 G–X 120 CrMo 29 2		

Таблица 2.19

Сталь для сварочной проволоки

№ п/п	Сводный перечень							
	Венгрия	Болгария	Чехия, Словакия	Югославия	Польша	Германия	Румыния	Россия
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	F1	Зв–08А	S 1	Ž 1	SpG1	1.0323 USD 7	S 10	Св–08А
2		Зв–08АА				1.1116 USD 6		Св–08АА
3	F2	Зв–08ГА			SpG2			Св–08ГА
4		Зв–10	G 42			1.0324 RSD 7		
5				Ž 1 Si		1.0339 RSD 10 Si		
6	F2 Si			Ž 2 Si		1.0492 11 Mn 4 Si		
7		Зв–10СА						
8		Зв–10Г				1.1117 8 Mn 4		
9		Зв–10ГА						Св–10ГА
10	F3	Зв–10Г1	S 2					
11		Зв–10Г1А		Ž 3		1.0496 12 Mn 6		
12		Зв–10Г2			SpG4			Св–10Г2
13		Зв–10Г2А		Ž 4		1.5086 12 Mn 8	S 12Mn 2	
14	VH 3					1.5130 LSd–10 MnSi 7		
15				Ž 6		1.5089 13 Mn 12		
16		Зв–12ГСА						Св–12ГС
17	VH 2	Зв–08Г1С			SpG3S1	1.5125 11 MnSi 6		Св–08ГС
18		Зв–08Г2С			SpG4S1		S 11 Mn 2 Si	Св–08Г2С
19		Зв–06ГСНД						
20		Зв–06ГНД						
21						1.6215 9 MnNi 4		
22		Зв–10ГН		Ž 2 Ni			S 10 Mn 1 Ni 1	Св–10ГН
23						1.6216 17 MnNi 4		
24		Зв–10Н1ГА				1.6225 11 NiMn 5 4		

№ п/п	Сводный перечень							
	Венгрия	Болгария	Чехия, Словакия	Югославия	Польша	Германия	Румыния	Россия
	1	2	3	4	5	6	7	8
25		Зв–10Н2ГА				1.6227 11 NiMn 9 4		
26		Зв–10ГМА		Ž 2 Mo		1.5425 11 MnMo 4 5	S 10 Mn 1 Mo	
27		Зв–10Г1МА		Ž 3 Mo		1.5426 13 MnMo 6 5		
28		Зв–10Г2МА		Ž 4 Mo		1.5427 13 MnMo 8 5		
29		Зв–10ГСМ				1.5424 10 MnMo 4 5		
30		Зв–08ГСМТ			SpG2ST			
31		Зв–10Г1НМ			SpG3N1M			
32		Зв–10ХГМА						
33		Зв–08ХГСМА				1.7339 11 CrMo 5 5	S 10 Mn 1 SiMoCr 1	Св–08ХГСМА
34		Зв–15ГСТЮЦА						Св–15ГСТЮЦА
35		Зв–20ГСТЮА						Св–20ГСТЮА
36		Зв–18ХГС						Св–18ХГС
37		Зв–08МХ						Св–08МХ
38		Зв–08ХМ			SpG1H1M			Св–08ХМ
39			S Mn1CrMo–25			1.7346 11 CrMo 4 5		
40			S Cr2Mo1–36			1.7305 12 CrMo 11 10		
41		Зв–18ХМА					S 22 MoCr	Св–18ХМА
42					SpG40G2S1H1		S 40 CrMn 1 Si 1	
43						1.8425 Sd–110 MnCrTi 8		
44		Зв–08ХНМ						Св–08ХНМ
45		Зв–08ХМФА			SpG1H1MF			Св–08ХМФА
46		Зв–10Х1МФТ						Св–10ХМФТ
47		Зв–08ХГ2С						Св–08ХГ2С
48		Зв–10ХГ2СМА						Св–10ХГ2СМА
49		Зв–08ХГСМФА						Св–08ХГСМФА
50		Зв–04Х2МА						Св–04Х2МА
51					SpG1H2M	1.7385 6 CrMo 9 10		

Продолжение табл. 2.19

№ п/п	Сводный перечень							
	Венгрия	Болгария	Чехия, Словакия	Югославия	Польша	Германия	Румыния	Россия
	1	2	3	4	5	6	7	8
52		Зв–13Х2МФТ						Св–13Х2МФТ
53		Зв–08Х3Г2СМ						Св–08Х3Г2СМ
54		Зв–08ХМНФБА						Св–08ХМНФБА
55		Зв–08ХН2М						Св–08ХН2М
56		Зв–08ХН2ГМТА						Св–08ХН2ГМТА
57		Зв–08ХН2ГМЮ						Св–08ХН2ГМЮ
58		Зв–06Н3						Св–06Н3
59		Зв–10Х5Н			SpG1H5M			Св–10Х5М
60		Зв–12Х11НМФ						Св–12Х11НМФ
61		Зв–10Х11НВМФ						Св–10Х11НВМФ
62		Зв–12Х13						Св–12Х13
63		Зв–20Х13			Sp24H14			Св–20Х13
64		Зв–06Х14			Sp08H14	1.4009 X 8 Cr 14		Св–06Х14
65		Зв–08Х14ГНТ						Св–08Х14ГНТ
66		Зв–10Х17Т				1.4502 X 8 CrTi 18		Св–10Х17Т
67		Зв–13Х25Т			Sp15H25T			Св–13Х25Т
68		Зв–08Х30				1.4773 X 8 Cr 30		
69		Зв–01Х19Н9			Sp04H19N9			Св–01Х19Н9
70						1.4316 X 2 CrNi 19 9		
71		Зв–04Х19Н9			Sp06H19N9	1.4302 X 5 CrNi 19 9		Св–04Х19Н9
72		Зв–08Х16Н8М2						Св–08Х16Н8М2
73		Зв–08Х18Н8Г2Б						Св–08Х18Н8Г2Б
74		Зв–07Х18Н9ТЮ						Св–07Х18Н9ТЮ
75						1.4551 X 5 CrNiNb 19 9		
76		Зв–06Х19Н9Т						Св–06Х19Н9Т
77		Зв–04Х19Н9С2						Св–04Х19Н9С2
78		Зв–08Х19Н9Ф2С2						Св–08Х19Н9Ф2С2
79		Зв–05Х19Н9Ф3С2						Св–05Х19Н9Ф3С2
80		Зв–07Х19Н10Б	S 07 Cr 20 Ni 10 Nb 1		Sp10H20N10Nb	1.4550 X 6 CrNiNb 18 10		Св–07Х19Н10Б
81		Зв–08Х19Н10Г2Б						Св–08Х19Н10Г2Б

№ п/п	Сводный перечень							
	Венгрия	Болгария	Чехия, Словакия	Югославия	Польша	Германия	Румыния	Россия
	1	2	3	4	5	6	7	8
82		Зв–06Х19Н10М3Т						Св–06Х19Н10М3Т
83		Зв–08Х19Н10М3Б			Sp08H19N10M2Nb	1.4576 X 5 CrNiMoNb 19 12		Св–08Х19Н10М3Б
84						1.4430 X 2 CrNiMo 19 12		
85		Зв–04Х19Н11М3	S 06 Cr 19 Ni 11 Mo 3		Sp06H19N11M2	1.4403 X 5 CrNiMo 19 11		Св–04Х19Н11М3
86		Зв–05Х20Н9ФБС						Св–05Х20Н9ФБС
87		Зв–06Х20Н11М3ТБ						Св–06Х20Н11М3ТБ
88		Зв–10Х20Н15						Св–10Х20Н15
89						1.4829 X 12 CrNi 22 12		
90		Зв–07Х25Н12Г2Т						Св–07Х25Н12Г2Т
91		Зв–06Х25Н12ТЮ						Св–06Х25Н12ТЮ
92		Зв–07Х25Н13						Св–07Х25Н13
93		Зв–08Х25Н13БТЮ						Св–08Х25Н13БТЮ
94		Зв–13Х25Н18					S 12 Cr 26 Ni 20	Св–13Х25Н18
95						1.4842 X 12 CrNi 25 20	SCr 25 Ni 20	
96		Зв–08Х29Н9				1.4337 X 10 CrNi 30 9		
97					Sp16H19N9G7	1.4370 X 15 CrNiMn 18 8		
98		Зв–08Х20Н9Г7Т			Sp10H20N9G7T			Св–08Х20Н9Г7Т
99		Зв–08Х21Н10Г6						Св–08Х21Н10Г6
100		Зв–30Х25Н16Г7						Св–30Х25Н16Г7
101		Зв–10Х16Н25АМ6						Св–10Х16Н25АМ6
102		Зв–09Х16Н25М6АФ						Св–09Х16Н25М6АФ
103		Зв–01Х23Н28М3Д3Т						Св–01Х23Н28М3Д3Т
104		Зв–30Х15Н35В3Б3Т						Св–30Х15Н35В3Б3Т
105		Зв–08Н50						Св–08Н50
106		Зв–06Х15Н60М15						Св–06Х15Н60М15

ГЛАВА 3

ЧУГУНЫ

Чугуны, как материалы, обладающие хорошими литейными свойствами, жаростойкостью, коррозионной стойкостью и антифрикционными качествами, до сих пор находят широкое применение при изготовлении технологических аппаратов, узлов и деталей. Однако данные материалы обладают рядом недостатков: высокая хрупкость, сложность обработки резанием, высокие коэффициенты линейного расширения, сильная зависимость прочностных характеристик от температуры, трудность, а в ряде случаев и невозможность сварки этих материалов.

Правила Госгортехнадзора регламентируют использование чугунного литья для работы при следующих параметрах: серый чугун при температуре от –15 до +250 °С и давлении до 1 МПа; щелочестойкий чугун при температуре от –15 до +300 °С и давлении до 1 МПа; ферросилид при температуре от 0 до + 700 °С и давлении до 2,5 МПа.

В технологическом машино- и аппаратостроении наибольшее применение получили следующие виды чугунов.

Серый чугун (ГОСТ 1412—85): СЧ 00, СЧ 12-28, СЧ 15-32, СЧ 18-36, СЧ 21-40, СЧ 24-44, СЧ 28-48, СЧ 32-52, СЧ 36-56, СЧ 40-60, СЧ 44-64.

Из чугуна первых двух марок изготавливают корпусные и ненагруженные детали простой конфигурации, а из остальных—ответственные корпуса и детали сложной конфигурации, работающие в слабоагрессивных средах. При расчете деталей на растяжение коэффициент запаса прочности для серого чугуна принимают $n_в$=6—8.

Щелочестойкие чугуны СЧ Щ1 и СЧ Щ2 применяются для изготовления корпусов, деталей и узлов машин и аппаратов, работающих в водных растворах щелочей NaOH и KOH при давлении до 1 МПа и температуре от –15 до + 300 °С.

Ферросилиды С15, С17 (ГОСТ 2233—85) и антихлор МФ 15 применяются для изготовления корпусов, деталей и узлов простой конфигурации для работы с сильноагрессивными средами (растворы солей, азотная и серная кислоты), при давлении до 0,25 МПа и температуре от 0 до +700 °С. При разработке конструкции следует учитывать, что кремнистые чугуны очень хрупки, чувствительны к колебаниям температуры и трудно обрабатываются резанием. Поэтому изделия из них изготавливают отливкой, предусматривая плавные переходы. Ферросилиды широко применяют при изготовлении арматуры.

Следует иметь в виду, что ферросилиды легко корродируют под воздействием соляной кислоты, крепких щелочей и фтористых соединений.

Жаростойкие чугуны, содержащие до 32% Cr и 1-2% Si применяются в котельно-топочном оборудовании. Чугуны марки ЖЧХ 0,8; ЖЧХ 1,5; ЖЧ6 5,5 (ГОСТ 7769—82) используют при изготовлении узлов и деталей, работающих при температурах соответственно +550, 600 и 800 °С, а чугуны ЖЧХ 16 и ЖЧХ 30 обладают хорошей стойкостью до температур 1000-1200 °С при действии дымовых газов, содержащих сернистые соединения.

Жаростойкий и коррозионностойкий чугун ЧН15Д7Х2 (ГОСТ 11849—85) применяют при изготовлении узлов и деталей, работающих при температурах от +100 до +600 °С и агрессивных средах.

Антифрикционные чугуны АСЧ1, АСЧ2 (ГОСТ 1585—85) используют для изготовления узлов и деталей, испытывающих трение (подшипники, шарниры, направляющие и т.д.).

Ковкие чугуны (ГОСТ 1215—85) КЧ30-6, КЧ33-8, КЧ35-10, КЧ37-12, КЧ45-7, КЧ50-5, КЧ55-7, КЧ60-3, КЧ65-3, КЧ70-2, КЧ80-1,5 применяются в основном для небольших отливок. Основным преимуществом отливок из ковкого чугуна является однородность их свойств по сечению, практически отсутствию внутренних напряжений. С целью исключения напряжений в конструкциях отливки изготавливают с толщиной стенок до 50 мм.

Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7293—85) ВЧ35, ВЧ40, ВЧ45, ВЧ50, ВЧ60, ВЧ70, ВЧ80, ВЧ100 применяются для изготовления узлов и деталей с повышенными механическими свойствами. ВЧ имеет хорошие литейные свойства: высокую жидкотекучесть, незначительную склонность к образованию горячих трещин. Вместе с тем его склонность к образованию усадочных раковин и литейных напряжений выше, чем у серого чугуна. Кроме того, ВЧ имеет удовлетворительную коррозионную стойкость (не ниже, чем СЧ), жаростойкость, хладостойкость, антифрикционные свойства, обрабатываемость резанием и может подвергаться сварке и автогенной резке.

В табл. 3.1—3.3 приведены свойства чугуна различных марок.

Таблица 3.1

Основны свойства серого литейного чугуна и его применение

Марка	$\sigma_и$, МПа	Твердость по Бринелю, НВ	Примечание
Чугун с пластинчатым графитом			
СЧ10	275	139–274	Малоответственные отливки с толщиной стенок до 15 мм (корпуса, крышки, кожухи и др.)
СЧ15	314	160–224	Малоответственные отливки с толщиной стенок 10—30 мм (трубы, корпуса клапанов, вентили при давлении до 20 МПа и др.)
СЧ18	354	167–224	Ответственные отливки с толщиной стенок 10—20 мм (шкивы, зубчатые колеса, станины, суппорты и др.)
СЧ20	397	167–236	Ответственные отливки с толщиной стенок до 30 мм (блоки цилиндров, поршни, тормозные барабаны, каретки и др.)
СЧ25	450	176–245	Ответственные отливки с толщиной стенок до 40 мм (кокильные формы, поршневые кольца и др.)
СЧ30	490	177–250	Ответственные отливки с толщиной стенок до 60 мм (поршни, гильзы дизелей, рамы, штампы и др.)
СЧ35	540	193–264	Ответственные высоконагруженные отливки с толщиной стенок до 100 мм (малые коленчатые валы, детали паровых двигателей и др.)

Таблица 3.2

Механические свойства ковкого чугуна и его применение

Марка	Твердость по Бринеллю, НВ	Примечание
КЧ 30–6	160	В основном для небольших отливок, работающих в условиях динамических нагрузок (детали в автомобильной, тракторной и сельскохозяйственной промышленности). Ограниченное применение обусловлено сложностью изготовления отливок, длительностью термической обработки, ограниченными допускаемыми размерами сечений (не более 30—40 мм)
КЧ 33–8	160	
КЧ 35–10	160	
КЧ 37–12	160	
КЧ 45–7	203	
КЧ 50–5	226	
КЧ 55–4	236	
КЧ 60–3	264	
КЧ 65–3	264	
КЧ 70–2	280	
КЧ 80–1.5	314	

Таблица 3.3

Механические свойства легированного чугуна для отливок со специальными свойствами

Марка чугуна	$\sigma_в$, МПа	σ, %	$\sigma_и$, МПа	Твердость по Бринеллю, НВ	Свойства
ЧХ1	170	–	350	203–280	Жаростойкий
ЧХ2	150	–	310	203–280	»
ЧХ3	150	–	310	223–356	», износостойкий
ЧХ3Т	200	–	400	440–580	Износостойкий
ЧХ9Н5	350	–	700	490–607	»
ЧХ16	350	–	700	390–440	», жаростойкий
ЧХ16М2	170	–	490	490–607	То же
ЧХ22	290	–	540	333–607	»
ЧХ22С	290	–	540	215–333	Коррозионно- и жаростойкие
ЧХ28	370	–	560	215–264	То же
ЧХ28П	200	–	400	245–390	Стойкий в цинковом расплаве
ЧХ28Д2	390	–	690	390–635	Износо- и коррозионностойкий
ЧХ32	390	–	690	245–333	Жаро- и износостойкий
ЧС5	150	–	290	140–294	Жаростойкий
ЧС5Ш	290	–	–	223–294	»
ЧС13	100	–	210	294–390	Коррозионностойкие в жидкой среде
ЧС15	60	–	170	294–390	То же
ЧС17	40	–	140	390–450	»
ЧС15М4	60	–	140	390–450	»
ЧС17М3	60	–	100	390–450	Жаростойкий
ЧЮХШ	390	–	590	183–356	Жаро- и износостойкие
ЧЮ6С5	120	–	240	236–294	То же
ЧЮ7Х2	120	–	170	254–294	Жаро- и износостойкие при высокой температуре
ЧЮ22Ш	290	–	490	235–356	
ЧЮ30	200	–	350	356–536	
ЧГ6С3Ш	496	–	680	215–254	Износостойкий
ЧГ7Х4	150	–	330	490–586	»
ЧГ8Д3	150	–	330	176–285	Маломагнитный
ЧНХТ	280	–	430	196–280	Коррозионностойкие в газовых средах двигателей внутреннего сгорания
ЧНХМД	290	–	690	196–280	
ЧНМШ	490	2	–	183–280	
ЧН2Х	290	–	490	215–280	Износостойкий
ЧХ4Х2	200	–	400	460–645	»
ЧН11Г7Ш	390	4	–	120–250	Жаропрочный
ЧН15Д7	150	–	350	120–250	Маломагнитный
ЧН15Д3Ш	340	4	–	120–250	»
4Н19Х3Ш	340	4	–	120–250	Маломагнитный
4Н20Д2Ш	500	25	–	120–220	Жаропрочный, хладостойкий, маломагнитный

ГЛАВА 4

СОРТАМЕНТ

Сортовая сталь в виде полос, круга, квадрата и фасонных профилей (угловая, коробчатая, двухтавровая и др.) применяется для изготовления фланцев, муфт, пробок, различных внутренних устройств, опорных балок и других деталей аппаратов.

Рекомендуемые марки, технические требования и виды испытаний сортовой стали в зависимости от рабочих условий приведены в табл. 4.1, а механические свойства в табл. 4.2.

При заказе сортовой углеродистой стали обыкновенного качества должны оговариваться степень раскисления и категория стали.

При заказе сортовых коррозионностойких сталей необходимо оговаривать поставку их в термообработанном состоянии и проверку на стойкость против межкристаллитной коррозии.

Для изготовления аппаратов применяется сортовая горячекатаная сталь, поставляемая в виде полос по сортаменту ГОСТ 103—76 шириной 11—200 мм, толщиной 4—60 мм; кругов по сортаменту ГОСТ 2590—88

Таблица 4.1

Рекомендуемые марки сортовой стали (круглая, полосовая и фасонных профилей) (ОСТ 26-291—94)

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см²), не более		
Ст3кп3 ГОСТ 535—88	ГОСТ 535—88	От +10 до + 200	1,6 (16)	ГОСТ 535—88	—
Ст3пс4, Ст3сп4 ГОСТ 535—88		От —20 до + 200	5 (50)		—
Ст3сп3, Ст3пс3 ГОСТ 535—88		От 0 до + 425			—
Ст5пс2 ГОСТ 535—88		От —30 до + 425	—		п. 3
Ст5сп3 ГОСТ 535—88		От —20 до + 425	5 (50)		п. 3
10,15, 20 ГОСТ 1050—88	ГОСТ 1050—88	От —20 до + 475	Не ограничено	ГОСТ 1050—88	—
20ЮЧ ТУ 14-1-3332—82	ТУ 14-1-3332—82	От —40 до + 475		ТУ 14-1-3332—82	—
09Г2С-7, 09Г2-7 ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89	От —70 до —41		ГОСТ 19281—89	п. 2

Продолжение табл. 4.1

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
09Г2С-4, 09Г2-4 ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89	От —40 до + 200	Не ограничено	ГОСТ 19281—89	п. 2
09Г2С-12, 09Г2-12 ГОСТ 19281—89		От —40 до + 475			
10Г2 ГОСТ 4543—75	ГОСТ 4543—75	От —70 до + 475		ГОСТ 4543—75	п. 5
15Х5М ГОСТ 20072—74	ГОСТ 20072—74	От —40 до + 650		ГОСТ 20072—74	—
10Х14Г14Н4Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5949—75	От —196 до + 500		ГОСТ 5949—75	п. 1
08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5949—75	От —40 до + 300		ГОСТ 5949—75	п. 1
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72		От —253 до + 610			п. 4
08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5949—75	От —253 до + 610	Не ограничено	ГОСТ 5949—75	п. 1
08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72		От + 610 до + 700	5 (50)		п. 4
15Х18Н12С4ТЮ ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-915—74	От —20 до + 120	2,5 (25)	ТУ 14-1-915—74 ГОСТ 5949—75	—
02Х8Н22С6 ТУ 14-1-3812—84	ТУ 14-1-3812—84	От —40 до + 120	—	ТУ 14-1-3812—84	—

Продолжение табл. 4.1

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5949—75	От —253 до + 350	Не ограничено	ГОСТ 5949—75	п. 1
10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т ГОСТ 5632—72		От + 350 до + 600			пп. 1, 4
08Х17Н15М3Т ГОСТ 5632—72		От —196 до + 600			п. 1
06ХН28МДТ ГОСТ 5632—72		От —196 до + 400			—
07Х16Н6-III ТУ 14-1-22—71	ТУ 14-1-22—71	От —60 до + 350		ТУ 14-1-22—71	—
08Х13 ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5949—75	От —40 до + 550		ГОСТ 5949—75	п. 6
12Х13 ГОСТ 5632—72					
08Х18Н11 ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-1160—74	От —196 до + 450		ТУ 14-1-1160—74; ГОСТ 5949—75	—
03Х17Н14М3 ГОСТ 5632—72	ТУ 14-1-3303—82			ТУ 14-1-3303—82	—
08Х17Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5949—75	От 0 до + 700	—	ГОСТ 5949—75	п. 3
15Х25Т, 15Х28 ГОСТ 5632—72		От 0 до + 900			
ХН32Т ТУ 14-1-284—72	ТУ 14-1-284—72	От —70 до + 900	Не ограничено	ТУ 14-1-284—72	—

Примечания.

1. Испытываются на стойкость против межкристаллитной коррозии по ГОСТ 6032—84.
2. При толщине проката менее 5 мм допускается применение сталей по ГОСТ 19281—89 категории 2 вместо категорий 4, 7, 12.
3. Для изделий, не подлежащих сварке.
4. Для сред, не вызывающих межкристаллитную коррозию.
5. Сортовой прокат испытывается на ударный изгиб при температуре стенки ниже —30° С. Значение ударной вязкости должно быть не менее 30 Дж/см^2 (3 кгс·м/см^2).
6. Для внутренних не подлежащих сварке деталей сосудов, работающих без давления, допускается применение сталей марок 08Х13, 12Х13 при температуре стенки от —60 до +550° С.

Таблица 4.2

Механические свойства сортовой стали (ОСТ 26-291—94)

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина проката, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Примечание
								при 20°С	при нижнем пределе применения		
Ст3кп ГОСТ 535—88	ГОСТ 535—88	Горячекатаное	До 10	235 (24)	360—460 (37—47)	27	—	—	—	—	—
			Св. 10 до 20	235 (24)		27	—	—	—	—	—
			Св. 20 до 40	225 (23)		26	—	—	—	—	—
			Св. 40 до 100	215 (22)		24	—	—	—	—	—
			Св. 100	185 (20)		24	—	—	—	—	—
Ст3сп ГОСТ 535—88			До 10	255 (26)	380—490 (39—50)	26	—	108 (11) для толщин 5—9 мм; 98 (10) для толщин 10—25 мм; 88 (9) для толщин 26—40 мм	49 (5)для толщин 5—9 мм при —20°С, 29 (3) для толщин 10—25 мм при —20°С	—	Ударная вязкость KCU после механического старения 49 Дж/см^2 (5 кгс·м /см^2) для толщин 5—9 мм и 29 Дж/см^2 (3 кгс·м /см^2) для толщин 10—40 мм
			Св. 10 до 20	245 (25)		26	—			—	
			Св. 20 до 40	235 (24)		25	—			—	
			Св. 40 до 100	225 (23)		23	—			—	
			Св. 100	205 (21)		23	—			—	
Ст3пс ГОСТ 535—88			До 10	245 (25)	370—480 (38—49)	26	—	108 (11) для толщин 5—9 мм; 98 (10) для толщин 10—25 мм; 88 (9) для толщин 26—40 мм	49 (5)для толщин 5—9 мм при —20°С, 29 (3) для толщин 10—25 мм при —20°С	—	Ударная вязкость KCU после механического старения 49 Дж/см^2 (5 кгс·м /см^2) для толщин 5—9 мм и 29 Дж/см^2 (3 кгс·м /см^2) для толщин 10—40 мм
			Св. 10 до 20	245 (25)		26	—			—	
			Св. 20 до 40	235 (24)		25	—			—	
			Св. 40 до 100	225 (23)		23	—			—	
			Св. 100	205 (21)		23	—			—	

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина проката, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Примечание
								при 20°С	при нижнем пределе применения		
Ст5сп ГОСТ 535—88	ГОСТ 535—88	Горячекатаное	До 10	295 (30)	480—630 (50—64)	20	—	—	—	—	—
			Св. 10 до 20	285 (29)		20	—	—	—	—	—
			Св. 20 до 40	275 (28)		19	—	—	—	—	—
			Св. 40 до 100	265 (27)		17	—	—	—	—	—
			Св. 100	255 (26)		17	—	—	—	—	—
Ст5пс ГОСТ 535—88			До 10	285 (29)	480—630 (50—64)	20	—	—	—	—	—
			Св. 10 до 20	285 (29)		20	—	—	—	—	—
			Св. 20 до 40	275 (28)		19	—	—	—	—	—
			Св. 40 до 100	265 (27)		17	—	—	—	—	—
			Св. 100	255 (26)		17	—	—	—	—	—
20 ГОСТ 1050—88	ГОСТ 1050—88	Нормализованное	До 250	245 (25)	410 (42)	25	55	—	—	163	Твердость указана в горячекатаном состоянии
20ЮЧ ТУ 14-1-3332—82	ТУ 14-1-3332—82	—	До 180	240 (24)	420 (42)		23	—	49 (5)	—	—
10 ГОСТ 1050—88	ГОСТ 1050—88	—	До 250	205 (21)	330 (34)	31	55	—	—	—	—
15 ГОСТ 1050—88		—	До 250	225 (23)	370 (38)	27	55	—	—	—	—
09Г2С ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89	—	Св. 20 до 32 От 32 до 100	265 (27)	430 (44)	21	—	— 59 (6)	29 (3) при —40 °С	—	—
			Св. 20 до 32	295 (30)	430 (44)	21	—	—		—	—
09Г2С ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89		До 10	325 (33)	450 (46)	21	—	64 (6,5)	34 (3,5) при —40°С и —70°С	—	Ударная вязкость KCU 34 Дж/см^2 (3,5 кгс·м /см^2) при 0°С и —20°С
			Св. 10 до 20					59 (6)	29 (3) при —40°С и —70°С		

Продолжение табл. 4.2

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина проката, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Примечание
								при 20°С	при нижнем пределе применения		
09Г2С ГОСТ 19281—89	ГОСТ 19281—89	—	До 5	345 (35)	480 (49)	—	—	—	39 (4) при —40°С; 29 (3) при —70°С	—	Ударная вязкость KCU 40 Дж/см^2 (4,1 кгс·м/см^2) при 0°С и —20°С
			От 5 до 10					64 (6,5)			
09Г2 ГОСТ 19281—89			До 20	295 (30)	430 (44)	—	—	98 (10)	—	—	—
			Св. 20 до 32					—	29 (3) при —40°С		
12Х13 ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5949—75	ГОСТ 5949—75	До 200	410 (42)	585 (60)	20	60	89 (9)	—	187—121	Твердость указана в отожженном или отпущенном состоянии
08Х17Т ГОСТ 5632—72				По согласованию с потребителем							
15Х25Т, 15Х28 ГОСТ 5632—72				233 (30)	440 (45)	20	45	—	—	—	—
06ХН28МДТ ГОСТ 5632—72				По согласованию с потребителем							
15Х5М ГОСТ 5632—72	ГОСТ 20072—74			214 (22)	390 (40)	22	50	118 (12)	—	—	—
07Х16Н6-Ш ТУ 14-1-22—71	ТУ 14-1-22—71	Горячекатаное без термической обработки	20—180	977 (100)	1170 (120)	12	50	69 (7)	—	—	—
ХН32Т ТУ 14-1-284—72	ТУ 14-1-284—72		—	175 (18)	470 (48)	40	60	—	—	—	—

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина проката, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Примечание
								при 20°С	при нижнем пределе применения		
10Г2 ГОСТ 4543—71	ГОСТ 4543—71	Горячекатаное, термически обработанное	До 250	245 (25)	420 (43)	22	50	—	—	197	—
15Х18Н12С4ТЮ ТУ 14-1-915—74	ТУ 14-1-915—74	Кованое или горячекатаное	Диаметр 10—180	380 (39)	715 (73)	25	40	80 (8)	—	—	Образец вырезан в продольном направлении
								35 (3,5)	—	—	Образец вырезан в поперечном направлении
10Х14Г14Н4Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5949—75	Горячекатаное, термически обработанное	До 200	245 (25)	635 (65)	35	50	—	—	—	—
08Х22Н6Т ГОСТ 5632—72				340 (35)	585 (60)	20	45	—	—	—	—
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72				195 (20)	510 (52)	40	55	—	—	—	—
08Х21Н6М2Т ГОСТ 5632—72				340 (35)	585 (60)	25	45	—	—	—	—
08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72				195 (20)	488 (50)	—	—	—	—	—	—
08Х18Н12Б ГОСТ 5632—72				175 (18)		—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 4.2

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Толщина проката, мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Примечание
								при 20°С	при нижнем пределе применения		
10Х17Н13М2Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5949—75	Горячекатаное, термически обработанное	До 200	215 (22)	508 (52)	40	55	—	—	—	—
10Х17Н13М3Т ГОСТ 5632—72				195 (20)	527 (54)			—	—	—	—
08Х17Н15М3Т ГОСТ 5632—72					488 (50)	35	45	—	—	—	—
06Х13 ГОСТ 5632—72				410 (42)	585 (60)	20	60	98 (10)	—	179—116	Твердость указана в отожженном или отпущенном состоянии
02Х8Н22С6 ТУ 14-1-3812—84	ТУ 14-1-3812—84	Кованое, термически обработанное	Диаметр 55—100; квадрат 75, 85, 100, 125	175 (18)	518 (53)	60	—	69 (7)	—	—	—
		Горячекатаное, термически обработанное	Диаметр 12—70								
03Х18Н11 ГОСТ 5949—75	ГОСТ 5949—75		До 200	156 (16)	440 (45)	55	40	—	—	—	—
03Х18Н11 ТУ 14-1-1160—74	ТУ 14-1-1160—74	Термически обработанное		190 (19,6)	480 (49)	40	—	—	—	—	—
03Х17Н14М3 ТУ 14-1-3303—82	ТУ 14-1-3303—82		Диаметр 5—200	135 (20)	488 (50)	40	—	—	—	—	—

диаметром 5—250 мм; квадратов по сортаменту ГОСТ 2591—88 размером 5—200 мм; шестигранников по сортаменту ГОСТ 2879—88 размером 8 – 100 мм; уголков равнобоких по сортаменту ГОСТ 8509—72 с номерами профиля 2—25; уголков неравнобоких по сортаменту ГОСТ 8510—72 с номерами профиля 2,5/1,6 — 25/16; швеллеров по сортаменту ГОСТ 8240—72 (с уклоном внутренних граней и с параллельными гранями полок) с номерами профиля 5 — 40; двутавров по сортаменту ГОСТ 8239—72 с номерами профиля 10—60.

Материалом полос, кругов, квадратов и шестигранников являются стали марок: углеродистая обыкновенного качества по ГОСТ 380—71; углеродистая качественная по ГОСТ 1050—74; низколегированная по ГОСТ 19281— 73; теплоустойчивая по ГОСТ 20072—74; коррозионностойкая, жаростойкая и жаропрочная по ГОСТ 5949—75.

Материалом уголков, швеллеров и двутавров служат стали углеродистая обыкновенного качества по ГОСТ 380—71 и низколегированная по ГОСТ 19281—73.

Обозначается сортовая сталь наименованием проката (полоса, круг, квадрат, уголок, швеллер, двутавр), затем дробью, в числителе которой указывается: в одних случаях — размер профиля в миллиметрах (для полосы — толщина х на ширину, для круга — диаметр, для квадрата — его сторона, для уголка — ширина полки одной х на ширину другой полки х на толщину); в других случаях указываются номер профиля (шля швеллера и двутавра) и ГОСТ на сортамент. В знаменателе указываются марка стали и ГОСТ на технические требования (ГОСТ 380—94, ГОСТ 1050—88, ГОСТ 19281—89, ГОСТ 20072—74 или ГОСТ 5632—72).

В табл. 4.3 приведены размеры стальных полос.

Таблица 4.3

Рекомендуемые размеры стальных полос

Ширина, мм	Толщина
12, 14	От 4 до 8 через 1 мм
16	» 4 » 10 » 1 мм, 12
18	» 4 » 10 » 1 мм
20, 22	» 4 » 12 » 1 мм
25, 28	» 4 » 12 » 1 мм, 14, 16
30, 32, 36	» 4 » 12 » 1 мм, 14, 16, 18, 20
40	» 4 » 12 » 1 мм
	» 14 » 22 » 2 мм, 25, 28, 32
45, 50, 56	» 4 » 12 » 1 мм
	» 14 » 22 » 2 мм, 25, 28, 30, 32, 36
60, 63, 65, 70, 75	» 4 » 12 » 1 мм
	» 14 » 22 » 2 мм, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 45
80	» 4 » 12 » 1 мм
	» 14 » 22 » 2 мм, 25, 28, 30, 32, 36, 40, 45, 50, 56
От 85 до 130 через 5	» 4 » 12 » 1 мм
От 140 до 200 через 10	» 14 » 22 » 2 мм, 25, 28, 30, 36, 40, 45, 50, 56, 60

Горячекатаная круглая, квадратная и шестигранная сталь имеет следующие рекомендуемые размеры:

сталь горячекатаная круглая — 5; 5,5; 6; 6,3; 6,5; 7; далее до 48 через 1 мм; 52; 53; 54; 55; 56; 58; 60; 62; 63; 65; 67; 68; 70; 72; 75; 78; 80; 82; 85; 87; 90; 92; 95; 97; от 100 до 200 через 5 мм; от 210 до 270 через 10 мм;

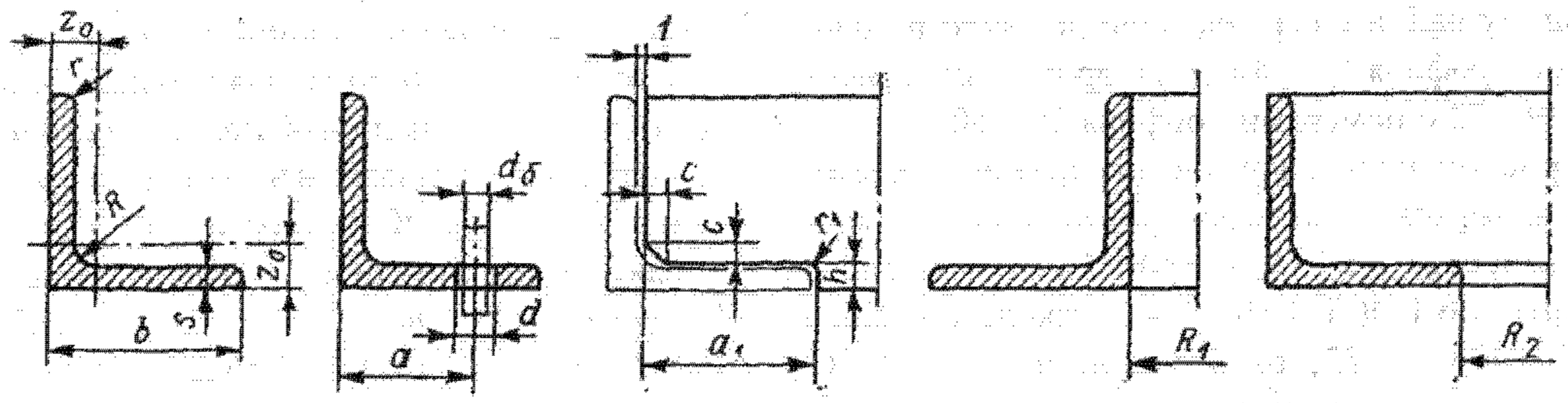
сталь горячекатаная квадратная — от 6 до 30 через 1 мм; далее 32; 34; 35; 36; 38; 40; 42; 45; 46; 48; 50; 52; 55; 58; 60; 63; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 93; 95; далее от 100 до 150 через 5 мм; от 160 до 200 через 10 мм;

сталь горячекатаная шестигранная – от 8 до 22 через 1 мм; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50; 52; 55; 60; 63; 65; далее до 100 через 5 мм.

Рекомендуемый сортамент равнополочных и неравнополочных стальных уголков и стальных швеллеров приведен в табл. 4.4 – 4.6.

Таблица 4.

Рекомендуемый сортамент равнополочных уголков (ГОСТ 8509—93)

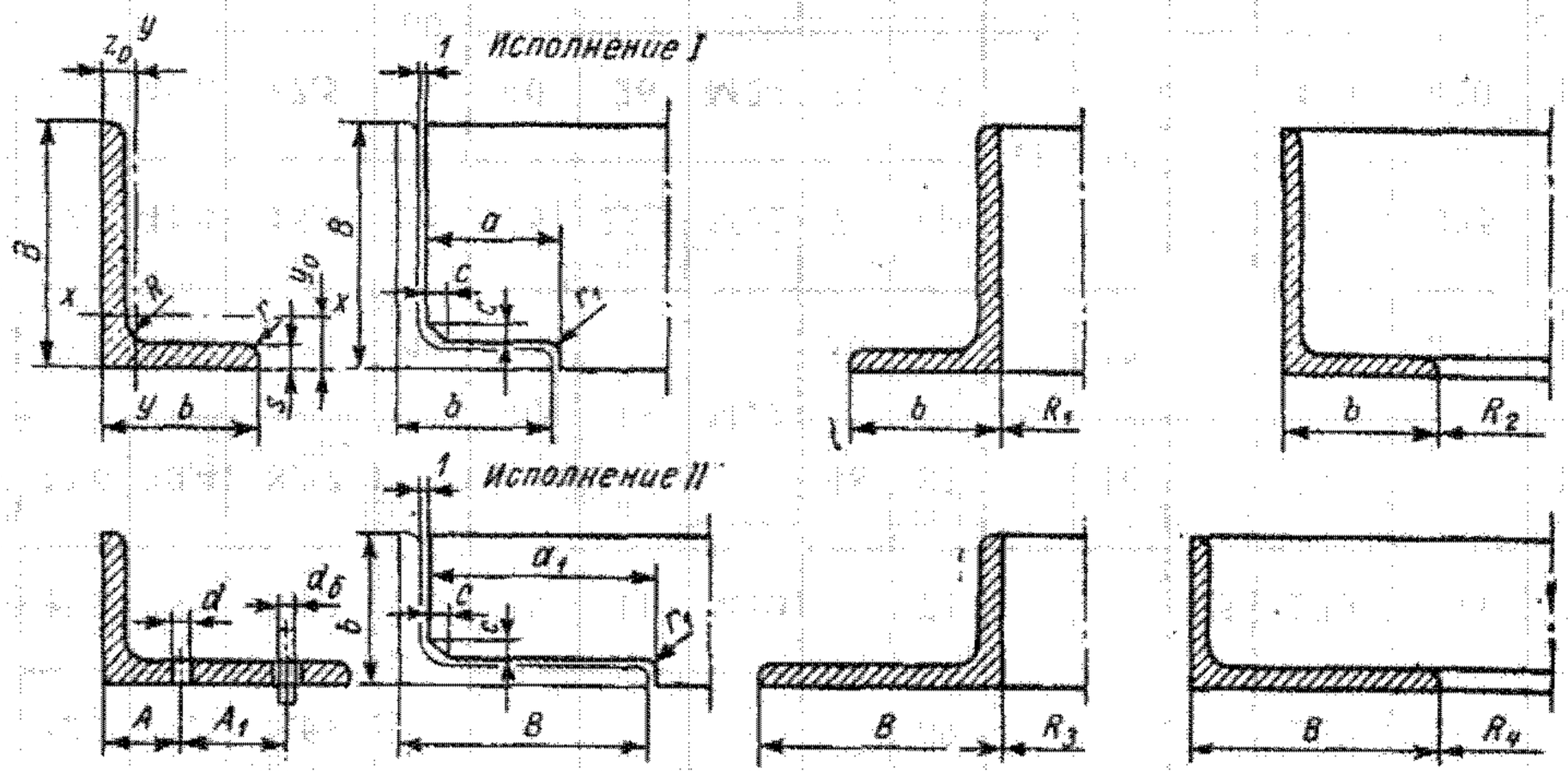


Номер профиля	Размеры профиля, мм					Масса 1 м, кг	Размещение рисок для однорядного расположения отверстий под заклепки и болты, мм			Профиль детали, примыкающей к угольнику в сварных конструкциях, мм				Наименьший радиус сгиба профиля *, мм			
														в горячем состоянии		в холодном состоянии	
	b	s	R	r	z_0		a	d	$d_б$	a_1	h	c	r_1	R_{1min}	R_{2min}	R_{1min}	R_{2min}
2	20	3	3,5	1,2	6,0	0,89	13	4,5	М4	17	4	3	1,0	95	85	345	335
2,5	25				7,3	1,12	15	5,5	М5	22				120	110	435	425
3,2	32	4	4,5	1,5	9,4	1,81	18	6,5	М6	28	5	4		150	140	555	540
3,6	36				10,4	2,16	20	9	М8	32				170	155	630	615
4	40		5,0	1,7	11,3	2,42	22	11	М10	36		5		195	175	705	690
4,5	45				12,6	2,73	25			41				220	200	800	775
5	50	5	5,5	1,8	14,2	3,77	30	13	М12	45	6			240	220	880	860
5,6	56		6,0	2,0	15,7	4,25				51		6		270	250	990	965
6,3	63	6	7,0	2,3	17,8	5,72	35	17	М16	57	7	7		305	280	1110	1085
7,5	75	8	9,0	3,0	21,5	9,02	45	21,5	М20	67	9	9	1,5	360	330	1330	1285
8	80				22,7	9,65				72				385	350	1420	1375
9	90		10,0	3,3	25,1	10,9	50	23,5	М22	82		10		440	400	1600	1560
10	100	10	12,0	4,0	28,3	15,1	55			91	11	12		485	440	1765	1720
12,5	125	12	14,0	4,6	35,3	22,7	70	26	М24	114	13	14	2,0	600	550	2205	2150
14	140				39,0	25,5	—	—	—	129				680	620	2485	2425
16	160	14	16,0	5,3	44,7	34,0				148	15	16	3,0	780	700	2830	2760

Примечание. Размещение рисок для двухрядного шахматного расположения отверстий под заклепки и болты см. в табл 4.5.

Рекомендуемый сортамент неравнополочных уголков (ГОСТ 8510—86)

Таблица 4.5



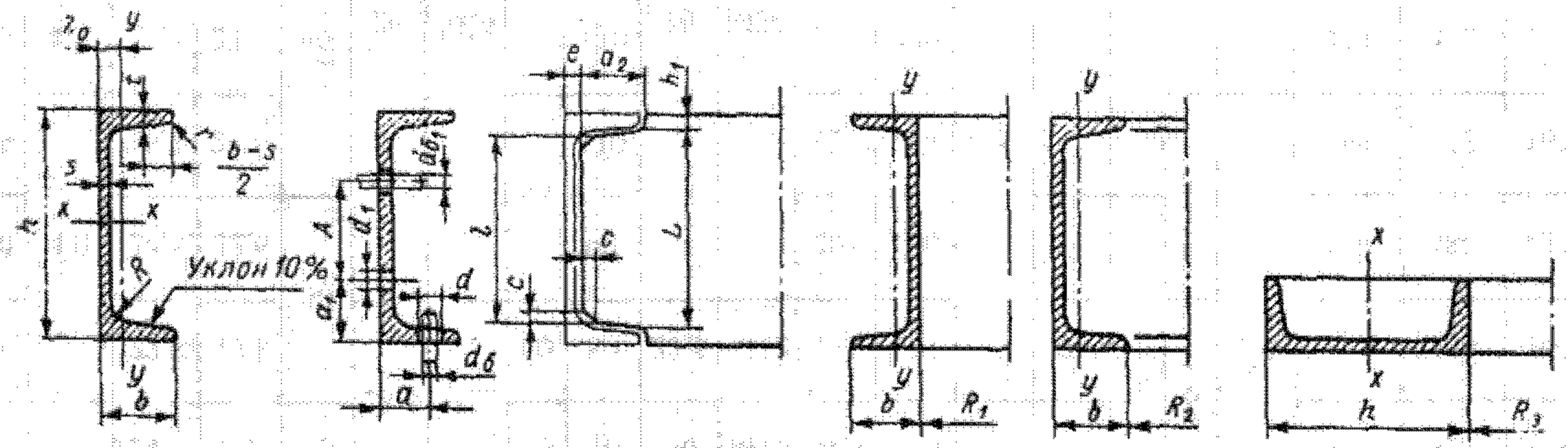
Номер профиля	Размеры профиля, *мм*							Масса 1м, *кг*	Размещение рисок для двухрядного шахматного расположения отверстий под заклепки и болты, *мм*				Профиль детали, примыкающей к угольнику в сварных конструкциях, *мм*					Наименьший радиус гиба профиля, *мм*							
																		в направлении меньшей полки				в направлении большей полки			
																		в горячем состоянии		в холодном состоянии		в горячем состоянии		в холодном состоянии	
	B	*b*	*s*	*R*	*r*	z_0	y_0		*A*	A_1	*d*	d_6	*a*	a_1	*h*	*c*	r_1	R_{1min}	R_{2min}	R_{1min}	R_{2min}	R_{3min}	R_{4min}	R_{3min}	R_{4min}
3,2/2	32	20	3	3,5	1,2	4,9	10,8	1,17	—	—	—	—	17	29	4	4	1	100	90	370	360	140	130	520	510
4/2,5	40	25		4,0	1,3	5,9	13,2	1,48					22	37		5		130	115	470	455	180	155	655	630
4,5/2,8	45	28	4	5,0	1,7	6,8	15,1	2,20					24	41	5			145	130	520	505	200	185	735	720

Номер профиля	Размеры профиля, *мм*							Масса 1*м*, *кг*	Размещение рисок для двухрядного шахматного расположения отверстий под заклепки и болты, *мм*				Профиль детали, примыкающей к угольнику в сварных конструкциях, *мм*					Наименьший радиус гиба профиля, *мм*							
																		в направлении меньшей полки				в направлении большей полки			
																		в горячем состоянии		в холодном состоянии		в горячем состоянии		в холодном состоянии	
	B	*b*	*s*	*R*	*r*	z_0	y_0		*A*	A_1	*d*	d_6	*a*	a_1	*h*	*c*	r_1	R_{1min}	R_{2min}	R_{1min}	R_{2min}	R_{2min}	R_{4min}	R_{2min}	R_{4min}
/3,2	50	32	4	5,5	1,8	7,6	16,5	2,49	18	20	6,5	M6	28	46	5	5	1	165	150	600	585	220	190	820	790
5/3,6	56	36		6,0	2,0	8,4	18,2	2,81					32	52		6		190	170	680	660	250	230	925	905
6,3/4	63	40	5	7,0	2,3	9,5	20,8	3,91	20	28	9	M8	35	58	6	7		210	185	755	730	285	260	1050	1025
7,5/5	75	50	6	8,0	2,7	12,1	24,4	5,69	30				44	69	7	9	1,5	260	235	935	910	335	310	1240	1215
8/5	80					11,7	26,5	5,92		35	11	M10		73				270	245	945	920	355	330	1310	1285
9,5/5,6	90	56	8	9,0	3,0	13,6	30,4	8,77	40	40	13	M12	48	82	9	10		290	260	1045	1015	400	370	1470	1440
10/6,3	100	63		10,0	3,3	15,0	33,2	9,87					56	93		12	2	325	290	1185	1150	440	410	1635	1600
12,5/8	125	80	10	11,0	3,7	19,2	41,4	15,5	55	35	23,5	M22	71	116	11	14		415	375	1500	1460	555	515	2050	2010
14/9	140	90		12,0	4,0	21,2	45,8	17,5	60	40	26	M24	81	131				470	420	1700	1650	630	580	2315	2265
16/10	160	100	12	13,0	4,3	23,6	53,2	23,6		70	23,5	M22	89	149	13	16	3	525	470	1900	1845	655	600	2600	2545

Примечание. Размещение рисок для однорядного расположения отверстий под заклепки и болты м. в табл. 4.4.

Таблица 4.6

Рекомендуемый сортамент швеллеров (ГОСТ 8240—89)



Номер профиля	Размеры профиля, *мм*							Масса 1*м*, *кг*	Размещение рисок для отверстий под заклепки и болты, *мм*							Профиль детали, примыкающей к швеллеру в сварных конструкциях, *мм*							Наименьший радиус гиба профиля, *мм*					
									Полка			Стенка												по оси *y-y*				по оси *x-x*	
																								в горячем состоянии		в холодном состоянии		в горячем состоянии	в холодном состоянии
	h	*b*	*s*	*t*	*R*	*r*	z_0		*a*	*d*	d_6	a_1	*A*	d_1	d_{61}	*L*(-1)	*l*(-1)	h_1(+0,5)	a_2(+1)	*e*	*c*	r_1	R_{1min}	R_{2min}	R_{1min}	R_{2min}	R_{3min}	R_{3min}
5	50	32	4,4	7,0	6,0	2,5	11,6	4,84	20	9	M8	—	—	—	—	38	33	6,0	28	6	4	1,5	135	125	500	490	150	600
6,5	65	36		7,2			12,4	5,90								52	47	6,5	32				155	145	580	570	200	780
8	80	40	4,5	7,4	6,5		13,1	7,05	25	11	M10					68	60	6,0	36				180	170	660	650	245	960
10	100	46		7,6	7,0	3,0	14,4	8,59	30			33	34	9	M8	87	80	6,5	42				210	195	775	760	305	1200

Продолжение табл. 4.6

Номер профиля	Размеры профиля, *мм*							Масса 1*м*, *кг*	Размещение рисок для отверстий под заклепки и болты, *мм*							Профиль детали, примыкающей к швеллеру в сварных конструкциях, мм							Наименьший радиус гиба профиля, *мм*					
									Полка			Стенки											по оси *y-y*				по оси *x-x*	
																							в горячем состоянии		в холодном состоянии		в горячем состоянии	в холодном состоянии
	h	*b*	*s*	*t*	*R*	*r*	z_0		*a*	*d*	d_6	a_1	*A*	d_1	d_{61}	*L*(-1)	*l*(-1)	h_1(+0,5)	a_2(+1)	*e*	*c*	r_1	R_{1min}	R_{2min}	R_{1min}	R_{2min}	R_{3min}	R_{3min}
12	120	52	4,8	7,8	7,5	3,0	15,4	10,4	30	17	M16	38	44	13	M12	107	99	6,5	47	7	4	1,5	245	225	900	880	370	1440
14a	140	62	4,9	8,7	8,0		18,7	13,3	35			42	56	15	M14	126	116		57		5		310	280	1120	1090	430	1680
16a	160	68	5,0	9,0	8,5	3,5	20,0	15,3	40	20	M18	50	60	17	M16	146	134	7,0	63			2,0	325	295	1180	1150	490	1920
18a	180	74	5,1	9,3	9,0		21,3	17,4	45	23,5	M22	55	70	30	M18	166	153		69		6		355	325	1290	1260	550	2160
20a	200	80	5,2	9,7	9,5	4,0	22,8	19,8	50			60	80	23,5	M22	185	171	7,5	76				385	350	1400	1365	615	2400
22a	220	87	5,4	10,2	10,0		24,6	22,6		26	M24	65	90	26	M24	205	190		83		7		420	380	1530	1490	675	2640
24a	240	95	5,6	10,7	10,5		26,7	25,8	60				110			225	208		90	8			460	415	1675	1630	735	2880
27	270		6,0	10,5	11,0	4,5	24,7	27,7				70	130			255	239				8	2,5	475	430	1735	1690	830	3235
30	300	100	6,5	11,0	12,0	5,0	25,2	31,8					160			285	268		94	9			510	465	1850	1805	920	3600
36	360	110	7,5	12,6	14,0	6,0	26,8	41,9	70			75	210			342	323	9,0	104	10	10	3,0	565	510	2050	1995	1105	4320

4.1. Трубы стальные

Стальные трубы служат для изготовления из них корпусов, трубных пучков, змеевиков, штуцеров, патрубков и других деталей аппаратов.

Для кожухотрубных теплообменных аппаратов по массе трубы в большинстве случаев превышают все остальные их части и детали.

Рекомендуемые марки, технические требования и виды испытаний стальных труб в зависимости от рабочих условий приведены в табл. 4.7.

Для изготовления аппаратов применяются следующие виды труб:

трубы сварные водогазопроводные (усиленные) из углеродистых сталей обычного качества по ГОСТ 3262—75;

трубы электросварные прямошовные по сортаменту ГОСТ 10704—76, $D_н$ = 426 - 1620 мм из углеродистых сталей обычного качества и низколегированных сталей по ГОСТ 10706—76;

трубы бесшовные горячекатаные по сортаменту ГОСТ 8732—78, $D_н$ = 25 - 820 мм из углеродистых сталей обычного качества, качественных и легированных по ГОСТ 8231—74;

трубы бесшовные холоднодеформированные по сортаменту ГОСТ 8734—75, $D_н$ = 5—250мм из качественных углеродистых и легированных сталей по ГОСТ 8733—74;

трубы бесшовные холодно-, тепло- и горячедеформированные для нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности по ГОСТ 550—75 из качественных углеродистых и легированных сталей $D_н$ = 20 - 114 мм;

трубы бесшовные горячедеформированные из коррозионностойкой стали по ГОСТ 9940—81, $D_н$ =57—325 мм;

трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионностойкой стали по ГОСТ 9941—81, $D_н$ = 5 - 250 мм.

Все трубы, в зависимости от пожеланий заказчика, поставляются немерной, мерной и кратной мерной длины.

Трубы обозначаются:

из углеродистых сталей обычного качества, качественных и легированных словом «Труба», затем дробью, в числителе которой указываются размеры трубы в мм (наружный диаметр х на толщину стенки х на длину) и ГОСТ сортамента, а в знаменателе — марка стали и ГОСТ технических требований;

из коррозионностойких сталей словом «Труба», затем указываются размеры трубы в мм (наружный диаметр х на толщину стенки х на длину), марка стали и ГОСТ сортамента трубы.

В табл. 4.8 приведены основные механические свойства труб из различных марок стали при t_R = 20 °С.

В табл. 4.9 – 4.21 приведен рекомендуемый сортамент труб, наиболее используемых в технологическом аппаратостроении и сооружении внутризаводских и магистральных трубопроводов.

Электросварные трубы не допускается применять в теплообменных аппаратах, предназначенных для работы с веществами 1-го и 2-го классов опасности по ГОСТ 12.1.005—84, ГОСТ 12.1.007—76 (за исключением сероводорода при концентрации не более 0,03% об.), и в сосудах, где смещение сред трубного и межтрубного пространств может привести к взрыву.

При заказе труб по ГОСТ 10706—76 из сталей марок Ст3сп4 и Ст3сп5 необходимо оговорить поставку их в соответствии с требованиями для труб магистральных тепловых сетей и проведение контроля поперечных сварных швов неразрушающим методом.

При заказе труб по ГОСТ 8731—74 и ГОСТ 8733—74 следует оговорить поставку труб из сталей группы «В» с проведением гидравлического испытания и, при необходимости, контроля макроструктуры, испытания на раздачу или сплющивание, или загиб. Контроль макроструктуры производится при давлении среды более 5 МПа (50 кгс/см^2).

При заказе труб по ГОСТ 550—75 из сталей марок 10, 20, 15Х5М и Х8, предназначенных для изготовления теплообменных аппаратов, необходимо оговорить поставку труб из сталей группы «А» (сортамент по ГОСТ 550—75).

При заказе труб по ГОСТ 9940—81 и ГОСТ 9941—81 необходимо оговорить следующие требования:

партия должна состоять из труб одной плавки и иметь единый документ о качестве с указанием химического состава и сведений о термической обработке;

глубина местной зачистки или шлифовки не должна выводить диаметр и толщину стенки за пределы минусовых отклонений;

должны быть проведены гидравлические испытания, испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии, испытания на раздачу или сплющивание.

При заказе труб по ГОСТ 9940—81 следует оговорить также и требования по очистке от окалины и термообработке труб.

При заказе электросварных труб из коррозионностойких сталей по ТУ 14-3-1391 необходимо оговорить проведение испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии.

Трубы, закрепляемые в сосудах методом развальцовки, должны испытываться на раздачу, в остальных случаях — на загиб или сплющивание в соответствии со стандартами на трубы.

Допускается применять бесшовные трубы без проведения гидравлического испытания на предприятии-изготовителе труб в следующих случаях:

если труба подвергается по всей поверхности контролю физическими методами (радиографическим, ультразвуковым или им равноценным);

для труб при рабочем давлении до 5 МПа (50 кгс/см^2), если предприятие—изготовитель труб гарантирует положительные результаты гидравлических испытаний.

Таблица 4.7

Рекомендуемые марки, технические требования и виды испытаний стальных труб (ОСТ 26-291—94)

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
Ст3сп3, Ст3пс3 ГОСТ 380—94, ГОСТ 14637—89	Трубы водогазопроводные (усиленные) ГОСТ 3262—75	От 0 до + 200	1,6 (16)	ГОСТ 5.1124—71; ГОСТ 3262—75	—
Ст3кп2 ГОСТ 380—94, ГОСТ 14637—89	Трубы электросварные Группа В по ГОСТ 10706—76	От +10 до + 200	1,6 (16)	Группа В по ГОСТ 10706—76 и п. 2.3.2 настоящего стандарта. Гидравлическое испытание каждой трубы пробным давлением, равным 1,5 рабочего. Проверка механических свойств сварного соединения у каждой десятой трубы одной партии, контроль радиографическим или ультразвуковым методом сварного шва каждого корпуса, изготовленного из труб в соответствии с требованиями ОСТ 26-291—94	—
		От —15 до + 350	0,07 (0,7)		п. 8
Ст3сп4, Ст3пс4 ГОСТ 380—94, ГОСТ 14637—89	Трубы электросварные ГОСТ 10706—76	От —20 до + 200	5 (50)	Группа В по ГОСТ 10706—76 с учетом изменения 2 в части труб для магистральных тепловых сетей. Контроль радиографическим или ультразвуковым методом сварного шва каждого корпуса, изготовленного из труб в соответствии с требованиями ОСТ 26-291—94	п. 8
Ст3сп5, Ст3пс5 ГОСТ 380—94, ГОСТ 14637—89		От —20 до + 400			
10, 20 ГОСТ 1050—88	Трубы электросварные ГОСТ 10706—76	От —30 до + 400	4 (40)	ТУ 14-3-624—77	п. 8
	Группы А, Б по ГОСТ 550—75; группа В по ГОСТ 8733—74; группа В по ГОСТ 8731—74	От —30 до + 475	5 (50)	Группы А, Б по ГОСТ 550—75; группа В по ГОСТ 8731—74; группа В по ГОСТ 8733—74 и пп. 2.3.3, 2.3.4 ОСТ 26-291—94	пп. 1, 2, 3, 4, 7
	Группы А, Б по ГОСТ 550—75	От —30 до + 475	16 (160)	Группы А, Б по ГОСТ 550—75, группа В по ГОСТ 8733—74. Испытание на сплющивание	
	Группа В по ГОСТ 8733—74				

Продолжение табл. 4.7

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия: температура стенки, °С	Рабочие условия: давление среды, МПа (кгс/см²), не более	Виды испытаний и требования	Примечания
10, 20 ГОСТ 1050—88	Группы А, Б по ГОСТ 550—75; группа В по ГОСТ 8731—74	От — 30 до + 475	16 (160)	Группы А, Б по ГОСТ 550—75, группа В по ГОСТ 8731—74 и пп. 2.3.3, 2.3.4 ОСТ 26-291—94. Испытание на сплющивание и проверка макроструктуры	—
	ТУ 14-3-190—82	От — 30 до + 425	6,4 (64)	ТУ 14-3-190—82	
20 ТУ 14-3-460—75	ТУ 14-3-460—75	От — 30 до + 475	Не ограничено	ТУ 14-3-460—75	пп. 3, 7
20ЮЧ ТУ 14-3-1600—89; ТУ 14-3-1652—88; ТУ 14-3-1745—90	ТУ 14-3-1600—89 ТУ 14-3-1652—88 ТУ 14-3-1745—90	От — 40 до + 475		ТУ 14-3-1600—89 ТУ 14-3-1652—88 ТУ 14-3-1745—90	—
15ГС ТУ 14-3-460—75	ТУ 14-3-460—75	От — 40 до + 400		ТУ 14-3-460—75	
09Г2С ГОСТ 19281—89	ТУ 14-3-500—76 ТУ 14-3-1128—82	От — 60 до + 475		ТУ 14-3-500—76 ТУ 14-3-1128—82	
10Г2 по ГОСТ 4543—71	Группы А, Б по ГОСТ 550—75; группа В по ГОСТ 8733—74; группа В по ГОСТ 8731—74	От — 70 до — 31	Не ограничено	Группы А, Б по ГОСТ 550—75. Испытание на ударный изгиб при температуре стенки для толщин не более 12 мм	пп. 1, 2, 3, 4
		От — 30 до + 475		Группы А, Б по ГОСТ 550—75, группа В по ГОСТ 8731—74, группа В по ГОСТ 8733—74	
10Г2ФБ ТУ 14-3-1464—87	ТУ 14-3-1464—87	От — 60 до + 420	10 (100)	ТУ 14-3-1464—87	п. 8
13Г1С-У ТУ 14-3-1464—87	ТУ 14-3-1464—87	От — 40 до + 320	5,5 (55)		
15ХМ ТУ 14-3-460—75	ТУ 14-3-460—75	От — 40 до + 560	Не ограничено	ТУ 14-3-460—75	—
12Х1МФ ГОСТ 20072—74		От — 20 до + 560			
1Х2М1 ТУ 14-3-517—76	ТУ 14-3-517—76	От — 40 до + 650	Не ограничено	ТУ 14-3-517—76	—
15Х5 ГОСТ 20072—74	Группы А, Б по ГОСТ 550—75	От — 40 до + 425		Группы А, Б по ГОСТ 550—75 и п. 2.3.5 ОСТ 26-291—94	—
15Х5М, 15Х5М-У, 15Х5ВФ ГОСТ 20072—74		От — 40 до + 650			
15Х5М ГОСТ 20072—74	ТУ 14-3-1080—81			ТУ 14-3-1080—81	—

Продолжение табл. 4.7

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см²), не более		
12Х8ВФ ГОСТ 20072—74	ГОСТ 550—75	От — 40 до + 650	Не ограничено	ГОСТ 550—75	п. 4
Х9М ТУ 14-3-457—76	ТУ 14-3-457—76			ТУ 14-3-457—76	—
Х8 ГОСТ 550—75	ГОСТ 550—75	От — 40 до + 475		ГОСТ 550—75	п. 4
10Х14Г14Н4Т ТУ 14-3-59—72	ТУ 14-3-59—72	От — 196 до + 500		ТУ 14-3-59—72	—
08Х22Н6Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81; ГОСТ 9941—81; ТУ 14-3-59—72; ТУ 14-3-1231—83	От — 40 до + 300		ГОСТ 9940—81; ГОСТ 9941—81; ТУ 14-3-59—72; ТУ 14-3-1231—83	—
07Х13АГ20 ТУ 14-3-1322—85 ТУ 14-3-1323—85	ТУ 14-3-1322—85 ТУ 14-3-1323—85	От — 70 до + 300	5 (50)	ТУ 14-3-1322—85; ТУ 14-3-1323—85	—
08Х21Н6М2Т ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-59—72	От — 40 до + 300	Не ограничено	ТУ 14-3-59—72	—
08Х18Г8Н2Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 5632—72	От — 20 до + 300	5 (50)	ГОСТ 5632—72	—
03Х19АГ3Н10 ТУ 14-3-415—75	ТУ 14-3-415—75	От — 196 до + 450	Не ограничено	ТУ 14-3-415—75	—
03Х17Н14М3 ТУ 14-3-396—75	ТУ 14-3-396—75; ТУ 14-3-1348—85; ТУ 14-3-1357—85			ТУ 14-3-396—75; ТУ 14-3-1357—85; ТУ 14-3-1348—85	—
02Х8Н22С6 ТУ 14-3-1024—81	ТУ 14-3-1024—81	От — 40 до + 120	—	ТУ 14-3-1024—81	—
08Х18Н10Т, 10Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	Трубы электросварные ТУ 14-3-1391—85	От — 273 до + 610	5 (50)	ТУ 14-3-1391—85 и п. 3.12.4 ОСТ 26-291—94	—
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81; ГОСТ 9941—81	От — 253 до + 350	Не ограничено	ГОСТ 9940—81, ГОСТ 9941—81 и пп. 2.3.5, 2.3.8 ОСТ 26-291—94	—
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72		Св. + 350 до + 610			п. 6
12Х18Н12Т ТУ 14-3-460—75	ТУ 14-3-460—75	От — 253 до + 610		ТУ 14-3-460—75	
08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81; ГОСТ 9941—81			ГОСТ 9940—81, ГОСТ 9941—81 и пп. 2.3.5, 2.3.8 ОСТ 26-291—94	—
12Х18Н10Т 08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81; ГОСТ 9941—81	От + 610 до + 700	5 (50)		
12Х18Н12Т ТУ 14-3-460—75	ТУ 14-3-460—75			ТУ 14-3-460—75	—
08Х18Н12Б ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81; ГОСТ 9941—81	От — 196 до + 610	Не ограничено	ГОСТ 9940—81, ГОСТ 9941—81 и пп. 2.3.8 ОСТ 26-291—94	—
10Х17Н13М2Т ГОСТ 5632—72		От — 196 до + 350			—
		От + 350 до + 700			

Продолжение табл. 4.7

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см²), не более		
08Х17Н15М3Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81; ГОСТ 9941—81	От — 196 до + 600	Не ограничено	ГОСТ 9940—81, ГОСТ 9941—81 и пп. 2.3.8 ОСТ 26-291—94	—
03Х18Н11 ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-681—78	От — 196 до + 450	Не ограничено	ТУ 14-3-681—78	—
02Х18Н11 ТУ 14-3-1401—86	ТУ 14-3-1401—86; ТУ 14-3-1339—85	От — 196 до + 450		ТУ 14-3-1401—86; ТУ 14-3-1339—85	
03Х21Н21М4ГБ ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-751—78; ТУ 14-3-694—78; ТУ 14-3-696—78	От — 70 до + 400		ТУ 14-3-751—78; ТУ 14-3-694—78; ТУ 14-3-696—78	—
03ХН28МДТ ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-694—78; ТУ 14-3-751—78; ТУ 14-3-1201—83	От — 196 до + 400		ТУ 14-3-694—78; ТУ 14-3-751—78; ТУ 14-3-1201—83	—
06ХН28МДТ ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-372—75; ТУ 14-3-318—75; ТУ 14-3-763—78; ТУ 14-3-822—79	От — 196 до + 400	Не ограничено	ТУ 14-3-372—75; ТУ 14-3-318—75; ТУ 14-3-763—78; ТУ 14-3-822—79	—
15Х25 ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-949—80	От 0 до + 300		ТУ 14-3-949—80	п. 9
08Х17Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81; ГОСТ 9941—81	От 0 до + 700	—	ГОСТ 9940—81; ГОСТ 9941—81 и пп. 2.3.5, 2.3.8 ОСТ 26-291—94	п. 5
15Х25Т ГОСТ 5632—72		От 0 до + 900			
15Х28 ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81; ГОСТ 9941—81		—	ГОСТ 9940—81; ГОСТ 9941—81	п. 5
08Х13, 12Х13 ГОСТ 5632—72		От — 40 до + 600			
08Х13, 12Х13 ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9941—81	От — 40 до + 550	Не ограничено	ГОСТ 9941—81 и пп. 2.3.5, 2.3.8 ОСТ 26-291—94	—
15Х18Н12С4ТЮ ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-310—74	От — 20 до + 200	2,5 (25)	ТУ 14-3-310—74; ГОСТ 9941—72	—
ХН32Т ТУ 14-3-489—76	ТУ 14-3-489—76	До + 900	Не ограничено	ТУ 14-3-489—76	—

Примечания.

1. При заказе труб по ГОСТ 8731—74 для изготовления корпусов (патрубков), подлежащих введению Госгортехнадзором России, необходимо требовать определения предела текучести.

2. Трубы с толщиной 12 мм и более по ГОСТ 8731—87 должны быть испытаны на ударный изгиб при температуре +20° С на предприятии-изготовителе труб. Значение ударной вязкости и объем испытаний должны соответствовать ГОСТ 550—75.

3. Трубы из стали марки 20, изготовленные по ГОСТ 8733—74, ГОСТ 550—75 и ТУ 14-3-460—75 диаметрами 20 и 25 мм толщиной не более 2,5 мм, допускается применять при температурах стенки от—60° С до + 475°С.

4. При заказе труб по ГОСТ 550—75, предназначенных для изготовления теплообменных аппаратов, необходимо оговаривать группу А.

5. Для деталей внутренних устройств, не подлежащих введению Госгортехнадзором России.

6. Для сред, не вызывающих межкристаллитную коррозию.

7. Допускается применять трубы толщиной не более 12 мм из сталей марок 10 и 20 по ГОСТ 550—75, ГОСТ 8733—74, ГОСТ 8731—74, ТУ 14-3-460—75, ТУ 14-3-190—82 при температуре стенки от—40° С и выше.

8. Контроль неразрушающими физическими методами продольных сварных швов.

9. Для трубных пучков, не подлежащих сварке.

Таблица 4.8

Механические свойства стальных труб (ОСТ 26-291—94)

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Сплющивание	Раздача, %	Примечание
							при 20°С	при нижнем пределе применения				
10, 20 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89	ГОСТ 3262—75	—	—	—	—	—	—	—	—	ГОСТ 3262—75		Загиб по ГОСТ 3262—75
Ст3кп2 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89	Группа В по ГОСТ 10706—76	Термически обработанное	235 (24)	363 (37)	20	—	—	—	—	—	—	—
Ст3сп4 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89			245 (25)	372 (38)	23	—	—	29 (3) при —20 °С	—	—	—	Стали применяются толщиной не более 9 мм; для стали Ст3сп5 ударная вязкость KCU после механического старения не менее 30 Дж/см^2 (3 кгс·м /см$^{2)}$
Ст3сп5 ГОСТ 380—94; ГОСТ 14637—89			245 (25)	372 (38)	23	—	—	29 (3) при —20 °С	—	—	—	
Ст10 ГОСТ 1050—86	ТУ 14-3-624—77	Термически обработанное		333 (34)	25	—	—	—	—	—	—	—
Ст20 ГОСТ 1050—86				412 (42)	22	—	—	—	—	—	—	—

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Сплющивание	Раздача, %	Примечание
							при 20°С	при нижнем пределе применения				
10 ГОСТ 1050—88	Группа А по ГОСТ 550—75	С прокатного нагрева или термически обработанное	216 (22)	353 (36)	Горячедеформированные 25	50	78	—	137	—	—	—
		Термически обработанное	206 (21)	Холоднодеформированные и теплодеформированные 333 (34)	26	—	—	—	137	ГОСТ 550—75		—
20 ГОСТ 1050—88	Группа А по ГОСТ 550—75	С прокатного нагрева или термически обработанное	255 (26)	431 (44)	Горячедеформированные 22	50	78	—	156	ГОСТ 550—75		—
20 ГОСТ 1050—88	Группы А, Б по ГОСТ 550—75	Термически обработанное	245 (25)	Холоднодеформированные и теплодеформированные 412 (42)	23	—	—	—	156	ГОСТ 550—75		—
10 ГОСТ 1050—88; ТУ 14-3-190—82	Группа В по ГОСТ 8733—74	Термически обработанное	206 (21)	343 (35)	24	—	—	—	137	ГОСТ 8731—74, ГОСТ 8733—74		Загиб по ГОСТ 8733—74; ГОСТ 8731—74
	Группа В по ГОСТ 8731—74	Горячекатаное	216 (22)	353 (36)								

Продолжение табл. 4.8

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, % не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Сплющивание	Раздача, %	Примечание
							при 20°С	при нижнем пределе применения				
20 ГОСТ 1050—88; ТУ 14-3-190—82	Группа В по ГОСТ 8733—74	Термически обработан-ное	245 (25)	412 (42)	21	—	—	—	156	ГОСТ 8731—74, ГОСТ 8733—74		Загиб по ГОСТ 8733—74, ГОСТ 8731—74
	Группа В по ГОСТ 8731—74	Горячекатаное	245 (25)	412 (42)	21	—	—	—	—			
20 ГОСТ 1050—88	ТУ 14-3-460—75	Термически обработанное или с прокатного нагрева	216 (22)	412—550 (42—56)	Продольные образцы 24	40	49 (5)	—	—	ТУ 14-3-460—74		—
				441 (45)	Поперечные образцы 22	40	39 (4)	—	—			—
20ЮЧ ТУ 14-3-1600—89; ТУ 14-3-1652—89	ТУ 14-3-1600—89	—	245 (25)	412 (42)	23	—	—	49 (5) при —40 °С	190	ТУ 14-3-1600—89		—
	ТУ 14-3-1652—89		382 (39)							ТУ 14-3-1652—89		—
09Г2С ГОСТ 19281—89; ТУ 14-3-1128—82	ТУ 14-3-1128—82	Термически обработанное	265 (27)	472 (48)	22	—	—	34 (3,5) при —60 °С s≤10 мм 29 (3) при —60 °С s>10 мм	—	—	—	Ударная вязкость KCU определяется при —30 °С

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Сплющивание	Раздача, %	Примечание
							при 20°С	при нижнем пределе применения				
09Г2С ГОСТ 19281—82	ТУ 14-3-500—76	Термически обработанное	265 (27)	472 (48)	22	—	—	39 (4) при —70 °С	—	ТУ 14-3-500—76	—	Ударная вязкость KCU не менее 50 Дж/см^2 (5 кгс·м/см^2) для труб 219×8 мм
10Г2 ГОСТ 4543—71	Группа В по ГОСТ 8733—74		235 (25)	421 (43)	22	—	—	—	—	ГОСТ 8733—74		Загиб и бортование по ГОСТ 8733—74
	Группа В по ГОСТ 8731—74	С прокатного нагрева или термически обработанное	265 (27)	421 (43)	21	—	—	—	197	ГОСТ 8731—74		Загиб и бортование по ГОСТ 8731—74
	Группы А, Б по ГОСТ 550—75	С прокатного нагрева или термически обработанное	265 (27)	421 (43)	21	50	118 (12)	24 (2,5) при —40 °С	197	ГОСТ 550—75		Ударная вязкость определяется для толщин более 12 мм
15ГС ТУ 14-3-460—75	ТУ 14-3-460—75	Термически обработанное или с прокатного нагрева	294 (30)	Поперечные образцы 491 (50)	16	40	49 (5)	—	—	ТУ 14-3-460—75		—
			294 (30)	Продольные образцы 491 (50)	18	45	59 (6)					

Продолжение табл. 4.8

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение ψ, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Сплющивание	Раздача, %	Примечание
							при 20°С	при нижнем пределе применения				
10Г2ФБ ТУ 14-3-1464—87	ТУ 14-3-1464—87	Контролируемая прокатка	441 (45)	588 (60)	20	—	—	49 (5) при —60 °С	—	—	—	Ударная вязкость KCU 78,4 Дж/см^2 (8 кгс·м/см^2) при —15 °С
13ГС-У ТУ 14-3-1464—87			363 (37)	510 (52)	20	—	—	39 (4) при —60 °С	—	—	—	Ударная вязкость KCU 39,2 Дж/см^2 (45 кгс·м/см^2) при —15 °С
13Г1С-У ТУ 14-3-1464—87			402 (41)	539 (55)	20	—	—	39 (4) при —60 °С	—	—	—	Ударная вязкость KCU при —15 °С 39,2 Дж/см^2 (45 кгс·м/см^2) и для толщин 14 мм 58,8 Дж/см^2 (65 кгс·м/см^2)
15ХМ ТУ 14-3-460—75	ТУ 14-3-460—75	С проката нагрева или термически обработанное	235 (24)	Продольные образцы 441—638 (45—65)	21	50	59 (6)	—	—	ТУ 14-3-460—75		—
15ХМ ТУ 14-3-460—75	ТУ 14-3-460—75	С проката нагрева или термически обработанное	226 (23)	Поперечные образцы 441 (45)	20	45	49 (5)	—	—	ТУ 14-3-460—75		—

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Сплющивание	Раздача, %	Примечание
							при 20°С	при нижнем пределе применения				
12Х1МФ ГОСТ 20072—74	ТУ 14-3-460—75	С прокатного нагрева или термически обработанное	275 (28)	Продольные образцы 441—638 (45—65)	21	55	59 (6)	—	—	ТУ 14-3-460—75		—
			275 (28)	Поперечные образцы 441 (45)	19	50	49 (5)	—	—			—
1Х2МІ ГОСТ 550—75	ГОСТ 550—75	Термически обработанное	265 (27)	441 (45)	20	45	98 (10)	—	227	ГОСТ 550—75		—
15Х5 ГОСТ 20072—74	Группы А, Б по ГОСТ 550—75		216 (22)	392 (40)	Горячедеформированные 24	50	98 (10)	—	—	ГОСТ 550—75		—
15Х5М ГОСТ 20072—74			216 (22)	392 (40)	Горячедеформированные 22	50	118 (12)	—	170			—
			Холодно- и теплодеформированные 216 (22)	392 (40)	22	—	—	—	170			—
15Х5М-У ГОСТ 20072—74		Нормализация + отпуск	412 (42)	588 (60)	Горячедеформированные 16	65	98 (10)	—	235			—

Продолжение табл. 4.8

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Сплющивание	Раздача, %	Примечание
							при 20°С	при нижнем пределе применения				
			Горячедеформированные									
15Х5ВФ ГОСТ 20072—74	Группы А, Б по ГОСТ 550—75	Термически обработанное	216 (22)	392 (40)	22	50	118 (12)	—	170	ГОСТ 550—75		—
Х8М ТУ 14-3-457—76	ТУ 14-3-457—76		216 (22)	470 (48)	22	50	98 (10)	—	170	ТУ 14-3-457—76		—
12Х8 ГОСТ 550—75	ГОСТ 550—75		216 (22)	392 (40)	22	—		—		ГОСТ 550—75		—
Х8 ТУ 14-3-457—76	ТУ 14-3-457—76	Термически обработанное	196 (20)	392 (40)	22	50	78 (8)	—	170	ТУ 14-3-457—76		—
12Х8ВФ ГОСТ 20072—74	ГОСТ 550—75		167 (17)	392 (40)	22	50	98 (10)	—		ГОСТ 550—75		—
15Х5М ТУ 14-3-1080—81; ГОСТ 20072—74	ТУ 14-3-1080—81		412 (42)	569 (58)	16	65	98 (10)	—	—	ТУ 14-3-1080—81		—
10Х14Г14Н4Т ТУ 14-3-59—81	ТУ 14-3-59—81		—	588 (60)	35	—	—	—	—	—	—	—
08Х22Н6Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81, ГОСТ 9941—81		—	588 (60)	20	—	—	—	—	ГОСТ 9940—81, ГОСТ 9941—81	—	—
	ТУ 14-3-59—81									—	—	
08Х21Н6М2Т ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-59—81	Термически обработанное	—	588 (60)	20	—	—	—	—	ГОСТ 9940—81, ГОСТ 9941—81	—	—
08Х18Г8Н2Т ТУ 14-3-387—75	ТУ 14-3-387—75		295 (30)	588 (60)	18							

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Сплющивание	Раздача, %	Примечание
							при 20°С	при нижнем пределе применения				
07Х13АГ20 ТУ 14-3-1322—85, ТУ 14-3-1322—85	ТУ 14-3-1322—85, ТУ 14-3-1323—85	—	344 (35)	638 (65)	40	—	—	—	—	—	—	Растяжение по ГОСТ 10006—73
03Х17Н14М3 ТУ 14-3-396—75, ТУ 14-3-1357—85, ТУ 14-3-1348—85	ТУ 14-3-396—75, ТУ 14-3-1357—85	—	196 (20)	490 (50)	30	—	—	—	—	—	ТУ 14-3-396—75, ТУ 14-3- 1357—85	
	ТУ 14-3-1348—85				40							
03Х19АГ3Н10 ТУ 14-3-415—75	ТУ 14-3-415—75	—	344 (35)	638 (65)	45	—	—	—	—	—	ТУ 14-3-5-415—75	Бортование по ТУ 14-3-415—75
02Х8Н22С6 ТУ 14-3-1024—81	ТУ 14-3-1024—81	—	196 (20)	588 (60)	35	—	—	—	—	—	—	—
08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	Трубы электросварные по ТУ 14-3-1391—85	—	—	530 (54)	37	—	—	—	—	—	—	—
10Х18Н10Т ГОСТ 5632—72				550 (56)	35							
02Х18Н11 ТУ 14-3-1401—86; ТУ 14-3-1339—85	ТУ 14-3-1401—86	Термически обработанное	186 (18,5)	452 (46)	45	—	—	—	—	—	—	—
	ТУ 14-3-1339—85		185 (18,5)	472 (48)	45	—	—	—	—	—	—	—
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81		216 (22)	530 (54)	40	—	—	—	—	—	—	—
	ГОСТ 9941—81			550 (56)	35							

Продолжение табл. 4.8

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Сплющивание	Раздача, %	Примечание
							при 20°С	при нижнем пределе применения				
12Х18Н12Т ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-460—75		216 (22)	Продольные образцы 530 (54)	35	—	—	—	200	ТУ 14-3-460—75		—
08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81		—	510 (52)	40	—	—	—	—	—	—	—
	ГОСТ 9941—81			550 (56)	37							
08Х18Н12Б ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81		—	510 (52)	38	—	—	—	—	—	—	—
	ГОСТ 9941—81		—	530 (54)	37	—	—	—	—	—	—	—
10Х17Н13М2Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81	Термически обработанное	—	530 (54)	35	—	—	—	—	—	—	—
	ГОСТ 9941—81											
08Х17Н15М3Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81		—	510 (52)	35	—	—	—	—	—	—	—
	ГОСТ 9941—81		—	550 (56)	35	—	—	—	—	—	—	—
03Х18Н11 ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-681—78		196 (20)	510 (52)	45	—	—	—	—		ТУ 14-3-681—78	Бортование по ТУ 14-3-681—78
03Х21Н21МЧГБ ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-694—78, ТУ 14-3-696—78, ТУ 14-3-751—78		216 (22)	490 (50)	30	—	—	—	—	—	—	—
03ХН28МДТ ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-694—78, ТУ 14-3-751—78, ТУ 14-3-1201—83	Термически обработанное	216 (22)	490 (50)	35	—	—	—	—	—	ТУ 14-3-694—78, ТУ 14-3-751—78, ТУ 14-3-1201—83	—

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более	Сплющивание	Раздача, %	Примечание
							при 20°С	при нижнем пределе применения				
06ХН28МДТ ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-318—74, ТУ 14-3-372—75	Термически обработанное	—	520 (53)	35	—	—	—	—	—	ТУ 14-3-318—74; ТУ 14-3-372—75; ТУ 14-3-763—78; ТУ 14-3-822—79	—
	ТУ 14-3-763—78, ТУ 14-3-822—79			490 (50)	30							
08Х17Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81, ГОСТ 9941—81		—	372 (38)	17	—	—	—	—	—	—	—
15Х25Т ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81		—	441 (45)	—	—	—	—	—	—	—	—
	ГОСТ 9941—81			461 (47)								
08Х13 ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81, ГОСТ 9941—81		—	372 (38)	22	—	—	—	—	—	—	—
12Х13 ГОСТ 5632—72	ГОСТ 9940—81	Термически обработанное	—	392 (40)	21	—	—	—	—	—	—	—
	ГОСТ 9941—81				22							
ХН32Т ТУ 14-3-489—76	ТУ 14-3-489—76		176 (18)	477 (48)	Горячекатаные		—	—	—	ТУ 14-3-489—76		—
					35	60 при толщине не более 10 мм						
15Х18Н12С4ТЮ ГОСТ 5632—72	ТУ 14-3-310—74	Термически обработанное	—	716 (73)	25	—	—	—	—	ТУ 14-3-310—74		—

Таблица 4.9

Рекомендуемый сортамент бесшовных труб (ГОСТ 8734—75 и ГОСТ 8732—78) для технологических трубопроводов

D_y, мм	$D_н$×s, мм	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба*, мм	p_y, МПа							
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред				Для средне-агрессивных сред		Для агрессивных сред	
						Для сталей марок							
		по наружному диаметру	по толщине стенки			20	10Г2	15Х5М; Х8	15Х5М**	20	10Г2	15Х5М; Х8	15Х5М**
10	14×1,6	±0,3 мм	±10%	0,490	18	≤10	≤6,4	≤10	—	—	—	—	—
	14×3			0,814		≤2,5***	≤2,5***	—		≤10 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	≤10	
15	18×1,6			0,647	28	≤10	≤6,4	≤10		—	—	—	
	18×3			1,11		≤2,5***	≤2,5***	—		≤10 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	≤10	
20	25×1,6			0,925	50	≤10	≤6,4	≤10		—	—	—	
	25×3	±0,5 мм	+12,5% —15%	1,63		≤2,5***	≤2,5***	—		≤10 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	—	
	25×3,5			1,86		—	—			—	—	≤10	
25	32×2	±0,4 мм	±10%	1,48	60	≤10	≤6,4	≤10				—	
	32×3,5	±0,5 мм	+12,5% —15%	2,46		≤2,5***	≤2,5***	—		≤10 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	≤10	
32	38×2	±0,4 мм	±10%	1,78	70	≤10	≤6,4	≤10					
	38×3,5	±0,5 мм	+12,5% —15%	2,98		—	—	—		—	—	≤10	
	38×4	±0,4 мм	±10%	3,35		≤2,5***	≤2,5***			≤10 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	—	
40	45×2,5			2,62	90	≤10	≤6,4	≤10		—	—		
	45×3,5	±0,5 мм	+12,5% —15%	3,58		—	—	—				≤10	
	45×4			4,04		≤2,5***	≤2,5***	—		≤10 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	—	
50	57×3	±1%		4,00	110	—	—	≤10				≤4	
	57×3,5			4,62		≤10 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***			—	—	—	
	57×5			6,41				—				6,4; 10	
	57×6			7,55		—	—			≤10 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	—	

Продолжение табл.4.9

D_y, мм	$D_н$×s, мм	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба*, мм	p_y, МПа							
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред				Для средне-агрессивных сред		Для агрессивных сред	
						Для сталей марок							
		по наружному диаметру	по толщине стенки			20	10Г2	15Х5М; Х8	15Х5М**	20	10Г2	15Х5М; Х8	15Х5М**
70	76×3,5	±1%	+12,5% -15%	6,26	225	≤6,4	≤6,4	≤10	–	–	–	≤4	–
	76×4			7,10		10 ≤2,5***	≤2,5***	–				–	
	76×5			8,75		–	–					6,4; 10	
	76×6			10,36						≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	–	
	76×7			11,91						10	–		
80	89×3,5			7,38	250	≤6,4	≤6,4	≤6,4		–		≤2,5	
	89×4,5			9,38		10 ≤2,5***	≤2,5***	10				4	
	89×6			12,28		–	–	–	–	≤4 ≤2,5***	≤4 ≤2,5***	6,4	–
	89×7			14,16						6,4	6,4	10	
	89×8			15,98						10	–	–	
100	108×4			10,26	360	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4		–	–	≤2,5	
	108×4,5			11,49		–	–	10				4	
	108×5			12,70		10		–				6,4	
	108×6			15,09		–	–	–		≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	–	
	108×7			17,44						–	–	10	
	108×8			19,73						10	–	–	
	108×9			21,97									
125	133×4			12,73	400	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4	≤10	–	–	≤2,5	≤4
	133×5			15,78		10	–	–	–			–	6,4
	133×6			18,79		–		10				4	–

Продолжение табл.4.9

D_y, мм	$D_н$×s, мм	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба*, мм	p_y, МПа							
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред				Для средне-агрессивных сред		Для агрессивных сред	
						Для сталей марок							
		по наружному диаметру	по толщине стенки			20	10Г2	15Х5М; Х8	15Х5М**	20	10Г2	15Х5М; Х8	15Х5М**
125	133×7	±1%	+12,5% -15%	21,75	400	–	–	–	–	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	6,4	10
	133×9			27,52						–	–	10	–
	133×10			30,33						10		–	
150	159×4,5			17,15	450	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4	≤10	–	–	≤2,5	≤4
	159×6			22,64		10	–	–	–			–	6,4
	159×7			26,24		–	–	10		≤4 ≤2,5***	≤4 ≤2,5***	4	–
	159×8			29,79				–	–	6,4	6,4	6,4	10
	159×10			36,75				–		–	–	10	–
	159×11			40,15						10		–	
175	194×5			23,31	630	≤6,4	≤6,4			–	–		
	194×6			27,82		≤2,5***	≤2,5***	≤6,4	≤10			≤2,5	≤4
	194×7			32,28		–	–	–	–			–	6,4
	194×8			36,70		10	–	10	–	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	4	–
	194×9			41,06		–	–	–		–	–	6,4	10
	194×10			45,38								–	–
	194×12			53,86						10	–	10	
200	219×7			36,60		≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4	≤10	–		≤2,5	≤6,4
	219×8			41,63		–	–	–	–	≤4 ≤2,5***	≤4 ≤2,5***	–	–
	219×9			46,61		10	–	10		–	–	4	
	219×10			51,54		–		–	–	6,4	6,4	6,4	10
	219×11			56,43						–	–	–	–
	219×14			70,78						10		10	

Продолжение табл.4.9

D_y, мм	$D_н$×s, мм	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления) по наружному диаметру	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления) по толщине стенки	Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба*, мм	p_y, МПа: Для неагрессивных и малоагрессивных сред — Для сталей марок: 20	10Г2	15Х5М; Х8	15Х5М**	Для средне-агрессивных сред — 20	10Г2	Для агрессивных сред — 15Х5М; Х8	15Х5М**
250	273×7	±1,25%	+12,5% −15%	45,92	800	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	–	–		–	–	
	273×8			52,28				≤6,4	≤10			≤2,5	≤6,4
	273×9			58,60		–		–		≤4 ≤2,5***	≤4 ≤2,5***	4	–
	273×11			71,07		10	–			6,4	6,4	–	
	273×12			77,24				10		–		6,4	10
	273×14			89,42		–			–		–	–	
	273×16		±12,5%	101,41				–		10	–	10	
300	325×9		+12,5% −15%	70,14	900	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4 ≤2,5***	≤6,4		–		≤4	–
	325×10			77,68		–	–	–	≤10 ≤2,5***	≤4 ≤2,5***	≤4	–	≤6,4
	325×12			92,63						–	–		–
	325×14			107,38		10		10		6,4	6,4	6,4	10
	325×16		+12,5%	121,93		–		–	–	10	–	–	–
	325×18			136,28						–		10	
350	377×9		+12,5% −15%	81,68	1120	≤4 ≤2,5***	≤4 ≤2,5***					–	
	377×10			90,51		6,4	6,4			≤4 ≤2,5***	≤4 ≤2,5***	–	
	377×12			108,02		–	–	≤6,4	≤10	–	–	≤4	≤6,4
	377×14			125,33				–	–			–	–
	377×16		+12,5%	142,44		10	–	10		6,4	6,4	6,4	10
	377×17			150,93		–		–	–	–	–	–	–
	377×18			159,36									
	377×20			176,08						10		10	

D_y, мм	$D_н$×s, мм	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба*, мм	p_y, МПа							
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред				Для среднеагрессивных сред		Для агрессивных сред	
						Для сталей марок							
		по наружному диаметру	по толщине стенки			20	10Г2	15Х5М; Х8	15Х5М**	20	10Г2	15Х5М; Х8	15Х5М**
400	426×10	±1,25%	+12,5% −15%	102,59	1250	≤4 ≤2,5***	≤4 ≤2,5***	–	–	–	–	–	–
	426×11			112,58		6,4	6,4			≤4 ≤2,5***	≤4 ≤2,5***		
	426×12			122,52		–	–	≤6,4	≤10	–	–	≤4	≤6,4
	426×14			142,25				–	–			–	–
	426×16		+12,5%	161,78				–		6,4	6,4		10
	426×17			171,47						–	–		–
	426×18			181,11				10				6,4	
	426×20			200,25				–				–	
	426×22			219,19								10	

Примечания:

1. Допустимое рабочее давление для принятой ступени условного давления определяется в зависимости от марки стали и температуры рабочей среды рабочей среды.
2. Размеры труб 14×1,6; 14×3; 18×1,6; 18×3; 25×1,6; 32×2; 38×2; 38×4 и 45×2,5 мм соответствуют ГОСТ 8734–75, остальных труб – ГОСТ 8732–78.
3. Для трубопроводов на p_y ≤1,6 МПа применение бесшовных труб по ГОСТ 8732–78 и 8734–75 из стали марки 20 и возможность замены их электросварными трубами по ГОСТ 10704—76 решается проектными организациями в зависимости от условий работы трубопровода и характера среды.
4. Для коммуникационных трубопроводов с большим количеством фланцевых соединений и для межцеховых коммуникаций, где применение основного ряда вызывает необходимость установки большого количества добавочных опор, допускается применение труб размерами 14×3; 18×3; 25×3; 32×3,5; 38×4; 45×4 взамен труб размерами 14×1,6; 18×1,6; 25×1,6; 32×2; 38×2 и 45×2,5 мм.
5. Трубы с D_y = 175 мм применяются только для тепловых сетей. На D_y = 175 мм общепромышленная арматура не выпускается.
6. Толщины стенок труб рассчитаны в соответствии с нормам Госгортехнадзора и приняты для неагрессивных и малоагрессивных сред длятруб из стали марок 20 и 10Г2 без прибавки на коррозию, а для труб из легированной стали марок 15х5М, Х8, применяемых на p_y=6,4 МПа и p_y=10 МПа с прибавкой на коррозию к расчетной толщине в следующих величинах:

   для D_y = 10–100 мм . . . . . 1,5–3,5 мм

   для D_y > 100 мм . . . . . 3–6 мм

   Для труб из стали марок 20 и 10Г2, предназначенных для работы со среднеагрессивными средами, толщины стенок приняты с прибавкой к расчетной толщине в следующих величинах:

   для D_y ≤ 40 мм . . . . . 1,5–2 мм

   для D_y = 50–100 мм . . . . . 3,5–4,5 мм

   для D_y ≥ 125 мм . . . . . 4–5 мм

7. Для неагрессивных сред скорость коррозии металла принята равной ≤0,01 мм/год, для малоагрессивных сред – свыше 0,01 до 0,1 мм/год, для среднеагрессивных и агрессивных сред – свыше 0,1 до 0,5 мм/год.

---

* По оси трубы.

** Сталь со специальной термической обработкой.

*** Трубы, применяемые для плоских приварных фланцев.

Таблица 4.10

Рекомендуемый сортамент стальных электросварных труб (ГОСТ 10704—76) для технологических трубопроводов $P_y \leq 2{,}5$ МПа

D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения: по наружному диаметру	Допускаемые отклонения: по толщине стенки	Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба*, мм	D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения: по наружному диаметру	Допускаемые отклонения: по толщине стенки	Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба*, мм
10	14x1,5	±0,3 мм	± 10%	0,462	18	50	57x3	±0,8%	± 10%	4,00	110
15	18x2			0,789	28		57x3,5**			4,62	
20	25x2			1,13	50						
25	32x2			1,48	60	80	89x3			6,36	250
	32x3 **			2,15			89x4**			8,38	
32	38x2	±0,4 мм		1,78	70	100	108x3			7,77	360
	38x3**			2,59			108x4**			10,26	
40	45x2,5			2,62	90	125	133x3,5			11,18	400
	45x3**			3,11			133x4 **			12,73	

Примечания.

1. Материал труб— сталь 20 по ГОСТ 1050—88.

2. Для коммуникационных трубопроводов с большим количествомфланцевых соединений и для межцеховых коммуникаций, где применение основного ряда труб вызывает необходимость установки большого количества добавочных опор, допускается применение труб размером32×3, 38×3, 45×3 взамен труб 32×2, 38×2, 45×2,5.

* По оси трубы.

** Трубы, применяемые для плоских приварных фланцев.

Таблица 4.11

Рекомендуемый сортамент электросварных труб для обечаек аппаратов с наружным базовым размером и для газопроводов (ГОСТ 10704—76)

D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемое отклонение по $D_н$, мм	Масса 1 м, кг	P_y, МПа: Для неагрессивных и малоагрессивных сред	P_y, МПа: Для среднеагрессивных сред	D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемое отклонение по $D_н$, мм	Масса 1 м, кг	P_y, МПа: Для неагрессивных и малоагрессивных сред	P_y, МПа: Для среднеагрессивных сред
400	426x4	±4,0	41,63	≤1,0	—	900	920x6	±6,5	135,20	≤1,0	—
	426x5		51,91	1,6			920x8		179,90	1,6	
	426x7		72,33	—	≤0,6		920x9		202,20	≤1,6*	≤0,6; ≤0,6*
	426x9		92,56	≤1,6*	1,0; 1,6; ≤1,6*		920x10		224,40	—	1,0;1,0*
450	480x4	±4,2	46,95	≤1,0	—		920x12		268,70		1,6; 1,6*
	480x5		58,57	1,6		1000	1020x6	±7,0	150,00	≤1,0	—
	480x7		81,65	—	≤0,6		1020x9		224,40	1,6; ≤1,6*	≤0,6; ≤0,6*
	480x9		104,52	≤1,6*	1,0; 1,6; ≤1,6*		1020x10		249,10	—	1,0;1,0*
500	530x5	±45	64,73	≤1,6	—		1020x14		347,30		1,6; 1,6*
	530x7		90,28	—	≤0,6	1100	1120x6	±7,5	164,80	≤1,0	—
	530x9		115,62	≤1,6*	1,0; 1,6; ≤1,6*		1120x9		246,60	1,6; ≤1,6*	≤0,6; ≤0,6*
600	630x5	±5,0	77,06	≤1,0	—		1120x11		300,80	—	1,0;1,0*
	630x6		92,33	1,6			1120x14		381,90		1,6; 1,6*
	630x9		137,81	≤1,6*	≤1,0; ≤1,0*						
	630x10		152,89	—	1,6; 1,6*						

Продолжение табл. 4.11

D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемое отклонение по $D_н$, мм	Масса 1 м, кг	P_y, МПа		D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемое отклонение по $D_н$, мм	Масса 1 м, кг	P_y, МПа	
				Для неагрессивных и малоагрессивных сред	Для среднеагрессивных сред					Для неагрессивных и малоагрессивных сред	Для среднеагрессивных сред
700	720x6	±5,5	105,70	≤1,6	—	1200	1220x7	±8,0	209,40	≤1,0	—
	720x9		157,80	≤1,6*	≤1,0; ≤1,0*		1220x10		298,40	1,6; ≤1,6*	0,6; ≤0,6*
	720x11		192,30	—	1,6; 1,6*		1220x12		357,50	—	1,0;1,0*
							1220x14		416,40		1,6; 1,6*
800	820x6	±6,0	120,50	≤1,0	—	1400	1420x8	±9,0	278,60	≤1,0	—
	820x7		140,30	1,6			1420x10		347,70	≤1,6	≤0,6; ≤0,6*
	820x9		180,00	≤1,6*	≤1,0; ≤1,0*		1420x12		416,70	≤1,6*	1,0;1,0*
	820x12		239,10	—	1,6; 1,6*		1420x16		554,00	—	1,6; 1,6*

Примечание.
Материал труб — сталь Ст3сп по ГОСТ 380—94.

*Трубы, применяемые для плоских приварных фланцев.

Таблица 4.12

Рекомендуемый сортамент нержавеющих электросварных труб (ГОСТ 11068—81) для технологических трубопроводов на $p_y \leq 2,5$ МПа

D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения*		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба**, мм	D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения *		Масса 1м, кг	Минимальный радиус гиба**, мм
		по наружному диаметру	по толщине стенки					по наружному диаметру	по толщине стенки		
10	12x1,4	±0,4 мм	±0,2 мм	0,365	18	40	45x2,5	±1%	±0,25 мм	2,62	90
	12x1,8			0,452			45x3			3,11	
15	20x2		±0,25 мм	0,888	40	50	57x2,5			3,36	110
20	25x2			1,13	50		57x3			4,00	
25	32x2	±1%		1,48	60		60x4		± 10%	5,52	160
	32x2,5			1,82		80	89x3		±0,25 мм	6,36	250
	32x3			2,15			89x3,5			7,38	
32	38x2			1,78	70		89x4		± 10%	8,38	
	38x2,5			2,19		100	102x3,5			8,50	360
	38x3			2,59			102x4			9,67	

Примечания.
1. Материал труб—стали марок 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т по ГОСТ 5632—72.
2. Трубы поставляются в термически обработанном состоянии. Поставка труб без термической обработки должна быть оговорена при заказе.

* Для труб обычной точности изготовления.
** По оси трубы.

Таблица 4.13

Рекомендуемый сортамент бесшовных труб (ГОСТ 9940—81 и 9941—81) из высоколегированной стали на $p_y \leq 10$ МПа

D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения *		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба**, мм	P_y, МПа					
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред			Для агрессивных сред		
						Для сталей марок					
		по наружному диаметру	по толщине стенки			08Х18Н10Т	10Х17Н13М2Т	08Х21Н6М2Т	08Х18Н10Т	10Х17Н13М2Т	08Х21Н6М2Т
10	14х1,4	±0,45 мм	±15%	0,434	18	≤10	≤10	≤10			
	14х2,5			0,709		—	—	—	≤10	≤10	≤10
15	18х1,4			0,572	28	≤10	≤10	≤10	—	—	—
	18х2,5			0,956		—	—	—	≤10	≤10	≤10
20	25х1,4			0,813	50	≤10	≤10	≤10	—	—	—
	25х2,5			1,39		—	—	—	≤10	≤10	≤10
25	32х1,8			1,34	60	≤10	≤10	≤10	—	—	—
	32х2,5			1,76		—	—	—	≤10	≤10	≤10
32	38х2			1,78	70	≤10	≤10	≤10	—	—	—
	38х3			2,59		—	—	—	≤10	≤10	≤10
40	45х2			2,12	90	≤6,4	≤6,4	≤6,4	—	—	—
	45х2,5	±1,2%		2,62		10	10	10	≤6,4	≤6,4	≤6,4
	45х3,5		± 12,5%	3,58		—	—	—	10	10	10
50	56х2		±15%	2,66	110	≤6,4	≤6,4	≤6,4	—	—	—
	56х3			3,92		10	10	10	≤4	≤4	≤4
	56х4		± 12,5%	5,13		—	—	—	6,4; 10	6,4; 10	6,4; 10
70	75х2,5		±15%	4,46	225	≤6,4	≤6,4	≤6,4	—	—	—
	75х3,5		± 12,5%	6,17		10	10	10	≤6,4	≤6,4	≤6,4
	76х5	+1,5% —2,0%	+20% —15%	8,75		—	—	—	10	10	10
80	90х3	±1,2%	± 15%	6,43	250	≤6,4	≤6,4	≤6,4	—	—	—
	89х4,5	+1,5% —2,0%	+20% —15%	9,38		10	10	10	≤6,4	≤6,4	≤6,4
	89х6			12,28		—	—	—	10	10	10

Продолжение табл. 4.13

D_y, мм	$D_n \times s$, мм	Допускаемые отклонения*		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба**, мм	P_y, МПа					
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред		Для агрессивных сред			
						Для сталей марок					
		по наружному диаметру	по толщине стенки			08Х18Н10Т	10Х17Н13М2Т	08Х21Н6М2Т	08Х18Н10Т	10Х17Н13М2Т	08Х21Н6М2Т
100	110x3,5	±1,2%	±12,5	9,19	360	≤6,4	≤6,4	≤6,4	—	—	—
	110x4,5			11,70		10	10	10	≤6,4	≤6,4	≤6,4
	108x7			17,44		—	—		10	10	10
125	133x5	+1,5% —2,0%		15,78	400	≤6,4	≤6,4		≤4	≤4	
	133x6			18,79		10	10		6,4	6,4	
	133x8		+20% ±15%	24,66		—	—		10	10	—
150	159x6	±1,5%		22,64	450	≤6,4	≤6,4		≤4	≤4	
	159x7			26,24		10	10		6,4	6,4	
	159x9			33,29		—	—		10	10	
175	194x9		+20% —15%	41,06	630	≤10	≤10	—	≤6,4	≤6,4	
	194x11		±15%	49,64		—	—		10	10	
200	219x10		+20% —15%	51,54		≤10	≤10		≤6,4	≤6,4	
	219x12			61,26		—			10	10	—
250	273x11	±1,5%		71,07	800	≤6,4			≤4		
	273x12			77,24		10			6,4		
	273x14		±15%	89,42		—			10	—	
300	325x12			92,63	900	≤6,4			≤4		
	325x14			107,38		10			6,4		

Примечания.

1. Допустимое рабочее давление для принятой ступени условного давления определяется в зависимости от марки стали и от температуры рабочей среды.

2. Толщины стенок труб рассчитаны в соответствии с нормами Госгортехнадзора и приняты для труб, работающих с неагрессивными и малоагрессивными средами на p_y=6,4 МПа и p_y=10 МПа с прибавкой на коррозию к расчетной толщине в следующих величинах:

для D_y=10—80 *мм* ..... 1—1,5 *мм*

для $D_y \geq 100$ *мм* ..... 2 *мм*

* Для труб обычной точности изготовления.

** По оси трубы.

Таблица 4.14

Рекомендуемый сортамент бесшовных труб из углеродистой, легированной и высоколегированной сталей для технологических трубопроводов на p_y =16—40 МПа

D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба*, мм	P_y, МПа								
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред			Для агрессивных сред					
						Для сталей марок								
		по наружному диаметру	по толщине стенки			20	15Х5М; 08Х18Н10Т	15Х5М**	10Х17Н13М2Т	20	15Х5М	15Х5М**	08Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т	
10	16х2,5	±0,3 мм	± 10%	0,832	18	25	—		—				—	
	18х2,5			0,956	28	16	16		16	—	—		—	
	18х3,5			1,25		—	—						16	
	18х4,5			1,50						16	16			
15	22х2,5			1,20	50	20	—			—	—			
	25х5			2,47		—				16	16			
20	25х2,5	±0,5 мм		1,39		16	16	—	16	—	—	—	—	
	25х3,5			1,86		—	—						16	
	28х2,5			1,57	55	—	—						—	
	28х3			1,85		25			—					
	28х3,5			2,11		—	—							
	32х5			3,33	60					16	16			
25	32х2,5			1,76		16	16		16					
	32х3,5			2,46		—	—			—	—		16	
32	42х3			2,89	70									
	42х3,5		+12,5% —15%	3,32		20	—		—				—	
	48х6			6,21	100	—	—			16	16			
40	48х2,5			2,81				16						
	48х4			4,34		20	16	—	16					
	48х5			5,30		—	—		—	—	—	16	16	
50	60х3			4,22	160			16				—	—	
	60х4			5,52		16	16		16					
	60х6			7,99		—	—		—			16	16	
	60х7	±1%		9,15						16	16	—	—	
60	76х6			10,36	225	20	—	—	—	—	—			
	76х7			11,91		25						16	16	
	76х8			13,42		—	—		—	16	16	—	—	
	76х10			16,28						—	—			

Продолжение табл. 4.14

D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба*, мм	P_y, МПа							
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред				Для агрессивных сред			
						Для сталей марок							
		по наружному диаметру	по толщине стенки			20	15Х5М; 08Х18Н10Т	15Х5М**	10Х17Н13М2Т	20	15Х5М	15Х5М**	08Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т
70	76x4	±1%	+12,5% —15%	7,10	225	—	—	16	—	—	—	—	—
	76x5			8,75		16	16		16				
	89x8			15,98	250	—	—	—	—	—	—	16	16
	89x10			19,48						16	16		
80	89x4,5			9,38				16		—	—	—	—
	89x6			12,28		16	16		16				
100	108x6			15,09	360	—	—	—	—	—	—	—	—
	108x8			19,73		20	—		—				
	114x6			15,98		—		16					
	114x7			18,47		16							
	114x8			20,91			16		16				
	114x10			25,65		—						16	16
	114x12			30,19						16	16		
	133x11			33,10	400	25		—		—	—	—	—
	133x16		±12,5%	46,17		—							
125	133x7		+12,5% —15%	21,75			—		—				
	133x9			27,52		20							
	168x16		±12,5%	59,98	500	—				16	16	—	—
150	168x9		+12,5% —15%	35,29				16		—	—		
	168x10			38,97		16							
	168x11			42,59		—							
	168x12			46,17		20	16		16				
	168x14			53,17		—		—				16	16
	194x16		± 12,5%	70,24		25							16
	194x18			78,13		—	—		—	16	16	—	
175	194x10		±12,5% —15%	45,38				16		—	—		—
	194x12			53,86		16							
	194x14			62,15	630	20	16		16			16	
	219x16		±12,5%	80,10				—					
	219x18			89,23		25							16
	219x20			98,15		—	—		—	16	16	—	—
	219x26			123,75						—	—		

Продолжение табл. 4.14

D_y, мм	$D_н$×s, мм	Допускаемые отклонения (для труб обычной точности изготовления)		Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба*, мм	P_y, МПа								
						Для неагрессивных и малоагрессивных сред					Для агрессивных сред			
						Для сталей марок								
		по наружному диаметру	по толщине стенки			20	12Х1МФ	15Х5М; 15ХВФ; 08Х18Н10Т	Х5М**	10Х17Н13М2Т	20	15Х5М; 15ХВФ	Х5М**	08Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т
200	219x11	±1%	+12,5% —15%	56,43	630	—	16	—	16	—	—	—	—	—
	219x14			70,78		16	20		—					
	245x18		+12,5%	100,77	710	20	—							
	245x20			110,98		25								
	273x32			190,19	800	—	40							
225	245x14		+12,5% —15%	79,76	710		16		—		—	—	—	—
	273x18		+12,5%	113,20	800	16	20	16		16				
	273x20			124,79		20	—	—		—			16	16
	273x24			147,38		25								
	273x25			152,90		—						16	16	
250	273x14		+12,5% —15%	89,42			16		16		—	—	—	—
	325x28	±1,25%	±12,5%	205,09		25	—		—			16	16	—
	325x38			266,98		—	40							
300	325x16			121,93	900		16		16			—	—	
	325x20			150,44		16	20		—					
	325x22			164,39		20	—	16		16	—	16		—
	377x32			272,26	1120	25		—		—		16	16	
	377x45			368,44		—	40					—		
350	377x18			159,36			—		16					
	377x25			217,02		16		16		16		—	—	16
	426x28			274,83	1250			—	—		—			
	426x35			337,49		—						16	16	—
400	426x20			200,25					16		—	—	—	

Примечания.

1. Допустимое рабочее давление при принятой ступени условного давления определяется в зависимости от марки стали и температуры рабочей среды.

2. Сортамент труб из сталей марок 20, 15Х5М размерами 16×2,5; 18×2,5; 18×3,5; 18×4,5; 22×2,5 соответствует ГОСТ 8734—75, остальных труб — ГОСТ 8732—78. Сортамент труб из сталей марок 08Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т условных проходов до D_y=50 мм включительно соответствует ГОСТ 9941—81, остальных труб — ГОСТ 9940—81.

3. В таблице приведены допускаемые отклонения по наружному диаметру и толщине стенки для труб из сталей марок 20, 15Х5М. Допускаемые отклонения для труб из сталей марок 08Х18Н10Т и 10Х17Н13М2Т должны соответствовать нормам ГОСТ 9941—81 и 9940—81 (для труб обычной точности изготовления).

* По оси трубы.

** Сталь со специальной термической обработкой.

Таблица 4.15

Рекомендуемый сортамент водогазопроводных стальных труб (ГОСТ 3262—75) (размеры, мм)

Условный проход	Наружный диаметр	Толщина стенок труб			Линейная плотность труб без муфты, кг/м		
		легких	обыкновенных	усиленных	легких	обыкновенных	усиленных
6	10,2	1,8	2,0	2,5	0,37	0,40	0,47
8	13,5	2,0	2,2	2,8	0,57	0,16	0,74
10	17,0	2,0	2,2	2,8	0,74	0,80	0,98
15	21,3	2,35	—	—	1,10	—	—
15	21,3	2,5	2,8	3,2	1,16	1,28	1,43
20	26,8	2,35	—	—	1,42	—	—
20	26,8	2,5	2,8	3,2	1,50	1,66	1,86
25	33,5	2,8	3,2	4,0	2,12	2,39	2,91
32	42,3	2,8	3,2	4,0	2,73	3,09	3,78
40	48,0	3,0	3,5	4,0	3,33	3,84	4,34
50	60,0	3,0	3,5	4,5	4,22	4,88	6,16
65	75,5	3,2	4,0	4,5	5,71	7,05	7,88
80	88,5	3,5	4,0	4,5	7,34	8,34	9,32
90	101,3	3,5	4,0	4,5	8,44	9,60	10,74
100	114,0	4,0	4,5	5,0	10,85	12,15	13,44
125	140,0	4,0	4,5	5,5	13,42	15,04	18,24
150	165,0	4,0	4,5	5,5	15,88	17,81	21,63

Таблица 4.16

Рекомендуемый сортамент бесшовных биметаллических труб (ГОСТ 10192—80)

Наружный диаметр, *мм*	Толщина стенки, *мм*												
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	Теоретический вес 1 пог. м, *кг*, ≈												
6	0,174	0,203	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	0,411	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	0,489	0,617	0,742	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	0,646	0,823	1,00	1,16	—	1,42	—	—	—	—	—	—	—
22	—	1,03	—	1,47	1,66	1,82	1,98	—	—	—	—	—	—
25	—	1,18	1,46	1,70	—	2,13	—	2,55	—	—	—	—	—
28	1,039	1,34	—	—	2,19	2,44	—	—	—	—	—	—	—
32	1,200	1,54	—	2,25	2,55	2,82	—	—	—	—	—	—	—
38	1,432	1,86	2,30	—	3,10	—	—	—	—	—	—	—	—
42	—	2,07	—	—	—	—	—	4,68	—	—	—	—	—
45	1,709	2,22	2,75	—	—	—	—	5,06	—	—	—	8,09	—
50	—	2,48	—	—	—	—	—	5,70	—	—	—	9,22	—
55	—	—	3,41	—	—	—	—	—	—	—	9,41	—	—
57	—	—	3,53	—	4,81	—	—	6,58	—	—	—	—	—
60	—	—	3,73	—	5,08	—	—	6,96	—	—	—	—	12,47
65	—	3,25	4,05	—	5,52	—	—	—	—	—	—	—	—
70	—	3,50	—	5,20	—	—	—	8,23	—	—	—	—	—
75	—	3,77	4,69	—	—	—	—	—	—	—	13,38	—	—
80	—	—	—	—	6,87	—	—	9,49	—	—	—	—	—
85	3,27	—	5,35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 4.16

Наружный диамет. мм	Толщина стенки, мм												
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
	Теоретический вес 1 пог. м, кг, ≈												
90	—	—	—	—	7,77	—	—	10,76	—	—	—	—	—
105	—	—	6,65	—	9,14	—	—	—	—	—	—	—	23,74
110	—	—	—	—	—	10,83	—	13,29	—	—	—	—	—
120	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27,84
130	—	—	8,27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
135	—	—	—	—	—	13,38	—	16,48	—	—	—	—	—
155	—	—	9,91	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
160	—	—	—	—	—	—	—	19,63	—	—	—	—	—
180	—	—	11,57	13,79	15,93	—	—	—	—	—	—	—	—
185	—	—	—	—	16,32	—	—	22,83	—	—	—	—	—
205	—	—	—	15,75	—	—	—	—	—	—	—	—	—
210	—	—	—	—	—	21,03	—	26,01	—	—	—	—	—
232	—	—	—	—	20,54	—	—	—	—	—	—	—	—
240	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41,04	—	—	—
258	—	—	—	—	—	25,95	—	—	—	—	—	—	—
270	—	—	—	—	—	27,18	—	—	—	—	—	—	65,03
290	—	—	—	—	—	—	—	—	43,03	—	—	—	—
310	—	—	—	—	27,54	—	—	38,70	—	—	—	—	—
340	—	—	—	—	—	34,33	—	—	—	—	66,67	—	—
357	—	—	—	—	31,77	—	—	—	—	—	—	—	86,79
370	—	—	—	—	—	—	—	46,31	—	—	—	—	90,05

Настоящий стандарт распространяется на бесшовные холоднокатаные и холоднотянутые биметаллические трубы с наружным слоем из стали марки 10 или 20 по ГОСТ 1050—74 и внутренним слоем из меди марки М3р по ГОСТ 859—78.

Таблица 4.17

Рекомендуемый сортамент стальных труб футерованных винипластом и полиэтиленом (ГОСТ 10762—78)

Условный проход D_y	$D_н$	$D_р$, диаметр отбортовки	s	s_1	Резьба			l_2	h	Теоретический вес 1 пог. м футерованных труб, кг		
					d_0	l	l_1			винипластом	полиэтиленом	
											низкой плотности	высокой плотности
10*	14	—	1,6	1,0	М14×1,5	18	48	—	—	0,53	0,52	0,52
15	18				М18×1,5					0,71	0,71	0,71
20*	25		2,0	1,5	М25×1,5	20	54			1,26	1,22	1,22
25	32				М32×1,5					1,66	1,60	1,60
32	38			2,0	М38×1,5	22	60			2,06	1,97	1,97
40	45	78			М45×1,5		—	5	22	2,43	2,33	2,33
50	56/67	—	2,5/3,0		М56×2,0	28	74	—	—	3,73/4,43	3,58/4,28	3,59/4,29
		90				24	—	5	24			
70*	75,5	—	4,0	2,5	2½" труб.	36	92	—	—	7,81	7,55	7,56
		110				26	—	7,5	27,5			
80	88,5	—	4,0	3,0	3" труб.	36	92	—	—	9,36	9,01	9,03
		122				28	—	7,5	31			
100	114	—			4" труб.	46	116	—	—	12,20	11,74	11,76
		140				32	—	9	35			
125	140	—	4,5	4,0	5" труб.	50	130	—	—	17,27	16,51	16,55
		168				34	—	10	38			
150	165	—		4,5	6" труб.	54	140	—	—	20,47	19,56	19,61
		192				34	—	12,5	40,5			

Металлическая оболочка труб должна отвечать техническим требованиям ГОСТ 8732—78, ГОСТ 10707—80 и ГОСТ 3262—75.

В качестве футерующего слоя используют трубы, получаемые методом непрерывного выдавливания (экструзии) из следующих композиций:

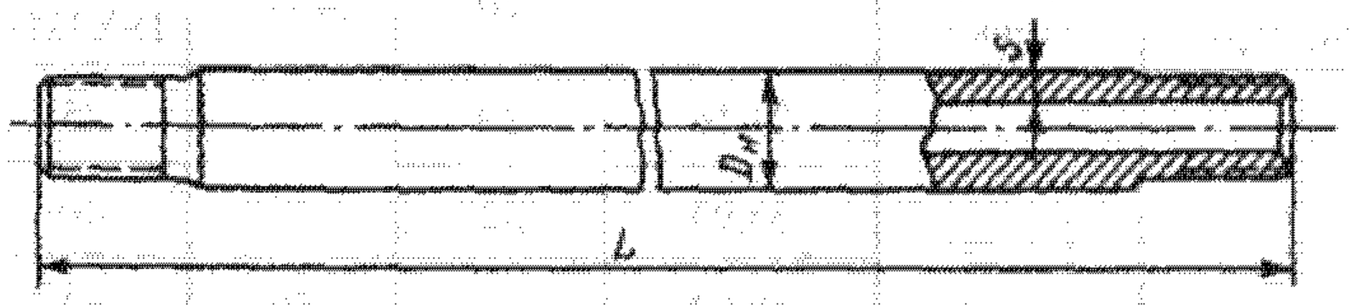
а) винипласта на основе поливинилхлоридной смолы ПФ-4, не содержащего наполнителей и пластификаторов;

б) полиэтилена низкой плотности марок ПЭ-450 или ПЭ-500;

в) полиэтилена высокой плотности экструзионного

Таблица 4.18

Рекомендуемый сортамент бесшовных труб для соединяемых сваркой встык трубопроводов высокого давления на p_y = 20–100 МПа



D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения *		Масса 1 м, кг	P_y, МПа, для сталей марок				
		по наружному диаметру	по толщине стенки		20	14ХГС	30ХМА; 18Х3МВ	20Х3МВФ	12Х18Н10Т; 03Х17Н14М3
6	11×2,5	±0,3 мм	±10%	0,53	—	—	—	—	32
	12×3			0,67	32		40	50	—
	15×4,5			1,17	—	64	80	100	
10	18×3,5			1,25		—	—	—	32
	20×4,5			1,72	32		40	50	—
	25×7		±8%	3,10	—	64	80	100	
15	25×4,5		± 10%	2,27		—	—	—	32
	25×5			2,46	32		40	50	—
	35×9		±8%	5,77	—	64	80	100	
25	35×5		±10%	3,70	20	—	25	32	
	38×6		±8%	4,73	—		—	—	32
	45×9			7,99	32		40	50	—
	45×10	±0,4 мм		8,64	—	50	64	80	
	50×12			11,24		64	80	100	
32	45× 6			5,78		—	—	—	20
	45×6,5			6,18	20		25	32	—
	48×7,5			7,50	—		—	—	32
	50×9			9,10	32		40	50	—
	57×12	±0,8%		13,32	—	50	64	80	
	68×16	±1,0%	+15% —8%	20,52		64	80	100	
40	56×7	±0,8%	±8%	8,46		—	—	—	20
	57×7			8,63	20		25	32	—
	60×8,5	±1,0%	+15% —8%	10,80	—		—	—	32
	68× 12			16,57	32		40	50	—
	68×14			18,64	—	50	64	80	
	83×19			29,98		64	80	100	
60	76×9			14,87	20	—	25	32	20
	83×14			23,82	32		40	50	32
	102×20			40,45	—	50	64	80	—
	102×22			43,41		64	80	100	

Продолжение табл. 4.18

D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения *		Масса 1 м, кг	P_y, МПа, для сталей марок				
		по наружному диаметру	по толщине стенки		20	14ХГС	30ХМА; 18Х3МВ	20Х3МВФ	12Х18Н10Т; 03Х17Н14М3
70	89×11	±1,0%	+5% −8%	21,16	20	—	25	32	20
	102×16			33,94	32		40	50	32
	114×22			49,92	—	50	64	80	—
	127×28			68,36		64	80	100	
90	114×14			34,53	20	—	25	32	20
	127×18			48,38	32		40	50	32
	140×25			70,90	—	50	64	80	—
	159×36			109,20		64	80	100	
100	127×14			39,0	20	—	25	32	20
	140×20			59,19	32		40	50	32
	159×28			90,46	—	50	64	80	—
	180×40			138,11		64	80	100	
125	159×18			62,59	20		25	32	20
	180×28			104,96	32		40	50	32
	194×36			140,27	—	50	64	80	—
	219×48			202,42		64	80	100	
150	194×20			85,82	20	—	25	32	20
	219×32			147,58	32		40	50	32
	245×45			221,96	—	50	64	80	—
	273×60			315,17		64	80	100	
200	245×25			135,64	20	—	25	32	20
	273×38			220,23	32		40	50	—
	299×50			307,03	—	50	64	80	

Примечания.

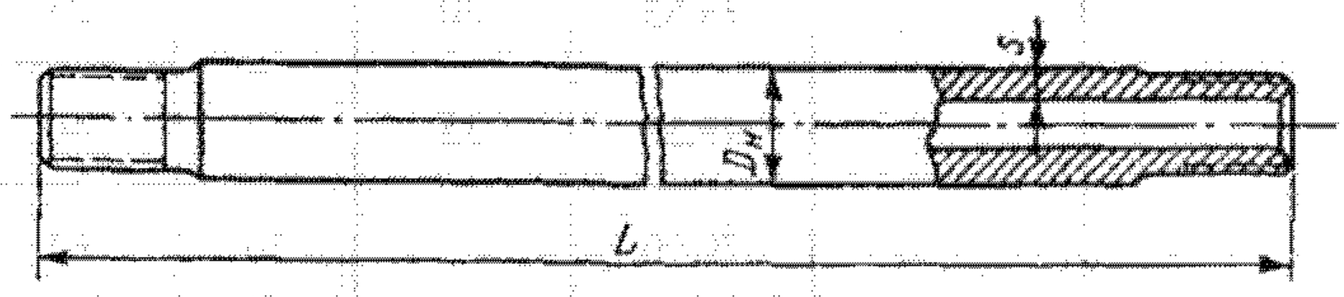
1. Допустимое рабочее давление для принятой ступени условного давления определяется в зависимости от марки стали и температуры рабочей среды.
2. Сортамент труб из сталей марок 20, 14ХГС, 30ХМА, 18Х3МВ и 20Х3МВФ соответствует ТУ 14-3-251. Сортамент труб из сталей марок 12Х18Н10Т и 03Х17Н14М3 соответствует ГОСТ 9940—81 и 9941—81.
3. Длина поставляемых труб должна быть не менее 4,5 м.

---

* В таблице приведены допускаемые отклонения по наружному диаметру и толщине стенки для труб из сталей марок 20, 14ХГС, 30ХМА, 18Х3МВ и 20Х3МВФ. Допускаемые отклонения для труб из сталей марок 12Х18Н10Т и 03Х17Н14М3 должны соответствовать ГОСТ 9940—81 и 9941—81 (для труб обычной точности изготовления).

Таблица 4.19

Рекомендуемый сортамент бесшовных труб для соединяемых на резьбовых фланцах трубопроводов высокого давления на p_y = 20–100 МПа



D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения * (обычная точность изготовления)		Масса 1 м, кг	P_y, МПа, для сталей марок				
		по наружному диаметру	по толщине стенки		20	14ХГС	30ХМА; 18Х3МВ	20Х3МВФ	12Х18Н10Т; 03Х17Н14М3
6	15×4,5	±0,3 мм	±10%	1,17	32	64	80	100	32
10	25×7			3,10	32	64	80	100	32
15	35×9	±0,4 мм		5,77	—	64	80	100	—
25	43×10			8,14		—	—	—	32
	45×9			7,99	32		40	50	
	45×10		±8%	8,64	—	50	64	80	—
	50×12			11,24		64	80	100	
32	51×10	±0,8%		10,11		—	—	—	32
	50×9	±0,4 мм		9,10	32		40	50	
	57×12	±0,8%		13,32	—	50	64	80	—
	68×16			20,52		64	80	100	
40	68×13			17,63		—	—	—	32
	68×12			16,57	32		40	50	
	68×14			18,64	—	50	64	80	—
	83×19			29,97		64	80	100	
60	83×14	±1,0%	+15 −8%	23,82	32	—	40	50	32
	102×20			40,45	—	50	64	80	—
	102×22			43,41		64	80	100	
70	102×16			33,94	32	—	40	50	32
	114×22			49,92	—	50	64	80	—
	127×28			68,36		64	80	100	

Продолжение табл. 4.19

D_y, мм	$D_н \times S$, мм	Допускаемые отклонения * (обычная точность изготовления)		Масса 1 м, кг	P_y, МПа, для сталей марок				
		по наружному диаметру	по толщине стенки		20	14ХГС	30ХМА; 18Х3МВ	20Х3МВФ	12Х18Н10Т; 03Х17Н14М3
90	114×14	±1,0%	+15 −8%	34,53	20	—	25	32	20
	127×18			48,38	32		40	50	32
	140×25			70,90	—	50	64	80	—
	159×36			109,20		64	80	100	
100	127×14			39,01	20	—	25	32	20
	140×20			59,19	32		40	50	32
	159×28			90,46	—	50	64	80	—
	180×40			138,11		64	80	100	
125	159×18			62,59	20	—	25	32	20
	180×28			104,96	32		40	50	32
	194×36			140,27	—	50	64	80	—
	219×48			202,42		64	80	100	
150	194×20			85,82	20	—	25	32	20
	219×32			147,58	32		40	50	32
	245×45			221,96	—	50	64	80	—
	273×60			315,17		64	80	100	
200	245×25			135,64	20	—	25	32	20
	273×38			220,23	32		40	50	32
	299×50			307,03	—	50	64	80	—

Примечания.

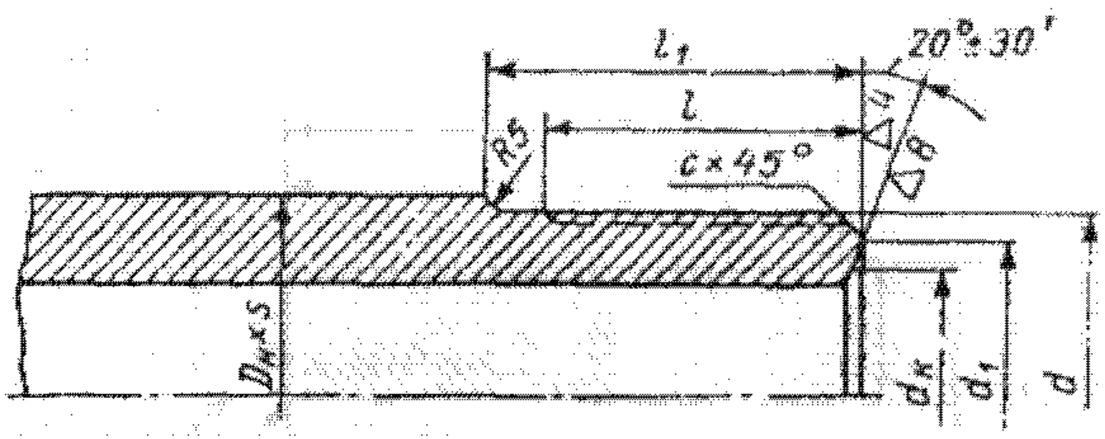
1. Допустимое рабочее давление для принятой ступени условного давления определяется в зависимости от марки стали и температуры рабочей среды.
2. Сортамент труб из сталей марок 20, 14ХГС, 30ХМА, 18Х3МВ и 20Х3МВФ соответствует ТУ 14-3-251. Сортамент труб из сталей марок 12Х18Н10Т и 03Х17Н14М3 соответствует ГОСТ 9940—81 и 9941—81.
3. Длина поставляемых труб должна быть не менее 4,5 м.

---

* В таблице приведены допускаемые отклонения по наружному диаметру и толщине стенки для труб из сталей марок 20, 14ХГС, 18Х3МВ, 30ХМА и 20Х3МВФ. Допускаемые отклонения для труб из сталей марок 12Х18Н10Т и 03Х17Н14М3 должны соответствовать ГОСТ 9940—81 и 9941—81 (для труб обычной точности изготовления).

Таблица 4.20

Присоединительные резьбовые концы под линзовые уплотнения для трубопроводов высокого давления на p_y = 20–100 МПа (ГОСТ 9400—81)



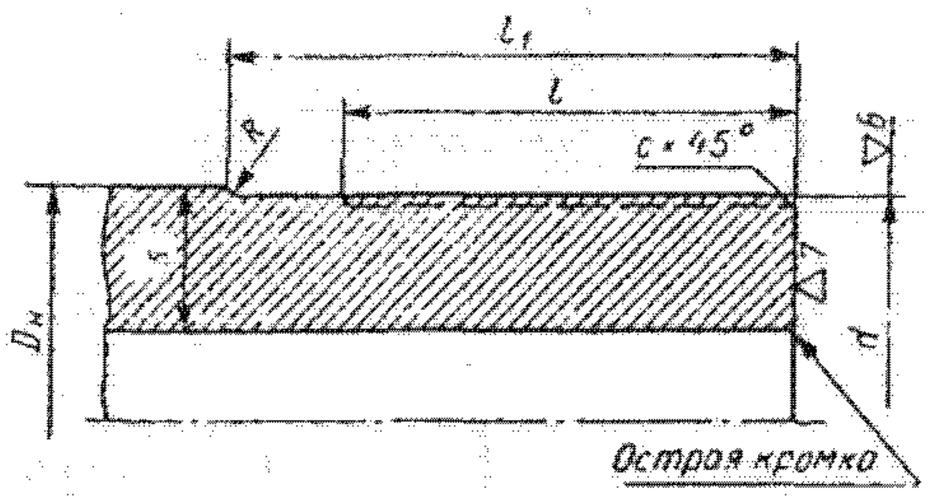
$D_н$×s, мм	Концы присоединительные для труб						$D_н$×s, мм	Концы присоединительные для труб					
	d	d_1	d_k^*	l_1	l	c		a	d_1	d_k^*	l_1	l	c
15×4,5	М14×1,5	10	8,2	32	22	1	114×22	М110×3	95	78,7	80	70	2
25×7	М24×2	18	13,7		28	1,5	127×14	М125×4	115	109,4	85	75	3
35×9	М33×2	28	20,5	42	35		127×18			95,7			
43×10	М42×2	37	30,8				127×28		95	78,7			
45×9							140×20	М135×4	125	109,4	95	85	
45×10							140×25		115	95,7			
50×9	М48×2	43	41	45	40		159×18	М155×4	145	136,8	100	90	
50×12		40	30,8				159×28		132	109,4			
51×10		43	41				159×36		120	95,7			
57×12	М56×3	48		60	50		180×28	М175×6	162	136,8	115	105	4
68×12	М64×3	55	49,9				180×40		132	109,4			
68×13							194×20	М190×6	175	166,2	120	110	
68×14							194×36		162	136,8			
68×16			41				219×32	М215×6	195	166,2	130	120	
83×14	М80×3	72	67	65	55	2	219×48		165	136,8			
83×19		65	49,9				245×25	М240×6	225	212	140	130	
102×16	М100×3	90	78,7	75	65		245×45		195	166,2			
102×20		82	67				273×38	М265×6	245	212	165	155	
102×22							273×60		195	166,2			
114×14	М110×3	100	95,7	80	70		299×50	М295×6	245	212			

Примечание. Приведенные в таблице размеры присоединительных концов распространяются также на соединительные части трубопроводов и на арматуру.

* Диаметр касания с линзой (теоретический справочный размер).

Таблица 4.21

Рекомендуемый сортамент бесшовных труб для соединяемых на резьбовых муфтах и фланцах трубопроводов высокого давления на p_y=250 МПа для производства полиэтилена (по данным Иркутского НИИхиммаша)



D_y, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения * (обычная точность изготовления)		Масса 1 м, кг	Концы присоединительные для труб				
		по наружному диаметру	по толщине стенки		d	l	l_1	c	R
3	12×4,5	—0,2	±0,15	0,83	М10×1	20	30	0,5	1,0
6	17×5,5	—0,4	±0,25	1,55	М16×1,5	30	40		1,5
10	28×9	—0,5	±0,5	4,20	М27×2	40	50	1,0	2,0
15	40×12,5		±0,75	8,40	М39×2	45	55		
25	63×19	—0,8	±0,9	20,5	М60×3	60	75	1,5	2,5
32	79×23,5	—1,0	±1,0	32,0	М76×3	70	85		
40	98×29	—1,5		49,0	М95×3	85	100		

Примечание.
Материал труб — сталь марки 20Х3МВФ по ГОСТ 2072.

4.2. Поковки стальные

Из поковок и штамповок изготовляются фланцы, трубные решетки и ряд других деталей аппаратов, когда их невозможно выполнить из листового или сортового проката или по экономическим соображениям.

Рекомендуемые марки, технические требования и виды испытаний стальных поковок в зависимости от рабочих условий приведены в табл. 4. 22.

Механические свойства поковок и виды испытаний приведены в табл. 4.23.

Режимы ковки и термической обработки поковок должны соответствовать установленным в действующей технической документации.

Размеры поковки должны соответствовать конструкторской документации с припусками на механическую обработку, технологическими напусками и допусками на точность изготовления в соответствии с ГОСТ 7062—90, ГОСТ 7829—70 и ГОСТ 7505—89.

Качество поверхности, механические свойства поковок, допускаемые дефекты и методы устранения дефектов должны соответствовать требованиям ГОСТ 8479—70, ГОСТ 25054—81 и ГОСТ 26159—84.

В случае изготовления поковок по размерам, выходящим за пределы, предусмотренные ГОСТ 8479—70 и ГОСТ 25054—81, требования к механическим свойствам поковок должны быть оговорены в проекте.

Поковки из коррозионностойких сталей при наличии требования в проекте должны испытываться на стойкость против межкристаллитной коррозии по ГОСТ 6032—89.

Поковки из углеродистых, низколегированных и среднелегированных сталей, предназначенные для работы под давлением более условного давления 6,3 МПа (63 кгс/см^2) и имеющие один из габаритных размеров (диаметр) более 200 мм и толщину более 50 мм, следует подвергать пошгучному контролю ультразвуковым или другим равноценным методом. Поковки, работающие под давлением не более условного давления 6,3 МПа (63 кгс/см^2), а также поковки из аустенитных и аустенитно-ферритных высоколегированных сталей, работающие под давлением более указанного условного давления, должны подвергаться неразрушающему контролю при наличии этого требования в проекте. Контролю ультразвуковым или другим равноценным методом следует подвергать не менее 50% объема поковки.

Методика контроля должна соответствовать требованиям ОСТ 26-11-09.

Перед запуском в производство каждая поковка для плоских днищ, кроме поковок из высоколегированных сталей, должна быть проконтролирована ультразвуковым методом в зоне соединения плоскости днища и отбортовки.

Таблица 4.22

Рекомендуемые марки, технические требования стальных поковок (ОСТ 26-291—94)

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
Ст5сп ГОСТ 380—94	Группа IV-КП. 245 (КП.25) по ГОСТ 8479—70	От — 20 до + 400	5 (50)	Группа IV по ГОСТ 8479—70	пп. 1, 7
Ст3сп ГОСТ 380—94		От — 20 до + 450			
20 ГОСТ 1050—88	Группа IV-КП. 195 (КП.20) и IV-КП. 215 (КП 22) по ГОСТ 8479—70	От — 30 до + 475	Не ограничено		пп. 1, 2, 3, 6, 9
20К ГОСТ 5520—79	Группа IV-КП. 195 (КП.20) по ГОСТ 8479—70				п. 1, 9
20, 22К ОСТ 108.030.113—77	ОСТ 108.030.113—77	От — 30 до + 450		ОСТ 108.030.113—77	пп. 2, 6, 9
22К, 22К-Ш, 22К-ВД, 22К-ВРВ ТУ 108.11-543—80	ТУ 108.11-543—80	От — 30 до + 475		ТУ 108.11-543—80	п. 9
20ЮЧ ТУ 26-0303-1532—84	ТУ 26-0303-1532—84	От — 40 до + 475		ТУ 26-0303-1532—84	—
16ГС ГОСТ 19281—89	Группа IV-КП. 245 (КП.25) по ГОСТ 8479—70			Группа IV по ГОСТ 8479—70	пп. 1, 4, 9

Продолжение табл. 4.22

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
15ГС, 16ГС ОСТ 108.030.113—77	ОСТ 108.030.113—77	От —40 до +450	Не ограничено	ОСТ 108.030.113—77	
15ГС ОСТ 108.030.113—77	ОСТ 26-01-135—81	От —40 до +400		ОСТ 26-01-135—81	пп. 4, 9
14ХГС ГОСТ 19281—89	ОСТ 26-01-135—81	От —50 до +380		ОСТ 26-01-135—81	
10Г2 ГОСТ 4543—71	Группа IV-КП. 215 (КП.22) по ГОСТ 8479—70	От —70 до —30		Группа IV по ГОСТ 8479—70	пп. 1, 2, 3, 4, 5, 9
		От —30 до +475			
09Г2С ГОСТ 19281—89	Группа IV-КП. 245 (КП.25) по ГОСТ 8479—70	От —70 до —30			пп. 1, 4, 9
		От —30 до +475			
20Х ГОСТ 4543—71	Группа IV-КП. 395 (КП.40) по ГОСТ 8479—70	От —40 до +450	Не ограничено	Группа IV по ГОСТ 8479—70	—
15ХМ ГОСТ 4543—71	Группа IV-КП. 275 (КП.28) по ГОСТ 8479—70	От —40 до +560			
15Х5ВФ, 15Х5М ГОСТ 20072—74	Группа IV-КП. 395 (КП.40) по ГОСТ 8479—70; $\delta \geq 13\%$, $\varphi \geq 35\%$; KCU≥50 Дж/см^2	От —40 до +650			п. 2
12Х1МФ ОСТ 108.030.113—77	ОСТ 108.030.113—77	От —20 до +450		ОСТ 108.030.113—77	—
12МХ ГОСТ 20072—74	Группа IV-КП. 235 (КП.24) по ГОСТ 8479—70	От —40 до +450		Группа IV по ГОСТ 8479—70	—
12ХМ, 15ХМ ТУ 302.02.031—89	ТУ 302.02.031—89	От —40 до +560		ТУ 302.02.031—89	—
10Х2М1А-А ТУ 108.13.39—89	ТУ 108.13.39—89	От —40 до +560		ТУ 108.13.39—89	—
10Х2М1А-А, 10Х2М1А-ВД, 10Х2М1А-Ш ТУ 302.02.121—91	ТУ 302.02.121—91	От —40 до +560		ТУ 302.02.121—91	—
20Х2МА ОСТ 26-01-135—81	ОСТ 26-01-135—81	От —40 до +475		ОСТ 26-01-135—81	—
15Х2МФА-А ТУ 302.02.014—89	ТУ 302.02.014—89	От —40 до 510		Группа II по ТУ 302.02.014—89	—
		Св. +510 до 560	10 (100)		

Продолжение табл. 4.22

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т ГОСТ 5632—72	Группа IV по ГОСТ 25054—81	От — 40 до + 300	Не ограничено	Группа IV по ГОСТ 25054—81	—
12Х18Н9Т, 12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72		От — 253 до + 610			пп. 2, 8
08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72		От — 253 до + 610			п. 10
12Х18Н10Т, 08Х18Н10Т ГОСТ 5632—72		От + 610 до + 700	5 (50)		пп. 2, 8
10Х17Н13Т ГОСТ 5632—72		От — 253 до + 600	Не ограничено		—
03Х18Н11 ГОСТ 5632—72		От — 253 до + 450			—
03Х17Н14М3 ГОСТ 5632—72		От — 196 до + 450			—
10Х17Н13М3Т ГОСТ 5632—72		От — 196 до + 600			—
08Х17Н15М3Т ГОСТ 5632—72		От — 196 до + 600			—
06ХН28МДТ ГОСТ 5632—72		От — 196 до + 400	5 (50)		—
08Х13, 12Х13 ГОСТ 5632—72	Группа IV по ГОСТ 25054—81	От — 40 до + 550	6,4 (64)	Группа IV по ГОСТ 25054—81	п. 7

Примечания.

1. Допускается применять поковки группы II для невзрывоопасных сред при давлении менее 0,07 МПа (0,7 кгс/см^2).

2. Допускается применять стальные горячекатаные кольца для изготовления фланцев из сталей марки 20 по ТУ 14-1-1431—75 и марок 20, 10Г2, 15Х5М, 12Х18Н10Т по ТУ 14-3-375—75.

3. Допускается применять фланцы приварные встык из поковок группы IV-КП.215 (КП.22) по ГОСТ 8479—70 и бандажных заготовок из стали марки 20 по ГОСТ 1050—74 для температуры стенки от —31 до —40 °С при условии проведения термообработки-закалки и последующего высокого отпуска или нормализации после приварки фланца к корпусу или патрубку. При этом патрубок, привариваемый к корпусу, должен быть изготовлен из стали марки 16ГС (09Г2С, 10Г2). Значение ударной вязкости основного металла должно быть не менее 30 Дж/см^2 (3 кгс·м/см^2). Допускается применение ответных фланцев штуцеров из стали марки 20 в термообработанном состоянии при температуре стенки от —30 до —40° С.

4. Поковки из сталей марок 15ГС, 16ГС, 09Г2С, 10Г2, 14ХГС должны испытываться на ударный изгиб при температуре стенки и ниже —30° С. Значение ударной вязкости должно быть не менее 30 Дж/см^2 (3 кгс·м /см^2).

5. Допускается применение заготовок, полученных методом электрошлакового переплава из сталей марок 20Ш, 10Г2Ш по ТУ 0251-16—78, на параметры, аналогичные сталям 20 и 10Г2.

6. Допускается применять поковки из стали марки 20 с толщиной в месте сварки не более 12 мм при температуре стенки не ниже —40° С без проведения термической обработки сварного соединения.

7. Для изготовления деталей, не подлежащих сварке.

8. Для сред, не вызывающих межкристаллитную коррозию.

9. Контроль ультразвуковым методом при условиях, оговоренных в ОСТ 26-291—94.

10. Термическая обработка по режиму стабилизирующего отжига пои условиях, оговоренных в ОСТ 26-291—94.

Таблица 4.23

Механические свойства стальных поковок (ОСТ 26-291—94)

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Размер поковки (толщина или диаметр), мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более
								при 20°С	при нижнем пределе применения	
Ст5сп. Ст3сп ГОСТ 380—94	Группа IV-КП.245 (КП.25) по ГОСТ 8479—70	Термически обработанное	До 100 Св. 100 до 300 Св. 300 до 500 Св. 500 до 800	245 (25)	470 (48)	22 19 17 15	48 42 35 30	49 (5,0) 30 (4,0) 34 (3,5) 34 (3,5)	—	143—179
20 ГОСТ 1050—88	Группа IV-КП.215 (КП.22) по ГОСТ 8479—70		До 100 Св. 100 до 300 Св. 300 до 500 Св. 500 до 800	215 (22)	430 (40)	24 20 18 16	53 48 40 35	54 (5,5) 49 (5,0) 44 (4,5) 39 (4,0)	—	123—167
	Группа IV-КП.195 (КП.20) по ГОСТ 8479—70		До 100 Св. 100 до 300 Св. 300 до 500 Св. 500 до 800	195 (20)	390 (40)	26 23 20 18	55 50 45 38	59 (6,0) 54 (5,5) 49 (5,0) 44 (4,5)	—	111—156
16ГС ГОСТ 19281—89	Группа IV-КП.245 (КП.25) по ГОСТ 8479—70		До 100 Св. 100 до 300 Св. 300 до 500 Св. 500 до 800	245 (25)	470 (48)	22 19 17 15	48 42 35 30	49 (5,0) 39 (4,0) 34 (3,5) 34 (3,5)	—	143—179
10Г2 ГОСТ 4543—71	Группа IV-КП.215 (КП.22) по ГОСТ 8479—70		До 100 Св. 100 до 300 Св. 300 до 500 Св. 500 до 800	215 (22)	430 (44)	24 20 18 16	53 48 40 35	54 (5,5) 49 (5,0) 44 (4,5) 39 (4,0)	30 (3) при ниже –30°С	123—167
09Г2С ГОСТ 19281—89	Группа IV-КП.245 (КП.25) по ГОСТ 8479—70	Термически обработанное	До 100 Св. 100 до 300 Св. 300 до 500 Св. 500 до 800	245 (25)	470 (48)	22 19 17 15	48 42 35 30	49 (5,0) 39 (4,0) 34 (3,5) 34 (3,5)	—	120—179
20К ГОСТ 5520—79	Группа IV-КП.215 (КП.22) по ГОСТ 8479—70	Термически обработанное	До 100 Св. 100 до 300 Св. 300 до 500 Св. 500 до 800	215 (22)	430 (44)	24 20 18 16	53 48 40 35	54 (5,5) 49 (5,0) 44 (4,5) 39 (4,0)	—	123—187

Марка стали, обозначение стандартов или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Размер поковки (толщина или диаметр), мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более
								при 20°С	при нижнем пределе применения	
20ЮЧ ТУ 26-0303--1532—84	ТУ 26-0303-1532—84	Термически обработанное	До 800	240 (24)	420 (42)	22	–	–	40 (4)	190
20Х ГОСТ 4543—71	Группа IV-КП.395 (КП.40) по ГОСТ 8479—70		До 100	400 (40)	630 (63)	17	45	6,0	–	187—229
			Св. 100 до 300			15	40	5,5		
			Св. 300 до 500			13	35	5,0		
			Св. 500 до 800			11	30	4,0		
15ХМ ГОСТ 4543—71	Группа IV-КП.275 (КП.28) по ГОСТ 8479—70		До 100	280 (28)	450 (45)	20	40	4,5	–	156—197
			Св. 100 до 300			17	38	3,5		
			Св. 300 до 500			15	32	3,0		
			Св. 500 до 800			13	30	3,0		
15Х5ВФ, 15Х5М ГОСТ 5632—72	Группа IV-КП.395 (КП.40) по ГОСТ 8479—70		До 800	420 (42)	600 (60)	13	35	50 (5)	–	190—240
12ХМ ТУ 302.02.031—89, ГОСТ 5520—79	ТУ 302.02.031—89		До 100	245 (25)	470 (48)	22	48	34 (3,5)	–	143—179
			Св. 100 до 300			19	42			
15ХМ ТУ 302.02.031—89, ГОСТ 4543—71			До 100	275 (28)	530 (54)	20	40	34 (3,5)	–	156—197
			Св. 100 до 300			17	38			
10Х2М1А—А, 10Х2М1А—ВД, 10Х2М1А ТУ 302.02.121—91	ТУ 302.02.121—91		До 200	310 (31,5)	490 (50)	18	45	49 (5,0)	29 (3)	–
10Х2М1А—А ТУ 108.13.39—89	ТУ 108.13.39—89	Термически обработанное	–	302 (40)	490 (50)	18	45	–	49	–
15ГС ТУ 108.030-113—77	ОСТ 26-01-135—81		До 350	294 (30)	490 (50)	18	–	60 (6)	–	149—207
14ХГС ГОСТ 19281—89			До 550	314 (32)	490 (50)	17	–	60 (6)	–	149—207
20Х2МА ОСТ 26-01-135—81	ОСТ 26-01-135—81		До 550	302 (40)	539 (55)	16	–	60 (6)	–	197—235

Продолжение табл. 4.23

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Состояние материала	Размер поковки (толщина или диаметр), мм	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение φ, %, не менее	Ударная вязкостьKCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более
								при 20°С	при нижнем пределе применения	
12МХ ГОСТ 20072—74	Группа IV-КП.235 (КП.24) по ГОСТ 8479—70	Нормализованное	До 100	250 (25)	480 (48)	22	48	50 (5)	–	143—179
			Св. 100 до 300			19	42	40 (4)		
			Св. 300 до 500			17	35	35 (3,5)		
			Св. 500 до 800			15	30	35 (3,5)		
08Х22Н6Т ГОСТ 5632—76	Группа IV по ГОСТ 25054—81	Термически обработанное	До 800	343 (35)	539 (55)	18	35	80 (8)	–	140—200
08Х21Н6М2Т ГОСТ 5632—72										
12Х18Н9Т ГОСТ 5632—72				196 (20)	510 (52)	35	40	–	–	170
12Х18Н10Т ГОСТ 5632—72										179
08Х8Н10Т ГОСТ 5632—72					490 (50)	–	–	–	–	—
10Х17Н13М2Т ГОСТ 5632—72					510 (52)	–	–	–	–	200
03Х18Н11 ГОСТ 5632—72				176 (18)	441 (45)	40	35	–	–	179
03Х17Н14М3 ГОСТ 5632—72				176 (18)	470 (48)	40	45	–	–	179
10Х17Н13М3Т ГОСТ 5632—72				196 (20)	510 (52)	35	40	–	–	200
08Х17Н15М3Т ГОСТ 5632—72					490 (50)		45	–	–	
06ХН28МДТ ГОСТ 5632—72				216 (22)	510 (52)	30	30	–	–	
08Х13 ГОСТ 5632—72				392 (40)	539 (55)	14	35	50	–	187—229
12Х13 ГОСТ 5632—72				392 (40)	539 (55)					

Примечание. Значения механических свойств относятся к испытанию на продольных образцах. Допускается проверка механических свойств на поперечных, тангенциальных или радиальных образцах; при этом нормы снижаются на величины, указанные ниже.

Продолжение табл. 4.23

Механические свойства	Допускаемое снижение норм механических свойств, %			
	для поперечных образцов	для радиальных образцов	для тангенциальных образцов	
			поковок диаметром до 300 мм	поковок диаметром св. 300 мм
Относительное удлинение	50	35	25	30
Относительное сужение	40	35	20	25
Ударная вязкость	50	40	25	30
Предел текучести	10	10	5	5
Временное сопротивление разрыву	10	10	5	5

Номинальные размеры (в мм) изделий из стали различного качества (диаметр, сторона квадрата, диаметр круга, вписанного в шестиугольник):

болванка обжатая — 140; 160; 180; 190; 200; 250; 280; 300; 320; 360; 400; 450;

заготовка квадратная — 40; 50; 45; 56; 60; 63; 70; далее до 110 через 5 мм; 120; 125; 130; далее до 220 через 10 мм;

сталь кованая круглая или квадратная — 40; 42; 45; 48; 50; 52; 55; 58; 60; 63; 65; 68; 70; 73; 75; 78; 80; 83; 85; далее до 200 через 5 мм.

Пример обозначения:

круг $\frac{40\ ГОСТ\ 1133—71}{Ст5сп\ ГОСТ\ 380—94}$.

4.3. Отливки стальные

Из отливок изготовляются фланцы, крышки и ряд других деталей аппаратов, главным образом тогда, когда этих деталей требуется достаточно большое количество и поэтому литье является экономически целесообразным.

Рекомендуемые марки, технические требования и виды испытаний стальных отливок в зависимости от рабочих условий приведены в табл. 4.24.

Механические свойства отливок в табл. 4.25.

Отливки стальные должны применяться в термообработанном состоянии с проверкой механических свойств после термической обработки.

Вид и режим термической обработки устанавливает предприятие—изготовитель отливок.

Сталь для отливок должна выплавляться в мартеновских или электрических печах, способ выплавки указывается в сертификате.

Отливки по форме и размерам должны соответствовать требованиям проекта. Допускаемые отклонения по размерам и массе отливок, а также припуски на механическую обработку принимаются по III классу точности ГОСТ 26645—85.

Качество поверхности отливок должно соответствовать требованиям ГОСТ 977—88 и соответствующим техническим условиям.

На поверхности отливок, подлежащих механической обработке, допускаются без исправления дефекты, если глубина залегания их не превышает 2/3 припуска на механическую обработку.

Дефекты отливок, влияющие на прочность и ухудшающие их товарный вид, подлежат исправлению. Виды, количество, размеры и расположение дефектов, подлежащих исправлению, а также способы их исправления определяются соответствующими техническими условиями и чертежами заказчика на детали из отливок.

Отливки из легированных и коррозионностойких сталей подвергаются контролю макро- и микроструктуры при наличии требований в технических условиях или проектах.

Исследование макро- и микроструктуры производится по инструкции предприятия-изготовителя.

Отливки из коррозионностойких сталей при наличии требований в проекте должны быть испытаны на стойкость против межкристаллитной коррозии по ГОСТ 6032—89 методом, указанным в проекте.

Образцы для испытания механических свойств должны изготовляться в соответствии с требованиями ГОСТ 977—88.

Каждая полая отливка, работающая при давлении свыше 0,07 МПа (0,7 кгс/см^2), должна подвергаться гидравлическому испытанию пробным давлением, указанным в технических условиях и ГОСТ 356—80.

Испытание отливок, прошедших на предприятии-изготовителе 100-процентный контроль неразрушающими методами, допускается совмещать с испытанием собранного узла или сосуда пробным давлением, установленным для узла или сосуда.

Таблица 4.24

Рекомендуемые марки сталей для стальных отливок (ОСТ 26-291—94)

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более		
20Л, 25Л ГОСТ 977—88	Группа 3 по ГОСТ 977—88	От —30 до + 450	Не ограничено	Группа 3 по ГОСТ 977—88; ТУ 26-02-19—75	пп. 2, 3
35Л, 45Л ГОСТ 977—88		От —40 до + 450			—
20 ГМЛ ОСТ 26-07-402—83	ОСТ 26-07-402—83	От —30 до + 450		ОСТ 26-07-402—83	—
20ХМЛ ГОСТ 977—88	Группа 3 по ГОСТ 977—88	От —40 до + 540		Группа 3 по ГОСТ 977—88	—
20Х5МЛ ГОСТ 977—88		От —40 до + 600		Группа 3 по ГОСТ 977—88; ТУ 26-02-19—75	п. 1
20Х5ТЛ ТУ 26-02-19—75	ТУ 26-02-19—75	От —40 до + 425		ТУ 26-02-19—75	п. 1
20Х5ВЛ ТУ 26-02-19—75		От —40 до + 550			
20Х8ВЛ ГОСТ 977—88	Группа 3 по ГОСТ 977—88	От —40 до + 600		Группа 3 по ГОСТ 977—88; ТУ 26-02-19—75	—
20ХН3Л ТУ 26-02-19—75	ТУ 26-02-19—75	От —70 до + 450		ТУ 26-02-19—75 и ударная вязкость при —70 °С, если температура стенки не ниже —30 °С	п. 1
10Х18Н9Л, 20Х18Н9ТЛ, ГОСТ 977—88; 12Х18Н12М3ТЛ ГОСТ 977—88	Группа 3 по ГОСТ 977—88	От —253 до + 600		Группа 3 по ГОСТ 977—88; ТУ 26-02-19—75	—
10Х21Н6М2Л ТУ 26-02-19—75	ТУ 26-02-19—75	От —40 до + 300		ТУ 26-02-19—75	п. 1
40Х24Н12СЛ ГОСТ 977—88	Группа 3 по ГОСТ 977—88	От 0 до + 1200	—	Группа 3 по ГОСТ 977—88	п. 5
35Х23Н7СЛ ГОСТ 977—88		От 0 до + 1000	—		

Примечания.

1. Поставка отливок по ТУ 26-02-19—75 производится только для отрасли нефтехимического машиностроения.

2. При содержании углерода более 0,25% сварка должна производиться с предварительным подогревом и последующей термической обработкой.

3. Допускается применять отливки из углеродистых сталей марок 20Л, 25Л до температуры стенки —40 °С при условии проведения термической обработки в режиме нормализации плюс отпуск или закалка плюс отпуск.

Таблица 4.25

Механические свойства стальных отливок (ОСТ 26-291—94)

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Состояние материала	Предел текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Временное сопротивление разрыву $\sigma_в$, МПа (кгс/мм^2), не менее	Относительное удлинение δ_5, %, не менее	Относительное сужение ψ, %, не менее	Ударная вязкость KCU, Дж/см^2 (кгс·м/см^2), не менее		Твердость по Бринеллю, НВ, не более
						при 20 °С	при нижнем пределе применения	
20Л ГОСТ 977—88	Термически обработанное	Нормализация с отпуском или нормализация: 216 (22)	412 (42)	22	35	49 (5)	—	—
25Л ГОСТ 977—88		Нормализация с отпуском или нормализация: 235 (24)	441 (45)	19	30	39 (4)	—	—
		294 (30)	Закалка и отпуск: 491 (50)	22	33	34 (3,5)	—	—
35Л ГОСТ 977—88		Нормализация с отпуском или нормализация: 275 (28)	491 (50)	15	25	34 (3,5)	—	—
		343 (35)	Закалка и отпуск: 540 (55)	16	20	29 (3)	—	—
45Л ГОСТ 977—88		Нормализация с отпуском или нормализация: 314 (32)	540 (55)	12	20	29 (3)	—	—
45Л ГОСТ 977—88		392 (40)	Закалка и отпуск: 589 (60)	10	20	24,5 (2,5)	—	—
20ХМЛ ГОСТ 977—88		245 (25)	441 (45)	18	30	29 (3)	20 (2) при —40 °С	—
20Х5МЛ ГОСТ 977—88 20Х5ТЛ ТУ 26-02-19—75 20Х8ВЛ ГОСТ 977—88		392 (40)	589 (60)	16	30	39 (4)	—	—
20Х5ВЛ ТУ 26-02-19—75	Термически обработанное	392 (40)	589 (60)	16	30	39 (4)	—	190—240
20ХНЗЛ ТУ 26-02-19—75		588 (60)	392 (40)	12	20	49 (5)	25 (2) при —70 °С	—
20ГМЛ ОСТ 26-07-402—83		274 (28)	441 (45)	28	50	120 (12)	29 (3) при —60 °С	—
12Х18Н9ТЛ ГОСТ 977—88		196 (20)	441 (45)	25	32	59 (6)	—	—
10Х18Н9Л ГОСТ 977—88		177 (18)			35	98 (10)	—	—
12Х18Н12М3ТЛ ГОСТ 977—88		216 (22)			30	59 (6)	—	—
10Х21Н6М2Л ТУ 26-02-19—75		294 (30)	589 (60)	30	30	59 (6)	—	—
40Х24Н12СЛ ГОСТ 977—88		245 (25)	491 (50)	20	28	—	—	—
35Х23Н7СЛ ГОСТ 977—88	Без термической обработки		540 (55)	12	—	—	—	—

4.4. Крепежные детали

Крепежные детали в виде болтов, шпилек, гаек, винтов и других деталей применяются в аппаратах для закрепления: фланцевых соединений, аппаратов на опорах, различных внутренних и наружных устройств и т.д.

При выборе марок сталей для крепежных деталей фланцевых соединений, предусмотренных стандартами, следует руководствоваться стандартами на эти фланцы.

Материалы крепежных деталей должны выбираться с коэффициентом линейного расширения, близким по значению коэффициенту линейного расширения соединяемых деталей. Разница в значениях коэффициентов линейного расширения не должна превышать 10 %.

Допускается применять материалы шпилек (болтов) и фланцев с коэффициентами линейного расширения, значения которых отличаются между собой более чем на 10 % в случаях, когда:

расчетная температура фланца не более + 100 °С для фланцевых соединений по ГОСТ 12820—80 — ГОСТ 12822—80 и ГОСТ 28759.2—90 — ГОСТ 28759.4—90;

это обосновано расчетом или экспериментальными исследованиями.

Допускается для шпилек (болтов) из аустенитных сталей применять гайки из сталей других структурных классов, предусмотренных в ОСТ 26-2043.

Гайки и шпильки (болты) для соединений, работающих под давлением, должны изготавливаться из сталей различных марок. Допускается изготавливать шпильки (болты) и гайки из сталей одной марки, но при этом твердость гаек должна быть ниже не менее чем на 15 НВ.

Допускается применять крепежные детали из сталей и марок 35Х, 38ХА, 40Х, 25Х1МФ, 30ХМА, 25Х2М1Ф, 37Х12Н8Г8МФБ для соединений, работающих под давлением, до температуры – 60 °С, а также гайки из стали марки 35 после закалки и высокого отпуска для соединений, работающих под давлением, до температуры – 46 °С.

В этом случае необходимо провести испытание образцов с острым надрезом (тип 11 по ГОСТ 9454—78) на ударный изгиб при рабочей температуре. Значение ударной вязкости на всех образцах должно быть не менее 30 Дж/см^2 (3 кгс·м/см^2). Объем испытаний – по ГОСТ 20700—75.

Длина шпилек (болтов) должна обеспечивать превышение резьбовой части над гайкой не менее чем на 1,5 шага резьбы.

Для фундаментных болтов должны применяться стали по ГОСТ 24379.0—80, но допускается в обоснованных случаях применение материалов и по ОСТ 26-2043.

Крепежные детали из углеродистой и легированной сталей могут изготовляться с защитными покрытиями (цинковым и кадмиевым, хромовым, никелевым, окисным и фосфатным с промасливанием, а из коррозионностойких сталей – для улучшения свинчиваемости – медным покрытием).

Резьбу следует выполнять нарезкой или накаткой, последняя не допускается из аустенитной стали при рабочей температуре свыше 500 °С.

Рекомендуемые марки сталей, технические требования крепежных деталей в зависимости от рабочих условий приведены в табл. 4.26.

В табл. 4.27 приведены основные механические свойства материала заготовок для стальных крепежных деталей при температуре 20 °С.

Таблица 4.26

Рекомендуемые марки сталей для крепежных изделий (ПБ 10-115—96)

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Назначение
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см^2), не более	
Ст3сп5 ГОСТ 380 ГОСТ 535	ГОСТ 535	От — 20 до + 300	2,5 (25)	Шпильки, болты, гайки
			10 (100)	Шайбы
	ГОСТ 20700	От 0 до + 350	1,6 (16)	Болты, шпильки
			2,5 (25)	Гайки
			10 (100)	Шайбы
Ст3сп4, Ст3сп3 ГОСТ 380 ГОСТ 535	ГОСТ 12.2.073	От 0 до + 300	2,5 (25)	Шпильки, болты, гайки
10 ГОСТ 1050	ОСТ 26-2043	От 0 до + 300	2,5 (25)	Гайки
		От — 40 до + 450	10 (100)	Шайбы
	ГОСТ 20700	От 0 до + 350	2,5 (25)	Гайки
		От 0 до + 450	10 (100)	Шайбы

Продолжение табл. 4.26

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Назначение
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см²), не более	
20 ГОСТ 1050	ОСТ 26-2043	От —40 до +425	2,5 (25)	Шпильки, болты
			10 (100)	Гайки
	ГОСТ 20700	От —40 до +450	10 (100)	Шайбы
		От 0 до +400	1,6 (16)	Болты, шпильки
			10 (100)	Гайки
	ОСТ 26-2043	От 0 до +425	2,5 (25)	Шпильки, болты
25 ГОСТ 1050 ГОСТ 10702	ОСТ 26-2043	От —40 до +425	2,5 (25)	Шпильки, болты
			10 (100)	Гайки
	ГОСТ 20700	От 0 до +400	1,6 (16)	Болты, шпильки
			10 (100)	Гайки
30, 40, 45, 35 ГОСТ 1050 ГОСТ 10702	ОСТ 26-2043	От —40 до +425	10 (100)	Шпильки, болты
			16 (160)	Гайки
		От —40 до +450	16 (160)	Шайбы
	ГОСТ 20700	От 0 до +425	10 (100)	Болты, шпильки
			20 (200)	Гайки
35Х, 38ХА ГОСТ 4543	ОСТ 26-2043	От —50 до +425	16 (160)	Шпильки, болты
		От —40 до +450		Гайки, шайбы
35Х, 40Х ГОСТ 10702	ГОСТ 20700	От 0 до +425	20 (200)	Болты, шпильки
		От 0 до +450		Гайки
40Х ГОСТ 4543	ОСТ 26-2043	От —50 до +425	16 (160)	Шпильки, болты
		От —40 до +450		Гайки, шайбы
30Х ГОСТ 4543	ГОСТ 10495	От —50 до +200	63 (630)	Гайки
35Х, 38ХА, 40Х ГОСТ 4543	ГОСТ 10494	От —50 до +200	63 (630)	Шпильки
	ГОСТ 10495	От —50 до +400	80 (800)	Гайки
09Г2С ГОСТ 19281	ОСТ 26-2043	От —70 до +425	16 (160)	Шпильки, болты, гайки
		От —70 до +450		Шайбы
18Х2Н4МА ГОСТ 4543	ОСТ 26-2043	От —70 до +400	16 (160)	Шпильки, болты, гайки
		От —70 до +450		Шайбы
12Х13, 20Х13, 30Х13 ГОСТ 5632	ОСТ 26-2043	От —30 до +475	10 (100)	Шпильки, болты, гайки, шайбы
20Х13 ГОСТ 18968	ГОСТ 20700	От 0 до +450	Не ограничено	Болты, шпильки, шайбы
		От 0 до +510		Гайки
10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т, 31Х19Н9МВБТ ГОСТ 5632	ОСТ 26-2043	От —70 до +600	16 (160)	Шпильки, болты, гайки, шайбы
31Х19Н9МВБТ ГОСТ 5949	ГОСТ 23304 ГОСТ 20700	От 0 до +625	Не ограничено	Болты, шпильки, гайки

Продолжение табл. 4.26

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Назначение
		температура стенки, °С	давление среды, МПа ($кгс/см^2$), не более	
06ХН28МДТ ГОСТ 5632	ОСТ 26-2043	От — 70 до + 400	16 (160)	Шпильки, болты, гайки, шайбы
10Х14Г14Н4Т ГОСТ 5632	ОСТ 26-2043	От — 200 до + 500	16 (160)	Шпильки, болты, гайки, шайбы
07Х21Г7АН5 ГОСТ 5632	ОСТ 26-2043; ТУ 14-1-1141	От — 196 до + 400	Не ограничено	Шпильки, болты, гайки, шайбы
08Х15Н24В4ТР ГОСТ 5632	ОСТ 26-2043	От — 270 до + 600	Не ограничено	Шпильки, болты, гайки, шайбы
07Х16Н6 ГОСТ 5949	ОСТ 26-2043	От — 40 до + 325	10 (100)	Шпильки, болты, гайки, шайбы
10Х11Н22Т3МР ГОСТ 5949	ГОСТ 20700	От 0 до + 650	Не ограничено	Болты, шпильки, гайки
30ХМА, 35ХМ ГОСТ 4543	ОСТ 26-2043	От — 40 до + 450	16 (160)	Шпильки, болты
		От — 40 до + 510		Гайки
		От — 70 до + 450		Шайбы
	ГОСТ 20700	От 0 до + 450	Не ограничено	Болты, шпильки, гайки
		От 0 до + 510		Гайки
30ХМА, 35ХМ ГОСТ 4543	ГОСТ 10494	От — 50 до + 400	80 (800)	Шпильки
	ГОСТ 10495	От — 50 до + 510	100 (1000)	Гайки
40ХФА ГОСТ 4543	ГОСТ 10494	От — 50 до + 400	80 (800)	Шпильки
30ХМ ГОСТ 4543	ОСТ 26-2043	От — 40 до + 450	16 (160)	Шпильки, болты
		От — 40 до + 510		Гайки
		От — 70 до + 450		Шайбы
25Х1МФ ГОСТ 20072	ОСТ 26-2043	От — 40 до + 510	16 (160)	Шпильки, болты
		От — 40 до + 540		Гайки
		От — 70 до + 540		Шайбы
25Х1МФ ГОСТ 20072	ГОСТ 20700	От 0 до + 510	Не ограничено	Болты, шпильки
		От 0 до + 540		Гайки
	ГОСТ 10494 ГОСТ 10495	От — 50 до + 510	100 (1000)	Шпильки, гайки
25Х2М1Ф ГОСТ 20072	ОСТ 26-2043	От — 40 до + 540	16 (160)	Шпильки, болты, гайки
		От — 70 до + 540		Шайбы
	ГОСТ 20700 ГОСТ 10494	От 0 до + 535	Не ограничено	Болты, шпильки
		От 0 до + 565		Гайки
		От — 50 до + 510	100 (1000)	Шпильки

Продолжение табл. 4.26

Марка стали, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Назначение
		температура стенки, °С	давление среды, МПа ($кгс/см^2$), не более	
20Х1М1Ф1Р ГОСТ 20072	ОСТ 26-2043	От — 40 до + 565	16 (160)	Шпильки, болты, гайки
		От — 70 до + 565		Шайбы
20Х1М1Ф1ТР 20Х1М1Ф1БР ГОСТ 20072	ОСТ 26-2043	От — 40 до + 565	16 (160)	Шпильки, болты, гайки
		От — 70 до + 565		Шайбы
	ГОСТ 20700	От 0 до + 580	Не ограничено	Болты, шпильки, гайки
15ХМ ГОСТ 4543	ОСТ 26-2043	От — 70 до + 565	16 (160)	Шайбы
	ГОСТ 20700	От 0 до + 545	Не ограничено	Шайбы
20ХН3А, 10Г2 ГОСТ 4543	ОСТ 26-2043	От –70 до + 425	16 (160)	Шпильки, болты, гайки
		От –70 до + 450		Шайбы
37Х12Н8Г8МФБ ГОСТ 5632	ОСТ 26-2043	От –40 до + 450	16 (160)	Шпильки, болты, гайки
		От –70 до + 600		Шайбы
12Х18Н10Т ГОСТ 5632 ГОСТ 5949	ОСТ 26-2043	От –70 до + 600	16 (160)	Шпильки, болты, гайки, шайбы
	ГОСТ 20700	От 0 до + 650	Не ограничено	Шайбы
08Х18Н10Т ГОСТ 5632	ГОСТ 20700	От 0 до + 650	Не ограничено	Шайбы
45Х14Н14В2М ГОСТ 5632	ОСТ 26-2043 ГОСТ 5949	От –70 до + 600	16 (160)	Шпильки, болты, гайки
18Х12ВМБФР ГОСТ 5632 ГОСТ 5949	ОСТ 26-2043	От –40 до + 580	16 (160)	Шпильки, болты, гайки, шайбы
	ГОСТ 20700	От 0 до + 560	Не ограничено	Болты, шпильки, гайки
		От 0 до + 580		Шайбы
12Х1МФ ГОСТ 20072	ГОСТ 20700	От 0 до + 570	Не ограничено	Шайбы
08Х16Н13М2Б ГОСТ 5632	ГОСТ 20700	От 0 до + 625	Не ограничено	Болты, шпильки, гайки
		От 0 до + 650		Шайбы
ХН35ВТ ГОСТ 5632	ГОСТ 20700	От 0 до + 650	Не ограничено	Болты, шпильки, гайки

Примечания.

1. Крепежные детали по ГОСТ 20700 применяются для сосудов в энергомашиностроении.

2. Допускается применять крепежные изделия из марок стали 35Х, 38ХА, 40Х, 30Х, 30ХМА, 35ХМ при температурах ниже –40°С до –60°С, если испытания на ударную вязкость проводятся при рабочих отрицательных температурах образцов с концентратором вида V (тип II по ГОСТ 9454). При этом ни у одного из образцов ударная вязкость не должна быть менее 30 $Дж/см^3$ (3 $кгс/см^2$).

Таблица 4.27

Основные механические свойства материала заготовок для стальных крепежных деталей (ГОСТ 535—88, ГОСТ 1050—88, ГОСТ 4543—71, ГОСТ 5949—75, ГОСТ 19281—89)

Марка стали	Технические требования	Диаметр заготовки, мм	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	δ_5, %	ψ, %	Твердость по Бринеллю, НВ, не более	
			не менее				Болты (шпильки)	Гайки
Ст3сп4	По ГОСТ 535—88	До 40	380	240	25	—	—	—
10	По ГОСТ 1050—88	До 60	340	210	31	55	—	143
20			420	250	25	55	207	143
25			460	280	23	50	217	170
30			500	300	21	50	229	179
35			540	320	20	45	229	187
40			580	340	19	45	241	197
45			610	360	16	40	241	207
35Х	По ГОСТ 4543—71	До 100	930	750	11	45	255	Ниже на 15—20%
38ХА			950	800	12	50	207	
40Х			1000	800	10	45	217	
30ХМ			950	750	11	45	229	
35ХМ			950	850	12	45	241	
30ХМА			950	750	12	50	229	
18Х2Н4МА			1050	800	12	50	269	
10Г2			430	250	22	50	197	
15ХМ			450	280	21	55	179	
20ХН3А			950	750	12	55	241	
09Г2С	По ГОСТ 19281—89		440	270	21	—	—	—
25Х1МФ	По ГОСТ 20072—74	До 200	800	680	16	50	217	Ниже на 15—20%
25Х2М1Ф					12		229	
20Х1МФ1БР					14		229	
20Х1МФ1ТР					15		229	
07Х16Н6	По ТУ 14-1--205—72		1100	900	12	50	—	—
18Х12ВМБФР		До 200	750	500	12	45	241	229
45Х14Н14В2М		—	720	320	20	35	250	—
08Х13		—	600	420	20	60	—	
12Х13		До 60	600	420	20	60	—	
20Х13		» 60	660	450	16	55	—	
30Х13		» 60	По согласованию					
10Х14Г14Н4Т	По ГОСТ 5949—75	» 60	650	250	35	50	—	—
07Х21Г7АН5		—	700	370	40	50	—	—
		—						
08Х15Н24В4ТР			По согласованию					
12Х18Н10Т		До 60	520	200	40	55	—	—
10Х17Н13М2Т		» 60	520	220	40	55	—	—
10Х17Н13М3Т		» 60	540	200	40	55	—	—
08Х17Н15М3Т		» 60	500	200	35	45	—	—
31Х19Н9МВБТ		—	600	300	30	40		
06ХН28МДТ		До 60	По согласованию					

Примечание. 1. Приведенные механические свойства относятся к термически обработанному состоянию материала (Ст3сп4 — горячекатаное, 09Г2С — в состоянии поставки). 2. Значение $a_н$ при 20 °С в зависимости от марки стали от 0,4 до 1,3 МДж/м^2.

ГЛАВА 5

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АППАРАТОВ И ТРУБОПРОВОДОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Аппараты и трубопроводы высокого давления (АТпВД) относятся к категории объектов повышенной степени опасности, поэтому выбор материалов для данной группы технических объектов имеет свою специфику.

Для изготовления АТпВД следует применять материалы по соответствующей нормативно-технической документации. Применение материалов, приведенных в технической документации АТпВД, при параметрах, выходящих за установленные пределы, а также применение материалов, не указанных в нормативной документации, допускается только на основании разрешения Госгортехнадзора России.

Качество и свойства материалов и полуфабрикатов должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов и технических условий и подтверждаться сертификатами заводов-поставщиков металла. В сертификате указывают способ производства металла, режим его термической обработки, химический состав, результаты исследований технологических и механических свойств. При отсутствии сертификата все необходимые испытания металла, регламентированные стандартом или техническими условиями на поставку, проводятся на заводе-изготовителе АТпВД. Замену материалов в проекте, необходимость в которой может возникнуть на стадии изготовления и монтажа АТпВД, а также при их эксплуатации и ремонте, следует согла-совать с проектной организацией. Марки сталей, используемых при изготовлении основных деталей АТпВД, и температурные границы их применения указаны в табл. 5.1—5.5; химический состав сталей дан в табл. 5.6.

Механические свойства сталей (в соответствии с нормативной документацией) применительно к конкретным конструктивным элементам аппаратов (трубопроводов) даны в табл. 5.7, прочностные характеристики при нормальной и повышенной температурах — в табл. 5.8.

В процессе эксплуатации конструктивные элементы АТпВД могут подвергаться воздействию высоких температур, стимулирующих протекание в материалах процессов ползучести. В табл. 5.9 приведены характеристики жаропрочности (пределы длительной прочности и ползучести) для группы сталей, используемых в АТпВД, а также для сталей, применение которых для деталей аппаратуры высокого давления может быть перспективным.

Для сталей, применяемых для изготовления крепежных изделий (шпилек, гаек и др.), работающих при повышенных температурах, существенное значение имеют релаксационные свойства. Сведения о релаксационной стойкости сталей, используемых в деталях крепежа, даны в табл. 5.10.

При проведении прочностных расчетов деталей АТпВД необходимо знать модуль упругости конструкционных материалов (табл. 5.11).

Значения температурных коэффициентов линейного расширения материалов при различных температурах, необходимые для проведения теплофи-зических расчетов при конструировании АТпВД, даны в табл. 5.12. Значения истинной теплоемкости и тепло-проводности для ряда сталей приведены в табл. 5.13, 5.14.

Таблица 5.1

Стали для поковок, ОСТ 26-01-135

Марка стали (ГОСТ, ОСТ, ТУ)	Детали	Стандарт на изделие	Температура стенки, °С
20 (ГОСТ 1050)	аппаратов	ОСТ 24.201.03	—30 — +380
	трубопроводов (*Dy* 6 — 200 мм)	ГОСТ 22790	—40 — +450
22К (ОСТ 26-01-13 5)	аппаратов	ОСТ 24.201.03	—30 — +380
15ГС (ОСТ 26-01-135)	трубопроводов (*Dy* 6 — 200 мм)	ГОСТ 22790	—40 — +400
09Г2С (ГОСТ 19281)	аппаратов	ОСТ 24.201.03	—40 — +380

Продолжение табл. 5.1

Марка стали (ГОСТ, ОСТ, ТУ)	Детали	Стандарт на изделие	Температура стенки, ° С
14ХГС (ГОСТ 19281)	трубопроводов (*Dy* 250 — 400 мм)	ОСТ 26 01-49	—40 — +250
	трубопроводов (*Dy* 6 — 200 мм)	ГОСТ 22790	—50 — +400
30ХМА (ГОСТ 4543)			—50 — +475
20Х2М, 20Х2МА (ОСТ 26-01-135)	трубопроводов (*Dy* 6 — 200мм)	ГОСТ 22790	—40 — +475
	трубопроводов (*Dy* 250 — 400 мм)	ОСТ 26 01-49	—40 — +350
	аппаратов	ОСТ 24.201.03	—40 — +420
22Х3М(ОСТ 26-01-135)	аппаратов	ОСТ 24.201.03	—40 — +420
	трубопроводов (*Dy* 6 — 200 мм)	ГОСТ 22790	—40 — +475
	трубопроводов (*Dy* 250 — 400 мм)	ОСТ 2601-49	—40 — +350
5Х2МФА; 18Х2МФА; 25Х2МФА; 25Х3МФА (ОСТ 26-01-135)	аппаратов	ОСТ 24.201.03	0 — +420
18Х3МВ (ГОСТ 20072) 20Х3МВФ (ГОСТ 20072)	трубопроводов (*Dy* 6 — 200 мм)	ГОСТ 22790	—50 — +475
38ХН3МФА (ГОСТ 4543)	аппаратов	ОСТ 24.201.03	—40 — +420
15Х5М (ГОСТ 20072)	трубопроводов (*Dy* 6 — 200 мм)	ГОСТ 22790	—40 — +510
12Х18Н10Т; 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М3Т; 10Х17Н13М2Т, 03Х17Н14М3, 08Х17Н15М3Т (ГОСТ 5632)			—50 — +510

Таблица 5.2

Листовая и рулонная сталь

М арка стали (ГОСТ, ТУ)	Назначение	ОСТ на изделие	Температура стенки, °С
20К (ГОСТ 5520)	Центральные обечайки	ОСТ 24.201.03	—20 — +400
16ГС (ГОСТ 19281); (ГОСТ 5520)	Центральные кожухи и центральные обечайки многослойных рулонированных сосудов. Штампованные днища, обечайки		—40 — +400
09Г2С (ГОСТ 19281); (ГОСТ 5520)			—40 — +400
10Г2С (ГОСТ 19281); (ГОСТ 5520)			—40 —+400
08Г2СФБ(ТУ 14-1--3609)	Спиральные слои обечаек	ОСТ 24.201.03	—40 — +350
12ХГНМ; 12ХГНМФ (ТУ 14-1-3226)			—40 — +420
15ХГНМФТ (ТУ 14-105-450)			—40 — +400
12Х1МФ (ГОСТ 5520)	Штампованные днища, обечайки штампосварных корпусов		—20 — +420
12Х2МФА(48ТС-2) (ТУ 108.131)			0...+420

Таблица 5.3

Двухслойная сталь по ГОСТ 10885 для изготовления центральных обечаек многослойных рулонированных аппаратов

Марка стали	Температура стенки, °С
09Г2С+12Х18Н10Т; 09Г2С+08Х18Н10Т; 09Г2С+10Х17Н13М2Т	—40 — +350
16ГС+ 12Х18Н10Т; 16ГС+08Х18Н10Т;	
20К+12Х18Н10Т; 20К+08Х18Н10Т; 20К+ 10Х17Н13М2Т	—20 — +350
12ХМ+08Х18Н10Т; 12ХМ+12Х18Н10Т	0 — +420
12МХ+08Х18Н10Т; 12МХ+ 12Х18Н10Т	—20 — +420
10Х2М1 +08Х18Н10Т	

Таблица 5.4

Стали для труб

Марка стали (ГОСТ, ТУ)	ТУ на трубы	Температура стенки, °С
20 (ГОСТ 1050)	14-3-251; 14-3-460	—40 — +450
15ГС(ТУ 14-3-460) (ТУ 14-3-420)	14-3-460; 14-3-420	—40 — +400
14ХГС (ГОСТ 19281)	14-3-251; 14-3-433	—50 — +400
30ХМА (ГОСТ 4543)	14-3-251; 14-3-433	—40 — +450
15ХМ (ГОСТ 4543)	14-3-460	—40 — +510
12Х1МФ (ГОСТ 200 72)		—20 — +510
15Х1М1Ф(ТУ 14-3-460)	14-3-420; 14-3-460	—20 — +510
18Х3МВ (ГОСТ 20072); 20Х3МВФ (ГОСТ 20072)	14-3-251	—50 — +475
12Х18Н10Т (ГОСТ 5632) 12Х18Н12Т (ГОСТ 5632); 03Х17Н14М3 (ГОСТ 5632); 02Х25Н22М2АГ	14-3-731 14-3-460 14-3-1348, 14-3-697 14-3-1374	—50 — +510

Таблица 5.5

Стали для деталей фланцевых соединений трубопроводов и аппаратов

Марка стали (ГОСТ, ТУ)	Назначение	Стандарт на изделие	Температура стенки,°С
20 (ГОСТ 1050)	Линзы	ГОСТ 10493	—40 — +200
35; 40 (ГОСТ 1050)	Гайки	ОСТ*	—40 — +420
45 (ГОСТ 1050)	Фланцы	ГОСТ 9399	—40 — 200
30Х (ГОСТ 4543)	Гайки	ГОСТ 10495	—50 — +200
	Фланцы	ГОСТ 9399	
35Х (ГОСТ 4543)	Шпильки	ГОСТ 10494	
		ОСТ*	—40 — +420
	Гайки	ГОСТ 10495	—50 — +400
		ОСТ*	—40 — +420

Продолжение табл. 5.5

Марка стали (ГОСТ, ТУ)	Назначение	Стандарт на изделие	Температура стенки, °С
38ХА; 40Х (ГОСТ 4543)	Шпильки	ГОСТ 10494	—50 — +200
		ОСТ*	—40 — +420
	Гайки	ГОСТ 10495	—50 — +400
		ОСТ*	—40 — +420
	Фланцы	ГОСТ 9399	—50 — +400
40ХФА (ГОСТ 4543)	Шпильки, гайки	ГОСТ 10494; ОСТ*	—40 — +420
14ХГС (ГОСТ 19281)	Линзы	ГОСТ 10493	—50 — +200
15ХМ (ГОСТ 4543)			—50 — +400
30ХМА (ГОСТ 4543)	Шпильки	ГОСТ 10494	
		ОСТ*	—40 — +420
		ГОСТ 10495	—50 — +510
	Гайки	ОСТ*	—40 — +420
	Фланцы	ГОСТ 9399	—50 — +400
	Линзы	ГОСТ 10493	
35ХМ (ГОСТ 4543)	Шпильки	ГОСТ 10494	—50 — +400
		ОСТ*	—40 — +420
	Гайки	ГОСТ 10495	—50 — +510
		ОСТ*	—40 — +420
	Фланцы	ГОСТ 9399	—50 — +400
20ХН3А (ГОСТ 4543)	Шпильки	ОСТ*	—40 — +420
34ХН3М (ТУ 108.1029)	Шпильки		
38ХН3МФА (ГОСТ 4543)			
25Х1МФ (ГОСТ 20072)		ГОСТ 10494	—50 — +510
		ОСТ*	—40 — +420
25Х1МФ (ГОСТ 20072)	Гайки	ГОСТ 10495	—50 — +510
		ОСТ*	—40 — +420
25Х1МФ (ГОСТ 20072)	Фланцы	ГОСТ 9399	—50 — +510
25Х2М1Ф (ГОСТ 20072)	Шпильки	ГОСТ 10494	
	Фланцы	ГОСТ 9399	
18Х3МВ (ГОСТ 20072)	Линзы	ГОСТ 10493	
20Х3МВФ (ГОСТ 20072)	Фланцы	ГОСТ 9399 ГОСТ 10493	
12Х18Н10Т (ГОСТ 5632)	Линзы	ГОСТ 10493	—50 — +200
	Шпильки	ОСТ*	—70 — +420
10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т1 ГОСТ 5632)	Линзы	ГОСТ 10493	—50 — +200
20Х1М1Ф1ТР; 20Х1М1Ф1БР (ГОСТ20072)	Шпильки	ГОСТ 10494	—40 — +510

*ОСТ 2601-144

Таблица 5.6

Содержание химических элементов в некоторых сталях, %

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Nb	Ti	P	S	ГОСТ, ТУ
											не более		
20	0,17—0,24	0,17—0,37	0,35—0,65	<0,25	—	<0,25	—	—	—	—	0,035	0,040	ГОСТ 1050
20К	0,16—0,24	0,15—0,30		<0,30	—	<0,30	—	—	—	—	0,040		ГОСТ 5520
22К	0,19—0,26	0,20—0,40	0,75— 1,0	<0,40	—	<0,40	—	—	—	—	0,03	0,03	ГОСТ 5520 ОСТ 26-01-135
35	0,32—0,40	0,17—0,37	0,50—0,80	<0,25	—	<0,25	—	—	—	—	0,035	0,040	ГОСТ 1050
40	0,37— 0,45				—		—	—	—	—			
09Г2С	0,12	0,15—0,80	1,30— 1,70	<0,30	—	<0,30	—	—	—	—			ГОСТ 19281
10Г2С1		0,8—1,1	1,30— 1,65		—		—	—	—	—			
16ГС	0,12—0,18	0,4—0,7	0,9—1,2		—		—	—	—	—			
35Х	0,31—0,39	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	—	—	—	—	—	—		0,035	ГОСТ 4543
38ХА	0,35—0,42				—	—	—	—	—	—			
40Х	0,36—0,44				—	—	—	—	—	—			
14ХГС	0,10—0,16	0,40—0,70	0,90— 1,30	0,50—0,80	—	<0,030	—	—	—	—		0,040	ГОСТ 19281
08Г2СФБ	0,13	0,40—0,60	1,2—1,6	0,30	—	—	0,03—0,08	—	0,01—0,04	—		0,020	ТУ 14-1-3609
40ХФА	0,37—0,44	0,17—0,37	0,50—0,80	0,80—1,10	—	—	0,10—0,18	—	—	—		0,035	ГОСТ 4543
12ХМ	0,16		0,4—0,7		0,40—0,55	<0,30		—	—	—	0,040	0,040	ГОСТ 5520
12МХ	0,09—0,16			0,4—0,6	0,4—0,6		—	—	—	—		0,025	ГОСТ 20072
12ХГНМ	0,10—0,14	0,30—0,50	0,8—1,2	0,50—0,70	0,50—0,60	0,70— 1,00	—	—	—	<0,1	0,030	0,030	ТУ 14-1-3226
12ХГНМФ	0,10—0,14		0,60— 1,00			0,60—0,90	0,1—0,2	—	—	<0,1			
15ХГНМФТ	0,10—0,15				0,25—0,40	0,50—0,70	0,1—0,2	—	—	0,02—0,4	0,025	0010	ТУ 12-105-450
30ХМА	0,26—0,33	0,17—0,37	0,4—0,7	0,80—1,1	0,15—0,25	<0,30	—	—	—	—		0,025	ГОСТ 4543
12Х1МФ	0,08—0,15			0,9—1,2	0,25—0,35		0,15—0,30	—	—	—	0,030		ГОСТ 20072
25Х1МФ	0,22—0,25			1,5—1,8				—	—	—			
10Х2М1	0,08—0,12		0,30—0,60	2,00—2,50	0,90—1,10	<0,50	—	—	—	—		0,030	ГОСТ 10885
20Х2М	0,18—0,24		0,30—0,70	2,10—2,40	0,25—0,35	0,30—0,70	—	—	—	—			ОСТ 26-01-135
15Х2МФА	0,13—0,18		0,30—0,60	2,50—3,00	0,60—0,80	<0,40	0,25—0,35	—	—	—	0,025	0,025	
18Х2МФА	0,16—0,21						0,25—0,35	—	—	—			
25Х2МФА	0,22—0,27						0,25—0,35	—	—	—			
18Х3МВ	0,15—0,20		0,25—0,50		0,50—0,70	<0,30	0,05—0,15	0,5—0,8	—	—	0,030		ГОСТ 20072
22Х3М	0,20—0,25	0,20—0,40	0,50—0,80	3,00—3,50	0,40—0,50		0,30	—	—	—		0,030	ОСТ 26-01-135
20Х3МВФ	0,15—0,23	0,17—0,37	0,25—0,50	2,80—3,30	0,35—0,55		0,60—0,85	0,3—0,5	—	—		0,025	ГОСТ 20072
25Х3МФА	0,22—0,27	0,17—0,37	0,30—0,60		0,60—0,80	<0,40	0,26—0,35	—	—	—	0,025		ОСТ 26-01-135

Продолжение табл. 5.6

Марки стали	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Nb	Ti	P	S	ГОСТ, ТУ
											не более		
34ХН3М	0,30—0,40	0,17—0,37	0,50—0,80	0,70—1,10	0,25—0,40	2,75—3,75	—	—	—	—	0,030	0,035	ОСТ 26-01-135
38ХН3МФА	0,33—0,40	0,17—0,37	0,25—0,50	1,20—1,50	0,35—0,45	3,00—3,50	0,10—0,18	—	—		0,025		ГОСТ 4543
15Х5М	<0,15	<0,5	<0,5	4,5—6,0	0,45—0,60	0,6		—	—	—	0,030		ГОСТ 20072
08Х13	<0,08	<0,8	<0,8	12,00—14,0	—			—	—	—		0,025	ГОСТ 5632
12Х13	0,09—0,15				—			—	—	—			
20Х13	0,16—0,25				—			—	—	—			
30Х13	0,26—0,35				—	—			—	—			
08Х18Н10Т	<0,08		<2,0	17,0—19,0	—	9,0—11,0		—	—	5·С-0,7	0,035	0,020	
12Х18Н10Т	0,12				—			—	—	5·С-0,8			
03Х17Н14М3	0,03	<0,4	1,0—2,0	16,0—8,0	2,5—3,1	13,0—15,0		—	—				
08Х17Н13М2Т	<0,08	<0,8	<2,0		2,0—3,0	12,0—14,0		—	—	5·С-0,7			
08Х17Н15М3Т					3,0—	14,0—16,0		—	—	0,3—0,6			
10Х17Н13М3Т	0,10				4,0	12,0—14,0		—		5·С-0,7			

Таблица 5.7

Стали для изготовления деталей АТпВД и их механического свойства (при t=20°С)

Изделие	Вид заготовки	Марка стали	Толщина заготовки, мм, не более	Термическая обработка (температура, °С)	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	*KCU*, Дж/см^2	НВ	Стандарт
					МПа		%				
Цельнокованые корпуса, обечайки, фланцы, днища, крышки, горловины, штуцера	Поковки	20Х2МА	Св.270 до 550	З(900—920) О(650—680)	400	550	16	45	70	195—235	ОСТ 26 01-135
Крышки, фланцы, горловины, днища											
Цельнокованые корпуса, обечайки, днища, горловины, штуцера		22Х3М	До 550	Н(890—920) О(650—720)	450	600	16	50	60	197—235	ОСТ 26 01-135
Крышки, фланцы, днища, горловины			Св.550 до 700	З(890—910) О(650—720)	400	550	16	45		174—217	

Изделие	Вид заготовки	Марка стали	Толщина заготовки, мм, не более	Термическая обработка (температура, °С)	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	*KCU*, Дж/см^2	НВ	Стандарт
					МПа		%				
Цельнокованые корпуса, обечайки, днища, горловины, крышки, штуцера	Поковки	15Х2МФА	До 400	З(1000) О(650—690)	440	550-750	11	40	30	187—229	ОСТ 26 01-135
		18Х2МФА			540	650-850	11		25	207— 225	
Крышки		25Х2МФА	450		440	550	11		30	187—229	
		25Х3МФА	600		540		11		25	207—225	
Цельнокованые корпуса, крышки		25Х3НМ	300	Н880—910) О(630—670)	500	650	15	32	60	212—248	ТУ 66-82
			700	З(880—910) О(630—670)						—	
Обечайки, фланцы, горловины, днища, крышки, штуцера		08ГДНФ	550	Н910—920) О(590—710)	350	420	20	35		—	ТУ 24-3-15-612
			До 500	З(910—920) О(590— 710)	370	500				—	
Обечайки, фланцы, днища, горловины, штуцера		22К	До 500	Н(880—920) О(600— 700)	220	440	15	39	40	123—167	ОСТ 26 01-135
Крышки, фланцы, горловины, днища				З(880—920) О(600— 700)							
Штампосварные крышки, днища, горловины	Кованые плиты										
Крышки, фланцы, днища, горловины	Поковки	14ХГС	550 (масса до 3т)	З(900—930) О(540—560)	320	500	< 17		60	149—207	ГОСТ 19281
		09Г2С	500 (масса до 3т)	З(910—930) О(640— 660)	300	460	24	45	60	120—179	
		20	До 300 301—500 501—800	Н(890—900) О(650—680)	20 170 170	400 340 340	20 15 14	— 34 30	50 40 35	123—167 103—148 100—145	ОСТ 26-01-135; ГОСТ 8479

Продолжение табл. 5.7

Изделие	Вид заготовки	Марка стали	Толщина заготовки, мм, не более	Термическая обработка (температура, °С)	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	*KCU*, Дж/см^2	НВ	Стандарт
					МПа		%				
Патрубки	Поковки	15Х5М	До 400	Н(840—860)	220	400	22	50	30	217	ГОСТ 20072
Уплотнительные кольца треугольного сечения		10 20 25	100	Н(880—920)	205 245 275	330 410 450	33 25 23	60 55 50		110—143 111—163 170	ОСТ 26-01-135, ГОСТ 1050, ГОСТ 8479
		15ХМ	50	З(880—900) О(690—710)	280	450	21	55	—	156—197	ГОСТ 8479
		08Х13 12Х13		З(1000-1050) О(700—780)	400	550	14	35		187—229	ГОСТ 25054
Уплотнительные кольца двухконусные		30ХМА	200	З(880—900) О(700—780)	400	600	16	40	60	193—241	ОСТ 26 01-135
		20Х2МА		Н(900—920) О(630—650)	450			45		197—237	
		22Х3М		Н(890—920) О(650—720)				50			
		18Х3МВ		З(950—970) О(660—690)	450	600	16	45		197—241 241—285	ГОСТ 20072
		20Х3МВФ		З(1000) О(660—690)			14	40-	50		
		30Х13		З(1000-1050) О(660—770)	600	750			39	235—277	ГОСТ 25054
Уплотнительные кольца восьмиугольного сечения		15ХМ	200	З(880—900) О(690—710)	280	450	21	55	—	156—187	ГОСТ 4543
		09Г2С	50— 100	З(910—930) О(640—660)	300	4470	24	45	60	120—179	
		08Х13 12Х12		З(1000-1050) О(600—770)	600	750	14	40	30	235—271	ГОСТ 25054
Уплотнительная плоская прокладка	Тонкий лист	Алюминиевые сплавы АДО, АД1, А5, А6, А7	1—5	О	—	60	20	—	—	—	ГОСТ 21631
		Медь М 1, М2,М1Р, М2Р		—	95	200	30	—	—	50	ГОСТ 495
Наружные кожухи и центральные обечайки	Лист	10Г2С	10—20	Н	335	480	21	—	60	156—190	ГОСТ 5520
		09Г2С			325	470				120—179	
		16Г2С			315	480				148—197	
		20К			245	402	25			123—179	
		09Г2С	21—32		235	402	23			120—179	
		10Г2С1			305	460				156—180	
		16ГС			325	470	21			148—197	
					295	470					

Продолжение табл. 5.7

Изделие	Вид заготовки	Марка стали	Толщина заготовки, мм, не более	Термическая обработка (температура, °С)	$\sigma_{0,2}$	$\sigma_в$	δ_5	ψ	*KCU*, Дж/см^2	НВ	Стандарт
					МПа		%				
Центральные обечайки с защитным слоем	Двухслойный лист	20К+ 08Х18Н10Т	12..22	—	245	402	25	—	59	—	ГОСТ 0885 ГОСТ 5520
		20К+ 12Х18Н10Т	23..32		235	402					
		20К+ 08Х17Н15М3Т	12..22		325	470	21				
		09Г2С+ 08Х18Н10Т									
		09Г2С+ 12Х18Н10Т	23..32		306	460					
		09Г2С+ 08Х17Н15М3Т									
		16ГС+ 08Х18Н10Т	12..22		315	480	21				
		16ГС+ 08Х17Н15М3Т									
		12ХМ+ 08Х18Н10Т	12..40		245	<440	22				
		12ХМ+ 12Х18Н10Т									
		12ХМ+ 08Х18Н10Т			221	420	24				
		12ХМ+ 12Х18Н10Т									
		10Х2М1+ 08Х18Н10Т	До 60		235	440	19				
Спиральные слои, наружные кожухи, клинообразные вставки	Рулонная полоса	08Г2СФБ	5	—	450	600	21	—	50	—	ТУ 14-1-3609
		12ХГНМ 12ХГНМФ	4	Н(920) О(720)	500	700	17	—	—	—	ТУ 14-1-3226
		15ХГНМФТ	5	Н(920) О(700)	450	650	17	—	—	—	ТУ 14-105--450
Футеровка днищ, крышек фланцев, горловин	Лист	08Х18Н10Т 12Х18Н10Т 08Х17Н13М3Т 10Х17Н13М3Т 03Х17Н14М3ВО	До 20	3(1030--1080) (в воде или на воздухе)	206 236 196 236 196	509 530 509 530 490	43 38 40 37 30	—	—	—	ГОСТ 7350 ТУ 14-1-1154
Штампосварные крышки, днища, горловины	Лист	09Г2С	33—60 61—80 81—160	Нормализация со штампосварочного нагрева	285 275 165	450 440 430	—	—	59	120—179	ГОСТ 5520
		10Г2С1	33—60 61—100		325 295	450 430	21	—		160—190	
		16ГС	33—60 61—100		285 275	460 450	—	—		163	

Продолжение табл. 5.7

Изделие	Вид заготовки	Марка стали	Толщина заготовки, мм, не более	Термическая обработка (температура, °С)	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_в$ МПа	δ_5 %	ψ %	*KCU*, Дж/см^2	НВ	Стандарт
Шпильки	Поковки, сортовой прокат	35Х; 38ХА	До 100	З(860) О(500—550)	588	735	14	—	59	235—277	ОСТ 26-01-144
		40Х		З(860) О(500)							
		40ХФА		З(880) О(650)							
		30ХМА	До 80	З(880) О(540)	637	784	13	—	59	241—293	
		35ХМ	80—200	З(850) О(560)	539	686	12		49	212—248	
		38ХН3МФА 34ХН3М	До 200	З(850) О(590—600)	784	933	12	—	59	293—339	
		25Х1МФ	200	З(860) О(620—660)	667	784	16	—	59	241—311	
		12Х18Н10Т		З(1020—1100)	196	508	40	—	—	179	
Шайбы		35, 40, 35Х; 38ХА, 40Х; 30ХМА; 35ХМ	40	—		—	—	—	—	212—248	ОСТ 26-01-144
Гайки		35		Н(870)	275	529	20	—	44	156—187	
		40			294	549	18		39	163—187	
		35Х 38ХА	240	З(860) О(500—550)	491	657	16		592	12—248	
		40Х; 30ХМА; 35ХМ		З(830—870) О(500—560)							
		25Х1МФ		З(950) О(660)	667	734	16	—	59	241—285	

Н — нормализация, О — отпуск, З — закалка.

Таблица 5.8

Прочностные характеристики сталей при нормальной и повышенной температурах

Марка стали	Вид заготовки	Стандарт на заготовку или деталь	Нормативные прочностные характеристики при 20°С		$\sigma_{0,2}$, при t, °С								$\sigma_в$, при t, °С							
			$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_в$, МПа	100	150	200	250	300	350	400	450	100	150	200	250	300	350	400	450
20	Поковки	ОСТ 2601-135	170	340	170	165	160	150	140	130	110	—	340	335	320	310	300	290	280	—
22К			220	440	220	210	200	195	190	185	170	—	440	420	400	390	380	380	370	—
09Г2С			300	460	285	275	260	240	210	200	190	—	450	445	440	420	390	385	380	—
14ХГС			320	500	300	290	280	270	260	255	—	—	475	465	450	440	430	420	—	—
20Х2М			450	600	425	415	400	380	350	330	300	275	580	565	550	530	500	480	450	425
			400	550	385	370	355	340	310	295	265	245	530	520	510	485	460	440	410	390
22Х3М			450	600	425	415	400	380	350	330	300	275	580	565	550	530	500	480	450	420
			400	550	380	365	350	325	300	275	250	225	535	520	500	475	450	425	400	375

Продолжение табл. 5.8

Марка стали	Вид заготовки	Стандарт на заготовку или деталь	Нормативные прочностные характеристики при 20°С		$\sigma_{0,2}$, при t, °С								$\sigma_в$, при t, °С							
			$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_в$, МПа	100	150	200	250	300	350	400	450	100	150	200	250	300	350	400	450
18Х3МВ	Поковки	ОСТ 2601-135	450	600	435	425	400	390	380	370	350	310	575	560	550	535	525	510	500	470
15Х2МФА 25Х2МФА			440	580	430	425	420	410	405	400	375	350	550	540	530	520	510	500	480	450
18Х2МФА 25Х3МФА			540	650	530	525	520	510	505	500	460	430	630	610	600	580	570	560	530	500
20Х3МВФ			680	800	660	645	630	610	600	590	580	540	760	745	730	700	690	670	650	620
10Г2С	Листовая сталь	ГОСТ 19281 ГОСТ 5520	340	490	310	290	275	255	235	205	185	—	490	480	470	455	425	415	400	—
			330	480	300	285	265	250	220	200	180	—	480	470	460	440	420	405	390	—
			330	460	—	—	—	—	—	—	—	—	460	460	450	430	410	400	380	—
			300	440	275	260	245	225	200	180	165		440	430	420	400	390	380	370	
16ГС			320	420	300	290	275	255	220	200	175	—	480	470	460	450	420	410	400	—
			300	480	280	270	260	240	205	185	165	—	470	460	450	440	415	400	390	—
			290	470	270	260	250	230	200	180	160		450	440	430	420	410	390	380	—
			280	460	260	250	240	220	195	175	155	—	440	430	420	410	390	380	370	—
12ХМ		ГОСТ 5520	250	450	250	240	240	230	220	210	200	190	—	—	430	—	420	400	—	—
12МХ			220	420	220	215	215	215	210	205	190	180	—	—	410	—	410	380	—	—
12Х1МФ			300	450	270	265	260	250	240	230	220	210	440	435	430	430	420	400	380	350
10Х2М1			240	430	240	235	230	230	220	210	200	190	—	—	420	—	405	400	—	—
20К			250	400	245	240	240	215	195	175	150	—	420	415	410	400	380	370	360	340
			240	410	235	230	230	210	190	165	145	—								
09Г2С	Листовая сталь	ГОСТ 5520; ГОСТ 19281	330	480	305	290	275	260	225	205	180	—	480	470	460	450	425	400	390	—
			310	470	285	275	260	245	215	190	170	—	465	450	435	420	400	390	380	—
09Г2С	Листовая сталь	ГОСТ 5520; ГОСТ 19281	290	460	265	255	240	230	200	180	160	—	440	430	420	410	400	390	380	—
			280	450	260	245	235	220	195	175	15	—	430	420	410	400	390	380	370	—
			270	440	250	235	225	215	185	170	150		420	410	400	390	380	370	360	—
15ГС	Поковки	ОСТ 2601-135	300	500	300	290	280	250	230	200	170	—	460	460	450	440	420	410	400	—
16ГС			280	460	280	270	260	250	230	200	170	—	460	460	450	440	420	410	400	—
08Г2СФБ	Рулонная сталь	ОСТ 24.201.03	450	600	420	400	385	370	350	320	—	—	585	575	570	560	550	480	—	—
12ХГНМ; 12ХГНМФ			500	700	490	485	475	465	450	450	390	350	685	680	670	660	650	650	630	600
15ХГНМФТ			450	650	440	435	425	420	410	400	370	—	635	630	625	615	605	600	580	—
15Х5М	Поковки	ГОСТ 20072	220	400	210	200	190	185	180	175	170	165	380	355	330	325	320	315	310	290
08Х13; 12Х13		ОСТ 2601-135	350	550	350	340	330	325	320	310	290	280	550	530	510	505	500	480	460	410
20Х1330Х13			450	600	430	420	410	400	370	370	370	350	600	560	540	520	500	485	470	440
			600	720	550	540	530	520	510	470	450	430	680	670	670	655	640	610	580	560
08Х17Н13М2Т; 08Х17Н15М3Т; 10Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т			200	500	190	180	175	170	160	155	150	145	—	—	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 5.8

Марка стали	Вид заготовки	Стандарт на заготовку или деталь	Нормативные прочностные характеристики при 20°С		$\sigma_{0,2}$, при t, °С								$\sigma_в$, при t, °С							
			$\delta_{0,2}$, МПа	$\delta_в$, МПа	100	150	200	250	300	350	400	450	100	150	200	250	300	350	400	450
35	Поковки или сортовой прокат	ОСТ 2601-144; ОСТ 2601-135	280	540	270	260	250	230	220	200	180	160	540	540	540	530	520	490	450	410
40			300	560	290	275	260	250	230	220	200	170	550	550	550	540	530	500	460	420
35Х; 38ХА			600	750	575	555	540	530	520	500	480	460	735	725	720	700	680	620	560	500
40Х; 40ХФА			500	670	465	440	420	400	380	375	370	360	645	620	610	600	580	560	500	—
30ХМА			650	800	620	610	600	570	550	510	480	440	790	785	780	770	740	710	660	600
			500	670	480	470	460	440	420	390	370	340	660	655	650	645	620	595	550	500
			400	600	380	380	370	350	340	340	330	300	580	560	540	520	500	490	470	420
25Х1МФ			680	800	650	635	620	600	570	540	500	460	790	785	780	770	740	710	660	600
38ХН3МФА			650	800	630	610	590	580	575	570	560	550	750	735	720	710	700	680	620	—
			800	950	775	750	720	715	710	700	690	675	890	875	860	855	840	770	770	735
12Х18Н10Т			200	500	190	180	175	170	160	155	150	145	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 5.9

Пределы длительной прочности и ползучести сталей

Марка стали	Рекомендуемый режим (t, °С, среда)		Температура испытания, °С	Предел длительной прочности, МПа, за время, ч		Предел ползучести, МПа, за время, ч	
	закалки (нормализации)	отпуска		10^4	10^5	10^4	10^5
12ХМ	910...930 воздух	670...690 воздух	450 480 510 540	— — — —	270 200 120 73	240 225 170 122	200 155 120 82
12МХ	920 воздух	680...690 воздух	450 480 510 540	340 250 160 110	270 200 120 70	240 220 — —	200 150 70 35
30ХМ	870 вода	600 воздух	425 450 500	340 300 200	290 230 150	— — 140	140 110 55
12Х1МФ	960...980 воздух	740...760 воздух	480 520 560	260 200 140	200 160 108	240 180 118	190 130 75
25Х1МФ	880...900 масло	640...660 вода	450 475 500 525 550	— — 260 — 100	— — 170 115 60	90	230 145 80 53 30
25Х1М1Ф	900 масло	640...660 воздух	450 480 500 525 550	440 — 260—310 230—280 205	390 — 220—260 180—220 150	—	29 22 140—150 125 95
25Х2М1Ф	1050 воздух	680...700 воздух	550	160—220	—	—	70
18Х3МВ	890...910 масло	660...680	450 500 550	— — —	— — —	230 120 75	160

Продолжение табл. 5.9

Марка стали	Рекомендуемый режим (*t*, °С, среда)		Температура испытания, °С	Предел длительной прочности, МПа, за время, ч		Предел ползучести, МПа, за время, ч	
	закалки (нормализации)	отпуска		10^4	10^5	10^4	10^5
20Х3МВФ	1000 масло	670	475	295	260	260	150
			500	250	210	250	120
			550	200...240	180	—	90...110
			560	210	170	—	90
			580	170	130	—	60
			600	110	70	—	22
20Х3МВФ	1050 масло	680 воздух	450	445	400		250
			500	370	340		175
			525	340	300		—
			550	210...240	180	—	90...110
			560	210	170		90
			580	170	130		60
			600	110	70		22
20Х3МВФ	1030... 1080 масло	660...700 воздух	500	340	300	180	150
			550	200	160	130	100
			580	140	100	—	50
38ХН3МФА	820...830 масло	670...680 воздух	450	350	260	160	200
			500	190	130	54	100
			550	120	75	—	19
34ХН3М	860 масло	580...620 воздух	450	330	230	300	160
			500	115...155	60...78	100	35
			550	70	40	32	12
15Х5М	950...980 воздух	840...880 воздух	480	180	150	105	70
			540	100	75	65	40
12ХГНМ	920 воздух	700 воздух	450	500	460	—	—
			560	60	—		
12ХГНМФ	920 воздух	700 воздух	560	130	—	—	—
12Х13	1030... 1050 масло	680...700 воздух	400	—	—	—	123
			425	300	270	—	—
			450	250	220	—	105
			500	145	120	95	57
			600	47	—	—	—
20Х13	1000... 1020 воздух	720...750 воздух	450	30	26		128
			475	—	—		7,6
			500	19,5	16	—	4,8
			530	10,5	7,6		—
			550	—	—		3,0
30Х13	1000 воздух	650 воздух	400	—	—	—	134
			450				84
12Х18Н10Т	1050...1080 вода (воздух)	—	600	150	110	—	75
		—	650	80...100	—		30...40
12Х18Н9Т	1030...1080 вода	—	500	250	200	—	—
			525	210	170		—
			550	190	150		—
			575	155	130		—
			600	135	100		75
			625	110	80		—

Таблица 5.10

Релаксационная стойкость сталей

Марка стали	Термическая обработка* (температура, °С, среда)	Твердость, НВ	$\sigma_{0,2}$, МПа	t, °С	Начальное напряжение, МПа	Остаточное напряжение, МПа, после испытаний в течение, ч		
						10^3	$5 \cdot 10^3$	10^4
30Х	З(860; масло) О(500)	269	670	400	200	53	—	—
				300	270	245	230	—
40Х	З(820...840) масло О(680)	207...217	600	350	270	180	150	—
				400	360	100	63	—
30ХМ	З(870; масло) О(650)	196...207	630	450	150	74	53	—
					250	105	90	—
					100	45	20	—
				500	150	64	37	—
					200	73	44	—
	Н(880), О(650)	207	503	450	150	83	71	58
	Н(1000), О(650)	217	—	—	250	123	102	82
					150	98	83	70
					250	162	132	105
35ХМ	З(880; масло) О(650)	269	780	400	150	65	53	45
					250	99	77	64
					350	120	98	82
				450	150	61,5	47	33
					250	87	68	52
25Х1МФ	Н(920), О(650)	277	867	500	120	79	70	57
					250	160	125	92
					350	205	180	150
	Н(1000), О(650)	289	866	500	120	88	78	70
					250	175	152	130
					350	235	215	190
				525	200	80*2	50*3	—
	З(920; масло) О(650)	293	920	500	150	78	57	38
					250	120	98	72
					350	160	125	94
				525	200	80*2	50*3	—
25Х1М1Ф	Н(950), О(700)	241	680	450	250	179	170	163
	Н(950), О(680)	255	785	500	300	216	200	194
					350	245	228	218
	Н(950) О(650...660)	286	—		250	137	93	75
		293	—		300	175	142	116
		302			350	188	153	118
		255	—		300	154	109	—
	Н(950...1000) О(650...670)	—	—	525	200	132	97	80
					250	165	124	100
					300	195	148	125
20Х1М1Ф1ТР	З(980, масло) О(700)	255	750	450	250	207	201	194
					300	250	238	232
					350	288	275	270
				500	250	193	182	174
					300	228	219	207
					350	262	249	242

Продолжение табл. 5.10

Марка стали	Термическая обработка* (температура, °С, среда)	Твер-дость, НВ	$\sigma_{0,2}$, МПа	t, °С	Начальное напря-жение, МПа	Остаточное напряжение, МПа, после испытаний в течение, ч		
						10^3	$5 \cdot 10^3$	10^4
20Х1М1Ф1БР	Н(1030...1050) О(600)	255...269	750	500	260 320 370	198*[3] 240*[3] 275*[3]	188*[4] 220*[4] 260*[4]	170 212 248
				525	250 300 350	178 205 235	167 197 225	160 185 205
12Х13	З(1030...1050 масло); О(680... 670)	—	410	400	300 250 200	186 163 148	178 153 138	160 138 121
	З(1030...1050 масло) О(680...670)		410	450	300 250 200 150	145 124 109 81	118 107 88 75	101 95 72
20Х13	Н(1000...1020) О(730...750)	187...217	520	400	350 300 250 200	230 210 170 130	195 170 160 130	—
				450	350 300 250	150 130 110	115 95 80	—
30Х13	Н(1000), О(650)	269...285	710	450	300 250 200 150	115 95 85 63	94 68 64 46	—

З — закалка; О — отпуск; Н — нормализация
*[2]500 ч, *[3] 2000 ч, *[4] 4000 ч.

Таблица 5.11

Модуль упругости сталей

Сталь	Модуль упругости $E \cdot 10^{-3}$, МПа								
	Температура t, °С								
	20	100	200	300	400	500	550	600	650
Углеродистая с содержанием С: менее 0,25 %*[1]	200	195	190	180	170	160	—	—	—
более 0,25 %*[2]	210	205	195	185	175	160	—	—	—
Низколегированная с содержанием С:									
менее 0,25 %*[3]	210	205	200	195	185	175	170	165	—
более 0,25 %*[4]	215	210	205	200	190	180	175	170	—
Высокохромистая*[5]	220	215	210	200	190	180	175	170	160
Аустенитная хромоникелевая*[6]	205	200	190	180	170	165	—	160	155

[1] Стали 10; 15; 20; 25; 15К; 20К.
[2] Стали 30; 35; 40; 50.
[3] Стали 09Г2С; 10Г2С1; 08Г2СФБ; 16ГС; 16Г2АФ; 15Х; 12ХГНМ; 12ХГНМФ; 15ХГНМФТ; 12МХ; 12Х1МФ.
[4] Стали 30Х; 38Х; 40Х; 35ХМА; 45Х; 38ХМЮА; 25Х1МФ; 25Х2М1Ф; 35ХМФА; 20Х1М1ФТР; 22Х3М; 20Х2М; 20Х3МВФ.
[5] Стали 10Х13; 20Х13; 30Х13; 40Х13; 15ХНМФ; 1Х12Н2ВМФ.
[6] Стали 12Х18Н9; 12Х18Н10Т; 12Х18Н12Т; 20Х23Н18; 0Х18Н12Б; 1Х16Н9М2; 08Х16Н13М2Б; 09Х14Н19В2БР; 03Х16Ш5М3Б; 03Х17Н14М3; 08Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т; Х18Н22В2Т.

Таблица 5.12

Температурный коэффициент линейного расширения

Сталь	Средние значения $\alpha \times 10^6$, 1/°С													
	Интервал температур от 20 до t °С													
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
Углеродистая и низколегированная	11,5	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	13,4	13,6	13,8	14,0	14,2	14,4	—	—
Хромистая коррозионностойкая	10,0	10,3	10,6	10,8	11,0	11,2	11,4	11,5	11,7	11,8	11,9	12,0	—	—
Аустенитная хромоникелевая	16,4	36,6	16,8	17,0	17,2	17,4	17,6	17,8	18,0	18,2	18,4	18,5	18,7	18,8

Таблица 5.13

Истинная удельная массовая теплоемкость c_p сталей

Сталь	Значения c_p, кДж/(кг·°С)							
	Температура, °С							
	50	100	200	300	400	500	600	700
10	—	0,465	0,477	—	0,510	—	0,565	—
15	0,465	0,481	0,532	0,578	0,620	0,687	0,774	0,942
20	0,483	0,486	0,488	0,514	0,533	0,555	0,584	0,636
25	—	0,465	0,481	—	0,519	0,569	—	—
35	0,465	0,420	0,532	0,569	0,611	0,666	0,754	0,913
40	0,486	0,494	0,523	0,561	0,599	0,670	0,720	0,809
20К	—	0,465	0,481	—	0,535	0,569	—	—
22К	—	0,465	0,481	—	0,519	0,589	—	—
20Г	—	0,465	0,481	—	0,535	0,569	—	—
30Х	0,482	0,494	0,528	0,565	0,611	0,687	0,754	0,948
12МХ	0,448	0,473	0,519	0,565	0,594	0,653	0,738	0,888
12Х1МФ	0,473	0,507	0,561	0,607	0,649	0,695	0,783	0,934
15Х1М1Ф	0,444	0,465	0,525	0,565	0,611	0,668	0,754	0,821
25Х2М1Ф	—	0,535	0,531	0,607	0,632	0,674	0,732	—
20Х3МВФ	—	0,602	0,561	0,611	0,657	0,715	0,753	—
20Х13	0,448	0,473	0,528	0,569	0,620	0,691	0,774	0,988
30Х13	0,473	0,482	0,519	0,561	0,615	0,703	0,812	0,959
40Х13	0,452	0,473	0,519	0,561	0,616	0,686	0,770	0,988
12Х18Н10Т; 12Х18Н9Т; 12Х18Н12Т	0,473	0,494	0,575	0,536	0,548	0,561	0,574	0,594
45Х14Н14В2	0,460	0,486	0,515	0,536	0,544	0,557	0,590	0,624
03Х16Н15М3	0,460	0,482	0,515	0,582	0,540	0,548	0,603	0,574

Таблица 5.14

Коэффициент теплопроводности конструкционных сталей

Сталь	Значения λ, Вт/(м·°С)					
	Температура, °С					
	100	200	300	400	500	600
10	57,7	53,5	49,4	44,8	40,2	38,1
15	53,4	53,3	49,3	46,0	42,8	39,1
20	51,0	48,5	44,4	42,7	39,3	35,6
25	51,1	48,9	46,1	42,7	—	—
30	50,3	48,6	45,0	42,3	39,8	—
35	49,4	49,1	46,5	43,7	40,6	37,9
40	50,6	48,1	45,6	41,9	38,1	36,0
45	48,1	46,5	44,0	41,0	38,5	36,0
20К	50,7	48,6	46,1	42,3	40,7	—
22К	49,4	49,8	45,6	43,5	41,4	—
20Г	77,8	66,6	47,7	—	—	—
30Г	75,4	64,5	52,3	43,9	—	—
40Г	59,5	53,2	—	46,9	23,9	—
09Г2С	44,5	43,5	41,9	39,8	37,1	33,7
10Г2С1	44,5	43,3	41,8	39,7	37,0	33,7
20Х	50,2	46,0	41,9	40,2	38,1	—
40Х	46,0	42,7	39,4	35,6	—	—
38ХС	—	35,6	—	34,8	33,5	
40ХФА	52,3	41,9	45,2	41,9	—	—
Г2МХ	44,5	43,1	40,9	38,7	36,9	34,6
15ХМ	44,2	41,3	40,7	39,0	36,0	33,7
20ХМ	41,9	42,7	42,1	40,2	37,8	35,8
30ХМА	41,9	40,7	39,6	38,4	—	—
35ХМ	40,6	39,8	38,5	37,3	—	—
12ХГНМ	46,5	45,0	43,4	41,1	37,9	34,3
12ХГНМФ	46,5	45,0	43,4	41,1	37,9	34,3
15ХНМФТ	46,5	45,0	43,4	41,1	37,9	34,3
12Х1МФ	44,2	43,7	41,8	39,7	37,2	35,0
25Х1 МФ	39,8	38,8	37,9	36,9	35,9	34,8
15Х1М1Ф	41,5	41,5	41,1	39,8	37,7	36,2
25Х1М1Ф	40,6	39,8	39,0	37,7	36,0	33,9
25Х2М1Ф	32,8	32,0	30,2	28,6	28,1	26,5
20Х2М	37,1	37,7	36,6	35,1	33,8	32,8
22Х3 М	37,2	37,8	36,8	34,7	33,1	30,9
10Х3МВФ	35,7	33,2	36,5	30,7	29,8	29,4
34ХН3М	41,0	37,7	33,9	30,6	—	—
Х5М	36,6	35,8	35,3	34,4	33,4	—
12Х13	27,6	27,6	28,0	28,0	28,0	28,0
20Х13	25,1	27,6	28,0	27,6	27,2	—
30Х13	25,1	25,5	25,5	—	25,5	—
40Х13	27,6	28,9	29,3	28,9	28,5	28,0
08Х18Н10Т	16,3	17,6	18,8	21,4	23,0	24,7
12Х18Н10Т	16,3	17,6	18,8	21,4	23,0	24,7
12Х18Н12Т	16,3	17,5	18,8	21,3	23,0	24,7
36Х18Н25С2	15,0	—	—	—	22,19	25,12
20Х23Н18	15,9	—	39,7	—	—	21,8
20Х12ВНМФ	—	24,7	25,5	25,9	26,4	26,8
18Х12ВМБФР	—	21,8	23,9	25,7	26,4	27,4
37Х12Н8Г8МФБ	17,2	18,4	19,7	21,4	23,0	24,7
45Х14Н14В2М	15,5	16,7	18,8	20,0	20,9	24,3
31Х19Н9МВБТ	15,1	16,3	18,4	20,1	21,8	25,1
ХН35ВТ	13,4	15,5	17,2	18,8	20,5	22,2
ХН35ВТЮ	15,5	17,6	19,2	20,9	22,6	24,7
ХН78Т	14,6	16,7	18,4	20,5	22,6	24,7
ХН77ТЮР	13,8	15,1	17,2	18,8	20,9	23,4
ХН75МВЮ	10,0	11,72	13,4	15,1	17,6	20,1
08Г2СФБ	45,0	43,8	42,5	39,9	37,2	33,8

В данной главе все ссылки сделаны на нормативные документы, действующие на момент издания справочника.

ГЛАВА 6

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ И СПЛАВЫ

Таблица 6.1

Качественная характеристика, механотехнологические свойства и общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах цветных металлов и сплавов, применяемых в технологическом аппаратостроении

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная характеристика	Механотехнологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
А995; А99; А97; А95; А85; А8; А7; А7Е; А6;А5; А5Е, А0 (ГОСТ 11069—74)	Алюминий высокой технической чистоты, неупрочняемый термической обработкой. Листовой прокат применяется в отожженном состоянии. Прочностные характеристики металла ($\delta_в$,$\delta_{0,2}$) низкие	Металлы и сплавы хорошо деформируются в горячем и холодном состоянии; в отожженном состоянии они обладают высокой пластичностью, в полунагартованном — средней, а в нагартованном — низкой. Металлы и сплавы хорошо свариваются всеми видами сварки. Обрабатываемость резанием неудовлетворительная	Металлы обладают высокой коррозионной стойкостью в концентрированной азотной кислоте при температуре до 55 ° С и в ряде других сред большой агрессивности
АД0; АД00; АД00Е; АД000; АД0Е; АД1; АДЕ; АД; АМц (ГОСТ 4784—97)	Деформируемые алюминиевые сплавы, неупрочняемые термической обработкой. Листовой прокат, прутки и трубы применяются в отожженном состоянии. Механические свойства сплавов удовлетворительные, прочностные характеристики ($\sigma_в$, $\sigma_{0,2}$) —низкие. Пластические свойства сплавов сохраняются на высоком уровне при охлаждении их до самых низких температур (—196 °С и ниже)		Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах: в аммиаке при температуре от —40 до —70 °С, газообразном и жидком водороде при температуре от —200 до —254 °С, перекиси водорода концентрации 6 и 90% при температуре до 50 °С, дихлорэтане при любой температуре до 20 °С, газообразном и жидком сернистом ангидриде, сероуглероде, муравьиной кислоте концентрации 3—20% при комнатной температуре, уксусной кислоте любой концентрации при температуре до 50 °С и ледяной — при температуре до 40 °С, уксусном ангидриде любой концентрации при температуре до 60 °С и в других агрессивных средах
Амг2; Амг3; Амг5; Амг6 (ГОСТ 4784—97)	Деформируемые алюминиевые сплавы, неупрочняемые термической обработкой. Листовой прокат, прутки и трубы применяются в отожженном состоянии. Механические свойства сплавов удовлетворительные	Сплавы легко деформируются в горячем и холодном состоянии. Пластичность листового материала в отожженном состоянии удовлетворительная. Сплавы хорошо свариваются аргоно-дуговой сваркой и удовлетворительно другими видами сварки. Обрабатываемость резанием удовлетворительная	Сплавы в отожженном состоянии обладают высокой коррозионной стойкостью в ряде агрессивных сред нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Коррозионная стойкость сварных швов такая же, как и основного металла

Продолжение табл. 6.1

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная характеристика	Механотехнологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
Д1; Д16 (ГОСТ 4784—97)	Деформируемые алюминиевые сплавы, упрочняемые термической обработкой. Листовой прокат (плиты) и прутки применяются в закаленном и естественно состаренном состоянии. Механические свойства сплавов высокие. Пластические свойства сплавов сохраняются на высоком уровне при охлаждении их до температуры —196° С и более низких	Сплавы удовлетворительно деформируются в горячем и холодном состоянии. Пластичность сплавов в отожженном и свежезакаленном состоянии удовлетворительная. Сплавы хорошо свариваются точечной сваркой. Возможна газовая и аргоно-дуговая сварка сплава Д1 с применением присадочного материала из сплавов АК и В61, прочность и пластичность сварных швов низкая. Сплав Д16 не сваривается газовой и аргоно-дуговой сваркой. Обрабатываемость резанием сплавов в закаленном и состаренном состоянии удовлетворительная, в отожженном состоянии — низкая	Плакированные листы обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью во многих средах средней и пониженной агрессивности. У сплава Д1 проявляется склонность к межкристаллитной коррозии под влиянием нагрева при температурах выше 100° С
АЛ1—АЛ9; АЛ34 (ВАЛ5); АЛ33 (ВАЛ1) (ГОСТ 2685—74)	Сплав обладает хорошими литейными свойствами. Температура литья в землю и кокиль 680—750° С. Линейная усадка 1%, объемная усадка 3,3%. Жидкотекучесть сплава высокая, герметичность высокая. Сплав не склонен к образованию горячих трещин	Сплав удовлетворительно сваривается газовой и аргоно-дуговой сваркой. Обрабатываемость резанием удовлетворительная	Сплав обладает удовлетворительной коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах
М1; М1р; М1ф; М2; М2р (ГОСТ 859—78)	Медь техническая марок М1, М2 и М3 и медь бескислородная марок М1р, М2р и М3р применяется в виде листов, досок, прутков и труб в отожженном состоянии. Прочностные свойства металла в отожженном (мягком) состоянии низкие. Они существенно повышаются нагартовкой. Пластические свойства металла при низких температурах (до —254° С) сохраняются на высоком уровне	Металл в отожженном состоянии характеризуется высокой пластичностью, хорошо деформируется в горячем и холодном состоянии и поддается глубокой вытяжке. Металл хорошо паяется мягкими и твердыми припоями, бескислородная медь хорошо сваривается электродуговой и аргоно-дуговой сваркой. Обрабатываемость резанием удовлетворительная	Металлы обладают высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах: серной кислоте концентраций 10—40% при температуре 20° С, соляной кислоте концентраций 10—20% при температуре 20 °С, газообразном HCl при температуре до 150° С, уксусной кислоте любых концентраций при температуре до 40° С, плавиковой кислоте концентрации до 60% при комнатной температуре и в других средах средней и высокой агрессивности
М3; М3р (ГОСТ 859—78)			Металл обладает высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах: бензоле, метиловом и этиловом спиртах любой концентрации и при любой температуре, газообразном и жидком водороде при температурах от +200 до —254° С, серной кислоте концентрации 6—96% при комнатной температуре и в других средах средней и высокой агрессивности

Продолжение табл. 6.1

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная характеристика	Механотехнологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
Двойные деформируемые латуни (ГОСТ 15527—70) Л96; Л90; Л85; Л80; Л70; Л68; Л63;Л60;	Сплавы обладают удовлетворительными прочностными характеристиками в отожженном состоянии и при охлаждении до низких температур (—254 °С) сохраняют пластические свойства на высоком уровне. Латуни в напряженном состоянии склонны к коррозионному растрескиванию при воздействии паров аммиака, водных его растворов и растворов солей ртути. Для устранения склонности латуней к растрескиванию рекомендуется отжиг металла при температуре 250—300°С. Сплавы применяются в виде листов, труб, прутков	Сплавы отлично деформируются в горячем и холодном состоянии, хорошо паяются и свариваются электродуговой и аргоно-дуговой сваркой. Обрабатываемость резанием хорошая	Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью во многих агрессивных средах: бензоле, метиловом и этиловом спиртах любой концентрации и при любой температуре, сернистой кислоте любой концентрации при комнатной температуре, расплавленной сере при температуре до 130° С, четыреххлористом углероде при любой температуре до кипения включительно, газообразном и жидком водороде при температурах от +250 до —254 °С и в других агрессивных средах
Многокомпонентные деформируемые латуни (ГОСТ 15527—70) ЛА77-2;ЛАЖ60-1-1; ЛАН59-3-2; ЛЖМц59-1-1; ЛН65-5; ЛМц58-2; ЛмцА57-3-1; ЛО90-1; ЛО70-1; ЛО62-1; ЛО60-1; ЛС63-3; ЛС74-3; ЛС64-2; ЛС60-1; ЛС59-1; ЛС59-1В; ЛЖС58-1-1; ЛК80-3; ЛМш68-0,05; ЛАМш77-2-0,05; ЛОМ 70-1-0,05; ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5	Сплавы обладают удовлетворительными прочностными и пластическими характеристиками, применяются в виде листов, труб, прутков	Сплавы хорошо деформируются в горячем и холодном состоянии, хорошо паяются мягкими и твердыми припоями. Обрабатываемость резанием удовлетворительная, хорошо паяются и свариваются	Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью в морской воде и в других средах средней и повышенной агрессивности
Литейные латуни (ГОСТ 177М—80) ЛЦ16К4; ЛЦ23А6Ж3Мц2; ЛЦ30А3; ЛЦ40С; ЛЦ40Мц3Ж; ЛЦ25С2	Сплавы применяются в деформированном и литом состоянии, линейная усадка 1,25-2,2%	Сплавы хорошо обрабатываются давлением, хорошо паяются и свариваются, обрабатываемость резанием удовлетворительная	Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью в морской воде и других агрессивных средах

Продолжение табл. 6.1

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная характеристика	Механотехнологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
Оловянные деформируемые бронзы (ГОСТ 5017—74) *БрОФ8,0-0,3; *БрОФ7-0,2; *БрОФ6,5-0,4; *БрОФ6,5-0,15; *БрОФ4-0,25; БрОЦ4-3; БрОЦС4-4-4 Безоловянные деформируемые бронзы (ГОСТ 18175—78) *БрА7*; БрАМц9-2; *БрАЖ9-4; * БрАЖН10-4-4; *БрБ2; *БрБНТ1,9; БрКН1-3; БрКМц3-1; БрМц5*; БрКД1 Литейные оловянные бронзы (ГОСТ 613—79) Бр03Ц12С5; Бр03Ц6С5Н1; Бр04Ц7С5; Бр04Ц4С17; Бр05Ц5С5; Бр06Ц6С3; Бр08Ц4; Бр010Ф1; Бр010Ц2; Бр010С10 Литейные безоловянные бронзы (ГОСТ 493—79) *БрА9Мц2Л; *БрА10Мц2Л; *БрА9ЖЗЛ; *БрА10ЖЗМц2; *БрА10Ж4Н4Л; *БрА11Ж6Н6; БрС30	Сплавы применяются в деформированном и литом состоянии, в виде проволоки, прутков, поковок	Сплавы хорошо обрабатываются давлением, хорошо свариваются и паяются твердыми и мягкими припоями (за исключением алюминиевых. Бронзы, помеченные знаком *), неудовлетворительно обрабатываются резанием	Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью во многих средах средней и повышенной агрессивности
Никель и сплавы (ГОСТ 492—73) НП0; НП1; НП2; НП3	Никель полуфабрикатный применяется в виде листов, полос, плит и труб в отожженном состоянии. Металл в напряженном состоянии проявляет склонность к коррозионному растрескиванию при воздействии растворов едкого натра	Металл удовлетворительно деформируется в горячем и холодном состоянии, удовлетворительно сваривается аргоно-дуговой сваркой неплавящимся (вольфрамовым) электродом и удовлетворительно обрабатывается резанием	Металл обладает высокой коррозионной стойкостью в расплавленном едком кали при температуре до 500 °С, плавиковой кислоте любой концентрации при комнатной температуре, соляной кислоте концентрации до 10% при комнатной температуре и в других сильных агрессивных средах

Продолжение табл. 6.1

Марка (ГОСТ, ТУ)	Качественная характеристика	Механотехнологические свойства	Общая оценка коррозионной стойкости в агрессивных средах
Сплавы типа «Хастеллой» Н70МФВ-ВИ; ХН58В; ХН65МВУ Сплав монель НМЖМц 28-2,5-1,5 Сплавы мельхиор МНЖМц 30-1-1 МН19 Сплав нейзильбер МНЦ 15-20	Сплавы обладают удовлетворительными прочностными и пластическими характеристиками. В напряженном состоянии проявляют склонность к коррозионному растрескиванию при воздействии плавиковой и кремнефтористоводородной кислоты	Сплавы удовлетворительно деформируются в горячем и холодном состоянии, удовлетворительно свариваются аргоно-дуговой сваркой неплавящимся электродом, удовлетворительно обрабатываются резанием. Сплавы удовлетворительно обрабатываются давлением в горячем состоянии, удовлетворительно обрабатываются резанием и удовлетворительно свариваются и паяются мягкими и твердыми припоями	Обладают высокой коррозионной стойкостью в средах — сильных восстановителях. Сплавы обладают высокой коррозионной стойкостью к минеральным кислотам, щелочам, ионам хлора
Литейные титановые сплавы (ГОСТ 19807—91) ВТ1Л; ВТ5Л; ВТ3-1Л; ВТ6Л; ВТ9Л; ВТ14Л; ВТ21Л Деформированные титановые сплавы (ГОСТ 19807—91) ВТ1-0; ВТ3-1; ВТ4; ВТ5; ВТ6С; ВТ14; ОТ4; ОТ4-1;ОТ4-0	Сплавы обладают высокой удельной прочностью, низкой теплопроводностью и малым коэффициентом линейного расширения. Применяются в виде листа, труб, прутков	Титановые сплавы хорошо деформируются в горячем и холодном состоянии, удовлетворительно обрабатываются резанием, хорошо свариваются аргоно-дуговой, контактной и сваркой под давлением	Обладают высокой коррозионной стойкостью к сильным агрессивным средам
Свинец технический С1; С2; С3 (ГОСТ 3778—77Е) Свинец сурьмянистый ССу1; ССу2; ССу3	Металл обладает низкими прочностными характеристиками и характеризуется высокой пластичностью в холодном состоянии. В напряженном состоянии металл проявляет склонность к коррозионному растрескиванию при воздействии растворов уксусносвинцовистой соли $Pb(CH_3COO)_2$, применяется в виде листов, ролей, труб	Металл легко деформируется в холодном состоянии, плохо обрабатывается резанием и удовлетворительно сваривается оплавлением	Технический свинец обладает высокой коррозионной стойкостью в серной кислоте концентрации до 80% при любой температуре до кипения включительно, концентрации до 75% при температуре до 40 °С и концентрации до 95% при комнатной температуре, разбавленных растворах сернистой кислоты концентрации 0,3 и 0,5% при температуре до 75 °С, соляной кислоте концентрации 10% при температуре до 100 °С и других сильных агрессивных средах. Сурьмянистый свинец обладает высокой коррозионной стойкостью в серной кислоте концентрации до 80 % при температуре до 120 °С, соляной кислоте концентрации до 35% при температуре до 100 °С и в других сильных агрессивных средах

Таблица 6.2

Цветные металлы и сплавы, рекомендуемые для изготовления сварного и паяного технологического оборудования и трубопроводов

Металлы, сплавы	Марка (ГОСТ или ТУ)	Рабочие условия		Область назначения
		t_R, °С	p, МПа, не более	
1	2	3	4	5
Алюминий высокой технической чистоты	А995; А99; А97; А95; А85; А8; А7; А7Е; А6; А5; А5Е; А0 (ГОСТ 11069—74)	От —196 до +150	0,6	Обечайки, днища, крышки, корпуса, детали внутренних и внешних устройств емкостной и колонной аппаратуры, предназначенной для работы со средами средней и повышенной агрессивности
Сплавы алюминиевые деформируемые	АД0; АД00; АД00Е; АД000; АД0Е; АД1; АДЕ; АД; АМц (ГОСТ 4784—97)			Обечайки, днища, крышки, корпуса, детали внутренних и внешних устройств емкостной и колонной аппаратуры, трубные пучки, патрубки, предназначенные для работы со средами средней и повышенной агрессивности
	АМг2; АМг3; АМг5; АМг6; (ГОСТ 4784—97)		1,6	Трубные пучки, трубные решетки, патрубки, фланцы технологического оборудования, трубопроводы технологические
Сплавы алюминиевые деформируемые	Д1; Д16 (ГОСТ 4784—97)	От 0 до +150		Фланцы аппаратурные и трубопроводные, крепежные детали аппаратов и трубопроводов
Сплавы литейные алюминиевые	АЛ1—АЛ9	От 0 до +250		Детали и изделия, работающие при повышенных температурах, действии больших ударных и статических нагрузок
	АЛ34(ВАЛ5)		6,4	Корпусные детали, работающие под высоким давлением
	АЛ33(ВАЛ1)	От 0 до +350	1,6	Детали, работающие при температуре до 350 °С

Продолжение табл. 6.2

Металлы, сплавы	Марка (ГОСТ или ТУ)	Рабочие условия		Область назначения
		t_R, °С	p, МПа, не более	
1	2	3	4	5
Бронза	БрОФ8,0-0,3; БрОФ7-0,2; БрОФ6,5-0,4; БрОФ6,5-0,15; БрОФ4-0,25; БрОЦ4-3; БрОЦ4-4-4; (ГОСТ 5017—74)			
	БрА7; БрАМц9-2; БрАЖ9-4; БрАЖН10-4-4; БрБ2; БрБНТ1,9; БрКН1-3; БрКМц3-1; БрМц5; БрКД1 (ГОСТ 18175—78)	От —196 до +400	4	Детали внутренних и внешних устройств технологической аппаратуры, работающих в средах средней и повышенной агрессивности. Арматура, антифрикционные детали, фильтрованные сетки, подшипники, втулки, вкладыши подшипников.
	Бр03ц12С5; Бр03Ц6С5Н1; Бр04Ц7С5; Бр04Ц4С17; Бр05Ц5С5; Бр06Ц6С3; Бр08С4; Бр010Ф1; Бр010Ц2; Бр010С10			
Никель и сплавы	НП0; НП1; НП2; НП3 (ГОСТ 492—73)	От —196 до +500	1	Обечайки, днища, крышки, внутренние и внешние устройства емкостной, колонной и теплообменной аппаратуры, трубные пучки и трубопроводы для сред высокой агрессивности
	«Хастеллой»: Н70МФВ-ВИ; ХН58В; ХН65МВУ «Монель» НМЖМц28-2,5-1,5	От —196 до +600	1,6	То же самое для сред высокой агрессивности восстановительного характера

Таблица 6.3

Рекомендуемые размеры листов (в мм) из алюминия и его сплавов (ГОСТ 21631—76Е)

Листы	Марка	Толщина	Ширина	Длина
Без термической обработки	А7, А6, А5, А0	От 5,0 до 10,5	600, 800, 900, 1000	2000
	АД0, АД1		600, 800, 900	2000
	АД0, АД1, АМц, АМцС, АМг2, АМг3, АМг5, АМг6, АВ, АД1, Д16, В95—2, ВД1		1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000	От 2000 до 7000
	В95А			
Отожженные	А7,А6, А5, А0, АД0, АД1	От 0,3 до 10,5	600, 800, 900, 1000	2000
	АД0, АД1, АМц, АМцС, АВ, АМг2	От 0,5 до 10,5	От 1000 до 2000	От 2000 до 7000
	АМг3, АМг5, АМг6	От 0,5 до 10,5	От 1000 до 2000	От 2000 до 7000
	Д12	От 0,5 до 4,0	1200, 1500	От 3000 до 4000
	Д1А, Д16	От 0,5 до 10,5	От 1000 до 2000	От 2000 до 7000
	Д16У	От 0,5 до 4,0	1200, 1500	От 2000 до 3000
	В95А	От 0,5 до 10,5	От 1000 до 2000	От 2000 до 7000
	В95-2а	От 1,0 до 10,5	1200, 1400, 1500	От 2000 до 7000
	ВД1	От 0,8 до 10,5	От 1000 до 2000	От 2000 до 7000
Полунагартованные	АМц, АМцС, АМг2, АМг3	От 0,5 до 10,5	От 1000 до 2000	От 2000 до 7000
	Д12	От 0,5 до 4,0	1200, 1500	От 3000 до 4000
Нагартованные	А7, А6, А5, А0, АД0, АД1	От 0,3 до 0,5	600, 700, 900, 1000	2000
	АД0, АД1	От 0,5 до 10,5	От 1000 до 2000	От 2000 до 7000
	ММ	От 1,0 до 4,5	1000, 1200, 1400, 1500	От 2000 до 4000
	АМц, АМцС, АМг2	От 0,5 до 10,5	От 1000 до 2000	От 2000 до 7000
	ВД1А	От 0,8 до 10,5	1000, 12000, 15000	От 2000 до 7000
Закаленные и естественно состаренные	АВ, Д1А, Д16Б, Д16А	От 0,5 до 10,5	От 1000 до 2000	От 2000 до 7200
	Д16	От 0,5 до 4,0	1200, 1500	От 2000 до 7200
	В95-2А, ВД1А	От 0,8 до 10,5	От 1000 до 2000	От 2000 до 7000
Закаленные и искусственно состаренные	АВ	От 0,5 до 10,0	От 1000 до 2000	От 2000 до 7000
	В95А	От 0,5 до 10,0	От 1000 до 2000	От 2000 до 7000
Нагартованные после закалки и естественного старения	Д16Б, Д16А	От 1,5 до 7,5	1000, 1200, 1400, 1500	От 2000 до 7200

Пример обозначения: Лист АД1-5х1000х2000 ГОСТ 21631—76Е.

Таблица 6.4

Механические свойства образцов, вырезанных из листов в состоянии поставки в направлении поперек прокатки

Марка алюминия и алюминиевого сплава и плакирование	Состояние материала листов	Обозначение сплава и состояние материала	Состояние испытуемых образцов	Толщина листа, мм	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение при δ, %
					не менее		
А7, А6, А5. А0, АД0, АД1 АД00, АД	Отожженные	А7М, А6М, А5М, А0М, АД0М, АД1М, АД00М, АДМ	Отожженные	От 0,3 до 0,5 Св. 0,5 » 0,9 » 0,9 » 10,5	60 60 60	— — —	20,0 25,0 30,0
	Полунагартованные	А7Н2, А6Н2, А5Н2, А0Н2, АД0Н2, АД1Н2, АД00Н2, АДН2	Полунагартованные	От 0,8 до 4,5	100	—	6,0
	Нагартованные	А7Н, А6Н, А5Н, А0Н, АД0Н, АД1Н, АД00Н, АДН	Нагартованные	От 0,3 до 0,8 Св. 0,8 » 3,5 » 3,5 » 10,5	145 145 130	— — —	3,0 4,0 5,0
	Без термической обработки	А7, А6, А5, А0, АД0, АД1, АД0, АД	Без термической обработки	От 5,0 до 10,5	70	—	15,0
АМц, АМцС	Отожженные	АМцМ, АмцСМ	Отожженные	От 0,5 до 0,7 Св. 0,7 » 3,0 » 3,0 » 10,5	90 90 90	— — —	18,0 22,0 20,0
	Полунагартованные	АМцН2, АмцСН2	Полунагартованные	От 0,5 до 3,5 Св.3,5 » 4,0	145 145	— —	5,0 6,0
	Нагартованные	АМцН, АмцСН	Нагартованные	0,5 Св. 0,5 до 0,8	185 185	— —	1,0 2,0
АМц, АМцС	Нагартованные	АМцН, АмцСН	Нагартованные	Св. 0,8 до 1,2 » 1,2 » 4,0	185 185	— —	3,0 4,0
	Без термической обработки	АМц, АмцС	Без термической обработки	От 5,0 до 10,5	100	—	10,0
ММ	Нагартованные	ММН	Нагартованные	От 1,0 до 4,5	Не испытываются		
Д12	Отожженные	Д12М	Отожженные	От 0,5 до 4,0	155	—	14,0
	Полунагартованные	Д12Н2	Полунагартованные	От 0,5 до 4,0	220	—	3,0
АМг2	Отожженные	АМг2М	Отожженные	От 0,5 до 1,0 Св. 1,0 » 10,5	165 165	— —	16,0 18,0
	Полунагартованные	АМг2Н2	Полунагартованные	От 0,5 до 1,0 Св. 1,0 » 4,0	235—314 235—314	145 145	5,0 6,0
	Нагартованные	АМг2Н	Нагартованные	От 0,5 до 1,0 Св. 1,0 » 4,0	265	215 215	3,0 4,0
	Без термической обработки	АМг2	Без термической обработки	От 5,0 до 10,5	175	—	7,0

Примечание. ГОСТ предусматривает и другие марки алюминиевых сплавов.

6.1. Прутки прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 21488—97)

Прутки подразделяют:

а) по форме сечения: круглые — КР, квадратные — КВ;

б) по точности изготовления: нормальной точности — Н, повышенной точности — П;

в) по состоянию материала:

без термической обработки (горячепрессованные) — обозначаются маркой сплава без дополнительных знаков (АД0, АД1, АМц, АМцС, АД31, АД33, АМг3, АМг5, АМг6, Д1, Д16, В95, АК4, АК6, АК8); отожженные — М (АМг3М, АМг5М, АМг6М);

закаленные и естественно состаренные — Т (АД31Т, АД33Т, Д1Т, Д16Т);

закаленные и искусственно состаренные — Т1 (АД31Т1, АД33Т1, В95Т1, АК4Т1, АК6Т1, АК8Т1);

г) по виду прочности: нормальной прочности — обозначаются маркой сплава без дополнительных знаков (Д1, Д1Т, Д16, Д16Т, В95, В95Т1, АК6, АК6Т1, АК8, АК8Т1); повышенной прочности — ПП (АВТ1ПП, Д1ПП, Д1ТПП, Д16ПП, Д16ТПП, В95ПП, В95Т1 ПП, АК6ПП, АК6Т1 ПП, АК8ПП, АК8Т1ПП).

ГОСТ предусматривает также марки АВ, 1915, 1925, АМг2, АК4-1.

Примечания.

1. Прутки в закаленном и естественно или искусственно состаренном состоянии изготовляют диаметром не более 100 мм. Изготовление прутков диаметром более 100 мм в закаленном, естественном или искусственно состаренном состоянии производят по соглашению изготовителя с потребителем.

2. Прутки повышенной прочности изготовляют диаметром не более:

300 мм — круглые, 150 мм — квадратные.

Таблица 6.5

Рекомендуемые размеры круглых прутков, мм

Диаметр*	Отклонения, мм, точности изготовления		Диаметр*	Отклонения, мм, точности изготовления	
	Н	П		Н	П
5—6	—0,48	—0,30	52—80	—1,20	—0,74
7—10	—0,58	—0,36	85—120	—1,40	—1,00
11—18	—0,70	—0,43	125—185	—1,60	—
19—30	—0,84	—0,52	190—250	—2,00	—
32—50	—1,00	—0,62	260—300	—2,50	—

* Размеры диаметров в указанных пределах брать из ряда: 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 30; 32; 34; 35; 36; 38; 40; 42; 45; 46; 48; 50; 52; 55; 58; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 115; 120; 125; 130; 135; 140; 145; 150; 155; 160; 165; 170; 175; 180; 185; 190; 200; 210; 220, 230; 240; 250; 260; 270; 280; 290; 300 мм.

Таблица 6.6

Рекомендуемые размеры квадратных прутков, мм

Диаметр вписанной окружности *	Отклонения, мм, точности изготовления		Диаметр вписанной окружности*	Отклонения, мм, точности изготовления	
	Н	П		Н	П
7—10	—0,58	—0,36	75—80	—1,20	—1,00
11—18	—0,70	—0,43	85—90	—1,40	—1,00
19—30	—0,84	—0,52	100—120	—1,40	—
32—50	—1,00	—0,62	130—150	—1,60	—
52—70	—1,20	—0,74			

* Размеры диаметров вписанной окружности брать из ряда: 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 22; 24; 25; 26; 27, 28; 30; 32; 34; 36; 38; 40; 42; 44; 46; 48; 50; 52; 55; 58; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 100; 110; 120; 130; 140; 150 мм.

Таблица 6.7

Рекомендуемые размеры закруглений квадратных прутков, мм

Диаметр вписанной окружности	Радиус закругления, не более	Диаметр вписанной окружности	Радиус закругления, не более
До 10,0	1,0	Св. 50,0 до 100,0	3,0
Св. 10,0 до 25,0	2,0	» 100,0 » 150,0	3,5
» 25,0 » 50,0	2,5		

Таблица 6.8

Механические свойства прутков нормальной прочности при растяжении

Марки алюминия и алюминиевого сплава	Состояние материала	Состояние испытуемых образцов	Диаметр прутка, мм	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение при δ, %
				не менее		
АД0, АД1	Без термической обработки	Без термической обработки	5—300	59	—	25
АД	Без термической обработки	Без термической обработки	5—300	59	—	25
АМц, АМцС	Без термической обработки	Без термической обработки	5—350	10	—	20
АД31	Без термической обработки	Закаленные и естественно состаренные	5—300	137	69	13
		Закаленные и искусственно состаренные	5—300	196	47	8
	Закаленные и естественно состаренные	Закаленные и естественно состаренные	5—100	137	69	13
	Закаленные и искусственно состаренные	Закаленные и искусственно состаренные	5—100	196	147	8
АД33	Без термической обработки	Закаленные и естественно состаренные	5—300	176	108	15
		Закаленные и искусственно состаренные	5—300	265	226	10
	Закаленные и естественно состаренные	Закаленные и естественно состаренные	5—100	176	108	15
	Закаленные и искусственно состаренные	Закаленные и искусственно состаренные	5—100	265	226	10
Амг3	Без термической обработки	Без термической обработки	5—300	176	78	13
	Отожженные	Отожженные	5—300	176	78	13
АМг5	Без термической обработки	Без термической обработки	5—300	265	118	15
	Отожженные	Отожженные	Св. 300 до 400	245	108	10
			5—300	265	118	15
Амг6	Без термической обработки	Без термической обработки	5—300	314	157	15
	Отожженные	Отожженные	Св. 300 до 400	284	118	11
			5—300	314	157	15
АВ	Без термической обработки	Закаленные и естественно состаренные	5—300	176	—	14
		Закаленные и искусственно состаренные	5—300	294	—	12
	Закаленные и естественно состаренные	Закаленные и естественно состаренные	5—100	176	—	14

Продолжение табл. 6.8

Марки алюминия и алюминиевого сплава	Состояние материала	Состояние испытуемых образцов	Диаметр прутка, мм	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение при δ,%
Д1	Без термической обработки	Закаленные и естественно состаренные	5—130 Св. 130 до 300	373 353	216 196	12 10
	Закаленные и естественно состаренные	Закаленные и естественно состаренные	5—100	373	216	12
Д16	Без термической обработки	Закаленные и естественно состаренные	5—22 Св. 22 до 130 » 130 » 300 » 300 » 400	392 422 412 392	275 294 275 245	10 10 8 6
Д16	Закаленные и естественно состаренные	Закаленные и естественно состаренные	5—22 Св. 22 до 100	392 422	275 294	10 10
В95	Без термической обработки	Закаленные и искусственно состаренные	5—22 Св. 22 до 130 » 130 » 300 » 300 » 400	490 530 510 490	392 422 422 392	6 6 5 4
	Закаленные и искусственно состаренные	Закаленные и искусственно состаренные	5—22 Св. 22 до 100	490 530	392 422	6 6
АК4	Без термической обработки	Закаленные и искусственно состаренные	5—300	353	—	—
	Закаленные и искусственно состаренные	То же	5—100	353	—	8
АК4-1	Без термической обработки	Закаленные и искусственно состаренные	5—100 Св. 100 до 300	392 363	314 275	6 6
	Закаленные и искусственно состаренные	То же	5—100	392	314	6
АК6	Без термической обработки	Закаленные и искусственно состаренные	5—300	353	—	12
	Закаленные и искусственно состаренные	То же	5—100	353	—	12
АК8	Без термической обработки	Закаленные и искусственно состаренные	5—150 Св. 150 до 300	451 432	—	10 8
	Закаленные и искусственно состаренные	То же	5—100	451	—	10
1915	Без термической обработки	Горячепрессованные с естественным старением в течение 30—35 сут.	5—15	343	196	10
		Закаленные и естественно состаренные в течение 30—35 сут.	5—300	343	216	10
1915	Без термической обработки	Закаленные и искусственно состаренные	5—130 Св. 130 до 200	343 353	245 245	8 8
	Закаленные и естественно состаренные	Закаленные и естественно состаренные в течение 30—35 сут.	5—100	343	216	10
		Закаленные и искусственно состаренные	5—100	382	245	8

Таблица 6.9

Механические свойства прутков повышенной прочности при растяжении

Марка алюминиевого сплава	Состояние материала	Состояние испытуемых образцов	Диаметр прутка, мм	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение при δ, %
				не менее		
АВ	Без термической обработки	Закаленные и искусственно состаренные	5—300	314	226	8
	Закаленные и искусственно состаренные		5—100	314	226	8
Д1	Без термической обработки	Закаленные и естественно состаренные	5—100	422	275	8
	Закаленные и естественно состаренные		5—100	422	275	8
Д16	Без термической обработки	Закаленные и естественно состаренные	5—300	451	324	8
	Закаленные и естественно состаренные		5—100	451	324	8
В95	Без термической обработки	Закаленные и искусственно состаренные	5—22 Св. 22 до 130 » 130 » 300	510 549 530	402 432 432	7 6 5
	Закаленные и искусственно состаренные		5—22 Св. 22 до 100	510 549	402 432	7 6
АК6	Без термической обработки	Закаленные и искусственно состаренные	5—300	373	265	10
	Закаленные и искусственно состаренные		5—100	373	265	10
АК8	Без термической обработки	Закаленные и искусственно состаренные	5—300	461	333	8
	Закаленные и искусственно состаренные		5—100	461	333	8

Химический состав прутков — по ГОСТ 4784—97.

По длине прутки изготовляют:

а) немерной длины: от 1 до 6 м — при диаметре от 5 до 10 мм; от 1 до 5м — при диаметре св. 10 до 50 мм; от 0,5 до 4 м — при диаметре св. 50 мм;

б) мерной и кратной мерной длины в пределах немерной.

Плотность алюминиевого сплава марки В95 принимают равной 2,85 г/см^3.

При отсутствии в наряде-заказе указания о точности и виде прочности изготовления прутки изготовляют нормальной точности и прочности.

Примеры обозначений:

пруток из сплава марки Д16, закаленный и естественно состаренный (Т), нормальной прочности, круглый (КР), диаметром 50 мм, нормальной точности (Н) изготовления, немерной длины (НД):

Пруток Д16Т. КР. 50Н х НД ГОСТ 21488—97.

6.2. Ленты из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 13726—97)

Ленты в рулонах из алюминия марок А7, А6, А5, А0, АД0, АД1 и алюминиевых сплавов марок АМц, АМг2, АМг5, АМг6, Д1, Д16, ВД1, В95-2 изготовляют прокаткой лент требуемой ширины или продольной разрезкой широких лент.

Ленты подразделяются:

по способу изготовления:

неплакированные из алюминия марок А7, А6, А5, А0, АД0, АД1 и алюминиевых сплавов марок АМц, АМг2, АМг5, АМг6 обозначаются маркой без дополнительных знаков; плакированные из сплавов марок Д1, Д16 с нормальной плакировкой — А (Д1А, Д16А, В95-2);

по состоянию материала:

без термической обработки (дополнительного обозначения не присваивается) — А7, А6, А5, А0, АД0, АД1, АМц, АМг2, АМг5, АМг6Б, АМг6, Д1А, Д16А, В95-2; отожженные (М) — А7М, А6М, А5М, А0М, АД0М, АД1М, АМцМ, АМг2М, АМг5М, АМг6М, Д1АМ, Д16БМ, Д16АМ, В95-2АМ; нагарто-

ванные (Н) — А7Н, А6Н, А5Н, А0Н, АД0Н, АД1Н, АМцН, АМг2Н, АМг6Н.

Сортамент. Толщина и ширина лент, изготовляемых прокаткой, мм: толщина 0,5; 0,6; 0,7 шириной от 40 до 500, 600; толщина 0,8; 0,9; 1,0 шириной от 40 до 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1500; 1600; 1800; 2000; толщина 1,2; 1,5; 1,6; 1,8; 1,9; 2,0 шириной от 40 до 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1500; 1600; 1800; 2000; толщина 2,5; 3,0 шириной 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1500; 1600; 1800; 2000; толщина 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,5 шириной 1000; 1200; 1400; 1500; 1600; 1800.

Ленты шириной до 300 мм изготовляют с интервалом 5 мм, а ленты шириной свыше 300 до 500 мм – с интервалом 50 мм.

Ленты, изготовляемые прокаткой, толщиной до 3 мм включительно при ширине до 1000 мм изготовляю с обрезкой кромок; толщиной свыше 3 мм, шириной до 1000 мм, а также ленты всех толщин при ширине свыше 1000 мм изготовляют без обрезки кромок и утолщенных концов.

Примеры обозначений:

лента из алюминиевого сплава марки Д16 с плакировкой, в отожженном состоянии, толщиной 2,0 мм шириной 1000 мм:

Лента Д16А.М 2х1000 ГОСТ 13726—97.

Таблица 6.10

Рекомендуемые размеры лент в зависимости от марки сплава, плакирования и состояния материала, мм

Состояние материала	Марка алюминия или алюминиевого сплава	Толщина ленты	Ширина ленты
Без термической обработки Отожженные	А7, А6, А5, А0, АД0, АД1, АМц, АМг2, АМг5, АМг6, Д1А. Д16А, В95-2А	От 5,0 до 10,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000
	А5, А6, А7, А0, АД0, АД1, АМц, АМг2	От 0,25 до 2,0	От 40 до 500, 600, 700, 800, 900, 1000
		Св. 2,0 до 3,0	700, 800, 900, 1000
	АД0, АД1, АМц, АМг2	Св. 0,4 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600
		Св. 0,7 до 10,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000
	Д1А, Д16Б, Д16А	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600
		Св. 0,7 до 10,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000
	АМг3, Амг5, АМг6	От 0,5 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500, 1600
		Св. 0,7 до 10,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000
	В95-2А	От 0,8 до 2,0	1000, 1200
		Св. 2,0 до 10,5	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000
Нагартованные	А5, А6, А7, А0, АД0, АД1, АМц	От 0,5 до 2,0	От 40 до 500, 600, 700, 800, 900, 1000
	АД0, АД1, АМц, АМг2	Св. 0,4 до 0,7	1000, 1200, 1400, 1500
		Св. 0,7 до 4,0	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000
	АМг6	От 1,0 до 1,5	1000, 1200
		Св. 1,5 до 4,0	1000, 1200, 1400, 1500, 1600, 1800, 2000

Таблица 6.11

Механические свойства образцов

Марка алюминия или алюминиевого сплава	Состояние материала лент	Обозначение сплава и состояние материала	Состояние испытуемых образцов	Толщина лент, мм	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение при δ, %
					не менее		
А7, А6, А5, А0, АД0, АД1, АД00, АД	Отожженные	А7М, А6М, А5М, А0М, АДМ, АД1М, АД00М, АДМ	Отожженные	От 0,25 до 0,5 Св. 0,5 » 0,9 » 0,9 » 10,5	60	— — —	20,0 25,0 28,0
	Полунагартованные	А7Н2, А6Н2, А5Н2, А0Н2, АД0Н2, АДН2, АД1Н2, АД0Н2	Полунагартованные	От 0,8 до 4,5	100	—	6,0
	Нагартованные	А7Н, А6Н, А5Н, А0Н, АД0Н, АД1Н, АД00Н, АДН	Нагартованные	От 0,25 до 0,8 Св. 0,8 » 3,5 » 3,5 » 4,0	145 145 130	— — —	3,0 4,0 5,0
	Без термической обработки	А7, А6, А5, А0, АД0, АД1, АД00, АД	Без термической обработки	От 5,0 до 10,5	70	—	15,0
Амц, АМцС	Отожженные	АМцМ, АМцСМ	Отожженные	От 0,25 до 0,7 Св. 0,7 » 3,0 » 3,0 » 10,5	90	— — —	18,0 22,0 20,0
	Полунагартованные	АмцН2, АМцСН2	Полунагартованные	От 0,3 до 3,5 Св. 3,5 » 4,0	145	— —	5,0 6,0
	Тричетвертьнагартованные	АмцН3, АмцСН3	Тричетвертьнагартованные	От 0,3 до 4,0	165—235	—	4,0
Амц, ЛМцС	Нагартованные	АМцН, АмцСН	Нагартованные	От 0,25 до 0,5 Св. 0,5 » 0,8 » 0,8 » 1,2 » 1,2 » 4,0	185	— — — —	1,0 2,0 3,0 4,0
	Без термической обработки	АМц, АмцС	Без термической обработки	От 5,0 до 10,5	100	—	10,0
ММ	Нагартованные	ММН	Нагартованные	От 0,25 до 4,5	Не испытываются		
АМг2	Отожженные	АМг2М	Отожженные	От 0,25 до 1,0 Св. 1,0 » 10,5	165	—	16,0 18,0
	Четвертьнагартованные	АМг2Н 1	Четвертьнагартованные	От 0,3 до 4,0	215—295	155	5,0
	Полунагартованные	АМг2Н2	Полунагартованные	От 0,3 до 1,0 Св. 1,0 » 4,0	235—315	175	5,0 6,0
	Тричетвертьнагартованные	АМг2Н3	Тричетвертьнагартованные	От 0,3 до 0,4	255—355	195	3,0
	Нагартованные	АМг2Н	Нагартованные	От 0,3 до 1,0 Св. 1,0 » 4,0	265	215	3,0 4,0
	Без термической обработки	АМг2	Без термической обработки	От 5,0 до 10,5	175	—	7,0

Продолжение табл. 6.11

Марка алюминия или алюминиевого сплава	Состояние материала лент	Обозначение сплава и состояние материала	Состояние испытуемых образцов	Толщина лент, мм	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение при δ, %
					не менее		
АМг3	Отожженные	АМг3М	Отожженные	От 0,25 до 0,6 Св. 0,6 » 4,5 » 4,5 » 10,5	195 195 185	90 100 80	15,0
	Полунагартованные	АМг6М	Полунагартованные	От 0,7 до 4,0	245	195	7,0
	Без термической обработки	АМг3	Без термической обработки	От 5,0 до 6,0 Св. 5,0 » 10,5	185	80	12,0 15,0
АМг5	Отожженные	АМг5М	Отожженные	От 0,5 до 0,6 » 0,6 » 4,5 Св. 4,5 » 10,5	275	135 145 130	15,0
	Без термической обработки	АМг5	Без термической обработки	От 5,0 до 6,0 Св. 6,0 » 10,5	275	130	12,0 15,0
АМг6Б, АМг6	Отожженные	АМг6БМ,АМг6М	Отожженные	От 0,5 до 0,6 Св. 0,6 » 10,5	305 315	145	15,0
	Нагартованные	АМг6БН,АМг6Н	Нагартованные	От 1,0 до 4,0	375	275	6,0
	Без термической обработки	АМг6Б	Без термической обработки	От 5,0 до 10,5	315	155	15,0
В95А	Отожженные	В95АМ	Отожженные	От 0,5 до 10,5	Не более 245	—	10,0
1915	Отожженные	1915М	Отожженные	От 1,0 до 5,5	Не более 245	—	10,0
	Без термической обработки	1915	Закаленные и естественно состаренные в течение 30—35 сут.	От 5,0 до 10,5	315	195	10,0
			Закаленные и естественно состаренные в течение 2—4 сут.	От 5,0 до 10,5	265	165	10,0
В95-1А, В95-1	Отожженные	В95-1 АМ, В95-1М	Отожженные	От 0,8 до 10,5	Не более 245	—	10,0
	Без термической обработки	В95-1А, В95-1	Не испытываются				

Таблица 6.12

Теоретическая масса 1м² ленты

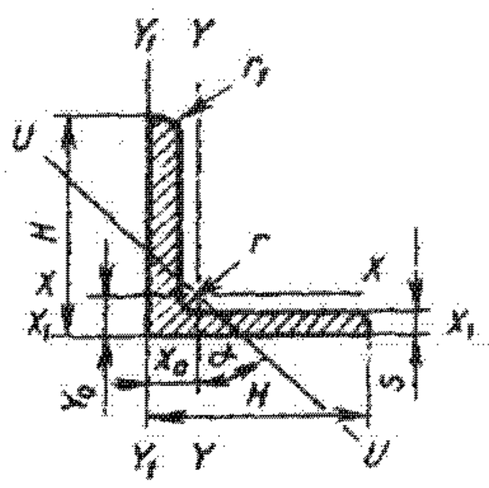
Толщина ленты, мм	Масса 1 м² ленты, кг	Толщина ленты, мм	Масса 1 м² ленты, кг	Толщина ленты, мм	Масса 1 м² ленты, кг	Толщина ленты, мм	Масса 1 м² ленты, кг
0,5	1,425	1,3	3,705	2,5	7,125	6,5	18,125
0,6	1,710	1,4	3,990	3,0	8,550	7,0	19,950
0,7	1,995	1,5	4,275	3,5	9,975	7,5	21,375
0,8	2,280	1,6	4,560	4,0	11,400	8,0	22,800
0,9	2,565	1,7	4,845	4,5	12,825	8,5	24,225
1,0	2,850	1,8	5,130	5,0	14,250	9,0	25,650
1,1	3,135	1,9	5,415	5,5	15,675	9,5	27,075
1,2	3,420	2,0	5,700	6,0	17,100	10,0	28,500
						10,5	29,525

Примечания. 1. Масса 1 м² вычислена по номинальной толщине при плотности 2,85 г/см³, что соответствует плотности алюминиевого сплава марки В95-2.

2. Для вычисления приближенной массы других алюминиевых сплавов и алюминия следует пользоваться сле дующими переводными коэффициентами: для алюминия всех марок — 0,950; для сплава марок: АМц — 0,958; АМг2 — 0,940; АМг5 — 0,930; АМг6 — 0,926; Д1 — 0,982; Д16 — 0,976.

Таблица 6.13

6.3. Уголки, прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов равнополочные (ГОСТ 13737—90)
Размеры и справочные величины для осей



Обозначения:

J—момент инерции, *i*—радиус инерции,
X_0, Y_0 — расстояние от центра тяжести

Номер уголка	*H*	*s*	*r*	r_1	Площадь сечения, $см^2$	Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей					
	мм						*X—X; Y—Y*		$X_1—X_1; Y_1—Y_1$		*U—U*	
							$J_x = J_y$, $см^4$	$i_x = i_y$, см	$J_{x1}=J_{y1}$, $см^4$	$X_0=Y_0$, см	$J_{u\,min}$, $см^4$	$i_{u\,min}$, см
410021	15	3	3	1,5	0,819	0,233	0,154	0,434	0,340	0,476	0,067	0,286
410025	18	1,5	2	0,75	0,524	0,149	0,160	0,553	0,290	0,498	0,064	0,351
410040	20	2	2	1	0,764	0,217	0,284	0,610	0,530	0,567	0,115	0,388
410062	25	3,2	3,2	1,6	1,509	0,430	0,851	0,751	1,660	0,733	0,349	0,481
410078	30	2	2	1	1,164	0,331	1,012	0,932	1,789	0,817	0,406	0,591
410081	30	3	3	1,5	1,720	0,490	1,439	0,915	2,684	0,851	0,584	0,583
410096	35	3	3	1,5	2,000	0,575	2,338	1,076	4,261	0,976	0,944	0,684
410113	40	2,5	2,5	1,25	1,944	0,554	3,017	1,246	5,301	1,084	1,211	0,789
410119	40	3,5	3,5	1,5	2,694	0,767	4,075	1,230	7,447	1,119	1,647	0,782
410121	40	4	4	2	3,057	0,871	4,550	1,220	8,483	1,134	1,845	0,777
410133	45	5	5	2,5	4,277	1,219	7,957	1,364	15,107	1,293	3,241	0,870
410144	50	5	5	2,5	4,777	1,361	11,107	1,525	20,710	1,418	4,505	0,971
410151	50	6,5	6	3,25	6,110	1,741	13,773	1,501	26,971	1,470	5,657	0,962
410160	60	5	5	2,5	5,777	1,646	19,704	1,847	35,773	1,668	7,950	1,173
410162	60	6	5	3	6,855	1,953	23,012	1,832	42,931	1,705	9,340	1,167
410175	70	7	8	1	9,443	2,691	43,337	2,142	80,754	1,991	17,609	1,366
410193	80	8	8	4,5	12,21	3,480	72,483	2,436	135,16	2,266	29,379	1,551
410201	90	9	10	4,5	15,518	4,422	116,67	2,742	217,47	2,549	47,294	1,746

Технические требования — по ГОСТ 8617—81.

Пример обозначения уголка из сплава марки АД31 в закаленном и естественно состаренном состоянии (Т), размером 20х2х2 (или № 410040), длиной 3000 мм:

Уголок АД31Т 20х2х2х3000 $\frac{ГОСТ\ 8617-81}{ГОСТ\ 13737-90}$ или

Уголок АД31Т 410040х3000 $\frac{ГОСТ\ 8617-81}{ГОСТ\ 13737-90}$.

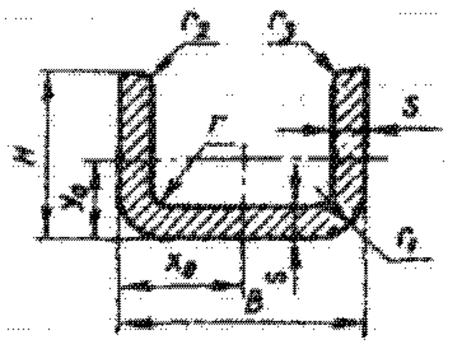
6.4. Швеллер равнотолщинный из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 13623—90)

Швеллеры изготовляют методом горячего прессования из алюминия марок АД0, АД1 и алюминиевых сплавов марок АМц, АМцС, АМг2, АМг3, АМг5, АМг6, Д1, Д16, АВ, АД31, АД33, 1915, 1925, ВД1, АВД1.

Таблица 6.14

Размеры и расчетные величины

Обозначения:



x_0, y_0 — координаты центра тяжести, мм;
I_x, I_y — момент инерции см^4;
W_x, W_y — момент сопротивления, см^3;
i_x, i_y — радиус инерции;
r_1 =0,5 у профиля 440291, 440335;
r_2 =3 у профиля 440332.

Номер профиля	H	B	s	r_1	r_2	Площадь сечения, см^2	Масса 1м, кг	Справочные величины для осей							
								x_0	y_0	I_x	I_y	W_x	W_y	i_x	i_y
	мм							мм		см^4		см^3		см	
440079	15	25	1,5	2	0,75	0,795	0,226	12,5	4,60	0,170	0,770	0,163	0,617	0,463	0,985
440112	18	40	2,0	2	1,0	1,453	0,414	20,0	4,93	0,421	3,418	0,322	1,709	0,538	1,534
440126	20	25	2,5	2,5	1,25	1,520	0,433	12,5	6,96	0,584	1,454	0,448	1,163	0,620	0,978
440128	20	30	2,0	2,0	0,75	1,335	0,380	15,0	6,38	0,522	1,886	0,383	1,257	0,625	1,189
440130	20	35	2,5	2,5	1,25	1,770	0,504	17,5	6,15	0,656	3,248	0,474	1,856	0,609	1,355
440177	25	25	3,0	2,0	—	2,087	0,595	12,5	9,42	1,279	2,012	0,821	1,609	0,783	0,982
440180	25	32	1,8	2,5	0,5	1,437	0,410	16,0	8,17	0,915	2,446	0,544	1,529	0,798	1,305
440184	25	40	2,0	2,0	1,25	1,730	0,493	20,0	7,57	1,062	4,421	0,609	2,210	0,783	1,599
440201	25	60	4,0	4,0	2,0	4,131	1,177	30,0	7,04	2,145	20,706	1,194	6,902	0,721	0,239
440206	25	70	3,0	3,0	1,5	3,449	0,983	35,0	6,24	1,785	23,677	0,951	6,765	0,719	2,620
440245	30	45	3,0	4,0	—	3,040	0,866	22,5	9,60	2,700	9,950	2,810	4,420	0,940	1,790
440253	30	55	3,0	3,0	1,5	3,299	0,940	27,5	8,81	2,804	15,283	1,323	5,557	0,922	2,152
440291	35	60	4,0	4,0	2,0	4,950	1,411	30,0	15,70	3,530	27,110	2,250	9,040	0,840	2,340
440327	40	45	3,0	4,0	0,5	3,638	1,037	22,5	13,74	5,961	12,319	2,270	5,475	1,280	1,840
440332	40	70	5,0	5,0	2,5	7,080	2,018	35,0	12,30	10,493	51,978	3,788	14,851	1,217	2,709
440335	40	80	4,0	4,0	2,0	6,131	1,747	40,0	11,32	9,109	59,310	3,176	14,827	1,219	3,110
440359	45	75	5,0	5,0	2,5	7,831	2,232	37,5	13,90	15,029	67,425	4,832	17,980	1,385	2,934
440383	50	100	5,0	5,0	2,5	9,610	2,739	50,0	14,10	23,810	103,700	16,890	20,740	1,570	3,280

Технические требования — по ГОСТ 8617—81.

Примеры обозначений.

Профиль из сплава марки АД31 в закаленном и естественно состаренном состоянии (Т), размером 6х20х2, длиной 3000 мм, общего назначения:

Профиль АД31Т 6х20х2х3000 $\frac{ГОСТ\ 8617-81}{ГОСТ\ 13623-90}$.

То же из сплава марки АМг6 в отожженном состоянии (М), специального назначения (С):

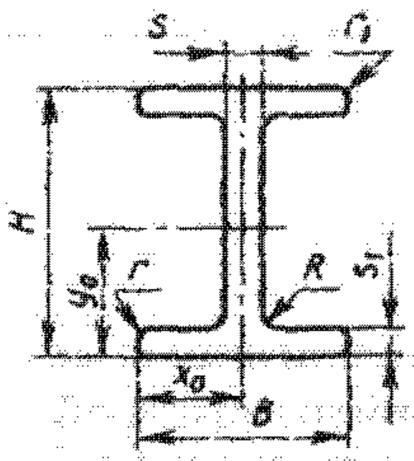
Профиль АМг6М 6х20х2х3000 $\frac{ГОСТ\ 8617-81}{ГОСТ\ 13623-90}$.

6.5. Двутавр прессованный из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 13621—90)

Таблица 6.15

Размеры и расчетные величины

Обозначения:



x_0, y_0 — координаты центра тяжести, мм;
I_x, I_y — момент инерции, см^4;
W_x, W_y — момент сопротивления, см^3;
i_x, i_y — радиус инерции, см.

Номер профиля	H	B	s	s_1	R	r	Площадь сечения, см^2	Масса 1м, кг	x_0	y_0	I_x	I_y	W_x	W_y	i_x	i_y
	мм								мм		см^4		см^3		см	
430022	30	30	1,5	2	2	1	1,616	0,460	15	15	2,615	0,882	1,743	0,588	1,272	0,739
430025	35	30	2	2,5	2,5	1,2	2,140	0,610	15	17,5	4,499	1,099	2,571	0,732	1,450	0,717
430011	40	50	2	3,5	3,5	1,7	4,239	1,208	25	20	12,478	7,143	6,239	2,857	1,715	1,298
430053	50	50	2,5	4	4	2	5,153	1,469	25	25	23,148	8,129	9,259	3,251	2,120	1,256
430058	57	93	7	8	3	1,5	17,808	5,075	46,5	28,5	94,349	106,733	33,104	22,953	2,301	2,450
430062	60	70	3	5	5	2,5	8,660	2,468	35	30	57,068	27,952	19,022	7,986	2,567	1,797
430063	68	38	2,5	2,5	2	—	3,509	1,000	19	34	25,929	2,279	7,626	1,200	2,718	0,806
430031	86	95	9	8	3	1,5	21,558	6,144	47,5	43	258,392	113,482	60,092	23,890	3,462	2,294

ГОСТ предусматривает также и другие номера профилей. Технические требования — по ГОСТ 8617—81.

Примеры обозначений.

Профиль из сплава марки АД31 в закаленном и естественно состаренном состоянии (Т), размерами 30х30х1,5х2 мм (или № 430022), длиной 3000 мм, общего назначения:

Профиль АД31Т 30х30х1,5х3000 $\frac{ГОСТ\ 8617–81}{ГОСТ\ 13621–90}$;

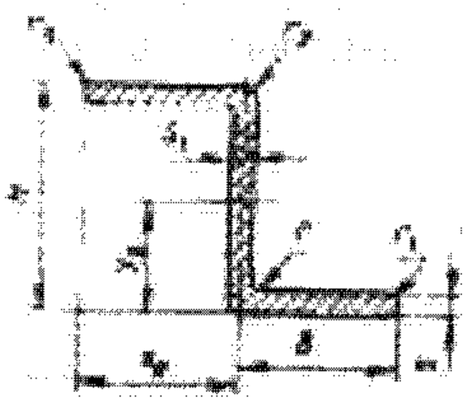
Профиль АД31Т 430022х3000 $\frac{ГОСТ\ 8617-81}{ГОСТ\ 13621-90}$.

6.6. Зет нормальный П500 из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 13620—90)

Зет изготавливают из алюминия марок АД0, АД1 и алюминиевых сплавов марок АМц, АМг2, Д1, Д16, В95, АВ, АД31, АД33, АМг3, АМг5, АМг6 по ГОСТ 4784—97.

Таблица 6.16

Размеры и справочные величины для осей



Обозначения:

x_0, y_0 — координаты центра тяжести, мм;
I_x, I_y — момент инерции, см^4;
W_x, W_y — момент сопротивления, см^3;
i_x, i_y — радиус инерции.

Номер зета	H	B	s	s_1	r	r_1	r_2	r_3	Площадь сечения, см^2	Минимальный диаметр описанной окружности, мм	Теоретическая масса 1м, кг	Координаты центра тяжести, мм		Момент инерции, см^4		Момент сопротивления, см^3		Радиус инерции, см	
	мм											x_0	y_0	I_x	I_y	W_x	W_y	i_x	i_y
450001	6,6	12,0	3 0	7,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,753	18	0,215	8,50	3,30	0,028	0,127	0,085	0,149	0,192	0,410
450002	12,7	15,9	1,6	1,6	3,0	1,6	—	—	0,688	33	0,196	15,10	6,35	0,173	0,345	0,272	0,228	0,501	0,708
450003	14,0	20,0	1,5	1,5	2,0	—	—	—	0,782	41	0,223	19,25	7,00	0,257	0,714	0,367	0,371	0,573	0,955
450004	14,0	21,0	6,0	6,0	1,0	—	—	—	2,644	39	0,754	18,00	7,00	0,479	2,348	0,685	1,304	0,426	0,942
450005	15,0	13,0	1,2	1,2	2,0	—	—	—	0,480	29	0,137	12,40	7,50	0,175	0,153	0,233	0,123	0,603	0,564
450006	20,0	15,0	1,2	1,2	2,0	0,5	—	—	0,587	35	0,167	14,40	10,00	0,384	0,237	0,384	0,165	0,809	0,635
450007	20,0	15,0	1,5	1,5	2,0	0,5	—	—	0,721	35	0,206	14,25	10,00	0,458	0,288	0,458	0,202	0,797	0,632
450008	20,0	18,0	1,5	1,5	2,0	—	—	—	0,812	40	0,231	17,25	10,00	0,536	0,514	0,536	0,298	0,812	0,796
450009	20,5	18,5	2,0	2,0	1,7	0,7	—	—	1,080	41	0,308	17,50	10,25	0,717	0,710	0,699	0,406	0,815	0,811
450010	24,0	18,0	2,0	1,5	2,0	1,0	—	—	1,033	42	0,294	17,25	12,00	0,985	0,673	0,821	0,390	0,976	0,807
450012	25,0	18,0	1,5	1,5	2,0	0,7	—	—	0,885	43	0,252	17,25	12,50	0,896	0,508	0,717	0,295	1,006	0,758
450013	25,0	18,0	2,0	1,5	2,0	1,0	—		1,048	43	0,299	17,25	12,50	1,083	0,673	0,866	0,390	1,017	0,801
450014	25,0	18,0	2,5	2,0	2,5	1,2	—	—	1,321	42	0,376	17,00	12,50	1,295	0,804	1,036	0,473	0,990	0,780
450016	25,0	20,0	3,0	2,0	3,0	1,5	0,5	—	1,608	46	0,458	19,00	12,50	1,595	1,337	1,276	0,704	0,996	0,912
450017	25,0	23,0	3,5	3,5	2,5	—	0,5	—	2,266	49	0,646	21,25	12,50	2,065	2,244	1,652	1,056	0,955	0,995
450018	25,0	25,0	3,0	3,0	3,0	2,5	—	—	2,082	53	0,593	23,50	12,50	2,001	2,461	1,601	1,047	0,980	1,087
450020	30,0	20,0	2,5	2,0	2,5	1,2	—	—	1,521	49	0,433	19,00	15,00	2,184	1,124	1,456	0,592	1,199	0,860
450021	30,0	25,0	2,5	2,0	2,5	1,2	—	—	1,771	57	0,505	24,00	15,00	2,658	2,272	1,772	0,947	1,225	1,133

6.7. Медь

Медь (ГОСТ 859—78) изготовляют в виде слитков и полуфабрикатов.

Марка	М1, М1р	М2, М2р	М3, М3р
Содержание меди и серебра, %,не менее	99,90	99,7	99,5

Температура плавления меди 1083 ° С.

ГОСТ предусматривает и другие марки меди.

Листы и полосы медные (ГОСТ 495—92)

ГОСТ 495—92 распространяется на медные холоднокатаные и горячекатаные листы и медные холоднокатаные полосы.

Толщина холоднокатаных листов, мм: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0; 12,0. Размеры холоднокатаных листов, мм: 600х2000; 600х1500; 800х2000; 710х1410; 1000х2000.

Толщина горячекатаных листов, мм: 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0; 12,0; 13,0; 14,0; 15,0; 16,0; 17,0; 18,0; 19,0; 20,0; 22,0; 24,0; 25,0. Горячекатаные листы изготовляют шириной от 600 до 1800 мм с интервалом 50 мм; шириной свыше 1800 до 3000 мм с интервалом 100 мм; длиной от 1000 до 6000 мм с интервалом 100 мм.

Толщина холоднокатаных полос, мм: 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0.

Ширина полос 40—600 мм. Длина полос 500—2000 мм. Полосы изготовляют мерной, кратной мерной и немерной длины.

По толщине листы и полосы изготовляют повышенной и нормальной точности.

Состояние материала, размеры, точность изготовления, марки сплава и поставка в листах или рулонах должны быть указаны в заказе.

6.8. Сортамент медных круглых прутков (ГОСТ 1535—91)

Диаметры горячекатаных круглых прутков, мм: 32; 35; 38; 40; 45; 50; 55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100.

Диаметры тянутых прутков, мм: 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 20; 21; 22; 24; 25; 27; 28; 30; 32; 33; 35; 36; 38; 40; 41; 45; 46; 50.

Прутки тянутые изготовляют мягкими (отожженными) — М, полутвердыми — ПТ, твердыми — Т; по точности: высокой — В, повышенной — П, нормальной — Н.

ГОСТ 1535—91 предусматривает размеры прутков прессованных круглых и тянутых квадратных и шестигранных.

Прутки изготовляют из меди марок М1, М1р, М2, М2р, М3 и М3р. Медь марки М1 применяют только для изготовления токопроводящих деталей.

Пример обозначений:

пруток из меди М2, горячекатаный, диаметром 35 мм:

Пруток М2-гк.-35 ГОСТ 1535—91.

6.9. Медно-цинковые сплавы (латуни), обрабатываемые давлением (ГОСТ 15527—70)

Медно-цинковые сплавы, обрабатываемые давлением, предназначены для изготовления полуфабрикатов.

Таблица 6.17

Марки сплавов и их назначение

Наименование и марка сплава*	Примерное назначение
Латунь Л68	Детали, получаемые глубокой вытяжкой
Латунь Л63	Листы, ленты, полосы, трубы, прутки, фольга, проволоки
Латунь алюминиево- железная ЛАЖ60-1-1	Трубы, прутки для подшипников скольжения
Латунь железомарганцовая ЛЖМц59-1-1	Полосы, трубы, прутки, проволоки
Латунь марганцовая ЛМц58-2	Листы, ленты, полосы, прутки, проволоки
Латунь марганцово- алюминиевая ЛМцА57-3-1	Механически высоконапряженные детали, поршневые штанги, поковки
Латунь оловянная ЛО62-1	Листы, полосы, трубы, прутки
Латунь свинцовая ЛС59-1	Листы, ленты, полосы, трубы, прутки, проволоки

* Первые две цифры в марке означают среднее содержание в процентах меди.

ГОСТ предусматривает также марки Л96, Л90, Л85, Л70, Л60, ЛА77-2, ЛАН59-3-2, ЛО90-1, ЛО70-1, ЛО60-1, ЛС63-3, ЛС74-3, ЛС64-2, ЛС60-1, ЛС59-1В; ЛЖС58-1-1, ЛК80-3, ЛМш68-0,05, ЛАМш77-2-0,05, ЛОМш70-1-0,05, ЛАНКМц75-2-2,5-0,5-0,5.

6.10. Латунные прутки (ГОСТ 2060—90)

Тянутые и прессованные латунные прутки круглого, квадратного и шестигранного сечения применяют в различных отраслях промышленности.

Тянутые круглые прутки изготовляют высокой (В), повышенной (П) и нормальной (Н) точности; тянутые квадратные и шестигранные — повышенной (П) и нормальной (Н) точности.

Прессованные прутки круглые, квадратные и шестигранные изготовляют повышенной (П) и нормальной (Н) точности.

Дополнительные условные обозначения:
мягкое состояние повышенной пластичности — Н;
полутвердое состояние повышенной пластичности — Р;
твердое состояние повышенной пластичности — У;
прессованное состояние обычной пластичности — С;
прессованное состояние повышенной пластичности — Т;
в бухтах — БТ.

Таблица 6.18

Способы изготовления и марки прутков

Способ изготовления прутков	Профиль прутков	Марки латуни
Тянутые	Круглые, квадратные и шестигранные	Л63, ЛС59-1, Л062-1, ЛЖС58-1-1, ЛМц58-2 и ЛЖМц59-1-1
Прессованные	То же	Л63, ЛО62-1, ЛС59-1, ЛМц 58-2, ЛЖМц59-1-1, ЛАЖ60-1-1

Таблица 6.19

Механические свойства прутков

Марка латуни	Способ изготовления прутков и состояние материала	Диаметр прутков, мм	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение, %		Твердость HV_{20}
				δ_5	δ_{10}	
			не менее			
Л63	Прессованные	10—160	290	33	30	65—120
	Тянутые мягкие	3—50	290	44	40	65—120
	Тянутые полутвердые	3—40	370	17	15	121—165
	Тянутые твердые	3—12	440	11	10	Не менее 161
ЛС59-1	Прессованные	10—50	360	22	18	80—140
		Св. 50 до 160	360	22	18	70—140
	Тянутые мягкие	3—50	330	25	22	80—140
	Тянутые полутвердые	3—12	410	10	8	121—170
		Св. 12 до 20	390	15	12	121—170
		Св. 20 до 40	390	18	15	121—170
	Тянутые твердые	3—12	490	7	5	Не менее 171
ЛС63-3	Тянутые твердые	3—9,5	590	—	1	Не регламентируется
		10—14	540		1	
		15—20	490		1	
	Тянутые полутвердые	10—20	350		12	

Продолжение табл. 6.19

ЛО62-1	Прессованные Тянутые полутвердые	10—160 3—50	360 390		20 15	
ЛЖС58-1-1	Прессованные Тянутые полутвердые	10—160 3—50	290 440		20 10	
ЛМц58-2	Прессованные Тянутые полутвердые	10—160 3—12 13—50	390 440 410	—	25 20 20	Не регламентируется
ЛЖМц59-1-1	Прессованные Тянутые полутвердые	10—160 3—12 Св. 12 до 50	430 490 440		28 15 1	
АЖ60-1-1	Прессованные	10—160	440		18	

По состоянию материала тянутые прутки изготовляют: из сплавов марок Л63, ЛС59-1 — мягкими, полутвердыми; из сплавов марок ЛО62-1, ЛМц58-2, ЛЖМц59-1-1 — полутвердыми.

Диаметры прутков, мм: тянутых: 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 23; 24; 25; 27; 28; 30; 32; 35; 36; 38; 40; 41; 45; 50; прутки круглые тянутые высокой точности изготовляют только диаметром 3—10 мм; прессованных: 10; 11; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 23; 24; 25; 27; 28; 30; 32; 35; 36; 38; 40; 41; 42; 45; 46; 48; 50;55; 60; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 110; 120; 130; 140; 150; 160; прутки круглые прессованные повышенной точности изготовляют диаметром только 10—50 мм, прутки квадратные и шестигранные прессованные повышенной точности — диаметром только 22-32 мм, нормальной точности — 22-100 мм.

Примечание. Для квадратных и шестигранных прутков под диаметром подразумевается диаметр вписанной окружности.

Примеры условного обозначения: пруток тянутый, шестигранный, нормальной точности изготовления, полутвердый, диаметром 24 мм, длиной 3000 мм, из латуни марки ЛО62-1:

Пруток ДШГНП 24х3000 Л062-1 ГОСТ 2060—90.

То же тянутый, круглый, нормальной точности изготовления, твердый, диаметром 12 мм, немерной длины, из латуни марки ЛС63-3, предназначенный для обработки на автоматах:

Пруток ДКРНТ 12 НД ЛС63-3 АВ ГОСТ 2060—90.

То же прессованный, квадратный, нормальной точности изготовления, диаметром 24 мм, немерной длины, из латуни марки ЛЖС58-1-1:

Пруток ГКВНХ 24 НД ЛЖС58-1-1 ГОСТ 2060—90.

То же тянутый, квадратный, повышенной точности изготовления, твердый, диаметром 12 мм, длиной, кратной 5000 мм, из латуни марки ЛС59-1, антимагнитный:

Пруток ДКВПТ 12 КД 5000 ЛС59-1 АМ ГОСТ 2060—90.

То же тянутый, круглый, высокой точности изготовления, твердый, диаметром 10 мм, мерной длины 2000 мм, из латуни марки ЛС63-3:

Пруток ДКРВТ 10х2000 ЛС63-3 ГОСТ 2060—90.

6.11. Листы и полосы латунные (ГОСТ 931—90)

Горячекатаные листы выпускают размером 600х х1500; 1000х2000 мм, толщиной 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 25 мм.

Холоднокатаные листы выпускают размером 600х1500; 600х2000; 800х2000 мм, толщиной 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,35; 1,4; 1,5; 1,6; 1,65; 1,8; 2,0; 2,2; 2,5; 2,75; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5; 8,0; 9,0; 10,0; 11,0; 12,0 мм, а также листы размером 1000х2000 мм, толщиной от 1 до 12 мм с рядом толщин, указанных выше.

Холоднокатаные листы из латуней ЛМц58-2, ЛО62-1 изготовляют толщиной от 1 до 12 мм. Листы из латуни ЛО59-1 изготовляют только размером 600х1500 мм, толщиной от 3 до 12 мм.

При отсутствии указания в заказе листы горячекатаные и холоднокатаные могут быть короткомерные размером не менее 500х1000 мм; количество их не должно быть более 15% массы партии. Холоднокатаные листы изготовляют нормальной и повышенной точности.

Холоднокатаные полосы изготовляют: толщиной 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,35; 1,4; 1,5; 1,6; 1,65; 1,8; 2,0; 2,25; 2,5; 2,75; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0 мм; шириной от 40 до 560 мм. Полосы шириной от 40 до 100 мм изготовляют толщиной от 0,4 до 4,0 мм. Ширину полос брать из ряда: 40; 42; 45; 48; 50; 52; 56; 60; 63; 65; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 100; 105;110; 120; 125; 130; 140; 150; 160; 170; 180; 190; 200; 210; 220; 230; 240; 250; 260; 280; 300; 320; 340; 360; 380; 400; 420; 450; 480; 500; 530; 560 мм. Длина полос от 500 до 2000 мм. Полосы изготовляют мерной, кратной мерной и немерной длины.

Примеры обозначений: лист горячекатаный, прямоугольного сечения, размером 5х600 х1500 мм, мерной длины, из латуни марки Л63:

Лист ГПРХХ 5х600х1500 МД Л63-ГОСТ 931—90.

Лист холоднокатаный, прямоугольного сечения,

мягкий, размером 4 х1000х х2000 мм, мерной длины, из латуни марки ЛМц58-2:

Лист ДПРХМ 4х1000х2000 МД ЛМц58-2 ГОСТ 931—90.

Полоса холоднокатаная, прямоугольного сечения, повышенной точности изготовления, полутвердая размером 1,2х300 мм, длиной, кратной 600 мм, из антимагнитной латуни марки Л68:

Полоса ДПРПП 1,2х300х600 КД Л68АМ ГОСТ 931—90.

Горячекатаные листы изготовляют из латуни марок Л63, ЛО62-1, ЛС59-1 и ЛМц58-2 по ГОСТ 15527—70.

Таблица 6.20

Механические свойства листов и полос

Способ изготовления	Марка латуни	Состояние материала	Временное сопротивление разрыву Од, МПа	Относительное удлинение δ, %, не менее
Холоднокатаные	Л90	Мягкий	230—340	35
		Полутвердый	290—390	10
		Твердый	350	3
	Л85	Мягкий	250—360	38
		Полутвердый	320—430	12
		Твердый	390	3
	Л80	Мягкий	260—370	40
		Полутвердый	330—430	15
		Твердый	390	3
	Л68	Полутвердый	340—470	20
		Твердый	430—540	10
		Особотвердый	520	—
	Л63	Мягкий	290—400	38
		Полутвердый	340—470	20
		Твердый	410—570	8
		Особотвердый	510—640	4
	ЛС59-1	Мягкий	340—470	25
		Твердый	460—610	5
	ЛМц58-2	Полутвердый	420—590	15
		Твердый	590	3
	ЛО62-1	Твердый	390	5
Горячекатаные	Л63	—	290—390	30
	ЛО62-1	—	340—440	20
	ЛС59-1	—	360—490	18
	ЛМц58-2	—	390	25

Холоднокатаные листы и полосы изготовляют из латуни марок Л90, Л85, Л80, Л68, Л63, ЛМц58-2, ЛО62-1 и ЛС59-1 по ГОСТ 15527—70.

По требованию потребителя листы и полосы должны быть антимагнитными в соответствии с ГОСТ 15527—70.

По состоянию материала холоднокатаные листы и полосы должны изготовляться:

из латуни марок Л90, Л85, Л80 и ЛМц58-2 — мягкими, полутвердыми и твердыми;

из латуни марки ЛС59-1 — мягкими и твердыми;

из латуни марки Л68 — мягкими, полутвердыми, твердыми и особотвердыми;

из латуни марки Л63 — мягкими, четверть твердыми, полутвердыми, твердыми и особотвердыми;

из латуни марки ЛО62-1 — твердыми.

Особо твердые листы и полосы изготовляют толщиной до 2 мм включительно.

Мягкие листы и полосы должны быть протравлены.

Холоднокатаные листы и полосы толщиной 1,0—10,0 мм должны выдерживать испытание на изгиб вдоль прокатки в холодном состоянии без появления следов надрывов и трещин: мягкие на 180°, полутвердые на 90° вокруг оправки с радиусом закругления, равным толщине листа или полосы.

Плотность латуни Л90, Л85 и Л80 равна 8,7 г/см^3, а латуни Л68, Л63, ЛС59-1 и ЛМц58-2 — 8,5 г/см^3.

6.12. Ленты латунные общего назначения (ГОСТ 2208—75)

Таблица 6.21

Размеры лент в зависимости от состояния и марки латуни, мм

Марка латуни	Состояние материала	Толщина	Ширина
Л90, Л85, Л80, Л68, Л63	Мягкий и полутвердый	0,14—0,22 0,25—0,45 0,5—2,0	10—200 10—250 20— 600
Л90, Л85, Л80	Твердый	0,10—0,22 0,25—0,45 0,5—2,0	10—300 10—600 20—600
Л68 Л63	Твердый	0,05—0,09 0,10—0,22 0,25—0,45 0,5—2,0	10—175 10—300 10—600 20—600
Л68 Л63	Особотвердый	0,14—0,22 0,25—0,45 0,5—1,0	10—300 10—600 20—600
Л63	Четвертьтвердый	0,14—0,22 0,25—0,45 0,5—2,0	10—200 10—250 20—600
ЛС59-1 ЛМц58-2	Мягкий	0,14—0,40 0,45—1,4	10—175 20—280
ЛС59-1 ЛМц58-2	Твердый	0,10—0,40 0,45—1,4 1,5—2,0	10—175 20—280 20—180
СЛ59-1	Особотвердый	0,35—1,2	20—300
ЛМц58-2	Полутвердый	0,14—0,40 0,45—1,4	10—175 20—280

Толщина и ширина лент

Толщина, мм: 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,10; 0,12; 0,14; 0,15; 0,16; 0,17; 0,18; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45 0,50; 0,55, 0,60; 0,65; 0,70; 0,75, 0,80; 0,85; 0,90; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0.

Ширина, мм: 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22, 23; 24; 25; 26; 28; 30; 32; 34; 35; 36; 38; 40; 42; 45; 46; 47; 48; 50; 51; 52; 55; 57; 60; 63; 65; 68; 70; 75; 80; 85; 90; 95; 105; 109; 110; 112; 120; 124; 125; 128; 130; 134; 140; 150; 160; 163; 168; 170; 180; 190; 200; 210; 220; 230; 260; 280; 300; 320, 340; 360; 380; 400; 420; 450; 480; 500; 530; 560; 600.

Длина лент, м:

для толщины 0,05—0,5 мм не менее 20;

для толщины 0,55—1,0 мм не менее 10;

для толщины 1,1—2,0 мм не менее 7.

Примеры условных обозначений.

Лента холоднокатаная, прямоугольного сечения, нормальной точности изготовления, мягкая, толщиной 0,20 мм, шириной 150 мм, немерной длины, из латуни марки ЛМц58-2:

Лента ДПРНМ 0,20х150 НД ЛМц58-2 ГОСТ 2208—91.

То же повышенной точности изготовления, полутвердая, толщиной 0,50 мм, шириной 175 мм, немерной длины, из латуни марки Л63:

Лента ДПРПП 0,50х175 НД Л63 ГОСТ 2208—91.

То же нормальной точности изготовления, особотвердая, толщиной 0,30 мм, шириной 100 мм, немерной длины, из латуни марки Л68:

Лента ДПРНО 0,30х100 НД Л68 ГОСТ 2208—91.

То же четвертьтвердая, толщиной 0,25 мм, шириной 109 мм, немерной длины, из латуни марки Л63, антимагнитная:

Лента ДПРНЧ 0,25х109 НД Л63А ГОСТ 2208—91.

Ленты изготовляют из латуни марок Л90, Л85, Л68, Л63, ЛС59-1 и ЛМц58-2 по ГОСТ 15527—70.

6.13 Латунная проволока (ГОСТ 1066—90)

Проволока предназначена для общего применения.

Размеры проволоки, мм: круглой — 0,10; 0,11; 12; 0,14; 0,15; 0,16; 0,17; 0,18; 0,20; 0,22; 0,24; 0,25; 0,28; 0,30; 0,32; 0,36; 0,40; 0,45; 0,50; 0,56; 0,60; 0,63; 0,70; 0,75; 0,80; 0,90; 1,00; 1,10; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 2,2; 2,4; 2,5; 2,6; 2,8; 3,0; 3,2; 3,4; 3,6; 3,8; 4,0; 4,2; 4,5; 4,8; 5,0; 5,3; 5,6; 6,0; 6,3; 7,0; 7 5; 8,0; 8,5; 9,0; 9,5; 10,0; 11,0; 12,0;

квадратной и шестигранной (диаметр вписанной окружности, т. е. расстояние между параллельными гранями проволоки) — 3,0; 3,2; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12.

При обозначении проволоки применяют следующие сокращения: холоднодеформированная — Д; круглая — КР, квадратная — КВ; шестигранная — ШГ; нормальная — Н; повышенная — П; мягкая — М; полутвердая — П; твердая — Т; бухты — БТ; катушки — КТ; антимагнитная — АМ.

Пример обозначения проволоки круглой, нор-мальной точности, мягкой, диаметром 0,5 мм на ка-тушках, из сплава марки Л80, антимагнитной:

Проволока ДКРНМ 0,5 КТ Л80 АМ ГОСТ 1066—90.

Таблица 6.22

Механические свойства лент

Марка латуни	Состояние материала	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение δ, %, не менее
Л68	Мягкий	290—370	42
	Полутвердый	340—470	20
	Твердый	430—540	10
	Особотвердый	520	—
Л63	Мягкий	290—410	38
	Полутвердый	410—540	20
	Твердый	490—620	10
	Особотвердый	590	—
ЛС58-1	Мягкий	340—490	25
	Твердый	460—640	5
	Особотвердый	590	3
ЛМц58-2	Мягкий	380—490	30
	Полутвердый	420—590	15
	Твердый	470	4

Таблица 6.23

Марки, состояние поставки и точность изготовления проволоки

Марка сплава	Форма сечения	Размеры проволоки, мм	Состояние проволоки	Точность изготовления
Л80	Круглая	0,25—5,3	Мягкая, полутвердая	Проволоку изготовляют нормальной точности по диаметру
Л69, Л63	Круглая	0,10—0,18	Мягкая, твердая	
		0,20—12,0	Мягкая, полутвердая, твердая	
	Квадратная, шестигранная	3,0—12,0		
ЛС59-1	Круглая	0,6—1,9	Мягкая, твердая	
		2,0—12,0	Мягкая, полутвердая, твердая	
	Квадратная, шестигранная	3,0—12,0		

Таблица 6.24

Механические свойства проволоки

Марка сплава	Размеры проволоки, мм	Временное сопротивление проволоки $\sigma_в$, МПа			Относительное удлинение проволоки, %, не менее		
		мягкой	полутвердой	твердой	мягкой	полутвердой	твердой
		не менее					
Л80	От 0,25 до 5,3	290	340	—	25	15	Не регламентировано
Л68	От 0,10 до 0,18	370	—	690—930	20	—	
	Св. 0,18 » 0,75	340	390	690—930	25	5	
	» 0,75 » 1,40	310	370	590—780	30	10	
	» 1,40 » 12,0	290	340	540—740	40	15	
Л63	От 0,10 до 0,18	340	—	740—930	18	—	
	Св. 0,18 » 0,50	340	440	690—930	20	5	
	» 0,50 » 1,00	340	440	690—880	26	5	
	» 1,00 » 4,8	340	390	590—780	30	10	
	» 4,8 » 12,0	310	350	540—740	34	12	
ЛС59-1	От 0,6 до 1,0	340	—	Не менее 490	25	—	1
	Св. 1,0 » 1,9	340	—	Не менее 470	27	—	2
	» 1,9 » 5,0	340	390	490—640	30	10	3
	» 5,0 » 12,0	340	390	440—640	30	12	4

6.14. Рекомендуемый сортамент медных и латунных тонкостенных трубок (ГОСТ 11383—75)

Таблица 6.25

Наружный диаметр, мм			Теоретическая линейная плотность, г/м, при толщине стенки, мм							
Номинальный	Предельное отклонение при точности изготовления		0,15		0,20		0,25		0,30	
	нормальной	повышенной	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л 63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л 63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л63
1,5	±0,10	±0,05	5,659	5,404	—	—	—	—	—	—
1,6			6,079	5,805	7,823	7,472	—	—	—	—
1,8			—	—	—	—	—	—	—	—
2,0			7,756	7,393	10,062	9,608	12,229	11,679	14,254	13,612
2,2			8,595	8,207	11,178	10,675	13,623	13,010	—	—
2,4			9,433	9,007	12,295	11,843	15,020	14,345	—	—
2,5			—	—	12,854	12,276	15,718	15,012	—	—
2,6			—	—	13,412	12,809	16,700	15,947	—	—
(2,75)			—	—	—	—	—	—	—	—
2,8			—	—	—	—	17,818	17,001	—	—
3,0			11,948	11,407	15,646	14,943	19,215	18,351	22,633	21,615
3,2			—	—	16,766	16,013	—	—	—	—
3,4			—	—	17,889	17,085	—	—	—	—
3,5			—	—	—	—	22,685	—	—	—
3,6			—	—	—	—	23,407	22,355	—	—
3,8			—	—	—	—	—	—	—	—
4,0			16,144	15,410	21,235	20,281	26,202	25,024	31,016	29,622
4,5			—	—	—	—	29,690	28,356	—	—
4,8			—	—	—	—	—	—	37,724	36,029
5,0			20,333	19,414	26,825	25,619	33,188	32,546	39,400	37,630

Продолжение табл. 6.2

Наружный диаметр, мм			Теоретическая линейная плотность, г/м, при толщине стенки, мм							
Номинальный	Предельное отклонение при точности изготовления		0,15		0,20		0,25		0,30	
	нормальной	повышенной	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л 63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л 63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л63
5,5			—	—	—	—	—	—	—	—
6,0			24,526	23,418	32,414	30,957	40,175	38,369	47,784	45,636
7,0			28,718	27,421	38,003	36,295	45,897	43,834	56,168	53,644
7,5			30,814	29,424	—	—	—	—	—	—
8,0			32,911	31,227	43,602	44,636	54,139	52,832	64,564	61,653
8,5	—0,15	—0,10	—	—	—	—	—	—	68,757	65,657
9,0			37,095	35,428	49,181	46,971	61,134	58,386	72,936	69,658
9,5			—	—	—	—	64,623	61,718	—	—
10,0			41,287	39,432	54,771	52,309	68,121	65,059	81,319	77,665
(10,1)			—	—	—	—	—	—	—	—
10,2			—	—	—	—	—	—	—	—
11,0			45,479	43,435	60,360	5 7,647	75,107	71,732	89,703	85,672
(11,15)			—	—	—	—	—	—	—	—
12,0			49,671	47,428	65,949	62,985	82,089	78,428	98,087	93,678
(12,1)			50,089	47,838	—	—	—	—	—	—
13,0			—	—	—	—	89,080	85,076	106,471	101,686
(13,2)			54,708	52,250	—	—	—	—	—	—
14,0	—0,20	—0,15	—	—	—	—	96,067	91,749	114,855	109,692
15,0			—	—	—	—	—	—	123,238	117,700
16,0			—	—	—	—	—	—	131,622	125,706
17,0			—	—	—	—	—	—	—	—
18,0			—	—	—	—	—	—	—	—
19,0			—	—	—	—	—	—	—	—
20,0			—	—	—	—	—	—	—	—
21,0	—0,24	—0,20	—	—	—	—	—	—	—	—
22,0			—	—	—	—	—	—	—	—
24,0			—	—	—	—	—	—	—	—
28,0			—	—	—	—	—	—	232,228	221,791

Наружный диаметр, мм			Теоретическая линейная плотность, г/м, при толщине стенки, мм							
Номинальный	Предельное отклонение при точности изготовления		0,35		0,40		0,45		0,50	
	нормальной	повышенной	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л63
1,5			—	—	—	—	—	—	—	—
1,6			—	—	—	—	—	—	—	—
1,8			—	13,545	—	—	—	—	—	—
2,0			16,136	15,105	17,889	17,085	19,491	18,615	—	—
2,2			—	—	—	—	—	—	—	—
2,4			—	—	—	—	—	—	—	—
2,5	±0,10	±0,05	21,031	20,085	—	—	—	—	—	—
2,6			—	—	—	—	—	—	29,343	28,024
(2,75)			—	—	—	—	28,925	27,625	—	—
2,8			—	—	—	—	—	—	—	—
3,0			25,917	24,752	29,067	27,761	32,067	30,625	34,932	33,362
3,2			—	—	31,304	29,892	—	—	—	—

Продолжение табл. 6.25

Наружный диаметр, мм			Теоретическая линейная плотность, г/м, при толщине стенки, мм							
Номинальный	Предельное отклонение при точности изготовления		0,35		0,40		0,45		0,50	
	нормальной	повышенной	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л 63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л 63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л63
3,4			—	—	—	—	—	—	—	—
3,5			—	—	—	—	—	—	—	—
3,6			—	—	—	—	—	—	—	—
3,8			—	—	—	—	—	—	—	—
4,0			35,801	34,163	40,248	38,436	42,642	42,636	48,906	46,708
4,5			—	—	—	—	—	—	—	—
4,8			—	—	49,181	46,971	—	—	—	—
5,0			45,479	43,435	51,424	49,113	57,218	54,647	62,878	60,052
5,5			—	—	—	—	—	—	—	—
6,0			55,260	52,776	62,603	59,789	69,794	66,657	76,852	73,398
7,0			65,041	62,118	73,781	70,465	82,370	78,668	90,824	86,742
7,5			—	—	—	—	—	—	—	—
8,0			74,822	71,460	84,959	81,141	94,945	90,678	—	100,087
8,5			—	—	—	—	—	—	—	—
9,0			84,603	80,801	96,138	91,817	107,521	102,683	—	—
9,5	—0,15	—0,10	—	—	—	—	—	—	—	—
10,0			94,384	90,142	107,316	102,493	120,097	114,699	—	—
(10,1)			95,364	91,078	—	—	—	—	—	—
10,2			—	—	—	109,540	—	—	—	—
11,0			104,166	99,484	118,495	113,160	132,672	126,710	146,716	140,122
(11,15)			105,634	100,886	—	—	—	—	—	—
12,0			113,947	108,825	129,673	123,845	145,248	138,720	160,690	153,468
(12,1)			—	—	—	—	—	—	—	—
13,0			123,728	118,176	140,851	134,521	158,180	151,071	174,662	166,812
(13,2)	—0,20	—0,15	—	—	—	—	—	—	—	—
14,0			133,509	127,508	152,030	145,197	170,399	162,741	188,636	180,158
15,0			—	—	163,208	155,673	182,975	174,751	202,608	193,502
16,0			—	—	174,587	166,549	195,551	186,762	216,582	206,848
17,0			162,852	155,530	—	—	—	—	230,554	220,192
18,0			—	—	—	—	—	—	244,528	233,537
19,0			—	—	—	—	—	—	258,501	246,882
20,0			—	—	—	—	—	—	272,474	260,228
21,0			—	—	—	—	—	—	286,447	273,572
22,0	—0,24	—0,20	—	—	—	—	—	—	300,420	286,917
24,0			—	—	—	—	—	—	328,366	313,607
28,0			—	—	—	—	—	—	384,258	366,988

Продолжение табл. 6.25

Наружный диаметр, мм			Теоретическая линейная плотность, г/м, при толщине стенки, мм					
Номинальный	Предельное отклонение при точности изготовления		0,60		0,65		0,70	
	нормальной	повышенной	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л 63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л 63	Медь и латунь марки Л96	Латунь марки Л 63
1,5			—	—	—	—	—	—
1,6			—	—	—	—	—	—
1,8			—	—	—	—	—	—
2,0			—	—	—	—	—	—
2,2			—	—	—	—	—	—
2,4			—	—	—	—	—	—
2,5			—	—	—	—	—	—
2,6			—	—	—	—	—	—
(2,75)			—	—	—	—	—	—
2,8			—	—	—	—	—	—
3,0			—	—	—	—	—	—
3,2	±0,10	±0,05	—	—	—	—	—	—
3,4			46,956	44,839	—	—	—	—
3,5			—	—	—	—	—	—
3,6			—	—	—	—	—	—
3,8			—	—	—	—	60,651	57,917
4,0			57,018	54,444	60,847	58,104	—	—
4,5			—	—	—	—	—	—
4,8			—	—	—	—	—	—
5,0			—	—	—	—	—	—
5,5			—	—	—	—	—	89,678
6,0			—	—	—	—	—	—
7,0			—	—	—	—	—	—
7,5			—	—	—	—	—	—
8,0			—	—	—	—	—	136,385
8,5	—0,15	—0,10	—	—	—	—	—	—
9,0			—	—	—	—	—	—
9,5			—	—	—	—	—	—
10,0			—	—	—	—	—	—
(10,1)	—0,15	—0,10	—	—	—	—	—	—
10,2			—	—	—	—	—	—
11,0			—	—	—	—	—	—
(11,15)			—	—	—	—	—	—
12,0			—	—	—	—	—	—
(12,1)			—	—	—	—	—	—
13,0	—0,20	—0,1 5	—	—	—	—	—	—
(13,2)			—	—	—	—	—	—
14,0			—	—	—	—	—	—
15,0			—	—	—	—	—	—
16,0			—	—	—	—	—	—
17,0			—	—	—	—	—	—
18,0			—	—	—	—	—	—
19,0			—	—	—	—	—	—
20,0			—	—	—	—	—	—
21,0	—0,24	—0,20	—	—	—	—	—	—
22,0			—	—	—	—	—	—
24,0			—	—	—	—	—	—
28,0			—	—	—	—	—	—

Примечания.

1. Размеры трубок, взятые в скобки, в новых разработках применять не разрешается.
2. Трубки медные и из латуни марки Л96 с наружным диаметром от 3 до 10мм и трубки из латуни марки Л63 с наружным диаметром от 3 до 19 мм включительно с толщиной стенки 0,5 мм изготавливаются только повышенной точности.
3. Теоретическая линейная плотность 1 м трубок вычисляется по номинальному диаметру трубок. Плотность принята равной:
   меди и латуни марки Л96 —8900 кг/м^3;
   латуни марки Л63 —8500 кг/м^3.

Трубка тянутая, круглого сечения, нормальной точности изготовления, мягкая, наружным диаметром 5 мм, с толщиной стенки 0,25 мм, длиной 2000 мм, из меди марки М2:

Трубка ДКРНМ 5х0,25х2 М2 ГОСТ 11383—75.

То же, повышенной точности изготовления, твердая, наружным диаметром 11 мм, с толщиной стенки 0,5 мм, длиной, кратной 1500 мм, из латуни марки Л63:

Трубка ДКРПТ 11х0,5х1,5 КД Л63 ГОСТ 11383—75.

То же, нормальной точности изготовления, мягкая, наружным диаметром 3 мм, толщиной стенки 0,40 мм в бухтах, из меди марки М1:

Трубка ДКРНМ 3х0,40 БУХТ М1 ГОСТ 11383—75.

Таблица 6.26

Рекомендуемый сортамент латунных труб для теплообменных аппаратов (ГОСТ 21646—76)

Наружный диаметр, мм		Теоретическая масса 1м труб, кг, при толщине стенки, мм					
Номин.	Пред. откл.	0,8±0,08	1,0±0,10	1,5±0,15	2,0±0,20	2,5±0,25	3,0±0,25
10	—0,20	0,198	0,243	—	—	—	—
11		—	0,270	—	—	—	—
12		0,242	0,297	0,425	—	—	—
13		0,264	0,324	0,465	—	—	—
14		0,285	0,351	0,506	—	—	—
15		0,307	0,378	0,546	—	—	—
16		0,329	0,405	0,588	0,775	—	—
17		0,346	0,432	0,628	0,810	—	—
18		0,371	0,459	0,669	0,864	—	—
19	—0,24	0,398	0,486	0,709	0,918	—	—
20		0,415	0,513	0,750	0,972	—	—
21		—	0,546	—	—	—	—
22		0,458	0,567	0,831	1,081	—	—
23		0,480	0,594	0,871	1,135	—	—
24		0,502	0,621	0,912	1,188	1,452	1,701
25		0,523	0,648	0,952	1,242	1,519	1,782
26		—	0,675	0,995	1,296	1,586	1,864
28		—	0,729	1,073	1,404	1,797	2,026
29		—	0,756	1,127	—	—	—
30		—	0,783	1,154	1,512	1,857	2,187
32	—0,30	—	0,837	1,235	1,316	1,993	2,350
33		—	—	1,291	—	—	—
35		—	0,918	1,357	1,782	2,195	2,592
36		—	0,946	1,398	1,837	2,262	2,673
38		—	1,000	1,478	1,945	2,397	2,835
40		—	1,053	1,560	2,052	2,531	2,999
45		—	—	—	2,322	2,870	3,403
50		—	—	—	2,392	2,206	3,807

Трубы изготовляют из латуни марок Л68, ЛО70-1, ЛА77-2, ЛМш68-0,05, ЛАМш77-2-0,05 и ЛОМш70-1-0,05 *по* ГОСТ 15527—70.

Примеры условных обозначений труб при следующих сокращениях:

холоднокатаная и тянутая — Д;

круглая — КР;

полутвердая — П;

мягкая — М;

кратной длины — КД.

Примечание. Знак "Х" ставится вместо отсутствующих данных.

Труба, тянутая, холоднокатаная, круглая, мягкая наружным диаметром 15 мм, с толщиной стенки 1 мм, мерной длины 2050 мм, из сплава марки Л68:

Труба ДКРХМ15х1х2050 Л68 ГОСТ 21646—76.

То же, полутвердая, наружным диаметром 15 мм, с толщиной стенки 1 мм, мерной длины 4000 мм, из сплава марки ЛО70-1:

Труба ДКРХП 15х1х4000 ЛО70-1 ГОСТ 21646—76.

То же, мягкая, с наружным диаметром 15 мм, толщиной стенки 1 мм, длиной, кратной 1500 мм, из сплава марки ЛА77-2:

Труба ДКРХМ 15х1КД1500 ЛА77-2 ГОСТ 21646—76.

Таблица 6.27

Сортамент изделий из бронзы

Изделие	Марка бронзы	Размер, мм		ГОСТ
		минимальный	максимальный	
Оловянные деформируемые бронзы				
Полоса, лента	БрОФ6.5—15 БрОЦ4—3	1х40 0,1х10	10х300 2х300	1761—92
Полоса, лента	БрОЦС4—4,25	1,58х50 0,5х100	3х200 2х200	—
Прутки круглые	БрОФ65—0,15 БрОФ7—0,2	5*[1] 40*[2]	40*[1] 110*[2]	10025—78
Прутки круглые, квадратные и шестигранные	БрОЦ4—3	5*[1] 42*[2]	40*[1] 120*[2]	6511—60
Проволока круглая, квадратная	БрОЦ4—3	0,1	12,0	
Безоловянные бронзы				
Полоса, лента	БрБ2, БрБНТ1,9 БрБНТ1,7	0,02х40 0,02х10	6х300 1,5х300	1789—70
Полоса, лента	БрАМц9—2	5х50 0,4х10	22х300 1,0х300	
Прутки круглые: тянутые прессованные катаные	БрАМц9—2 БрАЖ9—4 БрАЖМц10—3,15	5 16 30	40 160 100	1595—71
Прутки квадратные, шестигранные, круглые	БрАЖ9—4 БрАЖН10—4—4 БрКМц3—1 БрКН1—3 БрАМц9—2	5 16	41 160	1628—78
Прутки круглые, квадратные, шестигранные тянутые, круглые прессованные	БрБ2	5*[1] 42 *[2]	40*[1] 100*[2]	15835—70
Проволока круглая, квадратная	БрКМц3—1	0,1 0,6	10 3,5	5222—72
Проволока из бериллиевой бронзы	БрБ2	0,06	12,0	15834—77

*[1] Тянутые.
*[2] Прессованные.

Рекомендуемые рабочие условия труб из цветных металлов и сплавов приведены в табл. 6.28.

Таблица 6.28

Рекомендуемые рабочие условия труб из цветных металлов и сплавов (ОСТ 26-291—94)

Марка материала, обозначение стандарта или технических условий	Технические требования	Рабочие условия		Виды испытаний и требования	Примечания
		температура стенки, °С	давление среды, МПа (кгс/см²), не более		
Л68, Л070-1, ЛОМш 70-1-0,05, ЛАМш 77-2-0,05 ГОСТ 15527—70	ГОСТ 21646—76	От —196 до + 250	Не ограничено	ГОСТ 21646—76	п. 2
Л63, Л68, ЛС59-1, ЛЖМц 59-1-1 ГОСТ 15527—70	ГОСТ 494—90	От —253 до + 250		ГОСТ 494—90	пп. 3, 4, 5
МНЖ 5-1 ГОСТ 492—73	ГОСТ 17217—79	От —196 до + 200		ГОСТ 17217—79	п. 6
МНЖМц 30-1-1 ГОСТ 492—73	ГОСТ 10092—75	От 0 до + 250		ГОСТ 10092—75	п. 1
АД0, АД1, АМц ГОСТ 4784—74	ГОСТ 18475—82Е	От —270 до + 150		ГОСТ 18475—82Е	п. 7
АМг2, АМг3, АМг5 ГОСТ 4784—74	ГОСТ 18482—79Е		6 (60)	ГОСТ 18482—79Е	—

Примечания.

1. Испытания на растяжение проводить в мягком состоянии.
2. Испытания на растяжение латуни марки Л68 проводить в мягком состоянии.
3. Испытания на растяжение латунных труб марок Л63, Л68 проводить в мягком состоянии, трубы марок ЛС69-1, ЛЖМц 59-1-1 испытываются прессованными.
4. По требованию потребителя тянутые и холоднокатаные трубы толщиной 3 мм и менее подвергаются испытанию на сплющивание.
5. По соглашению сторон трубы марок Л63, Л68 изготавливают с повышенной пластичностью.
6. Испытания на растяжение проводить в отожженном состоянии.
7. Механические свойства отожженных труб предприятие-изготовитель труб не контролирует.

6.15. Прутки, катанные из титановых сплавов (ГОСТ 26492—85)

Прутки поставляют в горячекатаном состоянии без термической обработки. Допускается изготовление прутков волочением.

Механические свойства прутков при нормальной температуре обычного качества, определяемые на образцах, вырезанных в долевом направлении волокна, приведены в табл. 6.29.

Механические свойства прутков при повышенной температуре, определяемые на отожженных образцах, вырезанных в долевом направления волокна, указаны в табл. 6.30.

Указанные в табл. 6.29 пределы диаметров брать из ряда: 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 30; 32; 35; 40; 42; 45; 48; 50; 52; 55 и 60 мм.

По длине прутки поставляют

а) немерной длины от 0,5 до 4 м для диаметров от 10 до 18 мм и длиной от 1 до 6 м для диаметров от 0,5 до 60 мм;

б) мерной и кратной длины в пределах немерной.

Допускается поставка прутков диаметром от 10 до 30 мм связанными в пучки. В этом случае конец каждого прутка окрашивают в цвет, приведенный в табл. 6.31.

Таблица 6.29

Механические свойства прутков при нормальной температуре

Марка сплава	Состояние испытуемых образцов	Диаметр прутка, мм	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Относительное сужение ψ, %	Ударная вязкость KSU, Дж/см²
			не менее			
ВТ1-00	Отожженные	От 10 до 12 вкл. Св. 12 » 100 вкл. » 100 » 150 вкл.	295 295 265	20	50 50 40	— 100 60
ВТ1-0	Отожженные	От 10 до 12 вкл. Св. 12 » 100 вкл. » 100 » 150 вкл.	345	15	40 40 36	— 70 50
ВТ1-2	Отожженные	От 65 до 150 вкл.	590—930	8	17	25
ОТ4-0	Отожженные	От 10 до 12 вкл. Св. 12 » 100 вкл. » 100 » 150 вкл.	440	15 15 13	35 35 30	— 50 40
ОТ4-1	Отожженные	От 10 до 12 вкл. Св. 12 » 100 вкл. » 100 » 150 вкл.	540	12 12 10	30 30 21	— 45 40

Продолжение табл. 6.29

Марка сплава	Состояние испытуемых образцов	Диаметр прутка, мм	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Относительное сужение ψ, %	Ударная вязкость KSU, Дж/см^2
			не менее			
ОТ4	Отожженные	От 10 до 12 вкл.	685	8	25	—
		Св. 12 до 100 вкл.	685		25	40
		Св. 100 до 150 вкл.	635		20	35
ВТ5	Отожженные	От 10 до 12 вкл.	735	8	20	—
		Св. 12 до 100 вкл.	735	8	20	30
		Св. 100 до 150 вкл.	685	6	15	30
ВТ5-1	Отожженные	От 10 до 12 вкл.	785	8	20	—
		Св. 12 до 100 вкл.	785	8	20	40
		Св. 100 до 150 вкл.	745	6	15	40

Таблица 6.30

Механические свойства прутков при повышенной температуре

Марка сплава	Температура испытания, °С	Временное сопротивление $\sigma_в$, МПа	Длительная прочность (напряжение), МПа
ВТ3-1	400	690	690
	450	640	570
ВТ9	500	690	590
ВТ20	350	690	670
	500	570	470

Таблица 6.31

Марки сплава и цвета окраски прутков

Марка сплава	Цвет окраски прутка	Марка сплава	Цвет окраски прутка
ВТ1-0	Белый + черный	ВТ3-1	Красный
ВТ1-0	Белый	ВТ9	Голубой
ОТ4	Зеленый	ВТ5-1	Желтый
ОТ4-0	Зеленый + белый	ВТ6	Коричневый + синий
ОТ4-1	Зеленый + черный	ВТ5	Коричневый + белый
ВТ20	Черный + желтый	ВТ22	Коричневый + зеленый
ВТ14	Черный + красный		

6.16. Листы из титана и титановых сплавов (ГОСТ 22178—76)

Листы изготавливают из титана марок ВТ1-00, ВТ1-0 и титановых сплавов марок ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4, ВТ5, ВТ6.

Листы из титана и титановых сплавов марок ВТ1-00, ВТ1-0, ОТ4-0, ОТ4-1 и ОТ4 толщиной до 1,8 мм поставляются мерной длины с интервалом 50 мм в пределах длин, предусмотренных табл. 6.32.

Листы из титана и титановых сплавов марок ВТ1-00, ВТ1-0, ОТ4-0, ОТ4-1 и ОТ4 толщиной от 2,0 до 10,5 мм поставляются мерной длины с интервалом 200 мм в пределах длин, предусмотренных табл. 6.32.

В табл 6.33 теоретическая масса 1 м^2 листа из титана марок ВТ1-0 и ВТ1-00 вычислена по номинальной толщине листа при плотности 4,5 г/см^3. Для вычисления приближенной теоретической массы листов из титана и титановых сплавов других марок следует пользоваться следующими переводными коэффициентами: 1,011 — для сплавов марок ОТ4 и ОТ4-1; 1,004 — для сплава марки ВТ14; 1,002 — для ОТ4-0; 0,989 — для ВТ6 и ВТ20; 0,982 — для ВТ5.

Пример обозначения листа из титанового сплава марки ОТ4, толщиной 5,0 мм, шириной 1000 мм и длиной 1500 мм:

Лист ОТ4-5 × 1000 ×1500

ГОСТ 22178—76.

Химический состав листов — по ГОСТ 19807—74. Листы поставляют после отжига, проглаживания и правки. Механические свойства листов при растяжении, определяемые на образцах, вырезанных из листов в направлении поперек прокатки, и состояние испытуемых образцов приведены в табл. 6.34.

Таблица 6.32

Рекомендуемые размеры листов в зависимости от марки титана или титанового сплава, мм

Марка	Толщина	Ширина	Длина
ВТ1-00, ВТ1-0, ОТ4-0, ОТ4-1	От 0,3 до 0,4	400, 500 и 600	От 1250 до 2000
	Св. 0,4 до 1,2	600	От 1250 до 2000
	От 0,8 до 1,8	600, 700 и 800	От 1500 до 2000
	От 1,8 до 5,0	600, 700, 800, 1000 и 1200	От 1500 до 5000
	От 5,0 до 7,0	600, 700, 800, 1000 и 1200	От 1500 до 4000
	От 7,0 до 10,5	600, 700, 800, 1000 и 1200	От 1500 до 3000
ОТ4	От 0,5 до 0,8	600	От 1500 до 2000
	Св. 0,8 до 1,8	600, 700, 800	От 1500 до 2000
	Св. 1,8 до 5,0	600, 700, 800, 1000 и 1200	От 1500 до 5000
	Св. 5,0 до 7,0	600, 700, 800, 1000 и 1200	От 1500 до 4000
	Св. 7,0 до 10,5	600, 700, 800, 1000 и 1200	От 1500 до 3000
ВТ5-1	От 0,8 до 1,5	600	1500 и 2000
ВТ20	Св. 1,5 до 10,5	600, 700, 800	
ВТ6	От 1,0 до 0,8	600	1500 и 2000
	Св. 1,8 до 4,5	600, 700, 800	
	Св. 4,5 до 10,5	600, 700, 800, 1000	
ВТ14	От 0,8 до 1,8	600	1500 и 2000
	Св. 1,8 до 4,5	600, 700, 800	
	Св. 4,5 до 10,5	600, 700, 800, 1000	

Таблица 6.33

Теоретическая масса 1 м² листа

Толщина листа, мм	Масса 1 м² листа, кг	Толщина листа, мм	Масса 1 м² листа, кг	Толщина листа, мм	Масса 1 м² листа, кг	Толщина листа, мм	Масса 1 м² листа, кг
0,3	1,35	1,5	6,75	4,0	18,00	7,5	33,75
0,4	1,80	1,8	8,10	4,5	20,25	8,0	36,00
0,5	2,25	2,0	9,00	5,0	22,50	8,5	38,25
0,6	2,70	2,2	9,90	5,5	24,75	9,0	40,50
0,7	3,15	2,5	11,25	6,0	27,00	9,5	42,75
0,8	3,60	3,0	13,50	6,5	29,25	10,0	45,50
1,0	4,50	3,5	15,75	7,0	31,50	10,5	47,25
1,2	5,40						

Таблица 6.34

Механические свойства листов

Марка титана и титанового сплава	Состояние испытуемых образцов	Толщина листа, мм	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %
			не менее	
ВТ1-00	В состоянии поставки	От 0,3 до 1,8	290	30
		Св. 1,8 до 6,0		25
		Св. 6,0 до 10,5		20
ВТ1-0		От 0,3 до 0,4	370	25
		Св. 0,4 до 1,8		30
		Св. 1,8 до 6,0		25
		Св. 6,0 до 10,5		20
ОТ4-0		От 0,3 до 0,4	470	25
		Св. 0,4 до 1,8		30
		Св. 1,8 до 6,0		25
		Св. 6,0 до 10,5		20
ОТ4-1		От 0,3 до 0,7	590	25
		Св. 0,7 до 1,8		20
		Св. 1,8 до 6,0		15
		Св. 6,0 до 10,5		13

Продолжение табл. 6.34

Марка титана и титанового сплава	Состояние испытуемых образцов	Толщина листа, мм	Временное сопротивление, МПа	Относительное удлинение, %
			не менее	
ОТ4	В состоянии поставки	От 0,5 до 1,0	690	20
		Св. 1,0 до 1,8		15
		Св. 1,8 до 6,0		12
		Св. 6,0 до 10,5		10
ВТ5-1		От 0,8 до 1,2	740	15
		Св. 1,2 до 1,8		12
		Св. 1,8 до 6,0		10
		Св. 6,0 до 10,5		8
ВТ6	Отожженные	От 1,0 до 6,0	830	12
		Св. 6,0 до 10,5		10
	Закаленные и искуственно состаренные	От 1,0 до 10,5	1000	8
ВТ14	Отожженные	От 0,8 до 5,0	880	8
		Св. 5,0 до 10,5	830	8
	Закаленные и искуственно состаренные	От 0,8 до 1,5	1080	5
		Св. 1,5 до 5,0	1180	6
		Св. 5,0 до 7,0	1080	4
		Св. 7,0 до 10,5	1100	4
ВТ20	Отожженные	От 0,8 до 1,8	930	12
		Св. 1,8 до 4,0		10
		Св. 4,0 до 10,5		8

6.17. Плиты из титановых сплавов (ГОСТ 23755—79Е)

Размеры плит из сплавов ВТ1-00, ВТ1-0, ОТ4-0, ОТ4-1 и ОТ4 приведены в табл. 6.35.

Размеры плит из титановых сплавов ВТ6С, ВТ5-1, ВТ14, ВТ6 приведены в табл. 6.36.

Плиты поставляют в горячекатаном состоянии с нетравленной поверхностью. По требованию потребителя плиты поставляют с травленой поверхностью.

Плиты из сплава ВТ5-1 толщиной до 20 мм и длиной до 2600 мм изготавливают с обработкой поверхности абразивом и последующим травлением, а толщиной более 20 мм и длиной более 2600 мм — нетравленными и без абразивной обработки.

Механические свойства плит, определяемые на образцах, вырезанных поперек прокатки, приведены в табл. 6.37.

Таблица 6.35

Рекомендуемые размеры плит, мм

Марка сплава	Толщина плит	Максимальная длина плит при ширине				
		600, 700, 800, 900, 1000, 1200	1300	1400	1500	1600
ВТ1-0, ВТ1-00, ОТ4-0, ОТ4-1, ОТ4	12-18	7000	7000	7000	6500	6000
	29-32	7000	6500	6000	5500	5500
	33-35	6500	6000	5500	5000	5000
	36-38	6000	5500	5000	4500	4500
	39-40	5500	5000	4500	4500	4000
	41-42	5500	5000	4500	4000	4000
	43-45	5000	4500	4000	4000	3500
	46-48	4500	4000	4000	3500	3500
	49-50	4500	4000	3500	3500	3000
	51-52	4500	4000	3500	3000	3000
	53-55	4000	3500	3000	3000	2500
	56-58	3500	3500	3000	2500	2500
	59-60	3500	3000	3000	2500	2500

Таблица 6.36

Рекомендуемые размеры плит, мм

Марка сплава	Толщина плит	Максимальная длина плит при ширине				
		600	700	800	900	1000
ВТ5-1, ВТ14, ВТ6	12-18	5500	5500	5500	5500	5500
	19-20	5500	5500	5500	5500	4500
	21-25	5500	5500	5000	4500	3800
	26-30	5000	4500	4000	3500	3000
	31-35	4000	3500	3000	3000	2500
	36-40	4000	3000	3000	2500	2200
	41-45	3000	3000	2500	2000	1900
	46-50	3000	2500	2500	2000	1500
	51-55	2800	2500	2000	2000	1300
	56-60	2700	2200	2000	1500	1200

Примечания:

1. Плиты из сплава ВТ5-1 поставляют шириной 600, 700 и 800 мм, максимальной длиной до 3000 мм и толщиной до 35 мм.
2. Плиты поставляют немерной длины от 1000 мм до значений, установленных в таблице. Мерную длину плит устанавливают в пределах немерной с интервалом 300 мм.

Таблица 6.37

Механические свойства плит, определяемые на образцах, вырезанных поперек прокатки

Марка сплава	Состояние испытуемых образцов	Толщина, мм	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Поперечное сужение, %
				не менее	
ВТ1-00	В состоянии поставки	12—60	290—440	14	30
ВТ-10		12—35	390—540	13	27
		36—70			
ОТ4-0		12-20	490—640	12	24
		21—60		11	
ОТ4-1		12—20	590—740	10	21
		21—60		9	
ОТ4		12—20	670—880	8	20
		21—60		7	
ВТ5-1		12—20	740—930	6	16
		21—60		5	
ВТ14	Отожженные	12—60	830—1300	7	25
	Закаленные и состаренные		Не менее 1080	4	10
ВТ6*	Отожженные	12—60	880-1080	6	16

* Ударная вязкость не менее 30 кДж/м^2.

6.18. Прутки, листы, полосы из никеля и его сплавов

В табл. 6.38 и 6.39 приведены размеры тянутых и горячекатаных прутков.

Примеры условных обозначений.

Пруток тянутый, круглый, нормальной точности изготовления, мягкий, диаметром 10 мм, длиной 3 м, из никеля марки НП2:

Пруток ДКРНМ 10 × 3 НП2 ГОСТ 13083—77.

То же, тянутый, круглый, повышенной точности изготовления, твердый, диаметром 16 мм, длиной, кратной 1м, из никеля марки НП3:

Пруток ДКРПТ 16 КД1 НП3 ГОСТ 13083—77.

То же, катаный, круглый, диаметром 60 мм, немерной длины, из кремнистого никеля марки НК 0,2:

Пруток ГКРХХ 60НД НК0,2 ГОСТ 13083—77.

Толщина горячекатаных листов приведена в табл. 6.40. Длина листов должна быть в пределах 500—2000 мм.

Таблица 6.38

Рекомендуемые размеры тянутых прутков

Номинальный диаметр	Предельное отклонение по диаметру, мм		
	высокой точности	повышенной точности	нормальной точности
5,0 5,5 6,0	—0,05	—0,08	—0,16
6,5 7,0 7,5	—0,06	—0,10	—0,20
8,0 8,5 9,0 9,5 10,0	—0,06	—0,10	—0,20
11,0 12,0 13,0 14,0 15,0 16,0 17,0 18,0 19,0	—	—0,12	—0,24
20,0 21,0 22,0 23,0 24,0 25,0 26,0 27,0 28,0 29,0 30,0	—	—0,14	—0,28
32,0 34,0 36,0 38,0 40,0	—	—0,17	—0,34

Таблица 6.39

Рекомендуемые размеры горячекатаных прутков

Номинальный диаметр	Предельное отклонение по диаметру прутков
42 45 48 50	—1,6
55 60 70 80	—1,9
90	—2,2

Примечание.

По длине прутки должны изготавливаться немерной длины:

тянутые — от 1,5 до 4 м;

катаные диаметром до 60 мм — от 1,0 до 3,0 м,

диаметром св. 60 мм — от 0,7 до 1,4 м.

Таблица 6.40

Рекомендуемая толщина горячекатаных листов

Толщина листа	Предельные отклонения по толщине при ширине листа, мм		
	500	600 и 700	800
5,0	—0,40	—	—
6,0		—0,45	
7,0		—0,50	
8,0			
9,0	—0,50	—0,60	
10,0			
11,0	—0,80	—0,90	—1,0
12,0			
13,0			
14,0			
15,0	—0,90	—1,0	—1,2
16,0			
17,0			
18,0	—1,2	—1,3	—1,5
19,0			
20,0			

Толщина горячекатаных и холоднокатаных полос приведены в табл. 6.41 и 6.42, а их ширина приведена в табл. 6.43 и 6.44.

Полосы выпускаются длиной 400—2000 мм.

Примеры условных обозначений.

Лист горячекатаный толщиной 5,0 мм, шириной 500 мм, длиной 1000 мм, из никеля марки НП2:

Лист ГПРХХ 5,0×500×1000 НП2 ГОСТ 6235—91.

Полоса горячекатаная толщиной 9,0 мм, шириной 150 мм, длиной 1500 мм, из никеля марки НП3:

Полоса ГПРХХ 9,0×150×1500 НП3 ГОСТ 6235—91.

Полоса холоднокатаная толщиной 8,0 мм, шириной 100 мм, длиной 1000 мм из никеля марки НП2:

Полоса ДНРХХ 8,0×100×1000 НП2 ГОСТ 6235—91.

Таблица 6.41

Рекомендуемая толщина горячекатаных полос, мм

Толщина полосы	Предельные отклонения по толщине	Толщина полосы	Предельные отклонения по толщине
5,0	—0,35	13,0	—0,80
6,0	—0,35	14,0	—0,80
7,0	—0,40	15,0	—0,90
8,0	—0,40	16,0	—0,90
9,0	—0,50	17,0	—0,90
10,0	—0,50	18,0	—1,20
11,0	—0,60	19,0	—1,20
12,0	—0,70	20,0	—1,20

Таблица 6.42

Рекомендуемая толщина холоднокатаных полос, мм

Толщина полосы	Предельные отклонения по толщине	Толщина полосы	Предельные отклонения по толщине
1,0	—0,08	4,5	—0,20
1,2	—0,09	5,0	—0,20
1,5	—0,10	5,5	—0,25
1,8	—0,11	6,0	—0,25
2,0	—0,11	6,5	—0,25
2,5	—0,12	7,0	—0,25
3,0	—0,12	8,0	—0,25
3,5	—0,16	9,0	—0,30
4,0	—0,18	10,0	—0,30

Таблица 6.43

Рекомендуемая ширина горячекатаных полос, мм

Ширина полосы	Предельные отклонения по ширине при толщине полос		
	5,0	от 6,0 до 10,0	от 11,0 до 20,0
100, 150, 300	—4	—10	—
100, 150	—	—	—15
300	—	—	—20

Таблица 6.44

Рекомендуемая ширина холоднокатаных полос, мм

Ширина полосы	Предельные отклонения по ширине при толщине полос			
	от 1,0 до 1,5	от 1,5 до 3,0	от 3,5 до 5,5	от 6,0 до 10,0
40, 42, 45, 48, 50 52, 55, 60, 63, 65 70, 75, 80, 85, 90 95, 100, 105, 110, 120, 125, 130, 140, 150, 160,	—1	—2	—	—
175, 180, 190, 200 210, 220, 240, 250 260, 280, 300	—2	—3	—4	—10
400	—3	—3	—	—

Толщина лент из мельхиора, нейзильбера и мельхиора приведена в табл. 6.45, а ширина — в табл. 6.46.

Длина лент должна быть не менее 5м. Допускается наличие коротких лент длиной не менее 1,5 м в количестве не более 10% массы партии.

Пример условного обозначения ленты нормальной точности изготовления по толщине и повышенной точности по ширине, мягкой, толщиной 0,60 мм, шириной 200 мм, из мельхиора марки МН19:

Лента ДПРКМ 0,60×200 НД МН19 ГОСТ 5187—70.

Таблица 6.45

Рекомендуемая толщина лент, мм

Толщина ленты	Предельные отклонения по толщине при ширине лент от 10 до 300 мм	
	Нормальная точность (Н)	Повышенная точность (П)
0,10 0,12 0,13	—0,02	—0,015
0,15 0,18 0,20 0,22 0,25 0,30	—0,03	—0,02
0,35 0,40 0,45	—0,04	—0,03
0,50 0,55	—0,05	—0,04
0,60 0,65 0,70 0,75 0,80 0,85	—0,06	—0,05
0,90 1,00 1,10 1,20	—0,07	—0,06

Продолжение табл. 6.45

Толщина ленты	Предельные отклонения по толщине при ширине лент от 10 до 300 мм	
	Нормальная точность (Н)	Повышенная точность (П)
1,30 1,40	—0,08	—0,07
1,50 1,60	—0,09	—0,08
1,70	—0,10	—0,08
1,80 2,00	—0,11	—0,08

Таблица 6.46

Рекомендуемая ширина лент, мм

Ширина ленты	Предельные отклонения по ширине при толщине лент			
	до 1,00 включительно		свыше 1,00	
	нормальной точности	повышенной точности	нормальной точности	повышенной точности
10, 12, 13, 16, 18, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 33, 34, 35, 36, 38, (39), 40, 42, (44), (45), 46, 47, 50, 51, (54), 55, (56), (57), 58, 60, (61), 63, 64, 65, 70, 80, 95, 100, 105, 120, 125, 130, 140, (156),	—0,5	—0,3	—0,8	—0,5
180, (196), 200, 220, (230), 250, 280, (285), 300	—0,8	—0,3	—1,0	—0,5

Механические свойства полуфабрикатов из никеля, мельхиора, нейзильбера и монеля приведены в табл. 6.47—6.50.

Никель и его сплавы являются наиболее коррозионностойкими конструкционными материалами по сравнению с другими техническими металлами. В табл. 6.51 — 6.54 приведены сведения о скорости коррозии никеля и его сплавов в различных средах.

Таблица 6.47

Механические свойства полуфабрикатов из никеля

Марка	Изделие	Предел прочности при растяжении $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Глубина выдавливания по Эриксену, мм, не менее, при радиусе пуансона, мм	
		не менее		10	4
НП0, НП1, НП2, НП3 и НП4	Лента:				
	твердая	550	2	—	—
	полутвердая толщиной 0,10—0,25 мм:	—	—	4,5—7,0	—
	мягкая толщиной, мм:				
	0,05—0,09	—	—	—	2,5
	0,10—0,15	—	—	7,0	—
	0,20—0,25	—	—	7,5	—
	0,30—0,50	400	35	8	—
	0,60—1,2	400	35	8,5	—
НП2, НП3 и НП4	Проволока мягкая диаметром, мм:				
	0,10—0,20	430	18	—	—
	0,21—0,48	430	20	—	—
	0,50—1,00	400	25	—	—
	1,05—12,0	380	26	—	—
	Проволока твердая диаметром, мм:				
	0,03—0,09	900—1350	—	—	—
	0,10—0,50	800—1100	—	—	—
	0,53—1,00	750—1000	—	—	—
	1,05—5,0	700—900	—	—	—
	5,3—12,0	600—850	—	—	—

Продолжение табл. 6.47

Марка	Изделие	Предел прочности при растяжении $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %	Глубина выдавливания по Эриксену, мм, не менее, при радиусе пуансона, мм	
		не менее		10	4
НП1	Проволока мягкая диаметром 0,2—12,0 мм	300	20	—	—
	То же, твердая диаметром, мм:				
	0,03—0,18	800—1400	—	—	—
	0,20—0,95	800—1300	—	—	—
	1,0—2,80	700—1100	—	—	—
	3,0—12,0	500—900	—	—	—
НП2 и НП3	Листы горячекатаные толщиной 8 мм	400	15	—	—
НП2, НП3 и	Листы и полосы горячекатаные	400	15	—	—
	Полосы холоднокатаные:				
	мягкие	380	35	8,5	—
	твердые	550	2	—	—
НП2 и НП3	Прутки тянутые диаметром 5—40 мм:				
	мягкие	380	26	—	—
	твердые	550	3	—	—
	Прутки катаные диаметром 42—60 мм	450	8	—	—

Таблица 6.48

Механические свойства важнейших полуфабрикатов из мельхиора МНЖМц30-1-1

Изделие	Состояние материала	Предел прочности при растяжении $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %
		не менее	
Трубы	Мягкие	380	23
Трубы	Полутвердые	500	10
Полосы	Мягкие	300	30
Полосы	Твердые	400	3

Таблица 6.49

Механические свойства важнейших полуфабрикатов из нейзильбера МНЦ15-20

Изделие	Состояние материала	Предел прочности при растяжении $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %
		не менее	
Полосы	Мягкие	350	35
	Твердые	550	1
	Особотвердые	650	1
Ленты	Мягкие	350	30
	Полутвердые	450—550	4
	Твердые	550—700	2
	Особотвердые	700	—
Прутки диаметром, мм:	Тянутые и катаные		
6—50	мягкие	300	30
Прутки диаметром, мм:			
6—22		450	5
23—30		400	7
32—50		350	8
Проволока диаметром, мм:	Мягкая		
0,1—0,20		350	15
0,25—0,5		350	20
0,6—1,0		350	25
1,1—5,0		350	30

Продолжение табл. 6.49

Изделие	Состояние материала	Предел прочности при растяжении $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ, %
		не менее	
Проволока диаметром, мм:	Полутвердая		
0,6—1,0		450	3
1,1—5,0		450	3
Проволока диаметром, мм:	Твердая		
0,1—0,5		700—1100	—
0,6—1,0		700—1100	—
1,1—5,0		550	1,5
Проволока	Твердая плющеная	650	1

Таблица 6.50

Механические свойства важнейших полуфабрикатов из монеля НМЖМц28-2,5-1,5

Изделие	Состояние материала	Предел прочности при растяжении $\sigma_в$, МПа	Относительное удлинение δ,%
		не менее	
Полосы и ленты	Мягкие	450	25
	Полутвердые	580	6,5
Листы и ленты толщиной 0,3 мм	Мягкие	450	25
Прутки тянутые диаметром 5—40 мм	Мягкие	450	25
	Твердые	600	10
Прутки катаные диаметром 35—70	—	500	18
Проволока диаметром 0,3—3,2 мм	Мягкая	500	20
	Твердая	700	—
Проволока диаметром 3,5—6,0 мм	Мягкая	450	25
	Твердая	650	—
Проволока диаметром 0,12—0,35 мм	Мягкая	500—900	20

Таблица 6.51

Скорость коррозии никеля в различных средах

Среда	Концентрация, %	Температура, °С	Скорость коррозии, мм/год
Серная кислота	5	30	0,06
	5	60	0,24
	5	77	0,52
	5	102	0,84
	10	20	0,043
	10	77	0,3
	10	103	3
	20	20	0,1
	20	105	2,82
	95	20	1,8
Соляная кислота	10	30	0,3
	20	30	1
	30	30	2
	0,5	100	7,72
	1	100	17,3
	5	100	146
Фосфорная кислота чистая	Разбавленная	20	0,3
То же	85	95	14
Фосфорная кислота неочищенная	Разбавленная	80	20
Сернистая кислота	1% SO_2	20	1,4
Сероводородная вода	Насыщенный	25	0,048

Продолжение табл. 6.51

Среда	Концентрация, %	Температура, °С	Скорость коррозии, мм/год
Растворы нейтральных и щелочных солей, серной, соляной, азотной, уксусной и угольной кислот	—	При нагревании	0,013
Хлористый натрий (нейтральный раствор)	Насыщенный	95	0,053
Хлористый алюминий	28—40	102	0,21
Хлористый цинк	8—20	38	0,12
Сернокислый алюминий[1]	25	35	0,015
То же	57	115	1,5
Сернокислый цинк	Насыщенный	105	0,64
Сернокислый марганец	Насыщенный	113	0,074
Хлористый марганец (кислый раствор)	11,5	101	0,22
Четыреххлористый углерод с водным слоем	—	25	0,0005
Двухххлористый этилен с водным слоем	—	25	0,0003
Трехххлористый этилен	—	25	0,01
Хлороформ	—	25	0,0015
Уксусная кислота	6	30	0,1
То же	50	20	0,25
»	5	Кипения	0,28
»	50	Кипения	0,48
»	99,9	Кипения	0,364
Жирные кислоты	—	227	0,1
Карболовая кислота	—	53	0,0018
Фруктовые соки:			
помидорный	Натуральный	20	0,3
помидорный	»	90	0,51
лимонный	»	20	0,013
лимонный	»	100	0,36
виноградный	»	20	0,16
виноградный	»	100	0,17

Примечание. При перемешивании и насыщении растворов воздухом скорость коррозии резко возрастает.

Таблица 6.52

Скорость коррозии мельхиора в различных средах

Среда	Скорость коррозии, мм/год	
	МНЖМц 30-1-1	МН19
Атмосфера промышленных районов:	0,002	0,0022
морская	0,0011	0,001
сельская	0,00035	0,00035
Пресная вода	0,03	0,03
Морская вода	0,13—0,03	—
Паровой конденсат	0,08	0,1
То же, с 30% CO_2	0,3	—
Водяной пар (сухой и влажный)	0,0025	—
Азотная кислота (50%-ная), мм/сутки	6,4	—
Соляная кислота при 25 °С:		
2%-ный раствор	2,3—7,6	—
1%-ный раствор	—	0,3
10%-ный раствор	—	0,8
Серная кислота (10%-ная)	0,08	0,1
Сернистая кислота (насыщенный раствор)	2,5	2,6

Продолжение табл. 6.52

Среда	Скорость коррозии, мм/год	
	МНЖМц 30-1-1	МН19
Плавиковая кислота:		
38%-ная при 110 °С	0,9	0,9
98%-ная при 38 °С	0,05	0,05
Фтористый водород (безводный)	0,008	0,13
Фосфорная кислота (8%-ная), при 20 °С	0,5	0,58
Уксусная кислота (10%-ная), при 20 °С	0,025	0,028
Лимонная кислота (5%-ная)	—	0,02
Молочная кислота (5%-ная)	—	0,023
Винная кислота (5%-ная)	—	0,019
Жирные кислоты (60%-ные) при 100 °С	0,06	0,066
Водный раствор аммиака (7%-ный) при 30 °С	0,25	0,5
Едкий натр (10—50%-ный) при 100 °С	0,005	0,13

Таблица 6.53

Скорость коррозии монеля в минеральных кислотах

Наименование среды	Концентрация, %	Температура, °С	Скорость коррозии, мм/год
Серная кислота[1]	5	30	1,246
	5	101	0,066
	10	102	0,061
	20	104	0,19
	50	123	13,16
	75	182	43
	93	295	88,3
Соляная кислота	10	30	2,2
	20	30	3
	30	30	8
	0,5	Кипения	0,74
	1,0	Кипения	1,07
	5,0	Кипения	6,2
Фосфорная кислота[2]	10	60	0,13
	25	95	0,1
	85	95	0,1
	90	105	0,08
Плавиковая кислота	6	76	0,02
	25	30	0,005
	25	80	0,061
	50	80	0,015
	100	50	0,013
Сернистая кислота	1	20	1,57

[2] Насыщенная воздухом.
[1] В исочищенной кислоте скорость коррозии резко повышается до 2 мм/год.

Таблица 6.54

Скорость коррозии монеля в органических кислотах и веществах

Среда	Концентрация, %	Температура, °С	Скорость коррозии, мм/год	Примечание
Уксусная кислота	50	20	0,3—0,6	Максимальная коррозия
То же	Ледяная	110	0,33	То же
»	5	Кипения	0,033	Без насыщения воздухом
»	50	»	0,053	То же
»	98	»	0,048	»

Продолжение табл. 6.54

Среда	Концентрация, %	Температура, °С	Скорость коррозии, мм/год	Примечание
То же	99,9	Кипения	0,157	То же
Винная кислота	30	20	0,03	»
Щавелевая кислота	30	20	0,015	—
Лимонная кислота	30	20	0,038	—
Муравьиная кислота	30	20	0,086	—
Томатный сок	Натуральный	20	0,0008	—
То же	То же	20	0,073	При насыщении воздухом
»	»	90	0,28	То же
Лимонный сок	»	20—100	0,013—0,018	
То же	»	20	0,25	При насыщении воздухом
Виноградный сок	Натуральный	20—100	0,05—0,008	Без насыщения воздухом
То же	То же	20	0,12	При насыщении воздухом
Жирные кислоты	—	260	0,1	Олеиновая и стеариновая с водным слоем
Четыреххлористый углерод	—	30	0,003	С водным слоем
Хлороформ	—	30	0,0005	То же
Двухххлористый этилен	—	30	0,0005	»
Трехххлористый	—	30	0,018	»

Сортамент круглых труб из цветных металлов и сплавов приведен в табл. 6.55.

Таблица 6.55

Рекомендуемый сортамент круглых труб из цветных металлов и сплавов

Трубы	Наружный диаметр		Толщина стенки		Длина труб, м	ГОСТ
	Диапазон размеров, мм	Число размеров	Диапазон размеров, мм	Число размеров		
Бронзовые прессованные	42—300	42	5,0—60,0	20	0,5—4,0	1208—90
Тонкостенные из никеля и никелевых сплавов	0,35—4,5	90	0,05—0,3	6	0,5 и более	13548—77
Латунные для теплообменных аппаратов	10—50	28	0,8—3,0	6	1,5—12,0	21646—76
Мельхиоровые для теплообменных аппаратов	10—50	27	0,8—4,0	8	0,5—6,0	10092—75
Медные	3—360	126	0,5—10,0	17	1,5—6,0	617—90
Из медно-никелевого сплава МНЖ5-1	6—260	61	1,0—10,0	14	1,0—6,0	17217—79
Из бескислородной меди	75—300	21	22,5—72,5	11	0,5—6,0	15040—77
Тонкостенные из никеля и никелевых сплавов	1,5—28	48	0,15—0,7	11	1,0—3,0	11383—75
Прессованные из магниевых сплавов	16—50	20	1,5—3,0	4	2,0—4,0	19441—74
Бесшовные горячекатаные из сплавов на основе титана	83—480	27	6,0—65,0	60	1,5—6,0	21945—76
Свинцовые	15—170	100	2,5—10,0	10	Не менее 1,8	167—69
Манометрические из бронзы БрОФ4-0,25 и латуни Л63	8—22	3	0,2—1,6	19	1,0—3,0	2622—75
Радиаторные	4—11	8	1,15; 0,2	2	—	529—78
Латунные	3—195	—	0,5—4,2	—	1,0—6,0	494—90

ГЛАВА 7

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

7.1. Неметаллические материалы, преимущественно применяемые в технологическом аппаратостроении

Химически стойкие неметаллические материалы нашли широкое применение как в качестве самостоятельных конструкционных материалов для изготовления технологической аппаратуры, работающей без давления или под небольшим избыточным давлением, так и в качестве футеровочных материалов для защиты аппаратуры от разрушающего действия агрессивных сред.

В ряде технологических производств применение неметаллических химически стойких материалов позволяет производить замену остродефицитных и дорогостоящих высоколегированных сталей, цветных металлов и сплавов. В других технологических производствах разрушающее действие агрессивной среды на металлы и сплавы столь велико, что применение неметаллических химически стойких конструкционных материалов представляет единственную возможность для осуществления технологического процесса производства химических продуктов.

В табл. 7.1 приводится перечень неметаллических химически стойких материалов, рекомендуемых для технологической аппаратуры и трубопроводов технологических производств.

Таблица 7.1

Рекомендуемые неметаллические материалы для химической аппаратуры и трубопроводов химических производств

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Рабочие условия		Примерное назначение
		$t_{ст}$, °С	p, МПа, не более	
Природные кислотоупоры				
Андезит	*Горные породы, состоящие из* нескольких минералов. Обладают исключительно высокой химической стойкостью против минеральных кислот любых концентраций при любых температурах, включая и высокие. Материал хорошо сопротивляется сжимающим нагрузкам, но неудовлетворительно работает на растяжение и на изгиб	≤ 600		Абсорбционные башни в производстве соляной и азотной кислот; аппаратура для получения купоросного масла и корпуса электрофильтров в установках для концентрирования серной кислоты.
Бештаунит		≤ 800		Футеровочный материал для абсорбционных, сушильных и поглотительных башен при нитрозном и контактном способах получения серной кислоты и для аппаратов, подверженных воздействию агрессивных кислот и газов при высоких температурах
Гранит украинский и карельский	Горная порода, состоящая из нескольких минералов. Материал отличается меньшей по сравнению с андезитом и бештаунитом химической стойкостью против минеральных кислот	≤ 200	0,07	Поглотительные башни в производстве соляной и азотной кислот; аппаратура для производства йода, брома и других агрессивных химических продуктов
Кварцит карельский	Горная порода, состоящая из нескольких минералов. Кислотоупорность материала высокая	≤ 1000		Насадка абсорбционных башен в производстве соляной, азотной и других минеральных кислот
Асбест кислотоупорный (антофиллитовый) и щелочестойкий (*хризотиловый*)	Минерал, имеющий волокнистую структуру, отличается высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах и высокой температуростойкостью. Материал негорюч, обладает низким коэффициентом теплопроводности	≤ 600		Сальниковая набивка и прокладочный материал для фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов химических производств
		≤ 400		Тепловая изоляция химических аппаратов и трубопроводов

Продолжение табл. 7.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Рабочие условия		Примерное назначение
		$t_{сm}$, °С	p, МПа, не более	
Каменное литье				
Диабаз и базальт плавленые	Материал отличается высокой прочностью на истирание и невысокой термостойкостью, вследствие чего футеровочные изделия из него (кирпич, плитки) применяются при ограниченном перепаде температур: в жидкостях до 100°С, в газах до 200°С. Материал устойчив при действии кислот (за исключением плавиковой) и щелочей, растворов солей любых концентраций, полностью непроницаем для агрессивных жидкостей и газовых сред	≤ 200	—	Футеровочный материал для химических аппаратов, работающих в условиях воздействия минеральных кислот средних и высоких концентраций под атмосферным или повышенным давлением (автоклавы, монжусы, реакторы, кристаллизаторы, сатураторы, отстойники, кислотохранилища, травильные ванны и др.)
Керамические кислотоупорные материалы и бетон				
Керамика дунитовая	Прочный теплостойкий материал, не поддающийся истиранию и не пропускающий жидкостей. Материал устойчив против воздействия минеральных кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) и органических кислот любой концентрации и щелочных сред концентрации до 2%	≤ 180 (для кислых сред); ≤ 30 (для щелочных сред)	0,07	Реакторы, ванны, сосуды, тарелки колпачковые типа ТТК (для металлических колонных аппаратов) диаметром 300—1800 мм и другая химическая аппаратура, предназначенная для работы с кислыми агрессивными средами любой концентрации с разбавленными растворами щелочей
Керамика кислотоупорная	Материал устойчив против воздействия минеральных кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) и органических кислот любой концентрации	≤ 350 (для кислых сред); ≤ 30 (для щелочных сред)	—	Насадка для колонных аппаратов (кольца Рашига); футеровочные штучные изделия (кирпич, плитка) для антикоррозионной защиты емкостной химической аппаратуры из углеродистой стали и других конструкционных материалов от воздействия агрессивных сред
Керамика шамотно-бентонитовая пористая № 21; 32; 43; 64	Материал устойчив против воздействия минеральных кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) и органических кислот любой концентрации и щелочных сред концентрации до 10%			Пористые элементы (цилиндры и диски) для фильтрующих аппаратов, работающих в кислых и щелочных средах
Фарфор твердый кислотоупорный	Прочный теплостойкий материал, не поддающийся истиранию и не пропускающий жидкостей. Материал устойчив против воздействия минеральных кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) и органических кислот любой концентрации и щелочных сред концентрации до 10%	≤ 120 (для кислых сред); ≤ 30 (для щелочных сред)	0,07	Реакторы, нутч-фильтры, ванны, сосуды и другие аппараты, предназначенные для работы с кислыми агрессивными средами любой концентрации и с разбавленными растворами щелочей
			0,4	Трубы и фасонные части к ним для трубопроводов химических производств
Фарфор кислотоупорный	Материал устойчив против воздействия минеральных кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) и органических кислот любой концентрации	≤ 120 (для кислых сред); ≤ 30 (для щелочных сред)	—	Насадка для колонных аппаратов (кольца Рашига); футеровочные штучные изделия (кирпич, плитка) для антикоррозионной защиты емкостной химической аппаратуры из углеродистой стали и других конструкционных материалов от воздействия агрессивных сред

Продолжение табл. 7.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Рабочие условия		Примерное назначение
		$t_{ст}$, °С	p, МПа, не более	
Бетон кислотоупорный	Смесь кислотоупорных материалов различного гранулометрического состава (андезит, бештаунит, гранит, кварц, щебень, песок, пылевидный наполнитель) с добавлением технического кремнефтористого натрия. Смесь растворяют в 35—38%-ном водном растворе жидкого стекла. Она застывает в прочный бетон, устойчивый во многих минеральных кислотах	—	—	Кислотохранилища, башни для сушки хлористого водорода, кристаллизаторы и другие химические аппараты в производстве минеральных кислот. Футеровочный материал для аппаратов, изготовляемых из углеродистой стали, железобетона и кирпича
Искусственные силикатные материалы				
Стекло силикатное (*известково-натриевое*)	Материал обладает повышенной хрупкостью и пониженной теплостойкостью, плохо противостоит резким изменениям температуры (растрескивается), но устойчив во многих агрессивных средах (*кислотах* и др.)	≤ 50	—	Бутыли для хранения кислот, водомерные стекла, фонари и смотровые окна химических аппаратов и трубопроводов; трубопроводы химических производств. Футеровочный коррозионностойкий материал для емкостной аппаратуры, изготавливаемой из углеродистой стали и других конструкционных материалов
Стекло боросиликатное (термостойкое)	Материал отличается высокой термической устойчивостью и высокой химической стойкостью в органических и минеральных кислотах (за исключением фосфорной и плавиковой)	≤ 400		
Стекло кварцевое	Материал отличается высокой термической устойчивостью и огнеупорностью, что позволяет применять его для аппаратуры, работающей в условиях высоких температур с резкими их перепадами. Стекло устойчиво в органических и минеральных кислотах любых концентраций (за исключением *плавиковой и фосфорной*), но плохо сопротивляется растворам солей и щелочам	≤ 1000	1,0	Емкостная, колонная и теплообменная сварная и литая химическая аппаратура для производства *многих* минеральных и органических кислот и различных реактивов. Аппаратура для органического синтеза химических продуктов, органических красителей, лаков, эфиров и пр.; трубопроводы химических производств. Заменитель *платиновой* аппаратуры
Эмаль кислотоупорная (покрывная) класса I марок Э-1; 17; 141; 143 для покрытия стальной аппаратуры и марки 5а и класса II для покрытия чугунной аппаратуры	Эмали устойчивы при воздействии большинства неорганических и органических кислот и их солей (за исключением технической фосфорной кислоты, содержащей следы фтора, плавиковой и кремнефтористоводородной кислоты), крепких растворов органических кислот и их солей, газов кислотного характера (хлористый водород, сернистый и углекислый газы). Эмали неустойчивы к воздействию расплавов *щелочей* и щелочных растворов при высоких температурах	≤ 200	0,6	Коррозионностойкий материал для покрытия сварной стальной и литой чугунной технологической аппаратуры, предназначенной для работы со многими *средами средней* и повышенной агрессивности в производствах химически чистых кислот, солей, красителей, фармацевтических и парфюмерных препаратов, пищевых продуктов, взрывчатых и других веществ
Эмаль химически стойкая класса II (группы А и Б)	Эмаль группы А устойчива при действии слабых растворов органических кислот при температуре кипения, эмаль группы Б — при комнатной температуре			

Продолжение табл. 7.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Рабочие условия		Примерное назначение
		$t_{ст}$, °С	p, МПа, не более	
Пластмассы термореактивные				
Фаолит А листы сырые по ТУ НКХП 322—45; листы отвержденные по ТУ ГХП 35—44; трубы по ТУ МХП 321— 51 (сортамент по МН 1808—61)	Кислотоупорная пластическая масса, получаемая на основе жидкой фенолоформальдегидной смолы и кислотостойкого наполнителя — асбеста (фаолит марки А), графита (фаолит марки Т) и кварцевого песка (фаолит марки П). Изделия из сырого фаолита можно формовать при комнатной температуре без применения высокого давления с последующим отверждением (бакелизацией), что позволяет изготовлять из него крупногабаритную аппаратуру, не пользуясь прессами. Фаолит производится как в виде готовых изделий (из отвержденного материала), так и в виде полуфабрикатов — сырых листов, прессованной массы и замазки. Фаолит поддается всем видам механической обработки, хорошо прессуется, склеивается между собой при помощи фаолитовой замазки или замазки арзамит	От 0 до 140	0,06	Абсорбционные и ректификационные колонны, скрубберы, сушильные башни, насадочные колонны, сборники, емкости, кристаллизаторы и другие химические аппараты для сред средней и повышенной агрессивности. Футеровочный материал для емкостной аппаратуры из углеродистой стали
Фаолит Т листы сырые по ТУ НКХП 322—45; листы отвержденные по ТУ ГХП 35—44; трубы и фасонные части к ним по ТУ МХП 321— 51 (сортамент по МН 1808—61)				Теплообменная аппаратура (оросительные холодильники) для тех же сред; трубопроводы химических производств
Фаолит П прессовочная масса				Запорная арматура
Фаолитовая замазка марки А по МРТУ 6-05-1003—66				Применяется для соединения листового фаолита и труб при изготовлении из них изделий
Текстолит конструкционный ПТ, ПТК (ГОСТ 5-78Е)	Слоистый материал, получаемый путем прессования уложенной слоями хлопчатобумажной ткани, пропитанной резольной фенолокрезоло или ксиленолоформальдегидной смолой или смесью этих смол. Материал отличается высокой прочностью на сжатие, хорошо обрабатывается резанием, обладает высокой устойчивостью во многих агрессивных средах, имеет низкий коэффициент теплопроводности	От —196 до +125	—	Детали внутренних устройств химических аппаратов (шестерни, ролики для тросов, муфты и др.) для сред средней и повышенной агрессивности; теплоизолирующие подкладки под опоры аппаратов и проставки в низкотемпературной арматуре
Текстолит графитированный; листы и плиты	Материал хорошо работает на сжатие, хорошо обрабатывается резанием, обладает хорошими антифрикционными свойствами и высокой устойчивостью во многих агрессивных средах			Вкладыши подшипников скольжения для узлов перемешивающих устройств и другие детали аппаратов для агрессивных сред
Асботекстолит: плиты толщиной 6—150 мм (МРТУ 6-05-898—63)	Материал обладает низким коэффициентом теплопроводности	От —196 до +140		Теплоизоляционный материал, используемый для подкладок под опоры аппаратов, работающих при высоких и низких температурах стенки
Асбовинил	Композиция из кислотостойкого асбеста и лака этиноль. Материал обладает хорошей адгезией к металлу, бетону, дереву, керамике, возможностью нанесения футеровочного слоя шпателем или кистью, высокими пределами рабочих температур, при которых со-	От —50 до +110		Антикоррозионная футеровка химических аппаратов емкостного типа для агрессивных сред. Толщина футеровочного слоя асбовинила обычно достигает 10—12 мм. Асбовинил непригоден для применения его в качестве самостоятельного конструкционного материала

Продолжение табл. 7.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Условия применения		Примерное назначение
		$t_{ст}$, °С	$p_к$, МПа, не более	
	храняются антикоррозионные свойства материала, доступностью и дешевизной исходного сырья. Асбовинил устойчив к резким колебаниям температуры, обладает низким коэффициентом теплопроводности и высокой устойчивостью к воздействию большинства кислот, щелочей и других агрессивных сред. Материал токсичен и огнеопасен			
Пластмассы термопластичные				
Поливинилхлорид суспензионный (винипласт) (ГОСТ 14332—78)	Материал сохраняет достаточную прочность до температуры 60°С, не подвержен быстрому старению, снижающему механические свойства и химическую стойкость, но очень чувствителен к надрезу, резко снижающему ударную вязкость (иногда до 100% от исходной величины). Винипласт устойчив к воздействию почти всех кислот, щелочей и растворов солей любых концентраций. Исключение составляют сильные окислители (азотная кислота, олеум). Винипласт нерастворим во всех органических растворителях за исключением ароматических и хлорированных углеводородов (бензол, толуол, дихлорэтан, хлорбензол). В большинстве случаев химическая стойкость винипласта, наивысшая для средних концентраций, низка для высоких и низких концентраций. Материал легко обрабатывается резанием, легко деформируется в горячем состоянии, хорошо сваривается и склеивается	От 0 до +40	0,6	Обечайки, днища, крышки, детали внутренних устройств сварных и клееных технологических аппаратов для сред средней и повышенной агрессивности; футеровочный материал для антикорро-зионной защиты технологической аппаратуры. Фланцы аппаратов, воздуховодов и другие детали аппаратов и трубопроводов технологических производств
Полиэтилен высокого давления (ПЭВД) (ГОСТ 16337—77)	Полиэтилен высокого и низкого давления обнаруживает склонность к старению под воздействием кислорода воздуха и солнечной радиации, повышающих жесткость и хрупкость материала. Применение универсальных стабилизаторов надежно защищает материал от старения обоих видов. С повышением температуры резко снижаются прочностные свойства материала. Полиэтилен обладает хорошей адгезией к металлам и многим неметаллическим материалам, что позволяет применять его в качестве антикорро-	От —60 до +50	1,0	Трубопроводы технологических производств для транспортирования воды, инертных газов, негорючих и нетоксичных паров и жидкостей, продуктов с токсическими свойствами, пожаро- и взрывоопасных жидкостей и газов, к которым материал химически стоек и для которых непроницаем, а также для негорючих и нетоксичных паров и жидкостей, к которым материал условно стоек

Продолжение табл. 7.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Рабочие условия		Примерное назначение
		$t_{ст}$, °С	p, МПа, не более	
Полиэтилен низкого давления (ПЭНД) (ГОСТ 16338—85)	зионного футеровочного материала для аппаратуры, работающей в различных агрессивных средах. Материал поддается различным методам переработки (экструзии, прессованию, литью под давлением), легко сваривается и склеивается. Полиэтилен при комнатной температуре устойчив к воздействию большинства минеральных кислот, оснований и растворов солей, а также ко многим органическим жидкостям, но набухает в углеводородах, а при 60—70°С растворяется в них. При 20°С полиэтилен нестоек к ацетону, бензину, керосину, сероуглероду, нефти, трихлорэтилену, концентрированному раствору йода, хлору. С повышением температуры среды химическая стойкость полиэтилена снижается. В большинстве случаев химическая стойкость полиэтилена является наивысшей для средних концентраций среды и меньшей для низких и высоких концентраций. Полиэтилен горит под воздействием открытого пламени	От —60 до +60	1,0	Трубопроводы технологических производств для транспортирования воды, инертных газов, нетоксичных паров и жидкостей, продуктов с токсическими свойствами, за исключением сильнодействующих ядовитых веществ и дымящихся кислот, горючих (в том числе и сжиженных) и активных газов, легко воспламеняющихся и горючих жидкостей, к которым материал химически стоек и для которых непроницаем, а также для негорючих и нетоксичных паров и жидкостей, к которым материал условно стоек
Полипропилен термостабилизированный (ГОСТ 26996-86Е)	Материал выдерживает значительные механические нагрузки и обладает высокой эластичностью. Твердость полипропилена почти вдвое выше твердости полиэтилена низкого давления и более чем в пять раз выше твердости полиэтилена высокого давления. Высокие механические свойства материал сохраняет вплоть до температуры размягчения. Процесс старения полипропилена аналогичен старению полиэтилена и затормаживается у стабилизированного материала. Полипропилен хорошо сваривается, но плохо склеивается из-за слабого набухания в органических растворителях. Методы переработки полипропилена такие же, как и для полиэтилена. Материал отличается высокой стойкостью к воздействию минеральных кислот и щелочей даже при повышенных температурах, органических растворителей при комнатной температуре, но разрушается в дымящейся азотной кислоте, олеуме и растворах галогенов, при 80°С растворяется в ароматических углеводородах (бензоле, толуоле) и галогенозамещенных углеводородах	От —10 до +100	1,0	Обечайки, днища и другие детали сварной емкостной технологической аппаратуры, изготовляемой из листового материала в сочетании с металлическими каркасами и без них, предназначенной для работы со средами средней и повышенной агрессивности. Детали внутренних устройств и патрубки аппаратов того же назначения; трубопроводы технологических производств. Плиты и рамы фильтр-прессов, фильтрованные ткани

Продолжение табл. 7.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Рабочие условия		Примерное назначение
		$t_{ст}$, °С	p, МПа, не более	
Полистирол общего назначения (ГОСТ 20282—86)	Полистирол сваривается хуже, чем полиэтилен и полипропилен; прочность сварного шва составляет 40—50% от прочности основного материала. Полистирол склеивается специальным клеем. Материал поддается различным методам переработки (экструзии, прессованию, литью под давлением). Полистирол устойчив во многих агрессивных средах	До +75	0,07	Обечайки, днища и другие детали сварной и клееной технологической аппаратуры, изготовляемой из листового материала в сочетании с металлическими каркасами, предназначенной для работы со средами средней и повышенной агрессивности. Трубопроводы технологических производств
Полистирол ударопрочный А, Б ГОСТ 28250-89Е			1,0	Смотровые окна, люки, бобышки, фланцы
Сополимеры стирола МС, МСН-Л (ГОСТ 12271—76)	Более высокая механическая прочность и эластичность, чем у полистирола	До +85	1,0	Технологическая аппаратура и лабораторное оборудование
Полиизобутилен без наполнителя и полиизобутилен с наполнителем марки ПСГ (листы по ТУ МХП 2987)	Мягкий, эластичный, каучукоподобный материал, обладающий хорошей адгезией к металлам, дереву, бетону. Материал легко сваривается в токе горячего воздуха (без применения присадочного материала) и легко склеивается как между собой, так и с различными конструкционными материалами. Полиизобутилен без наполнителя и полиизобутилен с наполнителем (марка ПСГ) обладает высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах; материал неустойчив в минеральных и растительных маслах и других органических жидкостях при небольших давлениях (порядка 0,3 МПа). Полиизобутилен марки ПТ неэлектропроводен, полиизобутилены других марок электропроводны, что затрудняет контроль футеровки электрическими методами и не позволяет применять этот материал для антикоррозионной защиты аппаратов, работающих под электрическим напряжением (электролизеры и др.)	До +100	—	Футеровочный материал для защиты химической аппаратуры из стали, алюминия, дерева, бетона и других материалов от воздействия агрессивных сред. Материал широко используется в качестве подслоя в комбинированных футеровках химической аппаратуры, в которых имеет место сочетание материалов неорганических и органических (например, футеровка с применением керамических плиток на подслое из полиизобутилена)
Фторопласт-3 (ГОСТ 13744—87)	Материал обладает высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах, но разрушается под воздействием расплавленных щелочных металлов, расплавов едких щелочей, элементарного фтора, олеума. Механические свойства фторопласта-4 существенно зависят от температуры. Под воздействием внешних нагрузок происходит рекристаллизация материала (явление хладотекучести). Необратимые остаточные деформации появляются при нагрузках выше 3 МПа и температурах до 80—100°С	От —195 до +150	—	
Фторопласт-4 (ГОСТ 10007—80) Фторопласт-4Д (ГОСТ 14906—77)		От —269 до +260		Теплообменники и детали внутренних устройств химических аппаратов для работы со средами средней и повышенной агрессивности; трубопроводы химических производств

Продолжение табл. 7.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Рабочие условия		Примерное назначение
		$t_{см}$, °С	p, МПа, не более	
Полиметилметакрилат (стекло органическое) (ГОСТ 15809—70)	Хорошая светопрозрачность, при вытяжке в высокоэластичном состоянии обеспечиваются высокая пластичность, способность выдерживать большие деформации без разрушений. Хорошо склеивается дихлорэтаном, сваривается термическим способом	До +100	1,0	Прозрачные элементы технологической аппаратуры, лабораторное оборудование и аппаратура при отсутствии воздействия сильных органических растворителей
Капрон (ТУ 6-06-309—70)	Более высокие механические свойства, чем у других термопластов, хорошие антифрикционные свойства, большое водопоглощение	До +80	1,0	Элементы антифрикционных пар, бесшумные зубчатые колеса в инертных средах
Полиамиды	Меньшее водопоглощение, чем у капрона	До +80	1,0	Как у капрона
Стеклонаполненные полиамиды ПА610-ДС; ПА6-210-ДС; ПА-211-ДС; ПА66-ДС (ГОСТ 17648—83)	Прочность в 2-3 раза выше, чем у капрона; менее пластичны, низкий коэффициент трения, стабильность усадки	До +80	1,6	Корпуса лабораторных установок, внутренние и внешние элементы аппаратуры
Полиакрилат Д-3	Высокие термическая стойкость и жаростойкость	До +200	1,0	Элементы аппаратуры, испытывающие повышенное термическое воздействие
Полиуретан ПУ-1	Стоек к воздействию разбавленных кислот, щелочей, масел, углеводородов, органических кислот	От —60 до +100	1,0	Элементы аппаратуры, испытывающие агрессивное воздействие сред
Полиформальдегид	Один из наиболее жестких полимеров; высокие теплостойкость, морозостойкость, антифрикционные и диэлектрические свойства. Химически стоек	От —50 до +110	1,0	Ручки аппаратуры и приборов, корпуса лабораторного, технологического оборудования и электроприборов, вкладыши подшипников
Поликарбонат	Высокие теплостойкость и морозостойкость; низкое водопоглощение, хороший диэлектрик	От —50 до +110	1,0	Элементы трубопроводной аппаратуры
Реактопласты				
Стекловолокнистый материал СВАМ-ЭР	Состоит из стеклянных волокон и эпоксидной или фенолформальдегидной смолы. Обладает высокими механическими и электроизоляционными свойствами	До + 200	1,6	Корпуса аппаратуры, работающей в агрессивных средах
Стекловолокнит АГ-4 (ГОСТ 20437—75)	Состоит из стеклянных волокон и эпоксидной или фенолформальдегидной смолы. Обладает высокими механическими и электроизоляционными свойствами	До + 200	1,6	Корпуса аппаратуры, работающей в агрессивных средах
Стекловолокнит ДСВ-2-Р-2м (ГОСТ 17478—75)	Состоит из пропитанных эпоксидной или фенолформальдегидной смолой рубленых стеклянных волокон. Обладает высокими механическими и электроизоляционными свойствами	До + 200	1,6	Применяется для сложных деталей с тонкими стенками
Текстолит графитированный Асботекстолит	Фрикционный материал. Состоит из асбестовой ткани, пропитанной фенолформальдегидной смолой. Обладает хорошей теплостойкостью	До + 400	–	Применяется для фрикционных дисков, гидравлических передач

Продолжение табл. 7.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Рабочие условия		Примерное назначение
		$t_{сл}$, °С	p, МПа, не более	
Материалы на основе каучука				
Резина марки 4849	Материалы на основе натурального каучука. Резина отличается удовлетворительной прочностью, хорошей эластичностью и хорошим сопротивлением истиранию, высокой морозостойкостью и теплостойкостью, хорошей адгезией к металлам. Резина растворяется в бензине, бензоле, хлорированных углеводородах и нестойка к маслам и озону	От —50 до +80		Материал для гуммирования химической аппаратуры из углеродистой стали, чугуна, алюминия и его сплавов, предназначенной для работы со средами средней и высокой агрессивности. Гуммирование производится на подслое из эбонита
Эбониты марок 1726 и ИРП-1213				Материалы для наружного гуммирования химической аппаратуры того же назначения
Полуэбонит марки ИРП-1212				Материал применяется в качестве подслоя для эбонита марки ИРП-1213
Резины марок 1976-М и 4476	Материалы на основе натрийбутадиенового каучука. Резины отличаются хорошей эластичностью и хорошей адгезией к металлам, высокой морозостойкостью и теплостойкостью. Резина марки 1976-М вулканизируется паром под давлением, а резина марки 4476 — открытым способом. Резины растворяются в бензине, бензоле, хлорированных углеводородах и нестойки к маслам	От —40 до +80	—	Материал для гуммирования химической аппаратуры из углеродистой стали, чугуна, алюминия и его сплавов, предназначенной для работы со средами средней и высокой агрессивности. Гуммирование производится через подслой эбонита марки 1814 термопреновым клеем
Полуэбонит марки 1751				Материал для наружного гуммирования химической аппаратуры того же назначения
Эбонит марки 2109				Материал для гуммирования пробковых кранов (трубопроводная арматура)
Резины марок 829 и 2566	Резины на основе натурального и натрийбутадиенового каучуков. Резины мягкие, способные вулканизироваться открытым способом, обладают хорошей адгезией к металлу			Материал для гуммирования химической аппаратуры из углеродистой стали, чугуна, алюминия и его сплавов, предназначенной для работы со средами средней и высокой агрессивности. Гуммирование производится на подслое из эбонита марки 1814 термопреновым клеем
Эбонит марки 1814	Материал не обладает химической стойкостью и не применяется как самостоятельное покрытие, но обеспечивает хорошее сцепление с металлом			Употребляется в качестве подслоя под мягкие химически стойкие резины марок 829, 2566, 1976-М и 4476
Резины марок ИРП-1025 и ИРП-1142	Резины на основе полихлоропренового каучука (наирита) по ТУ 1562—54. Резины хорошо сопротивляются старению, не воспламеняются, стойки к действию масла и бензина, морозостойки до —30°С и теплостойки до 80°С; при хранении склонны к самовулканизации и кристаллизации (для ликвидации последней применяется подогрев)	От —30 до +80		Материал для гуммирования химической аппаратуры из стали и чугуна, предназначенной для работы со средами средней и высокой агрессивности. Резина крепится к металлу клеем 200 или клеем «лейконат»
Резина марки 8ЛТИ	Резина на основе бутадиенстирольного каучука, отличается эластичностью, хорошей сопротивляемостью истиранию,	От —40 до +100		Материал для гуммирования химической аппаратуры из углеродистой стали и чугуна, предназначенной для работы со средами

Продолжение табл. 7.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Рабочие условия		Примерное назначение
		$t_{ст}$, °С	p, МПа, не более	
	морозостойка до —40°С, теплостойка до 100°С. Резина растворяется в бензине, бензоле, хлорированных углеводородах, нестойка к маслам			средней и высокой агрессивности. Резина крепится к металлу клеем «лейконат»
Хлоропреновый жидкий каучук (жидкий наирит НТ)	Покрытие вулканизируется при 100°С. Резина в вулканизированном состоянии отличается хорошей механической прочностью и хорошей устойчивостью к истиранию, обладает хорошей щелочестойкостью и удовлетворительной кислотостойкостью, водостойкостью, бензо- и маслостойкостью и атмосферостойкостью. Материал удовлетворительно сопротивляется кислородному и тепловому старению, но обладает плохой радиационной устойчивостью	От —30 до +60	—	Материал для гуммирования химической аппаратуры из углеродистой стали, предназначенной для работы с кислотами и щелочами при температуре до 60°С
Раствор резиновой смеси марки ИРП-1257	Резины отличаются повышенной химической стойкостью к кислотам и щелочам	От —30 до +60		Гуммирование через хлорнаиритовый или эпоксидный грунт деталей, узлов и аппаратов сложной конфигурации малых размеров, предназначенных для работы с кислотами и щелочами при нормальных и повышенных температурах и подвергающихся динамическим нагрузкам
Раствор резиновой смеси марки ИРП-1258				
Углеграфитовые материалы				
Графит мелкодисперсный прессованный и пропитанный синтетическими смолами, конструкционный марок МГ; МГ-1; МГ-2 (ТУ 601-60)	Графит прессованный и пропитанный синтетическими смолами отличается благоприятным сочетанием свойств: высокой прочностью на сжатие в сочетании с высокой тепло- и температуростойкостью, высокой тепло- и электропроводностью и высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах даже при высоких температурах. Материал хорошо обрабатывается резанием на обычных металлорежущих станках и склеивается синтетическими клеями и кислотоупорной замазкой арзамит 4 и кислото-щелочестойкой замазкой арзамит 5	От —18 до +150	0,5	Различные детали корпусов и внутренних устройств химических аппаратов для работы со средами средней и повышенной агрессивности: абсорберов и реакторов, применяемых в производствах бромистоводородной, плавиковой, фосфорной и хлоруксусной кислот, хлора, хлорбензола, тетрахлорэтана и трихлорэтилена; баков и резервуаров, применяемых в производстве соляной кислоты, для хранения фторуксусных, фторбористых и фторфосфорных смесей в производстве плавиковой кислоты и других сред; отмывные колонны, применяемые в производствах соляной и бромистоводородной кислот; теплообменники для нагрева и охлаждения агрессивных сред в производствах серной кислоты, сернистого ангидрида, хлора, хлоратов и других высокоагрессивных химических продуктов
Графит мелкозернистый прессованный и пропитанный синтетическими смолами, конструкционный марок МГ-3; МГ3-Л (ТУ 601-60)				
Графит плотный прессованный конструкционный марки ППГ (ТУ 601-60)				
Графит электродный конструкционный марки ГЭЭ (ТУ 601-60)				
Графитированный материал марки АРВ, пропитанный в изделиях феноло-формальдегидной смолой (ПТУ 04-62)				

Продолжение табл. 7.1

Наименование, марка (ГОСТ или ТУ)	Качественная и эксплуатационная характеристики материала	Рабочие условия		Примерное назначение
		$t_{см}$, °С	p, МПа, не более	
Графитопласт (антегмит) марки АТМ-1 (трубы по СТУ 45-ЦЧ-942-63)	Материал отличается от графита более высокой прочностью, непроницаемостью для жидкостей и газов по всему объему, но пониженной теплопроводностью. Антегмит марки АТМ-1 обладает высокой химической стойкостью во многих минеральных и органических кислотах, щелочах, растворах солей любых концентраций вплоть до высоких температур	От —18 до +115	0,3	Трубные пучки теплообменных аппаратов; патрубки аппаратов; трубопроводы химических производств для работы со средами средней и высокой агрессивности
Графитопласт (антегмит) марки АТМ-1 (плитки футеровочные по ВТУ 367-58)			—	Футеровочный материал для антикоррозионной защиты стальной химической аппаратуры для работы со средами высокой агрессивности
Графитопласт (антегмит) марок АТМ-1Г и АТМ-10 (по ТУ, утвержденным в установленном порядке)	Материал отличается от антегмита АТМ-1 значительно более высокой теплостойкостью и теплопроводностью, меньшим коэффициентом температурного расширения и меньшей механической прочностью		0,3	Детали теплообменной аппаратуры для работы со средами высокой агрессивности; трубы и фасонные части к ним для трубопроводов химических производств; детали насосов для перекачки агрессивных жидкостей
Графитопласты литьевые марок НЛ; 2ФНЛ; 5ЭФНЛ (по ТУ, утвержденным в установленном порядке)	Графитопласт марки НЛ стоек почти во всех кислотах, за исключением сильных окислителей. Графитопласт марки 2ФНЛ стоек в большинстве неокислительных кислотах, растворителях и растворах солей. Графитопласт марки 5ЭФНЛ стоек к кислым и щелочным средам, органическим растворителям, спиртам и углеводородам			Крупногабаритные литые детали для химических аппаратов для работы со средами средней и повышенной агрессивности (корпуса поглотительных колонн, крыши аппаратов и др.). Литые плиты для футеровки ванн, сборников и различных сосудов
Угольный антифрикционный материал марок А0-600 и А0-1500	Материал обладает хорошими антифрикционными свойствами. Допустимая удельная нагрузка до 2 МПа. Коэффициент трения после приработки равен 0,05			Вкладыши подшипников, уплотнительные кольца, детали торцовых уплотнений, работающие в условиях сухого трения в паре с чугуном
Графитированный антифрикционный материал марок АТ-600 и АТ-1500	Материал обладает хорошими антифрикционными свойствами. Допустимая удельная нагрузка до 1,5 МПа. Коэффициент трения после приработки равен 0,05	—	—	Вкладыши подшипников, уплотнительные кольца, детали торцовых уплотнений, работающие в условиях сухого трения в паре со сталью
Графитированный антифрикционный материал, пропитанный фенолоформальдегидной смолой марки АТ-1500-Ф	Материал отличается большей прочностью и более высоким значением допустимого удельного давления (до 10 МПа)			

7.2. Механические и физические свойства неметаллических материалов

В табл. 7.2—7.8 приводятся некоторые данные по механическим и физическим свойствам неметаллических материалов, преимущественно применяемых в химическом аппаратостроении.

Таблица 7.2

Механические свойства неметаллических материалов неорганичского происхождения

Наименование материалов	Предел прочности, $\sigma_в$	$\sigma_{в.к}$	$\sigma_{и.в}$	Модуль упругости при растяжении E, ГПа	Наименование материалов	Предел прочности, $\sigma_в$	$\sigma_{в}$	$\sigma_{и.в}$	Модуль упругости при растяжении E, ГПа
	не менее					не менее			
Андезит пористый	—	60	—	—	Керамика шамотно-бентонитовая пористая	3	21	—	—
Андезит плотный		80	14		Фарфор твердый кислотоупорный	20	150	50	
Бештаунит		160	19		Фарфор кислотоупорный	40	450	70	60
Гранит украинский			23		Бетон кислотоупорный	—	11	—	6
Кварцит карельский		260	—		Стекло силикатное	35	60	70	75
Базальт плавленый		—	30		Стекло боросиликатное	70	130	—	—
Диабаз плавленый	25	200	20		Стекло кварцевое	45	350	40	66
Керамика дунитовая	11,5	130	35		Эмаль кислотоупорная марки Э-1	62	924	—	—
Керамика кислотоупорная (плитки футеровочные)	6	20	23	42					

Таблица 7.3

Физические свойства неметаллических материалов неорганического происхождения

Наименование материалов	Плотность ρ, кг/м^3	Коэффициент линейного расширения $\alpha^t \cdot 10^6$, °C^{-1}	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м · °C)	Пористость, %	Водопоглощаемость за 24 ч, %
Андезит пористый	2200—2300	6,0	—	2,5—14,0	7,6
Андезит плотный					2,5—6,0
Бештаунит	2650	6,4		4,9—10,0	2,4
Гранит украинский		5,0		0,5—1,0	0,3
Кварцит карельский		—		0	—
Базальт плавленый	2900	5,0	2,17		0,15
Диабаз плавленый	2100—3000	10,0	0,99		0
Керамика дунитовая	2200—2300	—	—	3—4	≤ 2,0
Керамика кислотоупорная	2000—2400	4,1—4,9	1,0—1,5	2—6	≤ 8,0
Керамика шамотно-бентонитовая пористая	1360—1500	—	—	39—47	—
Фарфор твердый кислотоупорный	2300—2500	2,5—4,5	0,82—1,0	≤ 1,0	≤ 0,8
Фарфор кислотоупорный					≤ 0,5
Бетон кислотоупорный	1600	8,0	0,81—1,1	—	—
Стекло силикатное	2600	0,5	6,7—9,0	3—4	
Стекло боросиликатное	2230	3,6	—	0	
Стекло кварцевое	2020—2080	0,27	1,75—4,0	3—4	
Эмаль кислотоупорная марки Э-1	2300—2500	30—33,5	0,93—1,22	0	

Таблица 7.4

Механические свойства неметаллических материалов органического происхождения

Наименование и марка материалов	Вид полуфабрикатов (ГОСТ, ТУ)	Предел прочности, МПа			$\alpha_н$, кДж/м²	Модуль упругости при растяжении E, ГПа
		$\sigma_в$	$\sigma_{с.в}$	$\sigma_{из}$		
		не менее				
Фаолит А	Листы отвержденные (ТУ ГХП 35—44)	17	38	50	20	80
Фаолит Т						
Фаолит П	Прессованные изделия	12	58		3,0	—
Фаолит А и Т	Трубы отвержденные (ТУ МХП 321—51)	25	70		1,4	
Текстолит ПТК	Листы (ГОСТ 5—78Е)	100	250	160	3,5	4
Текстолит ПТ		85	230	145		
Текстолит ПТ-1		65	200	120	25,0	
Текстолит	Стержни (ГОСТ 5385—80)	40	—	100	—	—
Асботекстолит А и Б	Плиты (МРТУ 6-05-898—63)	80*	100*	80*	25,0	2,4
Асбовинил	—	15	25	22	3,0	—
Винипласт ВН	Листы (ГОСТ 9639—78)	55	80	100	80,0	1,0
Винипласт ВНТ		45		90	50,0	—
Полиэтилен низкого давления	Трубы (МРТУ 6-05-918—67)	20	—	20	Не ломается	0,5**
Полиэтилен высокого давления	Трубы (МРТУ 6-05-917—67)	10		12		0,1**
Полипропилен ПП-1	Прессованные изделия из порошка (СТУ 36-13-126—65 с изм. №1)	25	900	60	33,0	0,67**
Сополимер этилена с пропиленом	—	17	—	17	—	—
Полистирол блочный	Плиты (ТУ 35ХП 356—61)	30	100	80	5,0	1,2
Полиизобутилен ПСГ	Пластина в рулонах (ТУ МХП 2987—52)	4,5	—	—	—	—
Фторопласт-3	Тонкий лист, пленка	30	25	60	20	1,2**
Фторопласт-4	Прессованные изделия из порошка, закаленные (ТУ 810—59)	16	12	11	100	0,47**
Древесно-слоистый пластик ДСП-В	Листы (ГОСТ 8697—78)	110	120	150	30	—
Графит марки МГ	Прессованные заготовки диаметром до 300 мм и длиной 240 мм	12	20	20	1,2	13
Графит марки МГ-1			23			
Графит марки МГ-2						
Графит марки МГ-3	То же, но диаметром до 500 мм и длиной до 1500 мм		25			
Графит марки ГМЗ-Л	То же, но диаметром до 600		20			
Графит марки ППГ	То же, но диаметром до 300 мм и длиной до 280 мм		35			
Графит марки ГЭЭ	То же, но диаметром до 400 мм и длиной до 1500 мм		15			
Графитированный материал марки АРВ	Прессованные блоки размером 350х350х350 мм и др.		80			
Антегмит марки АТМ-1	Трубы (СТУ-45-ЦЧ-942—63)	18	100	40	2,75	—
Антегмит марки АТМ-1Г		6	45	20	1,6	
Антегмит марки АТМ-10		9	55	26	1,7	
Графитопласт литьевой НЛ	Крупногабаритные отливки	10	90	30	—	—
Графитопласт литьевой 2ФНЛ		—	55	24		

Продолжение табл. 7.4

Наименование и марка материалов	Вид полуфабрикатов (ГОСТ, ТУ)	Предел прочности, МПа			$\alpha_н$, кДж/м^2	Модуль упругости при растяжении E, ГПа
		$\sigma_в$	$\sigma_{сж}$	$\sigma_{изг}$		
		не менее				
Графитопласт литьевой 5ЭФНЛ	Крупногабаритные отливки	14,5	100	33		
Графитированный антифрикционный материал АО-600	Прессованные изделия	—	110	50	—	—
Графитированный антифрикционный материал АО-1500			150	60		
Графитированный антифрикционный материал АТ-600			60	35		
Графитированный антифрикционный материал АТ-1500			80	40		
Графитированный антифрикционный материал АТ-1500-Ф			150	70		

* Для образцов, вырезанных вдоль листа (по основе ткани).
** Модуль упругости при изгибе.

Таблица 7.5

Физические свойства неметаллических материалов органического происхождения

Наименование и марка материалов	Плотность ρ, кг/м^3	Коэффициент линейного расширения $\alpha^t \cdot 10^6$, °C^{-1}	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м·°С)	Водопоглощаемость за 24 ч, %	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Температура плавления, °С	Морозостойкость, °С
Фаолит марки А	1500	20—30	0,29	0,3—1,8	135	—	—
Фаолит марки Т	1650		1,05		126		
Фаолит марки П	1250		—		144		
Текстолит марки ПТК, ПТ, ПТ-1	1300—1400	20—40	0,21—0,34	0,35	125		
Асботекстолит марок А и	1700	17—25	0,51—0,59	—	150—250		
Асбовинил	1540—1640	33—40	0,151	0,5—1,0	150		
Винипласт марок ВН и	1380—145	65—85	0,167	0,4—0,6	65		
Полиэтилен низкого давления (высокой плотности)	940—960	100—200	0,419	0,04	120—140*	120—139	До —70
Полиэтилен высокого давления (низкой	920—930	210—550	0,351		108—115*	108—110	
Полипропилен	900	110	0,138	—	—	164—168	До —10
Сополимер этилена с пропиленом	940—950	100—550	0,262	0,01	113—128	114—125	До —70
Полистирол	1050—1100	60—100	0,085	0,03	—	—	—
Полиизобутилен ПБСТ	1320	—	0,332	0,08	100		
Фторопласт-3	2090	60—120	0,059	0,0	—	208—210	До —195
Фторопласт-4	2150	80—250	0,250		110	327	До —269
Древесно-слоистый пластик ДСП-В	1300	—	—	5,0	—	—	—
Графит марки МГ	1500	3,6—4,0	94—117	—	170	—	
Графит марки МГ-1	1550						
Графит марки МГ-2	1640						
Графит марки МГ-3	1560						

Продолжение табл. 7.5

Наименование и марка материалов	Плотность ρ, кг/м³	Коэффициент линейного расширения $\alpha^t \cdot 10^6$, °C⁻¹	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м · °C)	Водопоглощаемость за 24 ч, %	Теплостойкость по Мартенсу, °C	Температура плавления, °C	Морозостойкость, °C
Графит марки МГ3-Л	1500	3,6—4,0	94—117		170		
Графит марки ППГ	1700						
Графит марки ГЭЭ	1450						
Графитированный материал марки АРВ	1800						
Антегмит марки АТМ-1		8,5	35—41				
Антегмит марки АТМ-1Г	1740	2,5	94—99		600		
Антегмит марки АТМ-10		2,2	105—140		400		
Графитопласт литьевой марки НЛ	1100—1200	—	—	—	—	—	—
Графитопласт литьевой марки 2ФНЛ	1300						
Графитопласт литьевой марки 5ЭФНЛ	1400						
Графитированный антифрикционный материал марки АО-600	1500—1600	2,6	87				
Графитированный антифрикционный материал марки АО-1500	1650—1700	2,5	93				
Графитированный антифрикционный материал марки АТ-600	1700—1800	2,7	188				
Графитированный антифрикционный материал марки АТ-1500	1600—1700						
Графитированный антифрикционный материал марки АТ-1500-	1750—1800						

* Теплостойкость по НИИПП.

Таблица 7.6

Свойства термопластичных пластмасс

Марка	Плотность, кг/м³	Теплостойкость по Мартенсу, °C	Рабочая температура, °C	$\alpha \cdot 10^{-3}$, 1/°C	λ, Вт/(м·°C)
Полиэтилен:					
высокого давления	900—940	—	-50—+70	22—55	—
низкого давления	950—960	—	-60—+100	17—20	—
Полистирол:					
ПСМД, ПСМ	1050—1080	78	-40—+65	6—8	0,093—0,14
оптический	1050—1080	—	-40—+65	6—7	0,093—0,139
Пластик СНП	1114	74	-40—+70	8,3	—
Фторопласт	2090—2160	—	-195—+130	6—10	0,23
Фторопласт-4	2190—2200	110	-269—+260	8—21	0,24
Винипласт	1380	65—70	—	5—15	0,15—0,16
Полиметилметакрилат ЛПТ	1180—1200	88—95	-60—+60	9	0,279
Дакрил 2М	1190	—	—	8	—
Стекло органическое:					
конструкционное	1180	—	-60—+60	7,1—7,7	0,181—1,86
светотехническое	1180—1200	—	—	7—8	0,172—1,184
П-12Б-20	1020	—	—	—	—

Продолжение табл. 7.6

Марка	Плотность, кг/м³	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Рабочая температура, °С	$\alpha \cdot 10^{-3}$, 1/°С	λ, Вт/(м·°С)
Литьевые сополимеры полиамида	1190—1140	50—60	—	10—12	0,27—0,3
Капрон	1130	—	—	14	—
Капролон В	1150—1160	75	-60—+60	6,6—9,8	0,27—0,34
Эпоксидные смолы	1550—1650	81—130	—	—	—
Компаунды ЭП	—	—	-60—+140	3,5—4	0,74

Таблица 7.7

Механические свойства пластмасс при низких и высоких температурах

Материал	Температура, °С	$\sigma_в$	$\sigma_{пл}$	δ, %	Е, ГПа
		МПа			
Винипласт	—20	90	—	—	
	0	72	26	8	
	20	50	19	20	
	40	40	11	30	—
	60	32	4	60	
	75	20	1,3	200	
	100	4	—	350	
Полиэтилен низкого давления (высокой плотности)	—40	45		100	2,1
	0	35		400	1,0
	40	29	—	1000	—
	50	—		—	0,16
	80	20		1800	—
Полиэтилен высокого давления (низкой плотности)	—80	50		20	2,32
	—40	30		300	1,36
	0	15		500	0,30
	40	10		500	—
	50	—		—	0,09
	80	5		300	—
Фторопласт-4	—40	35,0	—	70	1,7
	—20	32,5		100	1,5
	0	30,0		150	1,1
	20	20,0		470	0,7
	40	18,0		650	0,45
	80	13,5		600	0,24
	100	11,5		540	0,17

Таблица 7.8

Физико-механические показатели эбонитов и полуэбонитов, применяемых для гуммирования химической аппаратуры (РТМ 26-01-18—67)

Марка		Плотность ρ, кг/м³	Теплостойкость по Мартенсу, °С	Сопротивление изгибу $\sigma_и$, МПа	Время вулканизации при температуре 143 °С, час	Назначение эбонита и полуэбонита
Эбонит	Полуэбонит					
1814	—	1350	50—75	50—65	3	Подслой для резин марок 829, 2566, 1976-М и 4476
1726		1120	72—75	94,6	4	Для наружного гуммирования деталей и узлов химических аппаратов
2109		1210	55	57,7	—	
ИРП-1213		—	—	—	2—2,5	
—	1751	1340	45—52	47	6	
	ИРП-1212	1220	—	—	1	Подслой для эбонита марки ИРП-1213

Таблица 7.9

Физико-механические показатели резин, применяемых для гуммирования химической аппаратуры (РТМ 26-01-18—67)

Марка резины	Плотность ρ, кг/м^3	Прочность $\sigma_в$, МПа не менее	Удлинение, %		Твердость по твердомеру ТМ-2	Время вулканизации при температуре 143°С, мин
			относительное, не менее	остаточное, не более		
4476	1150	5,5	150	15	52	80
2566	1060	15,0	600	35	36	30
1976-М	1140	6,0	225	20	56	
4849	1390	18,0	550	40	31	
829	1060	16,0	650	30	40—50	15
8ЛТИ		24,0	570	20	65—75	50—60
ИРП-1025	1480	10,0	364	8	74	30
Жидкий наирит НТ	1200—1400	11,0	200	2,5	73—76	1440
Раствор резиновой смеси ИРП-1257	1340	11,7	560	12	54—58	90
Раствор резиновой смеси ИРП-1258	1430	10,5	950	33	70±2	

7.3. Сортамент полуфабрикатов и изделий из неметаллических материалов

В табл. 7.10—7.33 приведен сортамент некоторых полуфабрикатов и изделий из неметаллических материалов, выпускаемых промышленностью.

Таблица 7.10

Сортамент листов и плит из неметаллических материалов

Наименование материала	Вид полуфабриката (ГОСТ или ТУ)	Размеры, мм			Допускаемые отклонения, мм	
		Толщина, s	Ширина, b	Длина, l	по толщине	по длине и ширине
Фаолит марок А и Т	Листы сырые и отвержденные (ТУ НКХП 322—45)	5—12	700—800	1800	±1,0 (при S≤10); ±2,0 (при S>10)	±50
				2000		
			900—1000	1600		
		5—15	700—1000	1400		
		5—18		1200		
		5—20		1000		
Винипласт марок ВН и ВНТ	Листы (ГОСТ 9639—78)	2—20	500—650	1300—1500	±(0,1+0,05S)	±5
Текстолит поделочный марок ПТК, ПТ и ПТ-1	Листы (ГОСТ 5—78Е)	0,5—8	По соглашению сторон			
	Плиты (ГОСТ 5—78Е)	10—70				
Асботекстолит	Плиты (МРТУ 6-05-898—63)	6—30	400—800	600—1400	—	—
	Плиты (ВТУ УХП 183—60)	>100	1400	2400	—	±50
Древеснослоистый пластик марки ДСП-В	Листы (ГОСТ 8697—78)	1,0; 1,5; 2,0; 2,5	800; 900; 1000; 1100; 1200	700; 1000; 1500	±0,2	±25
		3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0		700; 1100; 1500; 2300; 4800; 5600	±0,5	
		10,0; 12,0			±1,0	
Фторопласт-4	Пластины (ВТУ 35-ХП-357-62)	2—3,5	170	170	±0,3	±5
			200	200		±10
			250	250		
			300	300		

Продолжение табл. 7.10

Наименование материала	Вид полуфабриката (ГОСТ или ТУ)	Размеры, мм			Допускаемые отклонения, мм	
		Толщина, s	Ширина, b	Длина, *l*	по толщине	по длине и ширине
Фторопласт-4	Пластины (ВТУ 35-ХП-357-62)	4—10	170; 200; 250; 300; 500	170; 200; 250; 300; 500	±0,9	±5 (при b=*l*=170); ±10 (при b=*l*=200—300) ±20 (при b=*l*=500)
		11—20			±1,1	
		21—40			±1,3	
		41—60			±1,5	
Полиизобутилен ПСГ	Листы (ТУ МХП 2987—52 с изм. № 2 и 3)	2—2,5	800	3000	—	—
			1000	10 000		

Таблица 7.11

Рекомендуемый сортамент стержней из текстолита (ГОСТ 5385—50)

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение по диаметру при нормальной точности	Масса 1 м, кг
8	±0,5	0,070
13	±0,7	0,186
18	±1,0	0,357
25		0,686
40	±1,5	1,765
60	±2,0	3,960

Примечания.

1. Стержни изготавливаются длиной от 200 до 500 мм.
2. По соглашению сторон стержни могут изготавливаться других диаметров, не указанных в таблице.

Таблица 7.12

Рекомендуемый сортамент стержней из винипласта (ТУ МХП 4251—54)

Диаметр, мм	Масса 1 м, кг
5	0,027
10	0,109
14	0,215
16	0,280
18	0,356
20	0,439
22	0,522
25	0,686
27	0,801
30	0,989
33	1,196
36	1,415
40	1,758
45	2,210

Примечания.

1. Стержни поставляются длиной от 1,5 до 3,0 м.
2. Допускаемые отклонения по наружному диаметру стержней ±5%.

Таблица 7.13

Рекомендуемый сортамент стержней из фторопласта-4 (ТУ 810—59)

Диаметр, мм	Допускаемое отклонение на диаметр, мм	Масса 1 м, кг	Длина, мм
6	±0,7	0,061	200
8		0,108	
10	±1,0	0,168	390
13		0,286	
15		0,382	
20	±1,5	0,675	
25		1,050	
30		1,528	
35		2,070	
40	±2,0	2,700	
45		3,400	
50		4,200	
55		5,125	
60	±2,5	6,102	По соглашению сторон
65		7,150	
70		8,280	
75		9,500	
80	±3,0	10,800	

Примечания.

1. Для стержней диаметром ≤55 мм допускаемое отклонение на длину ±10 мм.
2. У стержней диаметром ≤40 мм допускается кривизна до 10% от длины стержня.

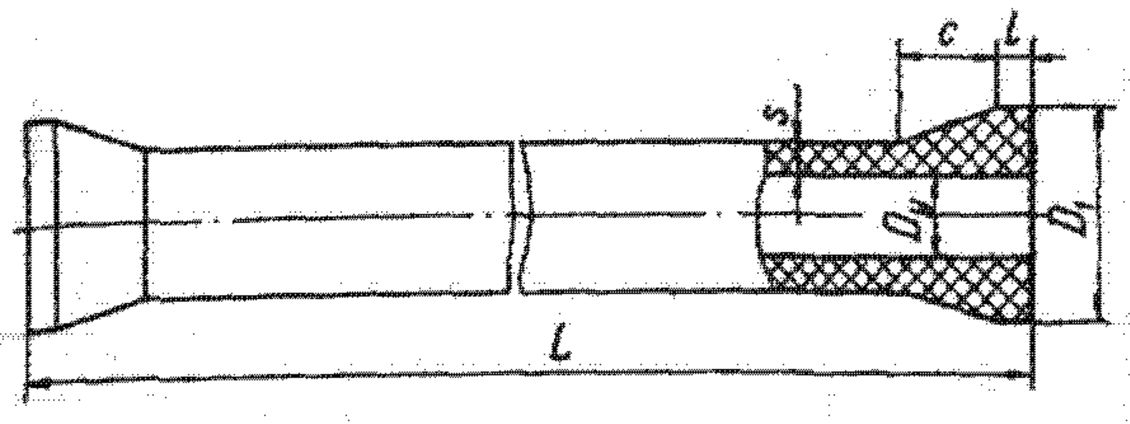
Таблица 7.14

Рекомендуемый сортамент круглых заготовок из конструкционного графита (ТУ 601—60)

Марка материала	Диаметр, мм	Длина, мм
МГ; МГ-1; МГ-2	94; 129; 159; 209; 279; 300	240
МГ-3	70—500	До 1500
ГМЗ-Л	250—600	—
ППГ	135; 165; 300	200—280
ГЭЭ	25—400	1500

Таблица 7.15

Рекомендуемый сортамент труб с коническими фланцами из твердого фарфора



D_y	s	D_1	c	l	Масса 1 шт. (кг) при длине труб L (мм)			
мм					300	500	700	1000
25	10	65	30	10	1,08	1,61	2,14	2,94
30		70			1,29	1,90	2,51	3,42
40	12	90	45		1,71	2,65	3,59	5,00
50	15	110			1,60	3,08	4,56	6,78
80	18	150	53		3,25	5,85	8,45	12,35
100		170		15	5,45	8,65	11,85	16,65
150	20	230	60		11,88	17,00	22,12	29,80
200	25	300	75	20	19,72	28,20	36,68	39,40
250		350			26,62	37,00	47,38	62,85
300	27	405			32,70	46,00	59,30	79,25

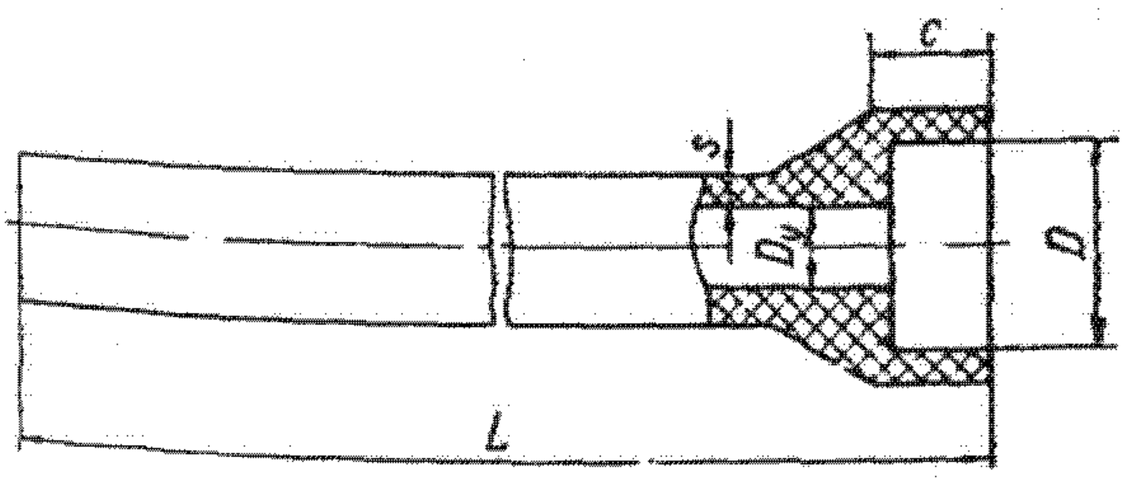
Примечания.

1. Трубы предназначены для транспортирования кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) любых концентраций температурой до +120°С и щелочей концентрацией до 2% и температурой до +30°С. Допустимое рабочее избыточное давление $p_p \leq 0{,}4$ МПа.

2. Для тех же условных проходов изготавливаются колена с коническими фланцами с углом 90 и 45°, тройники, крестовины и переходы.

Таблица 7.16

Рекомендуемый сортамент труб с раструбами из твердого фарфора



D_y	s	D	c	Масса 1 шт. (кг) при длине труб L			
мм				300	500	700	1000
25	10	60	35	1,12	1,65	2,18	2,98
30		70	40	1,34	1,95	2,56	3,47
40	10	80	40	1,65	2,40	3,15	4,28
50		90	50	2,00	2,90	3,80	5,15

Продолжение табл. 7.16

D_y	s	D	c	Масса 1 шт. (кг) при длине труб L(мм)			
мм				300	500	700	1000
80	12	125	60	3,65	5,30	6,95	9,42
100	14	155		5,85	8,25	10,65	14,25
150	15	205		8,17	11,90	15,63	21,23
200	18	265		13,25	19,10	24,95	33,72
250		315		15,93	23,20	30,47	41,38
300	20	370		18,36	28,00	37,64	52,16

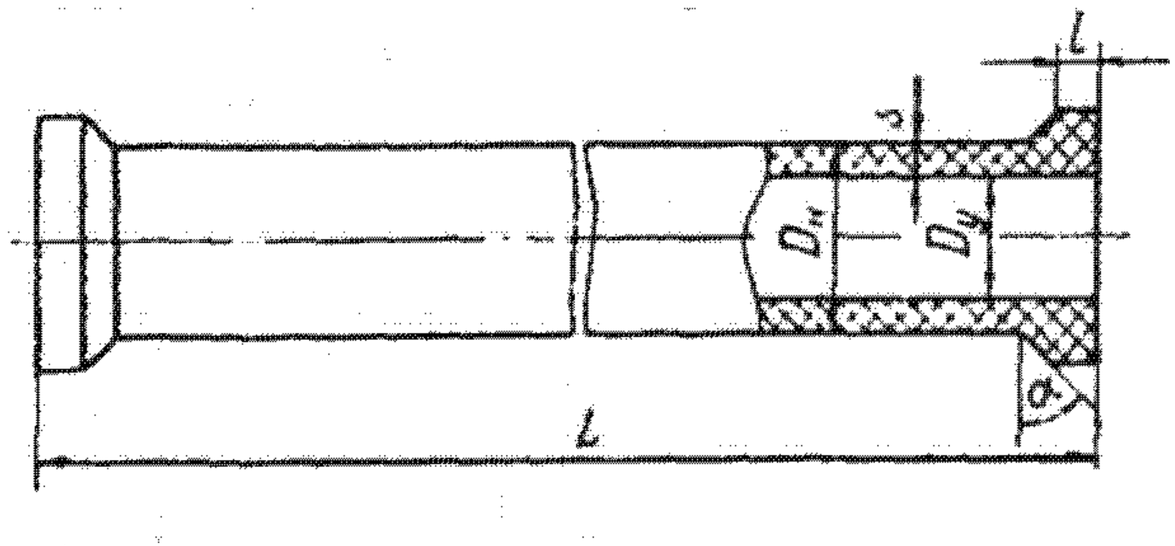
Примечания.

1. Трубы предназначены для транспортирования кислот (за исключением плавиковой и фосфорной) любых концентраций температурой до +120°С и щелочей концентрацией до 2% и температурой до +30°С. Допустимое рабочее избыточное давление $p_p \leq 0{,}4$ МПа.

2. Для тех же условных проходов изготавливаются колена с раструбами с углом 30, 45, 60, 90, 120 и 135°, тройники и крестовины с углом 90 и 45°.

Таблица 7.17

Рекомендуемый сортамент труб из фаолита марок А и Т (МН 1251—61)



D_y, мм	$D_n \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		L	l	α, град	Масса 1 шт., кг	Допускаемое рабочее избыточное давление среды, МПа, не более
		по наружному диаметру	по толщине стенки	мм				
32	50 × 8,5	±3	±2,0	2000^{+10}_{-50}	12^{+4}	45±2	4,2	0,47
50	76 × 11						8,3	0,40
80	102 × 12	±4			15^{+5}		12,5	
100	125×12,5						16,8	0,24
150	175×12,5	±7	±2,5	1000^{+10}_{-30}	20^{+5}	60±2	12,5	
200	225×12,5	±10			30^{+5}		16,8	
250	275×12,5				40^{+5}		21,5	0,16
300	330 × 15		+5,0 -3,5		45^{+5}		30,5	

Примечания.

1. По МН 1252—61 — МН 1259—61 предусматривается выпуск деталей трубопроводов из фаолита марок А и Т — угольники прямые, тройники прямые и переходные, отводы двойные,

переходы одно- и двухступенчатые условных проходов, соответствующих выпускаемым трубам.

2. Склейка фаолитовых труб производится фаолитовой замазкой марки А по МРТУ 6-05-1003—66.

Таблица 7.18

Рекомендуемый сортамент труб из винипласта (ГОСТ 28117—89)

$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм: по наружному диаметру	Допускаемые отклонения, мм: по толщине стенки	Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба трубы (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление среды $p_у$, МПа, не более
6	10 × 1,6	+0,5	+0,4	0,067	30	1,0
10	16 × 1,6	+0,6		0,115	45	0,6
	16 × 1,8			0,126		1,0
15	20 × 1,6			0,146	60	0,25
	20 × 1,8			0,160		0,6
	20 × 2,0			0,175		1,0
20	25 × 1,6	+0,7		0,186	80	0,25
	25 × 1,8			0,205		0,6
	25 × 2,0			0,224		1,0
25	32 × 1,8	+0,8		0,267	110	0,25
	32 × 2,0			0,292		0,6
	32 × 2,5		+0,5	0,359		1,0
32	40 × 1,8	+0,9	+0,4	0,339	150	0,25
	40 × 2,0			0,370		0,6
	40 × 3,1		+0,5	0,546		1,0
40	50 × 2,0	+1,1	+0,4	0,468	180	0,25
	50 × 2,4		+0,5	0,557		0,6
	50 × 3,9		+0,6	0,856		1,0
50	63 × 2,2	+1,3	+0,4	0,647	240	0,25
	63 × 3,0		+0,5	0,863		0,6
	63 × 4,9		+0,7	1,350		1,0
70	75 × 2,5	+1,5	+0,5	0,883	330	0,25
	75 × 3,6		+0,6	1,230		0,6
	75 × 5,8		+0,8	1,900		1,0
80	90 × 2,8	+1,7	+0,5	1,180	400	0,25
	90 × 4,3		+0,7	1,760		0,6
	90 × 7,0		+0,9	2,730		1,0
100	110 × 3,2	+2,0	+0,5	1,630	500	0,25
	110 × 5,3		+0,8	2,640		0,6
	110 × 8,5		+1,1	4,060		1,0
125	140 × 4	+2,4	+0,6	2,590	600	0,25
	140 × 6,7		+0,9	4,210		0,6
	140 × 10,8		+1,3	6,540		1,0
150	160 × 4	+2,7	+0,6	2,960	800	0,25
	160 × 7,7		+1,0	5,540		0,6
	160 × 12,4		+1,5	8,570		1,0

Продолжение табл. 7.18

Примечания.

1. Трубы поставляются длиной 5, 6 и 8 м с допускаемым отклонением от заказной длины ±50 мм. По согласованию сторон трубы могут поставляться длиной до 12 м.
2. Допустимое рабочее давление равно условному давлению для температуры транспортируемой среды +20°С. При увеличении температуры транспортируемой среды и в зависимости от ее характера рабочее давление снижается по особым техническим условиям.
3. По ГОСТ 28117—89 предусматривается выпуск деталей трубопроводов из винипласта (крестовины прямые, тройники прямые и переходные, угольники прямые, переходы, муфты, отводы с углом поворота 90 и 45°, компенсаторы и др.) на условное избыточное давление 0,2; 0,5; 0,6 и 1,0 МПа.

Таблица 7.19

Рекомендуемый сортамент труб из полиэтилена низкого давления (высокой плотности) (МРТУ 6-05-917—67)

$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм: по наружному диаметру	Допускаемые отклонения, мм: по толщине стенки	Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба трубы* (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление $p_у$, МПа, не более
6	10 × 1,6	+0,5	+0,4	0,04	40	0,6
	10 × 2,0		+0,5	0,05		1,0
10	16 × 1,6	+0,6	+0,4	0,08	65	0,25
	16 × 1,8		+0,5	0,09		0,6
	16 × 2,8			0,13		1,0
15	20 × 1,6		+0,4	0,10	80	0,25
	20 × 2,3		+0,5	0,13		0,6
	20 × 3,5		+0,7	0,18		1,0
20	25 × 1,6	+0,7	+0,4	0,12	100	0,25
	25 × 2,8		+0,6	0,20		0,6
	25 × 4,3		+0,8	0,28		1,0
25	32 × 1,8	+0,8	+0,5	0,19	130	0,25
	32 × 3,5		+0,7	0,32		0,6
	32 × 5,3		+1,0	0,45		1,0
32	40 × 2	+0,9	+0,5	0,28	160	0,25
	40 × 4,3		+0,8	0,49		0,6
	40 × 6,8		+1,2	0,71		1,0

Продолжение табл. 7.19

$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм: по наружному диаметру	Допускаемые отклонения, мм: по толщине стенки	Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба трубы* (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление $p_у$, МПа, не более
40	50 ×2,5	+1,1	+0,6	0,41	200	0,25
	50 ×5,3		+1,0	0,75		0,6
	50 ×8,5		+1,5	1,10		1,0
50	63 ×3	+1,3	+0,7	0,59	250	0,25
	63 ×6,8		+1,2	1,21		0,6
	63 ×10,5		+1,8	1,73		1,0
70	73 ×3,5	+1,4	+0,7	0,82	300	0,25
	75 ×8		+1,4	1,71		0,6
80	90 ×4,3	+1,7	+0,9	1,18	360	0,25
	90 ×9,5		+1,5	2,39		0,6
100	110 ×5,3	+2,0	+1,0	1,76	440	0,25
	110 ×12		+2,0	3,68		0,6
125	140 ×6,8	+2,4	+1,2	2,86	560	0,25
150	160 ×7,5	+2,7	+1,3	3,60	640	

Примечания.

1. Трубы поставляются в прямых отрезках длиной 6, 8, 10 и 12 м с допуском ±50 мм или в бухтах (для $D_у \leq 40$ мм).
2. Выбор допустимого рабочего давления в зависимости от характера и температуры рабочей среды производится по табл. 7.21.
3. Рекомендуемая область применения полиэтиленовых труб указана в табл. 7.22.
4. По МН 3005—61 — МН 3017—61 предусматривается выпуск деталей трубопроводов из полиэтилена низкого давления (высокой плотности) — крестовины прямые, тройники прямые, угольники прямые и с крепежным фланцем, муфты, переходы, футорки, ниппеля, гайки накидные, втулки резьбовые, буртовые и под фланцы, фланцы стальные условных проходов, соответствующих выпускаемым трубам.

* В горячем состоянии. При гибке труб в холодном состоянии минимальный радиус гиба увеличивается в 4,5 раза.

Таблица 7.20

Рекомендуемый сортамент труб из полиэтилена высокого давления (низкой плотности) (МРТУ 6-05-918—67)

$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм: по наружному диаметру	Допускаемые отклонения, мм: по толщине стенки	Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба трубы* (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление $p_у$, МПа, не более
6	10 ×2	+0,5	+0,5	0,06	40	1,0
10	16 ×2	+0,6		0,09	65	
15	20 ×2			0,12	80	

Продолжение табл. 7.20

$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм: по наружному диаметру	Допускаемые отклонения, мм: по толщине стенки	Масса 1 м, кг	Минимальный радиус гиба трубы* (по осевой линии), мм	Условное избыточное давление $p_у$, МПа, не более
20	25 ×2	+0,7	0,5	0,16	100	0,6
	25 ×2,3		+0,6	0,18		1,0
25	32 ×1,6	+0,8	+0,5	0,17	130	0,25
	32 ×2			0,20		0,6
	32 ×2,9		+0,6	0,29		1,0
32	40 ×1,6	+0,9	+0,5	0,21	160	0,25
	40 ×2,3			0,29		0,6
	40 ×3,7		+0,8	0,44		1,0
40	50 ×1,6	+1,1	+0,5	0,27	200	0,25
	50 ×2,9		+0,6	0,45		0,6
	50 ×4,6		+0,9	0,68		1,0
50	63 ×1,8	+1,3	+0,5	0,38	250	0,25
	63 ×3,6		+0,8	0,71		0,6
	63 ×5,8		+1,1	1,08		1,0
70	75 ×2	+1,4	+0,5	0,49	300	0,25
	75 ×4,3		+0,9	1,06		0,6
	75 ×6,9		+1,2	1,53		1,0
80	90 ×2,1	+1,7	+0,5	0,62	360	0,25
	90 ×5,1		+1,0	1,54		0,6
	90 ×8,2		+1,4	2,18		1,0
100	110 ×2,7	+2,0	+0,6	0,97	440	0,25
	110 ×6,3		+1,2	2,14		0,6
	110 ×10		+1,7	3,24		1,0
125	140 ×3,5	+2,4	+0,7	1,58	560	0,25
	140 ×8		+1,4	3,44		0,6
	140 ×2,8		+2,1	5,26		1,0
150	160 ×4	+2,7	+0,8	2,06	640	0,25
	160 ×9,1		+1,6	4,47		0,6
	160 ×14,6		+2,4	6,86		1,0
200	225 ×5,5	+3,7	+1,0	3,94	900	0,25
	225 ×12,8		+2,1	8,80		0,6
250	280 ×6,9	+4,5	+1,2	6,15	1120	0,25
300	315 ×7,7	+5,2	+1,4	7,75	1260	

Примечания.

1. Трубы поставляются в прямых отрезках длиной 6, 8, 10 и 12 м с допуском ±50 мм или в бухтах (для $D_у \leq 32$ мм).
2. Выбор допустимого рабочего давления в зависимости от характера и температуры рабочей среды производится по табл. 7.21.
3. Рекомендуемая область применения полиэтиленовых труб указана в табл. 7.22.

4. По МН 3005—61 — МН 3017—61 предусматривается выпуск деталей трубопроводов из полиэтилена высокого давления (низкой плотности) — крестовины прямые, тройники прямые, угольники прямые и с крепежным фланцем, муфты, переходы, футорки, ниппеля, гайки накидные, втулки резьбовые, бурто-вые и под фланцы, фланцы стальные условных проходов, соответствующих выпускаемым трубам.

---

* В горячем состоянии. При гибке труб в холодном состоянии минимальный радиус гиба увеличивается в 3 раза.

Таблица 7.21

Выбор допускаемого рабочего давления для труб из полиэтилена низкого и высокого давлений в зависимости от характера и температуры рабочей среды

Материал труб	Рабочая среда	Температура, °С, не более	Допускаемое p_R, МПа, для условных давлений p_y, МПа		
			0,25	0,60	1,00
Полиэтилен низкого давления (высокой плотности)	Вода, инертные газы, негорючие и нетоксичные жидкости и пары, в которых материал химически стоек	20	0,25	0,60	1,00
		30	0,10	0,25	0,60
		40	—	0,10	0,25
		50		—	0,10
	Продукты с токсическими свойствами, пожаро- и взрывоопасные жидкости и газы, в которых материал химически стоек и для которых непроницаем	20	0,10	0,25	0,60
		30	—	0,10	0,25
		40		—	0,10
	Негорючие и нетоксичные жидкости и пары, в которых материал условно стоек	20	0,10	0,25	0,60
		30	—	0,10	0,25
		40		—	0,10
Полиэтилен высокого давления (низкой плотности)	Вода, инертные газы, негорючие и нетоксичные жидкости и пары, в которых материал химически стоек	20	0,25	0,60	1,00
		30	0,20	0,50	0,80
		40	0,10	0,30	0,50
		50	0,05	0,16	0,30
		60	—	0,10	0,20
	Продукты с токсическими свойствами, за исключением сильнодействующих ядовитых веществ и дымящихся кислот; горючие (в том числе сжиженные) и активные газы, легко воспламеняющиеся и горючие жидкости, в которых материал химически стоек и для которых непроницаем	20	0,10	0,25	0,60
		30	0,05	0,20	0,40
		40	—	0,10	0,20
	Негорючие и нетоксичные жидкости и пары, в которых материал химически условно стоек	20	0,10	0,25	0,60
		30	0,05	0,20	0,40
		40	—	0,10	0,20

Таблица 7.22

Рекомендуемая область применения полиэтиленовых трубопроводов в химических производствах

Транспортируемые среды	D_y, мм	Рабочее избыточное давление, p_R, МПа	Рабочая температура среды, °С
Растворы гидрохлорида натрия и кальция	100—150	≤ 0,5	≤ 30
Растворы соляной и серной кислот; аммиачная среда	50—100	≤ 0,25	≤ 60
Слабые растворы серной, соляной и фосфорной кислот, известковое молоко; шлам; аммиачная вода	25—200	≤ 0,40	От —30 до +25
Сернистый газ от скрубберов	200—300	0,03	≤ 40
Меловое молоко; пульпа; промывные и оборотные воды; травильные растворы	60—250	≤ 0,25	≤ 60
Травильные растворы солей металлов	50—200	0,1	≤ 40
Рассол хлористого натрия и хлористого кальция	30—100	≤ 0,5	≤ 20

Таблица 7.23

Рекомендуемый сортамент труб из фторопласта-4 (МРТУ 6-05-986—66)

$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг
		по наружному диаметру	по толщине стенки	
50	58 ×4	4—7% (в пределах усадки)	±1,0	1,44
70	85 ×5		±1,25	3,87
100	112 ×6		±1,5	4,25
200	220 ×10		±2,0	14,00
300	324 ×12		±2,8	24,55
400	430 ×15		±3,0	41,50

Примечания.

1. Трубы изготавливаются длиной от 1 до 3,2 м.
2. Трубы размером 58×4 и 85×5 испытываются гидравлическим избыточным давлением $p_{пр}$=0,5 МПа, трубы больших размеров — пневматическим избыточным давлением $p_{пр}$ = 0,25 МПа.
3. Для труб размеров 58×4, 85×5 и 112×6 по ВТУ 11-54—67 из фторопласта-4 изготавливаются крестовины, тройники и отводы; для всех размеров труб по чертежам заказчика изготавливаются компенсаторы температурных деформаций трубопроводов.
4. По ТУ НИИПМ 11-368—64 из фторопласта-4 изготавливаются трубы или шланги размеров 8×1; 10×1; 18×1,5; 23×1,5 и 26×1,5 длиной от 0,3 до 15 м.

Таблица 7.24

Рекомендуемый сортамент труб из термостойкого боросиликатного стекла для напорных, безнапорных и вакуумных трубопроводов химических производств (ГОСТ 8894—78)

$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	Допускаемые отклонения, мм		Масса 1 м, кг	Условия применения	
		по наружному диаметру	по толщине стенки		Рабочее избыточное давление, МПа, не более	Допустимый перепад температуры*, °С
40	45 × 4	—2	±1,0	1,15	0,7	80
60	68 × 5	—3		2,21	0,6	75
80	93 ×6	—4		3,66	0,5	72
100	122 × 7	—5		5,65	0,4	65

Примечания.

1. Трубы выпускаются длиной 1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,5; 2,75 и 3,0 м.
2. Трубы предназначены для транспортирования горячих и холодных агрессивных жидкостей и газов (за исключением плавиковой кислоты), воды и других продуктов.
3. По ГОСТ 11192—79 предусматривается выпуск фасонных частей из термостойкого стекла для трубопроводов с указанными в таблице условными проходами — отступов, отводов под углом 15, 30, 45, 60, 75 и 90°, двойных отводов , тройников прямых и переходных, крестовин прямых и переходов.

* При испытании труб на термическую стойкость.

Таблица 7.25

Рекомендуемые размеры труб из графитопласта (антегмита) марки АТМ-1 (СТУ-45-ЦЧ-942—63)

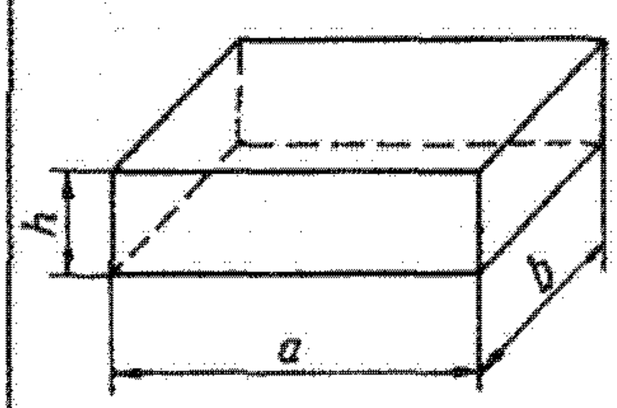
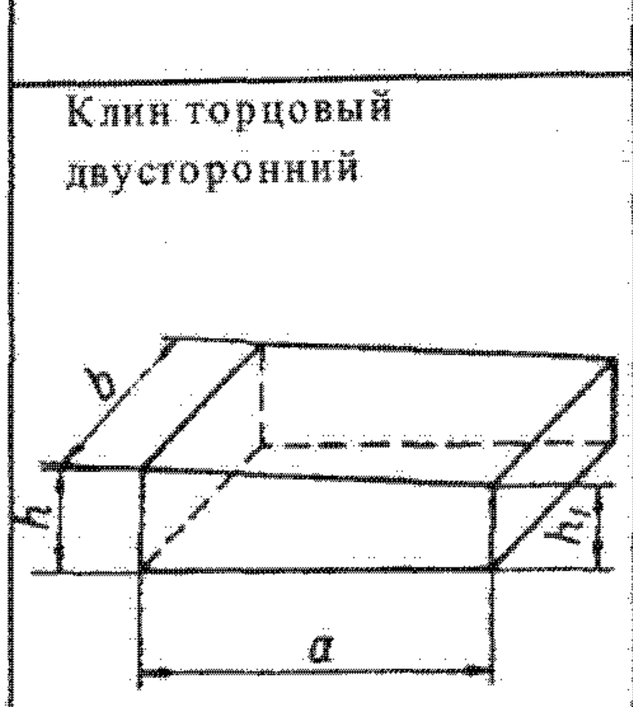
$D_у$, мм	$D_н \times s$, мм	Масса 1 м, кг
15	21 ×3,5	0,26
20	23 ×3,5	0,29
	28 × 5	0,64
25	33 × 3,5	0,59
	37 × 3,5	0,98
32	42 × 5*	1,05
	48 × 6	1,45
40	52 × 6*	1,58
50	60 × 6	1,70
	63 × 6,5*	2,10
60	74 × 7*	2,67
70	85 × 7,5*	3,32
75	90 × 7,5*	3,55
80	98 × 9*	4,58
90	114 × 12*	7,00
100	125 × 12,5	7,95

Примечания.

1. К трубам, отмеченным знаком *, выпускаются муфты, угольники, тройники и крестовины.
2. Трубы размеров 37×5,5; 48×6 и 60×6 изготавливаются длиной 6 м, остальных размеров — длиной 2 и 3 м.
3. Трубы из антегмита марок АТМ-1Г и АТМ-10 могут быть изготовлены по соглашению сторон.

Таблица 7.26

Сортамент кислотоупорного кирпича (ГОСТ 474—90)

Тип кирпича	a	b	h	h1
	мм			
Прямой 	230	113	65	—
Клин торцовый двусторонний 	230	113	65	55

Продолжение табл. 7.26

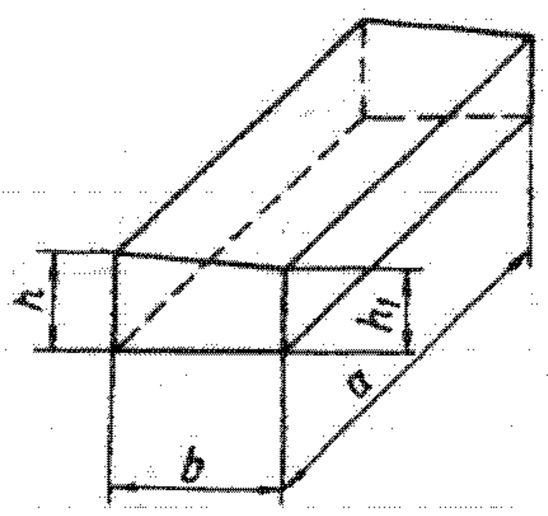
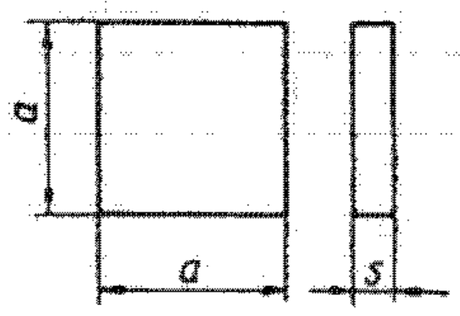
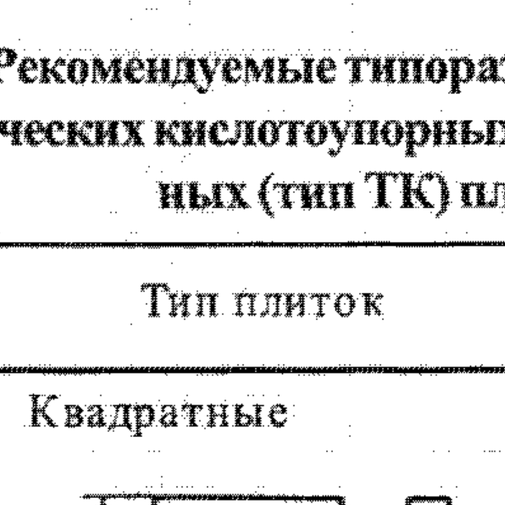
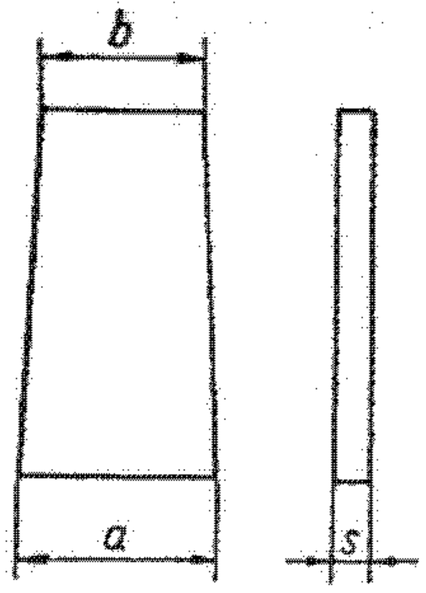
Тип кирпича	a	b	h	h1
	мм			
Клин ребровый двусторонний 	230	113	65	55

Таблица 7.27

Рекомендуемые типоразмеры футеровочных керамических кислотоупорных (тип К) и термокислотоупорных (тип ТК) плиток (ГОСТ 961—89)

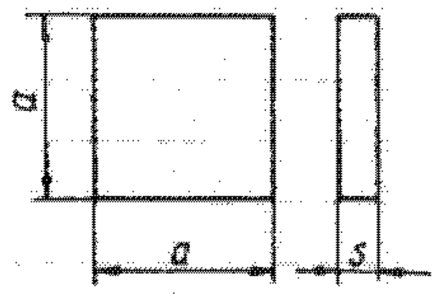
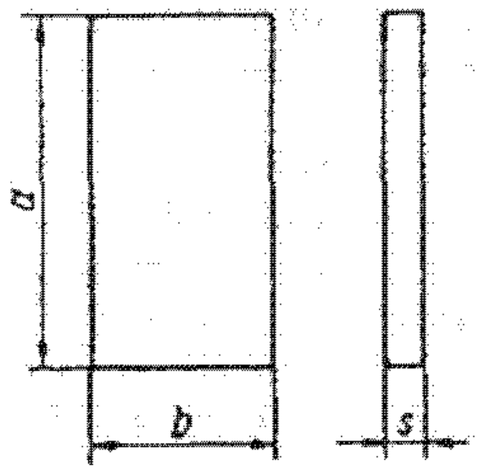
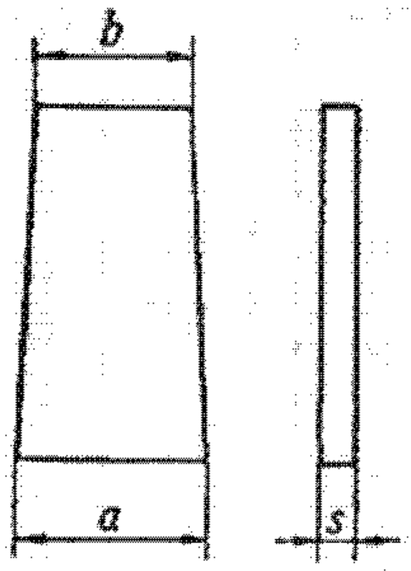
Тип плиток	a	b	h	s
	мм			
Квадратные 	50	—	—	10
	100			10; 20
	150			20; 25; 30
	175			20; 30; 35; 50
	200			
Прямоугольные 	100	50	—	10; 20; 30; 50
	150	75		20; 25; 30; 50
	175			20; 30
	200	100		20; 30; 35; 50
Клиновые 	50	44	100	30
	100	88	200	
	150	125	175	20; 30; 50
		135		
		140		
		145		
		150		
		155		
	175	160		
		165		
		170		

Примечания.

1. Плитки толщиной 10 мм изготавливаются только типа К.
2. Допускаемые отклонения от линейных размеров для плиток 1-го сорта составляют: для размеров ≤100 мм — не более ±1 мм; для размеров >100 мм — не более ±2%.

Таблица 7.28

Рекомендуемый сортамент футеровочных плиток для целлюлозноварочных котлов (ГОСТ 11318—65)

Тип плиток	a	b	h
	мм		
Квадратные 	100	—	—
	150		
	175		
	200		
Прямоугольные 	100	50	
	150	75	
	175		
	200	50	
		100	
	230	113	
Клиновые 	50	44	100
	75	67	150
	100	88	200
	175	173	175
		170	200
		165	
		160	
		170	
		165	
		160	
		155	
		150	
	150	145	175
		140	
		135	
		130	
		125	
		120	
		115	
	135	110	
		105	
		90	
		80	
	75	67	200
	100	88	

Примечания.

1. Лицевые плитки изготавливаются толщиной s, равной 30, 40 и 50 мм, подкладочные — толщиной 20 и 30 мм. В толщину плиток не входит высота рифления.
2. Допускаемые отклонения от линейных размеров для плиток 1-го сорта составляют: для размеров ≤100 мм — не более ±1 мм; для размеров >100 мм — не более ±1,5%.

Таблица 7.29

Рекомендуемый сортамент футеровочных плиток из графитопласта (антигмита) марки АТМ-1

Тип плиток	Толщина	Ширина	Длина	Масса 1 м, кг
	мм			
Гладкие	10	125	90—1000	2,4
		120	2000	2,3
С выступами "ласточкин хвост"	13	125	90—1000	2,7

Примечание.
Допускаемое отклонение по толщине и ширине $^{+1,0}$ мм.

Таблица 7.30

Фильтрующие элементы из керамики и фторопласта-4

Материал	Вид элементов и сортамент (каталог, ТУ)	Краткая техническая характеристика и назначение
Кислотоупорная керамика (шамотно-бетонитовая масса)	Цилиндры высотой 250 мм и диаметрами $D_н/D_в$=120/70 мм и $D_н/D_в$=90/50 мм; доски диаметром 175 мм и толщиной 20 мм	Фильтрующая керамика, из которой изготавливают элементы, в зависимости от размера пор обозначается № 21 (поры размером 50—60 мкм), № 32 (поры размером 85—100 мкм), № 43 (поры размером 110—130мкм) и № 64 (поры размером 133—155 мкм). Элементы применяются для фильтрации кислых сред любых концентраций (за исключением плавиковой и фосфорной кислот) температурой до +350 °С и щелочных сред концентрацией до 10% и температурой до +20 °С
Фторопласт-4	Цилиндр пористый наружным диаметром 60 мм со сферическим утолщенным дном (МРТУ 6-05-985—66)	Фильтрующий элемент предназначен для очистки от осадков агрессивных растворов различных концентраций при температуре до +120 °С
	Пластины пористые размером 170×170 мм; 200×200 мм; 250×250 мм; 300×300 мм и толщиной от 3 до 50 мм (ВТУ 11-50—60)	Фильтрующие элементы предназначены для очистки от осадков агрессивных растворов различных концентраций в интервале температур от —65 до +120 °С

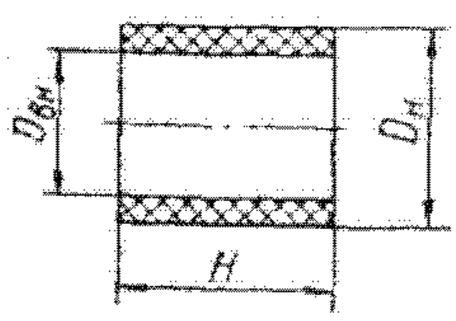


Таблица 7.31

Рекомендуемый сортамент насадочных колец Рашига

Материал	ГОСТ или ТУ на изделия	$D_н$	$D_{вн}$	H
		мм		
Керамика кислотоупорная	ГОСТ 748—67	25	—	25
		50		50
		80		80
		100		100
		120		120
		150		150
Полуфарфор	ГОСТ 8261—56	15	—	15
		25		25
		50		50
Фторопласт-4	ТУ 810—59	—	40	5—100
			50	
			75	
			100	
			200	
			300	
			400	

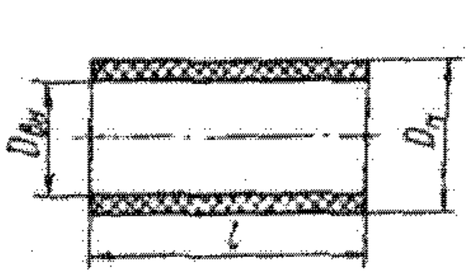


Таблица 7.32

Рекомендуемый сортамент втулок и колец из фторопласта-4 (ТУ 810—59)

$D_н$	$D_{вн}$	$D_н$	$D_{вн}$	$D_н$	$D_{вн}$
мм		мм		мм	
37±1,5	20±1,5	70±3,0	28±2,0	95±4,0	45±2,5
45±2,5			30±2,0		50±2,5
50±2,5			35±2,0	100±4,0	60±2,5
	25±2,0	75±3,0	20±1,5	105±4,0	30±2,5
	35±2,0		28±2,0		80±3,0
	40±2,0		35±2,0	120±4,0	90±4,0
55±2,0	25±2,0		48±2,5	130±5,0	30±2,0
	32±2,0		50±2,5		48±2,5
60±2,5	25±2,0	80±3,0	20±1,5		78±3,0
	28±2,0	85±4,0		140±5,0	30±2,0
	35±2,0		40±2,0		48±2,5
	48±2,5		50±2,5		55±2,5
65±3,0	30±2,0	90±4,0	65±3,0		78±3,0
	48±2,5	95±4,0	32±2,0		130±5

Продолжение табл. 7.32

$D_н$	$D_{вн}$	$D_н$	$D_{вн}$	$D_н$	$D_{вн}$
мм		мм		мм	
150±5,0	30±0,2	170±6,0	100±4,0	$300_{-8,0}$	$220^{+8,0}$
	48±2,5		145±5,0		$240^{+8,0}$
	98±4,0		150±5,0		
160±6,0	100±4,0	200±6,0	90±4,0		$260^{+8,0}$
	120±4,0		120±4,0	$360_{-10,0}$	$300^{+8,0}$
	125±5		125±5,0	$400_{-10,0}$	$340^{+10,0}$
	50±2,5	210±8,0	172±6,0	$410_{-12,0}$	$350^{+10,0}$
	90±4,0	270±8,0		$460_{-12,0}$	$400^{+10,0}$
170±6,0	50±2,5		200±6,0	$500_{-12,0}$	$440^{+12,0}$
	80±3,0	280±8,0	230±8,0	$560_{-12,0}$	$500^{+12,0}$

$D_н$	L
≤200	25—100
210—280	25—70
300	10—30
360	≤100
400—500	15—100

ЧАСТЬ II

СВАРКА, ПАЙКА И СКЛЕИВАНИЕ В ИЗГОТОВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ГЛАВА 8

НЕРАЗЪЕМНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

8.1. Сварные соединения

Основным видом неразъемного соединения отдельных деталей в стальных сварных аппаратах является преимущественно электродуговая сварка, выполняемая различными способами (ручным, автоматическим и полуавтоматическим под флюсом, в защитных газах и др.).

Типы, конструктивные элементы, размеры и обозначения монометаллических стальных сварных соединений стандартизованы: для ручной электродуговой сварки (Р) — по ГОСТ 5264—80; для автоматической (А) и полуавтоматической (П) электродуговой сварки под флюсом — по ГОСТ 8713—79; для электродуговой сварки в защитных газах (З) — по ГОСТ 14771—76; для электрошлаковой сварки (Ш) — по ГОСТ 15164—78.

Типы, конструктивные элементы, размеры и обозначения сварных соединений двухслойных сталей установлены ГОСТ 16098—80, а стальных труб и их элементов — ГОСТ 16037—80.

Сварки имеют несколько способов выполнения, которые обозначаются:

автоматическая — под флюсом (А), на флюсовой подушке (Аф), на флюсо-медной подкладке (Ам), на стальной подкладке (Ас),с предварительным наложением подварочного шва (Апш), с предварительной подваркой корня шва (Апк); *полуавтоматическая* — под флюсом (П), на стальной подкладке (Пс), с предварительным наложением подварочного шва (Ппш), с предварительной подваркой корня шва (Ппк); *сварка в защитных газах* — в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным материалом (ИН), с присадочным материалом (ИНп), плавящимся электродом (ИП), в углекислом газе (УП); *электрошлаковая сварка* — проволочным электродом (ШЭ); плавящимся мундштуком (ШМ); электродом большого сечения, соответствующим по форме поперечному сечению сварочного пространства (ШП).

На рис. 8.1—8.6 показаны наиболее употребительные в сварной технологической аппаратуре конструкции стальных сварных стандартных соединений, а в таблице — ссылки на соответствующие стандарты, в которых приведены основные размеры сварных соединений.

При сварке обечаек и труб, при варке днищ к обечайкам должны применяться, как правило, стыковые двусторонние швы. Односторонние швы применяются для соединения ненагруженных деталей и в тех случаях, когда невозможно применить двустороннюю сварку. При этом необходимо сварку осуществлять с подкладками (съемными и остающимися).

Угловые и тавровые сварные швы применяются для присоединения штуцеров, люков и т. п. деталей. Присоединение плоских днищ угловыми швами допускается только в аппаратах, неподведомственных Госгортехнадзору.

На корпусе аппарата допускается иметь не более одного замыкающего шва, доступного для визуального осмотра только с одной стороны. Замыкающий шов во всех аппаратах должен быть выполнен способом, обеспечивающим провар по всей толщине свариваемого металла (например, аргонодуговой сваркой корня шва с подкладным кольцом или замковым соединением). Перекрытие мест пересечения швов не допускается.

При приварке к корпусу или днищу аппарата опор, внутренних устройств и других деталей (кроме укрепляющих колец, штуцеров и люков) расстояние между краем шва приварки детали и краем ближайшего другого шва должно быть не менее толщины стенки корпуса или днища, но не менее 20 мм.

Продольные швы смежных обечаек и меридиональные швы выпуклых и конических днищ должны быть смещены относительно друг друга на трехкратную толщину наиболее толстого элемента, но не менее чем на 100 мм между осями швов.

Для аппаратов с толщиной стенки $s \leq 30$ мм, работающих под избыточным давлением до 1,6 МПа и при температуре не ниже 0 и до 400 °С, продольные швы смежных обечаек и меридиональных днищ допускается не смещать относительно друг друга, если соединения выполняются автоматической или электрошлаковой сваркой при условии их 100%-ного просвечивания или ультразвуковой дефектоскопии мест пересечения швов.

При стыковых соединениях элементов разной толщины конструкция их должна быть согласно рис. 8.7.

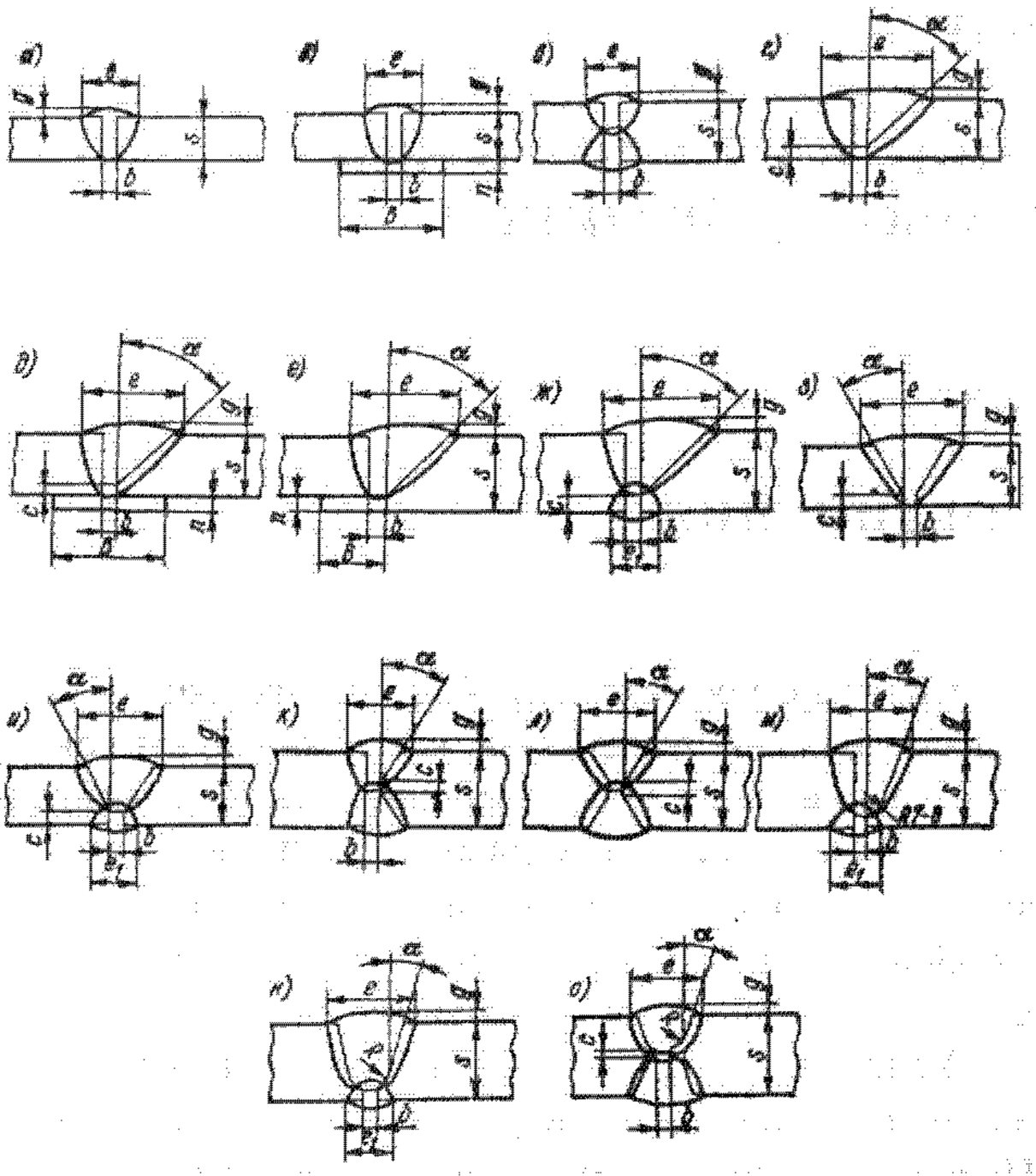


Рис. 8.1. Конструкции стыковых сварных соединений стали, выполненные электродуговой сваркой: *а* — односторонние без скоса кромок; *б* — односторонние без скоса кромок со съемной или остающейся подкладкой; *в* — двусторонние без скоса кромок; г — односторонние со скосом одной кромки; *д* — односторонние со скосом одной кромки и со съемной или остающейся подкладкой: *е* — односторонние замковые со скосом одной кромки; *ж* — двусторонние со скосом одной кромки; *з* — односторонние со скосом двух кромок; *и* — двусторонние со скосом двух кромок; *к* — двусторонние с двумя скосами одной кромки; *л* — двусторонние со скосами двух кромок; *м* — двусторонние с криволинейным скосом одной кромки; *н* — двусторонние с двумя криволинейными скосами двух кромок; *о* — двусторонние с четырьмя криволинейными скосами двух кромок

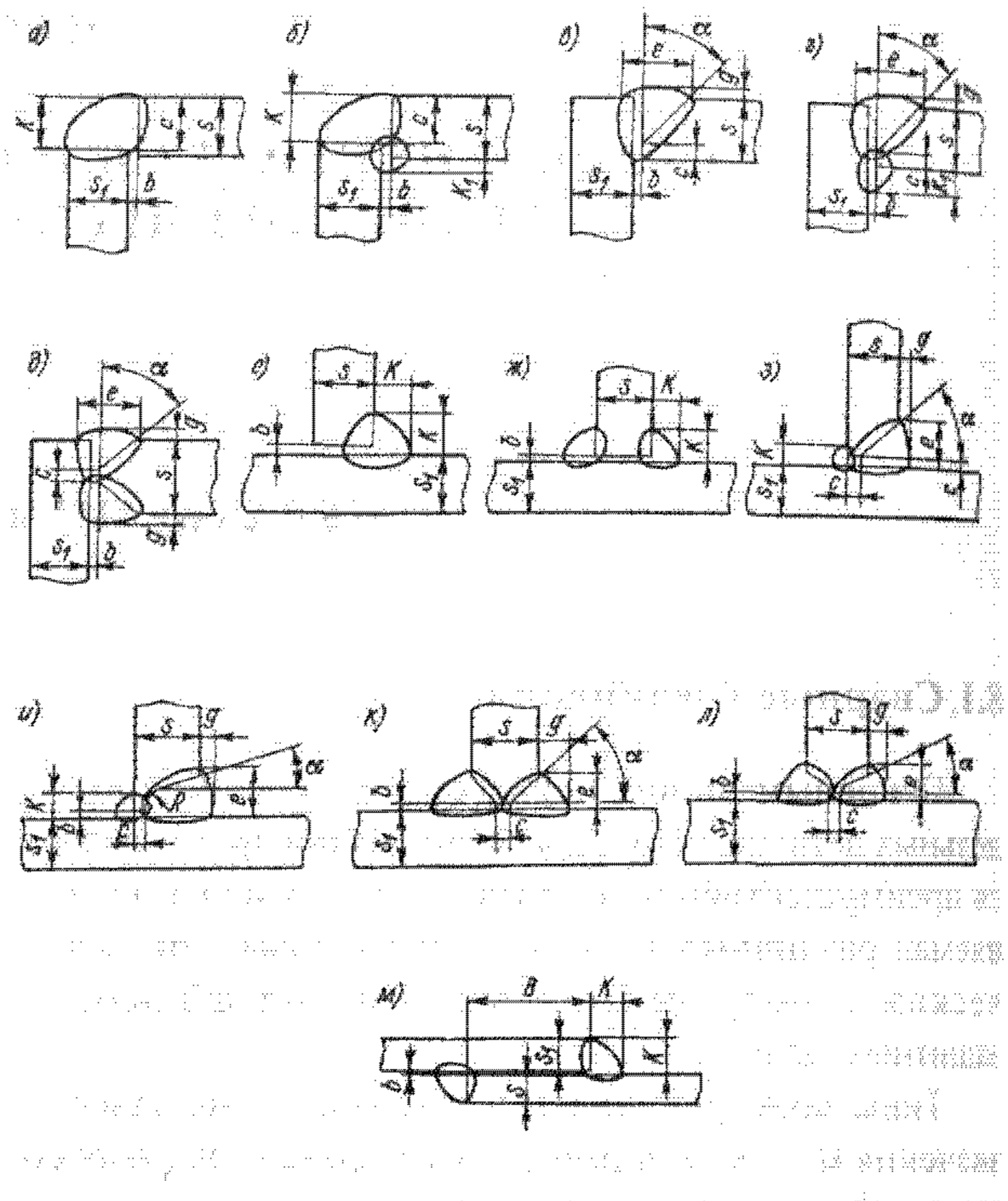


Рис. 8.2. Конструкции угловых (*а—д*) и тавровых (*е—м*) сварных соединений стали, выполненных электродуговой сваркой: *а, е* — односторонние без скоса кромок; *б, ж* — двусторонние без скоса кромок; *в* — односторонние со скосом одной кромки; *г, з* — двусторонние со скосом одной кромки; *д, к* — двусторонние с двумя скосами одной кромки; *и* — двусторонние с криволинейным скосом одной кромки; *л* — двусторонние с двумя криволинейными скосами одной кромки; *м* — внахлестку без скоса кромок

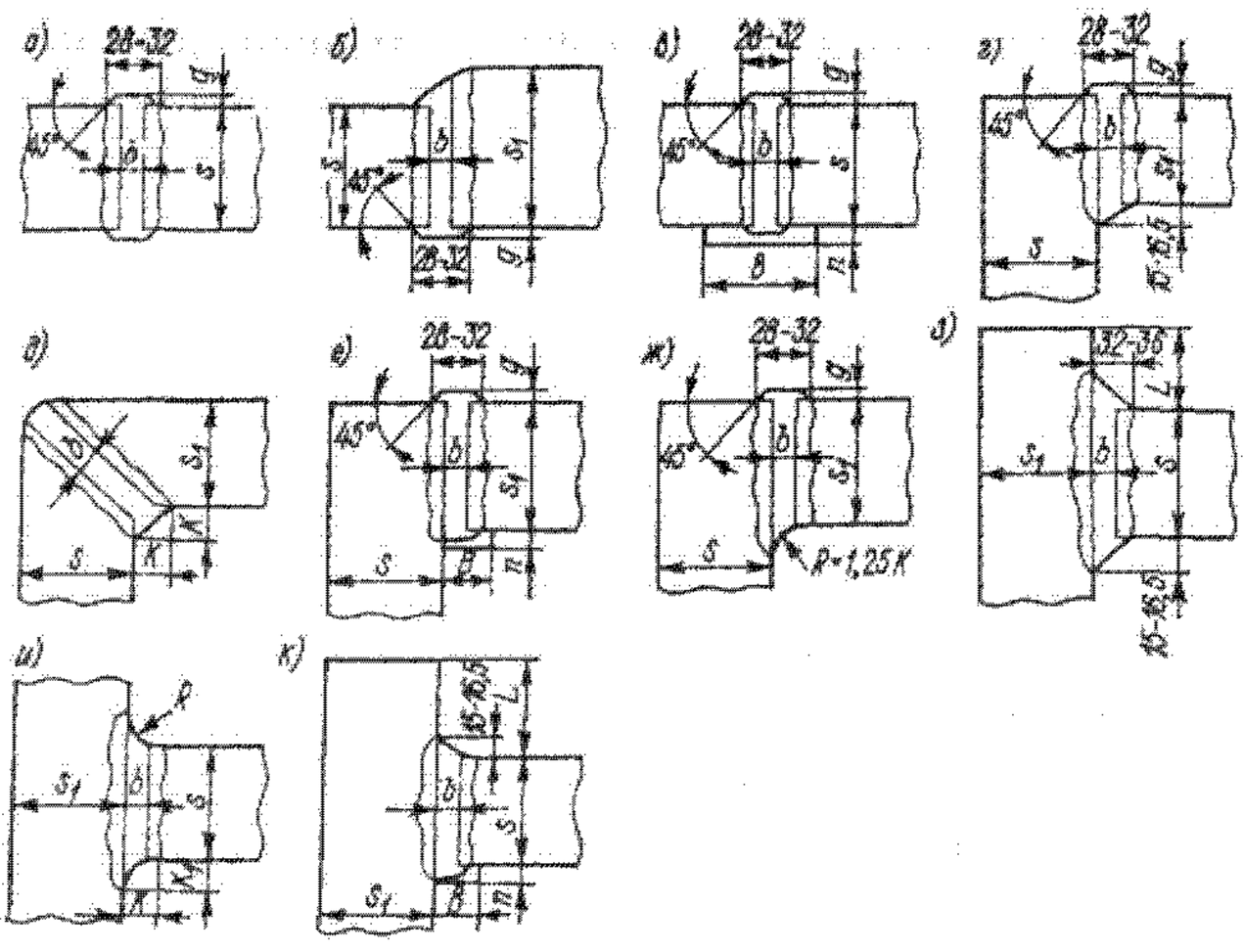


Рис. 8.3. Конструкции стыковых (*а—в*), угловых (*г—ж*) и тавровых (*з—к*) сварных соединений стали, выполненных электрошлаковой сваркой: *а* — без скоса кромок; *б* — без скоса кромок неравной толщины; *в, е, к* — без скоса кромок на приварной подкладке; *г, з*—без скоса кромок с нормальной галтелью; *д*— со скосом двух кромок; *ж, и* — без скоса кромок с увеличенной галтелью

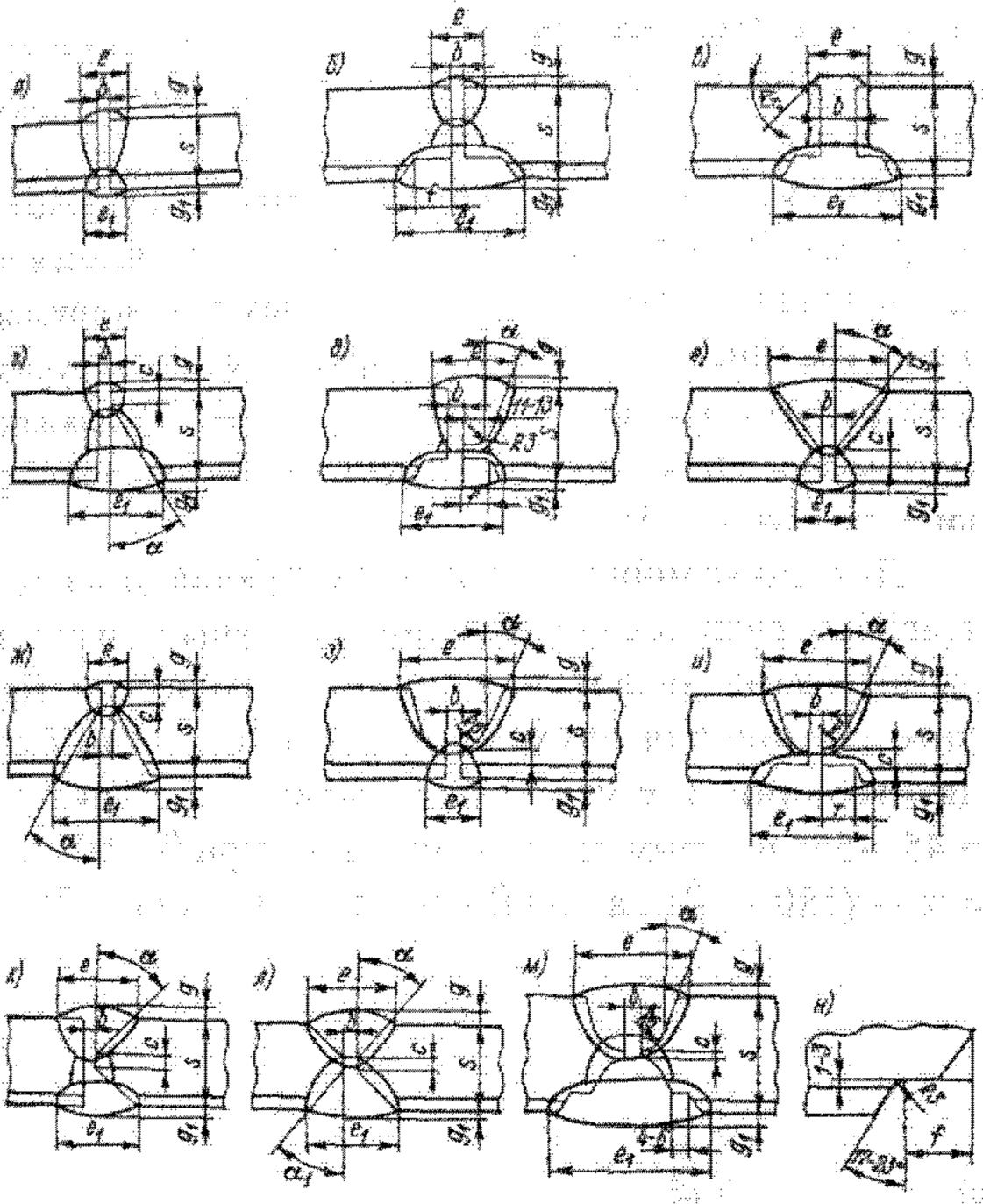


Рис. 8.4. Конструкции стыковых сварных соединений двухслойной стали: *а* — двусторонние без скоса кромок; *б, в* — двусторонние без скоса кромок со снятием плакированного слоя; *г* — двусторонние со скосом одной кромки; *д* — двусторонние с криволинейным скосом одной кромки и снятием плакированного слоя; *е, ж* — двусторонние со скосом двух кромок; *з* — двусторонние с криволинейным скосом двух кромок: *и* — двусторонние с криволинейными скосами двух кромок и снятием плакированного слоя; *к* — двусторонние с двумя скосами одной кромки; *л* — двусторонние с двумя скосами двух кромок; *м* — двусторонние с двумя криволинейными скосами двух кромок и снятием плакированного слоя; *н* — элемент снятия плакированного слоя

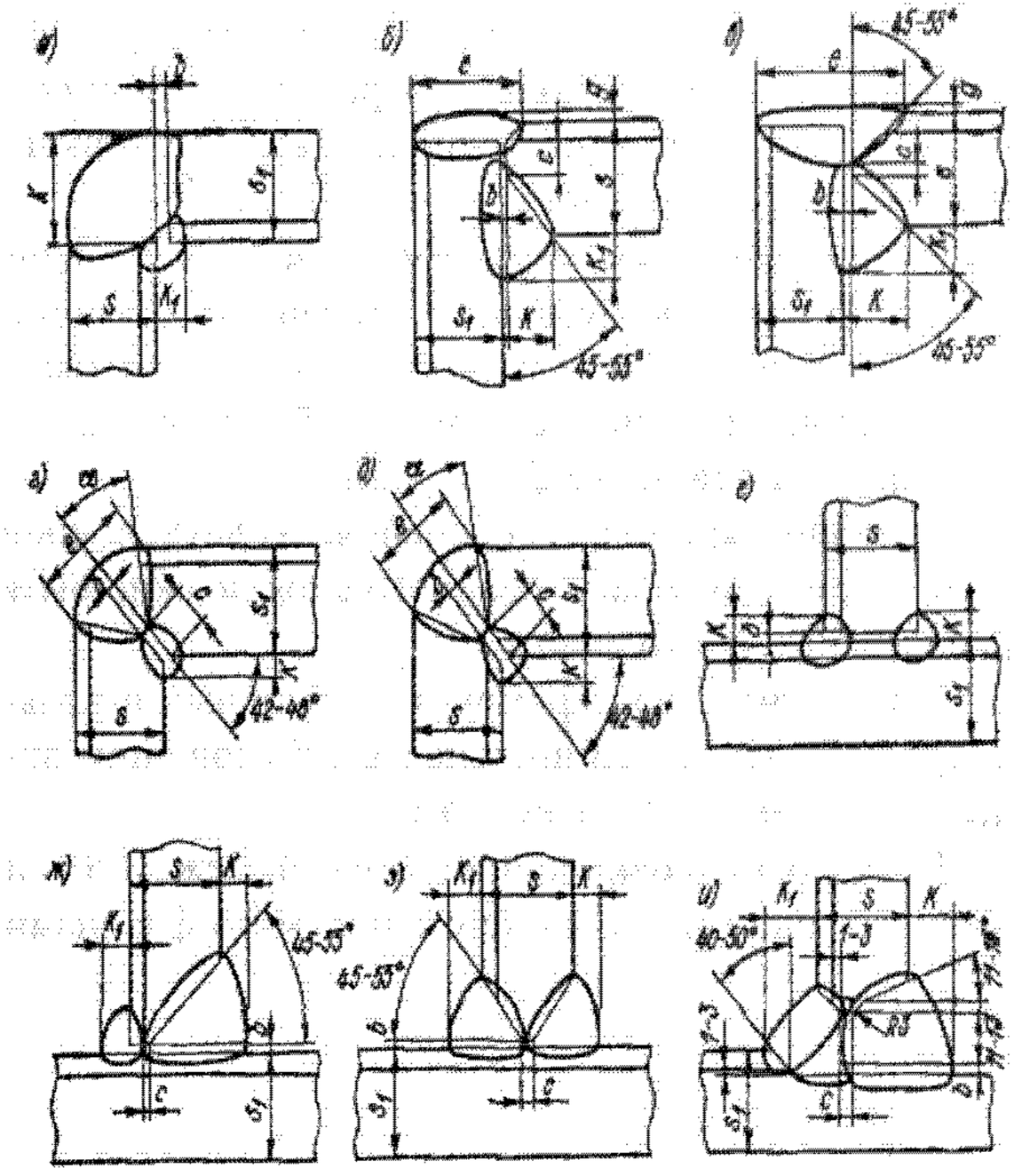


Рис. 8.5. Конструкции двусторонних угловых (*а—д*) и тавровых (*е—и*) сварных соединений двухслойной стали: *а, е* — двусторонние без скоса кромок; *б, ж* — двусторонние со скосом одной кромки; *в, з* — с двумя скосами одной кромки; *г, д, и* — со скосом двух кромок

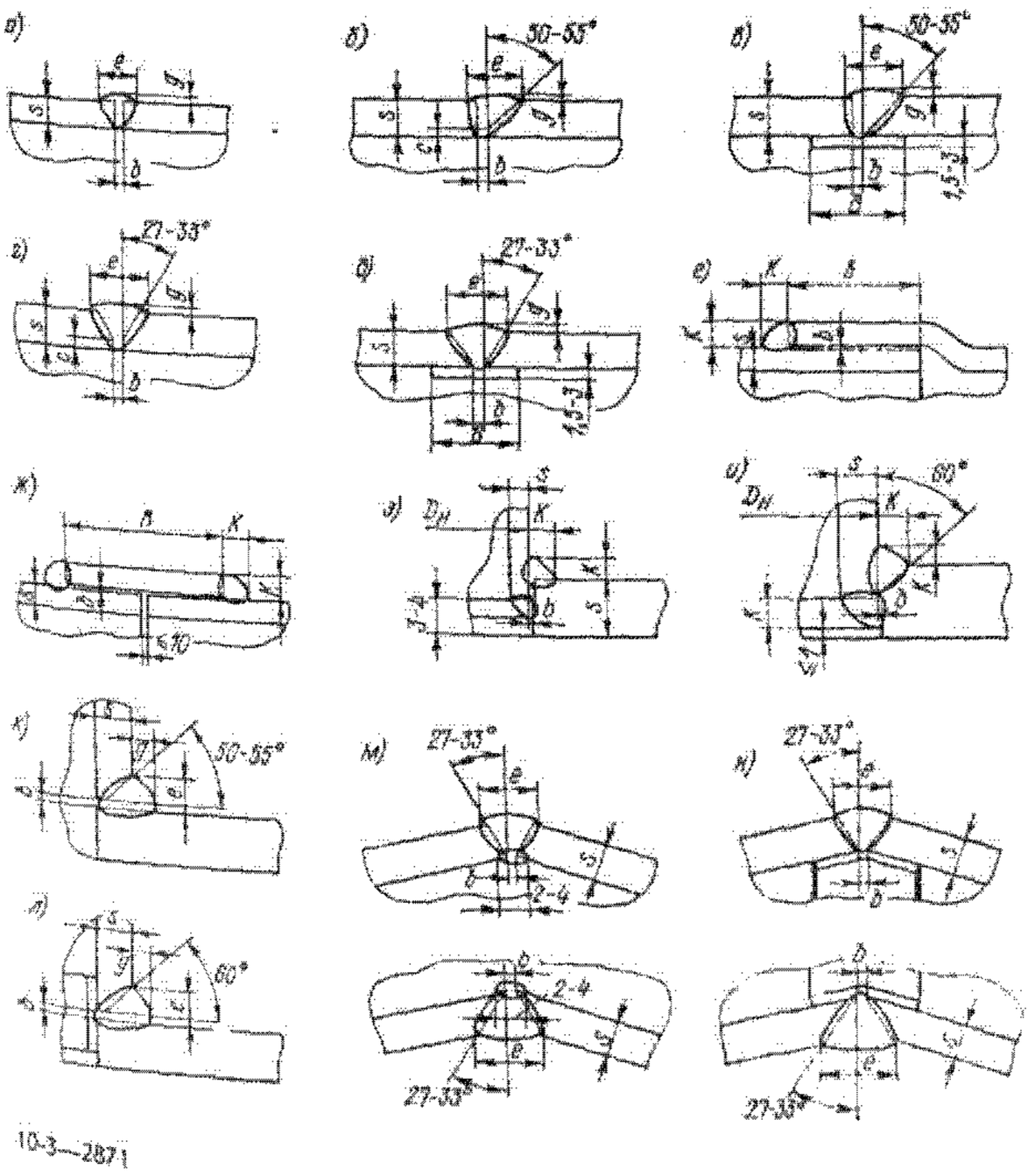


Рис. 8.6. Конструкции сварных соединений стальных труб и их элементов: *а* — стыковые односторонние без скоса кромок; *б* — стыковые односторонние со скосом одной кромки; *в* — стыковые односторонние со скосом одной кромки с остающейся или удаляемой подкладкой; *г* — стыковые односторонние со скосом двух кромок; *д* — стыковые односторонние с подкладкой; *е* — стыковые односторонние внахлестку; *ж* — двусторонние угловые; *з* — двусторонние для соединения с плоскими фланцами; *и* — угловые со скосом одной кромки; *к* — угловые со скосом одной кромки; *л* — угловые со скосом одной кромки и с подкладкой; *м* — соединения под углом без скоса кромок; *н* — соединения под углом с подкладкой

Смещение кромок соединяемых листов в продольных швах обечаек корпусов аппарата не должно превышать 10% номинальной толщины более тонкого листа, но не более 3 мм.

Смещение кромок в кольцевых швах при толщине листа до 20 мм также не должно превышать 10% номинальной толщины более тонкого листа плюс 1 мм, а при толщине листа свыше 20 мм — 15% толщины более тонкого листа, но не более 5 мм.

Смещение кромок в соединениях из двухслойной стали со стороны плакированного слоя должно быть не более 50% его толщины.

Совместный увод кромок в продольных и кольцевых швах не должен превышать 10% толщины листа плюс 3 мм, но не более 5 мм.

Точность стыковки концов обечаек между собой в корпусе аппарата, а также с днищами и фланцами должна быть обеспечена в пределах допускаемых отклонений размеров на смещение кромок в кольцевых швах.

Кроме сварных соединений стыковых, угловых и тавровых (под углом 90°) в аппаратах встречаются соединения под острым или тупым углами. Конструкция таких соединений также стандартизована: для ручной электродуговой сварки — по ГОСТ 11534—75, для автоматической и полуавтоматической электродуговой сварки — по ГОСТ 11533—75.

Для двухслойной стали конструкция угловых и тавровых сварных соединений под тупыми или острыми углами аналогична монометаллическим. При этом соединения двухслойной стали должны быть двусторонними с углом раскрытия под сварку $\alpha = 45—55°$ и углом скоса кромки α_1; при $\beta > 90°$ $\alpha_1 = \alpha — (180 — \beta)°$, а при $\beta < 90°$ $\alpha_1 = \alpha — (90 — \beta)°$.

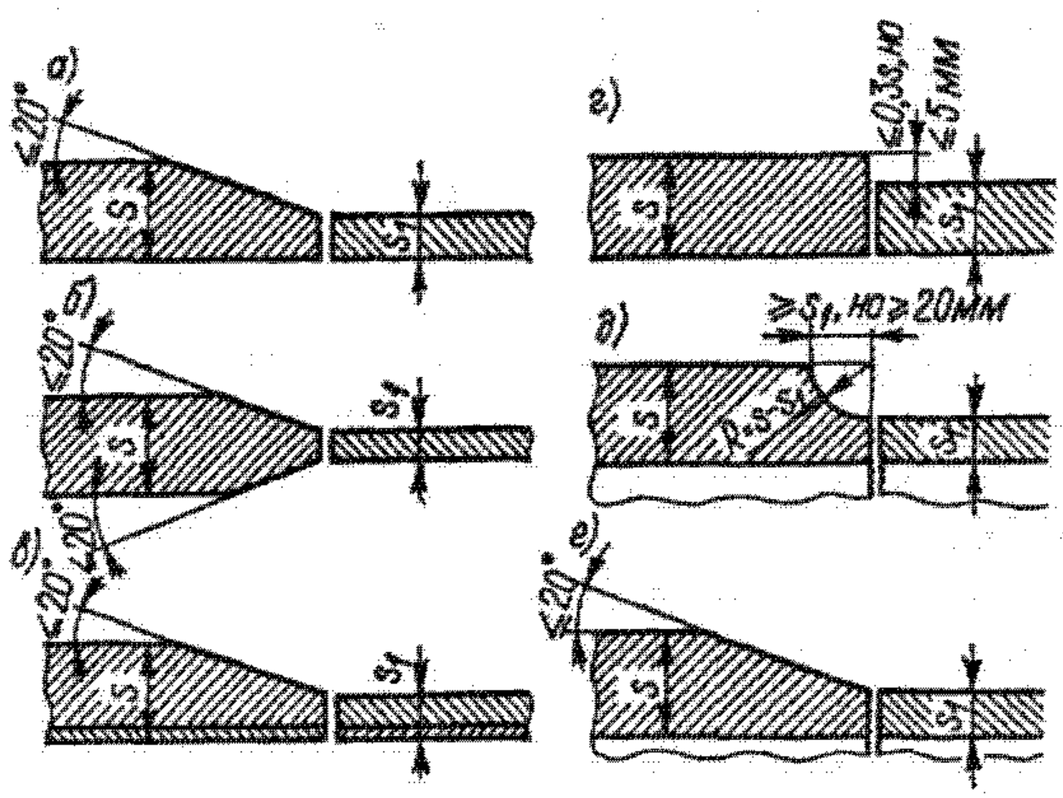


Рис. 8.7. Конструкции элементов для стыковых сварных соединений разной толщины: *а*, *б* — для монометаллических листов, полос и т.п.; *в* — для двухслойных листов; *г* — для монометаллических и двухслойных листов при $s > 1{,}3s_1$, но до 5 мм; *д*, *е* — для труб, втулок и т.п.

Таблица 8.1

Сварные соединения стали

Вид сварного соединения	Номер рисунка	Обозначение		ГОСТ, в котором приведены основные размеры сварного соединения
		сварного соединения	способа сварки	
Стыковое листовой стали	8.1, *а*	С2	Р; ИП; УП	ГОСТ 5264—80 ГОСТ 14771—76
		С5	АФ	ГОСТ 8713—79
	8.1, *б*	С3	Р	ГОСТ 5264—80
		С4	ИН; ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С5	ИН;ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С7	Ас; Пс	ГОСТ 8713—79
	8.1, *в*	С4	Р	ГОСТ 5264—80
		С7	ИН; ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С2	А; П	ГОСТ 8713—79
	8.1, *г*	С5	Р	ГОСТ 5264—80
		С8	ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С10	Аф; Ам	ГОСТ 8713—79
	8.1, *д*	С6	Р	ГОСТ 5264—80
		С10	ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С11	Ап; Пп	ГОСТ 8713—79
	8.1, *е*	С7	Р	ГОСТ 5264—80
		С11	ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С12	А	ГОСТ 8713—79
	8.1, *ж*	С8	Р	ГОСТ 5264—80
		С12	ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С9	А	ГОСТ 8713—79
	8.1, *з*	С15	Р	ГОСТ 5264—80
		С17	ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С17	Аф; Ам	ГОСТ 8713—79
	8.1, *и*	С18	Р	ГОСТ 5264—80
		С21	ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С13	А; П	ГОСТ 8713—79
	8.1, *к*	С11	Р	ГОСТ 5264—80
		С15	ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С29	А; П	ГОСТ 8713—79
	8.1, *л*	С21	Р	ГОСТ 5264—80
		С25	ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С30	А; П	ГОСТ 8713—79
		С31	Аф	ГОСТ 8713—79
		С32	Апк	ГОСТ 8713—79
	8.1, *м*	С9	Р	ГОСТ 5264—80
	8.1, *н*	С19	Р	ГОСТ 5264—80
		С22	ИНп; ИП	ГОСТ 14771—76
		С23	ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С24	ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С21	А	ГОСТ 8713—79
	8.1, *о*	С22	Р	ГОСТ 5264—80
		С23	Р	ГОСТ 5264—80
		С26	ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		С27	УП	ГОСТ 14771—76
		С33	А	ГОСТ 8713—79

Продолжение табл. 8.1

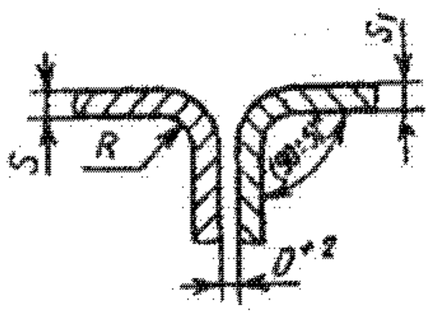
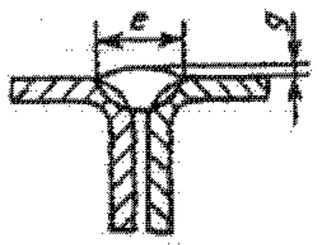
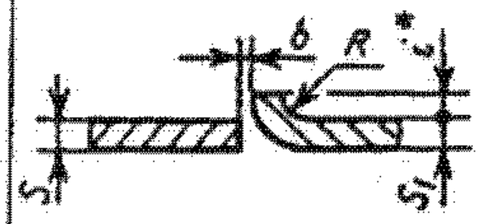
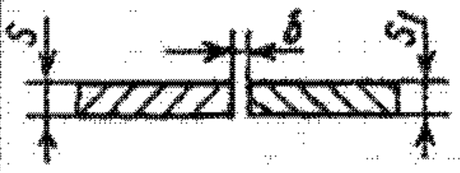
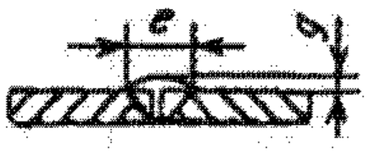
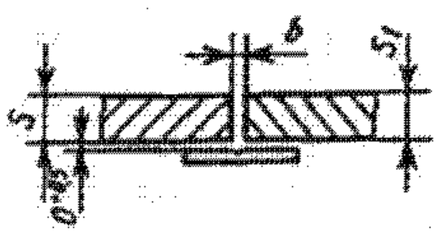
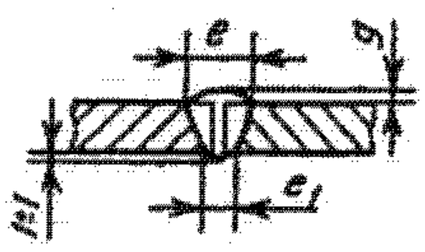
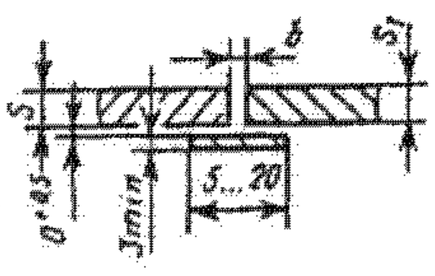
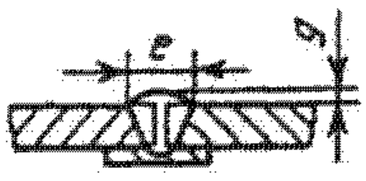
Вид сварного соединения	Номер рисунка	Обозначение		ГОСТ, в котором приведены основные размеры сварного соединения
		сварного соединения	способа сварки	
Стыковое двухслойной листовой стали	8.4, *а*	С1	Р/Р; А/З+А	ГОСТ 16098—80
	8.4, *б*	С2	А/А; Афп/А	ГОСТ 16098—80
	8.4, *в*	С3	Ш/А; Ш/Р	ГОСТ 16098—80
	8.4, *е*	С4	А/А; Р/Р	ГОСТ 16098—80
	8.4, *д*	С5	А/А; Р/Р	ГОСТ 16098—80
	8.4, *е*	С6	Р/Р; А/А	ГОСТ 16098—80
	8.4, *ж*	С7	Р/Р; А/А; Афп/А	ГОСТ 16098—80
	8.4, *з*	С13	Р/Р; А/А	ГОСТ 16098—80
	8.4, *и*	С14	Р/Р; А/А	ГОСТ 16098—80
		С15	А+Ш/А; Р+Ш/А	ГОСТ 16098—80
	8.4, *к*	С17	Р/Р; А/А	ГОСТ 16098—80
	8.4, *л*	С19	Р/Р; А/А	ГОСТ 16098—80
	8.4, *м*	С21	Р/Р; А/А	ГОСТ 16098—80
Стыковое толстолистовой стали, выполненное электрошлаковой сваркой	8.3, *а*	С1	ШЭ; ШМ; ШП	ГОСТ 15164—78
	8.3, *в*	С2	ШЭ; ШМ; ШП	ГОСТ 15164—78
Угловое листовой стали	8.2, *а*	У4	Р	ГОСТ 5264—80
			ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
	8.2, *б*	У5	Р	ГОСТ 5264—80
			ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		У2	Апш; Ппш	ГОСТ 8713—79
	8.2, *в*	У6	Р	ГОСТ 5264—80
			ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
	8.2, *г*	У7	Р	ГОСТ 5264—80
			ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		У3	Апш; Ппш	ГОСТ 8713—79
	8.2, *д*	У8	Р	ГОСТ 5264—80
			ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		У4	Апш; Ппш	ГОСТ 8713—79
Угловое листовой двухслойной стали	8.5, *а*	У1	А/А; Р/Р	ГОСТ 16098—80
	8.5, *б*	У2	Р/Р	ГОСТ 16098—80
	8.5, *в*	У5	Р/Р	ГОСТ 16098—80
	8.5, *г*	У7	Р/Р; А/А	ГОСТ 16098—80
	8.5, *д*	У8	Р/Р; А/А	ГОСТ 16098—80
Угловое толстолистовой стали, выполненное электрошлаковой сваркой	8.3, *г*	У1	ШЭ; ШМ	ГОСТ 15164—78
	8.3, *д*	У2	ШЭ; ШМ	ГОСТ 15164—78
	8.3, *е*	У3	ШЭ; ШМ; ШП	ГОСТ 15164—78
	8.3, *ж*	У4	ШЭ; ШМ	ГОСТ 15164—78

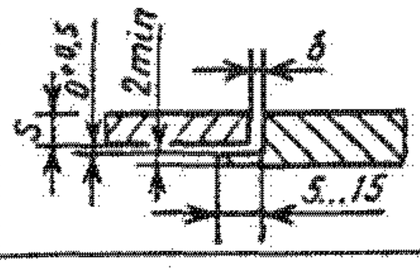
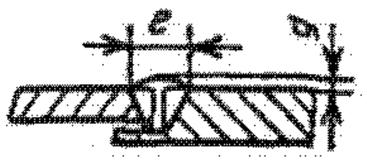
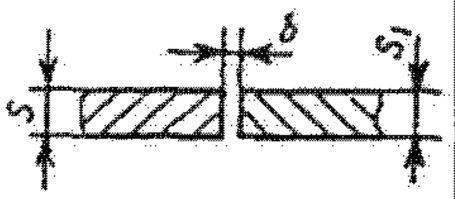
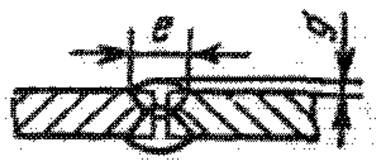
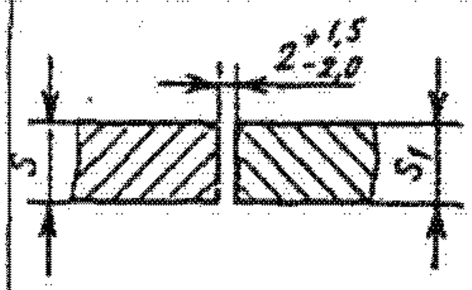
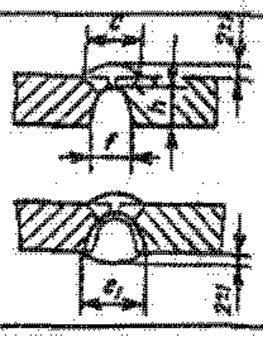
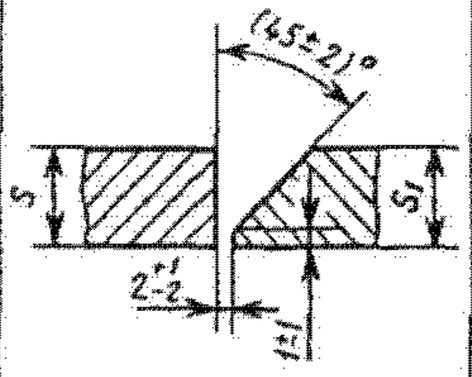
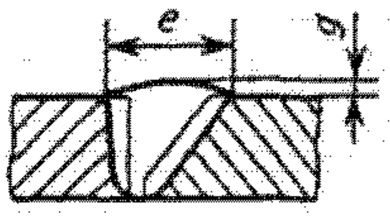
Продолжение табл. 8.1

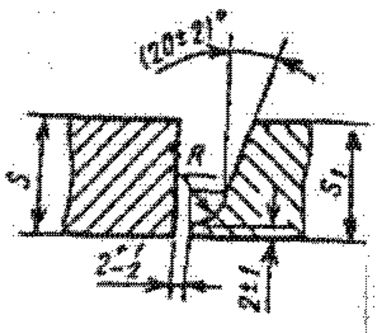
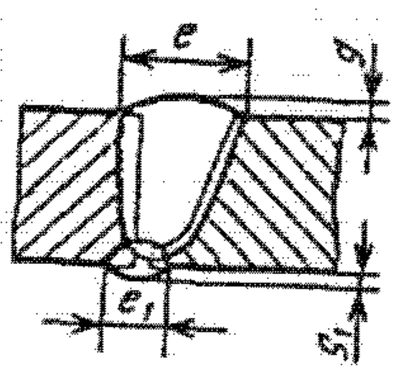
Вид сварного соединения	Номер рисунка	Обозначение		ГОСТ, в котором приведены основные размеры сварного соединения
		сварного соединения	способа сварки	
Тавровое листовой стали	8.2, *е*	Т1	Р	ГОСТ 5264—80
			ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
			А; П	ГОСТ 8713—79
	8.2, *ж*	Т3	Р	ГОСТ 5264—80
			ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		Т5	А; П	ГОСТ 8713—79
	8.2, *з*	Т7	Р	ГОСТ 5264—80
			ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		Т9	Апш; Ппш	ГОСТ 8713—79
	8.2, *и*	Т8	Р	ГОСТ 5264—80
		Т13	Апш	ГОСТ 8713—79
	8.2, *к*	Т9	Р	ГОСТ 5264—80
		Т8	ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		Т10	А; П	ГОСТ 8713—79
	8.2, *л*	Т11	Р	ГОСТ 5264—80
		Т12	А	ГОСТ 8713—79
Тавровое листовой двухслойной стали	8.5, *е*	Т1	А/А; Р/Р	ГОСТ 16098—80
	8.5, *ж*	Т2	Р/з; Р/Р	ГОСТ 16098—80
		Т3	Р/Р; А/А	ГОСТ 16098—80
	8.5, *з*	Т4	А/А; Р/Р	ГОСТ 16098—80
	8.5, *и*	Т5	Р/Р; А/А	ГОСТ 16098—80
Тавровое толстолистовой стали, выполненное электрошлаковой сваркой	8.3, *э*	Т1	ШЭ; ШМ	ГОСТ 15164—78
	8.3, *и*	Т2	ШЭ; ШМ	ГОСТ 15164—78
	8.3, *к*	Т3	ШЭ; ШМ	ГОСТ 15164—78
Нахлесточное листовой стали	8.2, *м*	Н2	Р	ГОСТ 5264—80
			ИН; ИНп; ИП; УП	ГОСТ 14771—76
		Н1	А; П	ГОСТ 8713—79
Стыковое труб	8.6, *а*	С2	Г;ЗП; Р; Ф; ЗН	ГОСТ 16037—80
		С4	Р;ЗН;ЗП	ГОСТ 16037—80
	8.6, *б*	С8	ЗП; Р	ГОСТ 16037—80
	8.6, *в*	С10	ЗП; Р	ГОСТ 16037—80
	8.6, *г*	С17	Г; ЗП;ЗН; Р	ГОСТ 16037—80
	8.6, *д*	С18	ЗП; ЗН; Р; Ф	ГОСТ 16037—80
		С19	ЗП;ЗН; Р	ГОСТ 16037—80
Нахлесточное труб	8.6, *е*	Н3	Г; ЗП; Р	ГОСТ 16037—80
Нахлесточное труб муфтой	8.6, *ж*	Н4	Г; ЗП; Р	ГОСТ 16037—80
Угловое труб с фланцами	8.6, *з*	У5	ЗП; Р	ГОСТ 16037—80
	8.6, *и*	У7	ЗП; Р	ГОСТ 16037—80
Угловое ответвительного штуцера с трубой	8.6, *к*	У19	ЗП; ЗН; Р	ГОСТ 16037—80
	8.6, *л*	У21	ЗП; ЗН; Р	ГОСТ 16037—80
Стыковое секторов колец (отводов)	8.6, *м*	С54	ЗП; Р	ГОСТ 16037—80
	8.6, *н*	С55	ЗП; Р	ГОСТ 16037—80

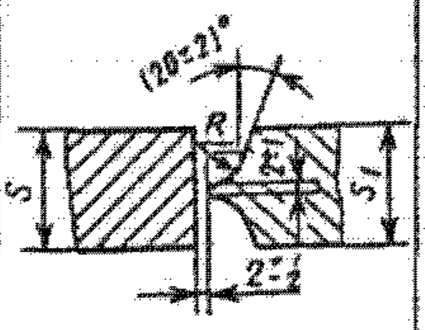
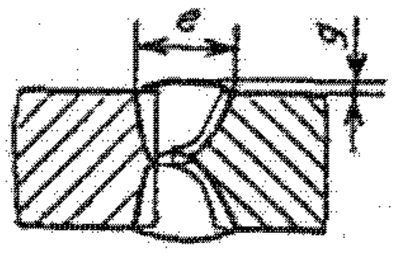
8.1.1. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых соединений ручной дуговой сваркой (ГОСТ 5264—80)

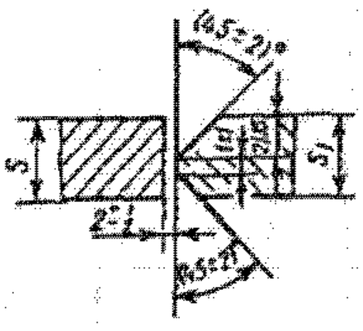
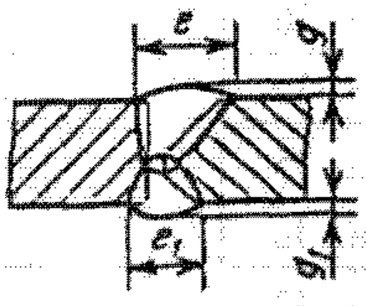
Размеры, мм

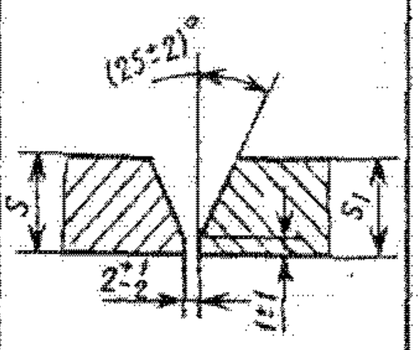
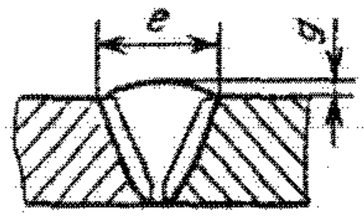
<table>
<tr><th rowspan="2">Условное обозначение сварного соединения</th><th colspan="2">Конструктивные элементы</th><th rowspan="2">s</th><th rowspan="2">R</th><th rowspan="2">e, не более</th><th colspan="2">g</th></tr>
<tr><th>подготовленных кромок свариваемых деталей</th><th>сварного шва</th><th>Номин.</th><th>Пред. откл.</th></tr>
<tr><td rowspan="4">С 28</td><td rowspan="4">  </td><td rowspan="4">  </td><td>От 1 до 2</td><td rowspan="4">От s до $2s$</td><td>$3s + 2$</td><td rowspan="4">0</td><td>+1</td></tr>
<tr><td>Св. 2 до 6</td><td rowspan="2">$2s + 3$</td><td></td></tr>
<tr><td>Св. 6 до9</td><td>+2</td></tr>
<tr><td>Св. 9 до 12</td><td>$2s + 4$</td><td>+3</td></tr>
<tr><td rowspan="3">С 3</td><td rowspan="3"> 
Si ≥ 1</td><td rowspan="3">  </td><td rowspan="2">s</td><td colspan="2">b</td><td rowspan="2">R</td><td rowspan="2">i</td><td rowspan="2">e, не более</td></tr>
<tr><td>Номин.</td><td>Пред. откл.</td></tr>
<tr><td>От 1 до 2</td><td>0</td><td>+0,5</td><td>От s до $2s$</td><td>От s до $3s$</td><td>$2s + 3$</td></tr>
<tr><td>Св. 2 до 4</td><td></td><td>+1,0</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">С 2</td><td rowspan="4">  </td><td rowspan="4">  </td><td rowspan="2">$s=s_1$</td><td colspan="2">b</td><td rowspan="2">e, не более</td><td colspan="2">g</td></tr>
<tr><td>Номин.</td><td>Пред. откл.</td><td>Номин.</td><td>Пред. откл.</td></tr>
<tr><td>От 1,0 до 1,5</td><td>0</td><td>+0,5</td><td>6</td><td>1,0</td><td>±0,5</td></tr>
<tr><td>Св. 1,5 до 3,0</td><td>1</td><td>±1,0</td><td>7</td><td>1,5</td><td rowspan="2">±1,0</td></tr>
<tr><td>Св. 3,0 до 4,0</td><td>2</td><td>+1,0
–0,5</td><td>8</td><td>2,0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">С 4</td><td rowspan="4">  </td><td rowspan="4">  </td><td rowspan="2">$s=s_1$</td><td colspan="2">b</td><td rowspan="2">e, не более</td><td rowspan="2">e_1, не более</td><td colspan="2">g</td></tr>
<tr><td>Номин.</td><td>Пред. откл.</td><td>Номин.</td><td>Пред. откл.</td></tr>
<tr><td>От 1,0 до 1,5</td><td>0</td><td>+0,5</td><td>6</td><td>4</td><td>1,0</td><td>±0,5</td></tr>
<tr><td>Св. 1,5 до 3,0</td><td>1</td><td>±1,0</td><td>7</td><td rowspan="2">6</td><td>1,5</td><td rowspan="2">±1,0</td></tr>
<tr><td>Св. 3,0 до 4,0</td><td>2</td><td>+1,0
–0,5</td><td>8</td><td>2,0</td></tr>
<tr><td rowspan="4">С 5</td><td rowspan="4">  </td><td rowspan="4">  </td><td rowspan="2">$s=s_1$</td><td colspan="2">b</td><td rowspan="2">e, не более</td><td colspan="2">g</td></tr>
<tr><td>Номин.</td><td>Пред. откл.</td><td>Номин.</td><td>Пред. откл.</td></tr>
<tr><td>От 1,0 до 1,5</td><td>0</td><td>+0,5</td><td>6</td><td>1,0</td><td>±0,5</td></tr>
<tr><td>Св. 1,5 до 3,0</td><td>1</td><td>±1,0</td><td>7</td><td>1,5</td><td rowspan="2">±1,0</td></tr>
<tr><td>Св. 3,0 до 4,0</td><td>2</td><td>+1,0
–0,5</td><td>8</td><td>2,0</td></tr>
</table>

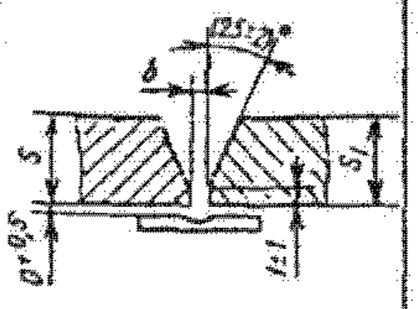
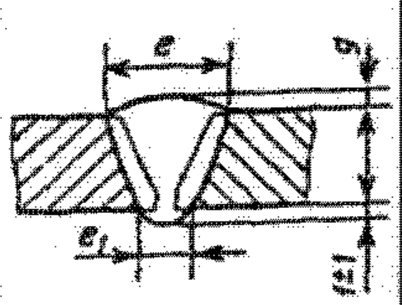
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	e, не более	g: Номин.	g: Пред. откл.
С6			От 1 до 1,5	0	+0,5	6	1,0	±0,5
			Св. 1,5 до 3,0	1	±1,0	7	1,5	±1,0
			Св. 3,0 до 4,0	2	+1,0 −0,5	8	2,0	
С7			$s=s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e, не более	g ±1	
			2	2	±1,0	8	1,5	
			Св. 2 до 4			9		
			Св. 4 до 5		+1,5 −1,0	10	2,0	
С42			$s=s_1$	h ±1	f ±1	e, не более	e_1, не более	
			От 6 до 8	4	7	10	12	
			Св. 8 до 10	6	9	12	14	
			Св. 10 до 12	8	11	14	16	
С8			$s=s_1$	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.	
			От 3 до 5	8	±2	0,5	+1,5 -0,5	
			Св. 5 до 8	12				
			Св. 8 до11	16				
			Св. 11 до 14	20				
			Св. 14 до 17	24	±3		+2,0 -0,5	
			Св. 17 до 20	28				
			Св. 20 до 24	32				
			Св. 24 до 28	35				
			Св. 28 до 32	38				
			Св. 32 до 36	41				
			Св. 36 до 40	44				
			Св 40 до 44	49	±4			
			Св. 44 до 48	53				
			Св. 48 до 52	56				
			Св. 52 до 56	60				
			Св. 56 до 60	64				
С9			$s=s_1$	b ±1	e: Номин.	e: Пред. откл.	e_1 ±2	g: Номин	g: Пред. откл.
			От 3 до 5	3	10	±2	4	0,5	+1,5 −0,5
			Св. 5 до 8		14				
			Св. 8 до 11	4	18				
			Св. 11 до 14		22		6		
			Св. 14 до 17	5	26	±3			+2,0 −0,5
			Св. 17 до 20		30				
			Св. 20 до 24		34				
			Св. 24 до 28		38		8		
			Св. 28 до 32		41				
			Св. 32 до 36		44				
			Св. 36 до 40		49				
			Св. 40 до 44		53	±4			
			Св. 44 до 48		56				
			Св. 48 до 52		60				
			Св. 52 до 56		64				
			Св. 56 до 60		68				

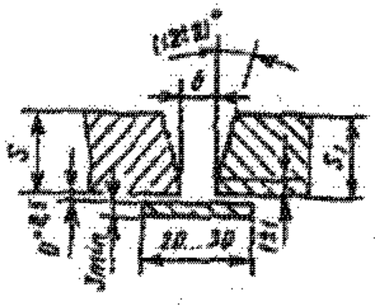
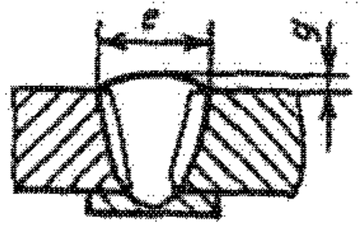
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	$s = s_1$	R ±1	e: Номин.	e: Пред. откл.	e_1 ±2	$s = s_1$: Номин.	$s = s_1$: Пред. откл.
C 13			От 15 до 17	8	16	±3	10	0,5	+2,0 −0,5
			Св. 17 до 20		17				
			Св. 20 до 24		18				
			Св. 24 до 28		19				
			Св. 28 до 32		20				
			Св. 32 до 36		22		12		
			Св. 36 до 40		24				
			Св. 40 до 44		26	±4			
			Св. 44 до 48		28				
			Св. 48 до 52		30				
			Св. 52 до 56		32				
			Св. 56 до 60		34				
			Св. 60 до 64	10	36	±5	14		+3,0 −0,5
			Св. 64 до 70		38				
			Св. 70 до 76		40				
			Св. 76 до 82		42				
			Св. 82 до 88		44				
			Св. 88 до 94		46				
			Св. 94 до 100		48				

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	$s = s_1$	R ±1	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
C 16			От 30 до 32	8	16	±3	0,5	+2,0 −0,5
			Св. 32 до 36		17			
			Св. 36 до 40		18			
			Св. 40 до 44		19			
			Св. 44 до 48		20			
			Св. 48 до 52		21			
			Св. 52 до 56		22			
			Св. 56 до 60		23			
			Св. 60 до 64	10	24	±4		+3,0 −0,5
			Св. 64 до 70		25			
			Св. 70 до 76		26			
			Св. 76 до 82		27			
			Св. 82 до 88		28			
			Св. 88 до 94		29			
			Св. 94 до 100		30			
			Св. 100 до 106		32			
			Св. 106 до 112		34			
			Св. 112 до 118		36			
			Св. 118 до 120		38			

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы сварного шва	$s = s_1$	e Номин.	e Пред. откл.	e_1 Номин.	e_1 Пред. откл.	$g = g_1$ Номин.	$g = g_1$ Пред. откл.
С 43			От 12 до 14	18	±2	15	±2	0,5	+1,5 −0,5
			Св. 14 до 17	19	±3	16			+2,0 −0,5
			Св. 17 до 20	20		17			
			Св. 20 до 24	22		18			
			Св. 24 до 28	24		19			
			Св. 28 до 32	27		20			
			Св. 32 до 36	30		21			
			Св. 36 до 40	33		22			
			Св. 40 до 44	36		23			
			Св. 44 до 48	39		25			
			Св. 48 до 52	42		27			
			Св. 52 до 56	45		29			
			Св. 56 до 60	48		31			
			Св. 60 до 64	51	±4	33	±3		+3,0 −0,5
			Св. 64 до 70	54		35			
			Св. 70 до 76	57		37			
			Св. 76 до 82	60		39			
			Св. 82 до 88	63		41			
			Св. 88 до 94	66		43			
			Св. 94 до 100	69		45			

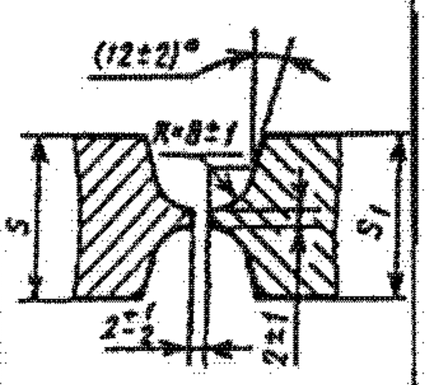
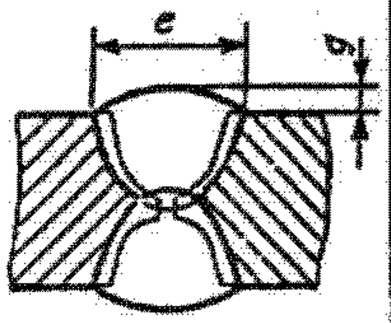
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы сварного шва	$s = s_1$	e Номин.	e Пред. откл.	g Номин.	g Пред. откл.
С17			От 3 до 5	8	±2	0,5	+1,5 -0,5
			Св. 5 до 8	12			
			Св. 8 до 11	16			
			Св. 11 до 14	19			
			Св. 14 до 17	22	±3		+2,0 -0,5
			Св. 17 до 20	26			
			Св. 20 до 24	30			
			Св. 24 до 28	34			
			Св. 28 до 32	38			
			Св. 32 до 36	42			
			Св. 36 до 40	47			
			Св. 40 до 44	52	±4		
			Св. 44 до 48	54			
			Св. 48 до 52	56			
			Св. 52 до 56	60			
			Св. 56 до 60	65			

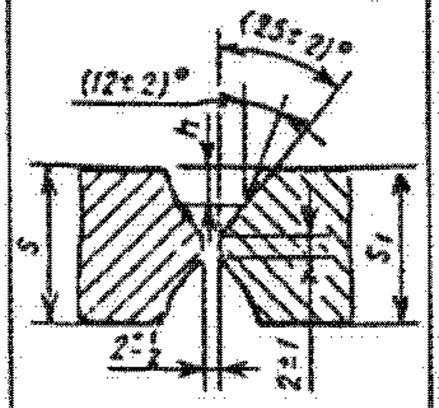
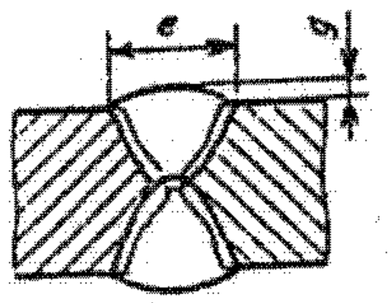
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы сварного шва	$s = s_1$	b ±1	e Номин.	e Пред. откл.	e_1 ±2	g Номин.	g Пред. откл.
С 18			От 3 до 5	3	10	±2	4	0,5	+1,5 −0,5
			Св. 5 до 8		16				
			Св. 8 до 11	4	20				
			Св. 11 до 14		24		6		+2,0 −0,5
			Св. 14 до 17	5	28	±3			
			Св. 17 до 20		32				
			Св. 20 до 24		36				
			Св. 24 до 28		40		8		
			Св. 28 до 32		44				
			Св. 32 до 36		48				
			Св. 36 до 40		50				
			Св. 40 до 44		54	±4			
			Св. 44 до 48		56				
			Св. 48 до 52		60				
			Св. 52 до 56		63				
			Св. 56 до 60		68				

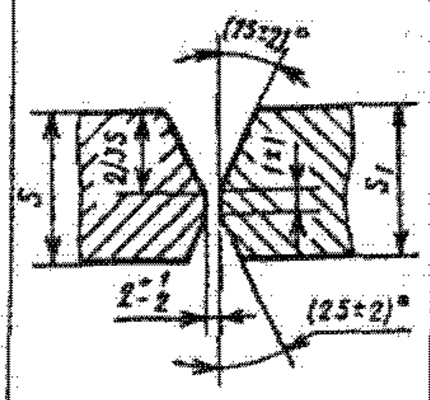
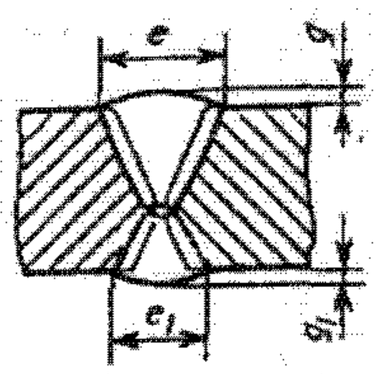
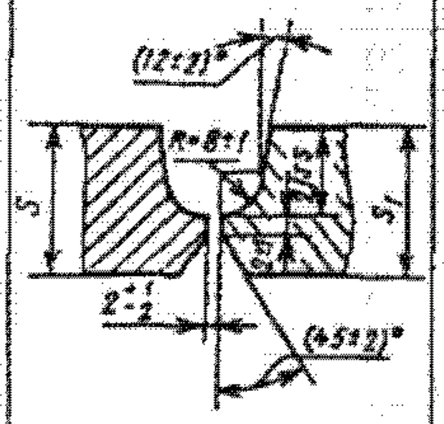
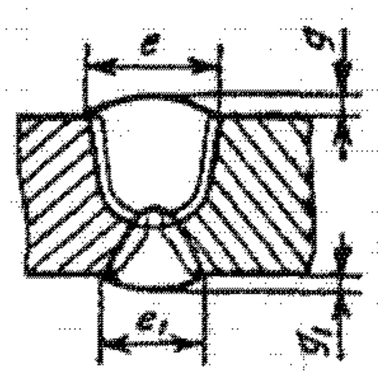
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	$s = s_1$	b ± 1	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 19			От 6 до 10	8	17	± 2	0,5	+ 1,5 − 0,5
			Св. 10 до 14		19			
			Св. 14 до 18		22			+ 2,0 − 0,5
			Св. 18 до 22		24			
			Св. 22 до 26	12	26	± 3		
			Св. 26 до 30		28			
			Св. 30 до 35		30			
			Св. 35 до 40		32			
			Св. 40 до 47		34	± 4		
			Св. 47 до 54		36			
			Св. 54 до 60		38			
			Св. 60 до 66		40	± 5		+ 3,0 − 0,5
			Св. 66 до 72		44			
			Св. 72 до 78		48			
			Св. 78 до 85		52			
			Св. 85 до 92		56			
			Св. 92 до 100		60			

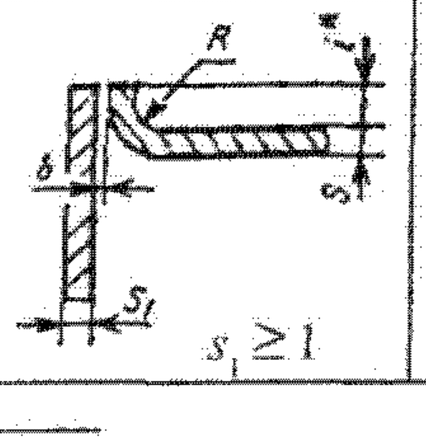
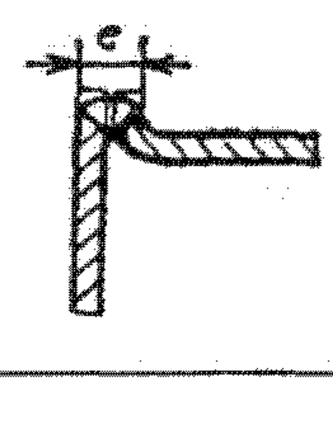
s	b ± 1	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
От 3 до 5	3	10	± 2	0,5	+ 1,5 − 0,5
Св. 5 до 8		16			
Св. 8 до 11	4	20			
Св. 11 до 14		24			
Св. 14 до 17	5	28	± 3		+ 2,0 − 0,5
Св. 17 до 20		32			
Св. 20 до 24		36			
Св. 24 до 28		40			
Св. 28 до 32		44			
Св. 32 до 36		48			
Св. 36 до 40		50			
Св. 40 до 44		54	± 4		
Св. 44 до 48		56			
Св. 48 до 52		60			
Св. 52 до 56		64			
Св. 56 до 60		68			

С 20

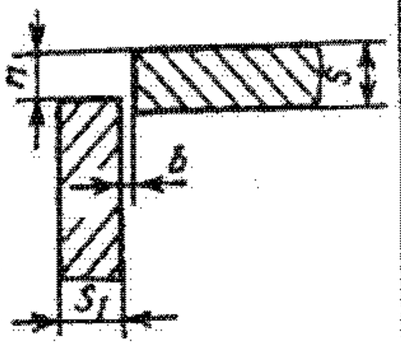
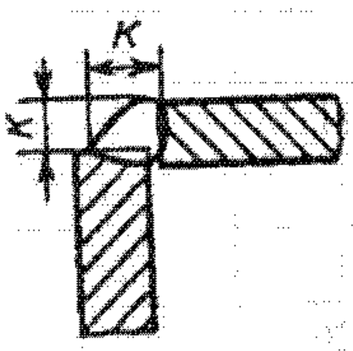
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	e		g	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
С 26	 		От 30 до 34	23	±3	0,5	+2,0 −0,5
			Св. 33 до 38	24			
			Св. 38 до 42	25			
			Св. 42 до 46	26			
			Св. 46 до 50	27			
			Св. 50 до 54	28			
			Св. 54 до 60	29			
			Св. 60 до 66	31	±4		+3,0 −0,5
			Св. 66 до 72	33			
			Св. 72 до 78	34			
			Св. 78 до 84	36			
			Св. 84 до 90	38			
			Св. 90 до 96	40			
			Св. 96 до 100	42			
			Св. 100 до 108	44			
			Св. 108 до 116	46			
			Св. 116 до 124	48			
			Св. 124 до 132	50	±5		
			Св. 132 до 140	52			
			Св. 140 до 148	54			
			Св. 148 до 156	56			
			Св. 156 до 164	60			
			Св. 164 до 170	64			
			Св. 170 до 175	68			

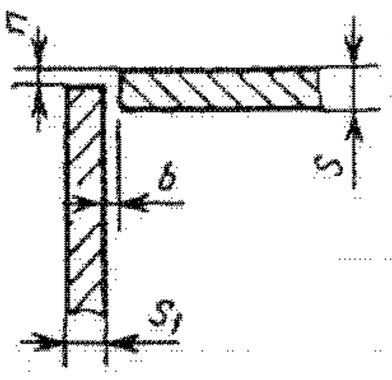
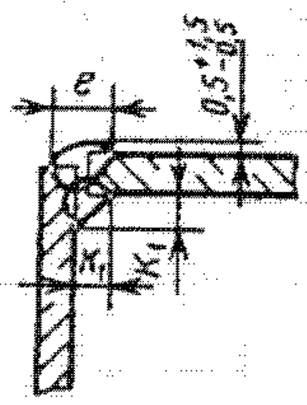
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	h ±1	e		g	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
С 27	 		От 30 до 34	8	17	±3	0,5	+2,0 −0,5
			Св. 33 до 38		18			
			Св. 38 до 42		20			
			Св. 42 до 46		21			
			Св. 46 до 50		22			
			Св. 50 до 54		23			
			Св. 54 до 60		25			
			Св. 60 до 66	12	28	±4		+3,0 −0,5
			Св. 66 до 72		30			
			Св. 72 до 78		32			
			Св. 78 до 84		34			
			Св. 84 до 90		36			
			Св. 90 до 96		38			
			Св. 96 до 100		40			
			Св. 100 до 108	20	42			
			Св. 108 до 116		44			
			Св. 116 до 124		46			
			Св. 124 до 132		50	±5		
			Св. 132 до 140		54			
			Св. 140 до 148		57			
			Св. 148 до 156		60			
			Св. 156 до 164		64			
			Св. 164 до 170		68			
			Св. 170 до 175		72			

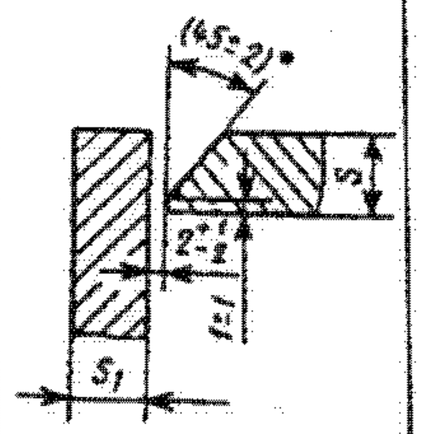
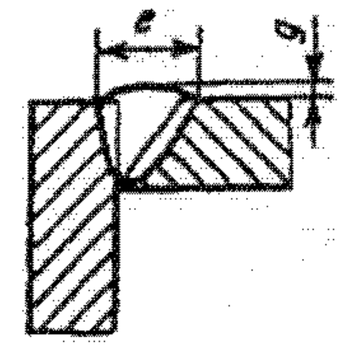
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы сварного шва	$s = s_1$	e Номин.	e Пред. откл.	e_1 Номин.	e_1 Пред. откл.	$g = g_1$ Номин.	$g = g_1$ Пред. откл.
С 39			От 12 до 14	16	± 2	11	± 2	0,5	+ 1,5 – 0,5
			Св. 14 до 17	18	± 3	12			
			Св. 17 до 20	20		13			
			Св. 20 до 24	22		14			
			Св. 24 до 28	25		16			
			Св. 28 до 32	28		18			
			Св. 32 до 36	30		20			+ 2,0 – 0,5
			Св. 36 до 40	32		22			
			Св. 40 до 44	35		24			
			Св. 44 до 48	38		25			
			Св. 48 до 52	41		26			
			Св. 52 до 56	44		27			
			Св. 56 до 60	47		28			
			Св. 60 до 64	49	± 4	29	± 3		+ 3,0 – 0,5
			Св. 64 до 70	51		30			
			Св. 70 до 76	53		31			
			Св. 76 до 82	55		32			
			Св. 82 до 88	57		33			
			Св. 88 до 94	60		34			
			Св. 94 до 100	63		35			
			Св. 100 до 106	66		36			
			Св. 106 до 112	69		38			
			Св. 112 до 118	72		40			
			Св. 118 до 120	75		42			
С 40			От 12 до 14	20	± 2	10	± 2	0,5	+ 1,5 – 0,5
			Св. 14 до 17	22	± 3	11			
			Св. 17 до 20	23		12			
			Св. 20 до 24	24		13			
			Св. 24 до 28	25		14			
			Св. 28 до 32	26		15			
			Св. 32 до 36	27		16			+ 2,0 – 0,5
			Св. 36 до 40	28		18			
			Св. 40 до 44	29		20			
			Св. 44 до 48	30		21			
			Св. 48 до 52	31		23			
			Св. 52 до 56	32		25			
			Св. 56 до 60	33		27			
			Св. 60 до 64	34	± 4	29	± 3		+ 3,0 – 0,5
			Св. 64 до 70	36		30			
			Св. 70 до 76	38		31			
			Св. 76 до 82	40		32			
			Св. 82 до 88	42		34			
			Св. 88 до 94	44		36			
			Св. 94 до 100	47		38			
			Св. 100 до 106	50		40			
			Св. 106 до 112	52		42			
			Св. 112 до 118	54		44			
			Св. 118 до 120	56		46			

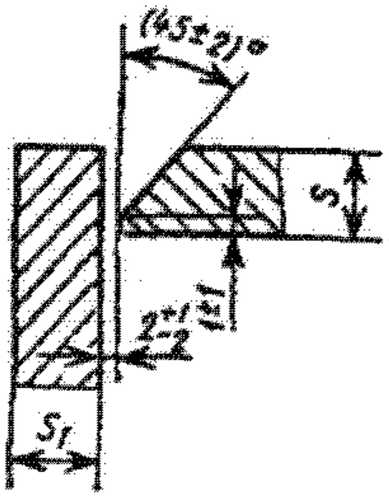
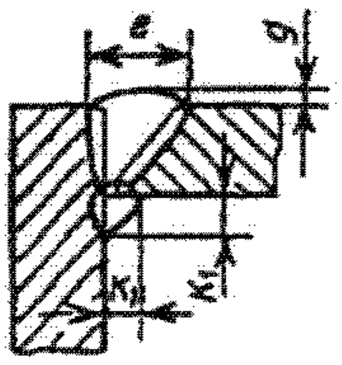
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы сварного шва	s	b Номин.	b Пред. откл.	R	i	не более
У 1			От 1 до 2	0	+ 0,5	От s до $2s$	От s до $3s$	$2s + 3$
			Св. 2 до 4		+ 1,0			

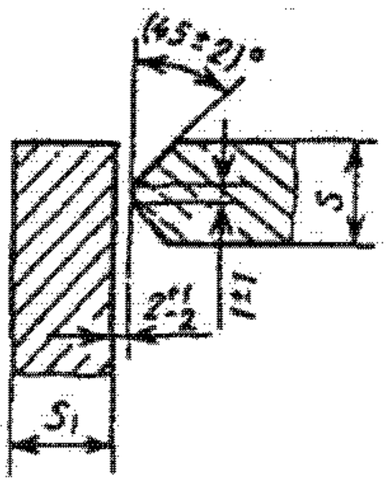
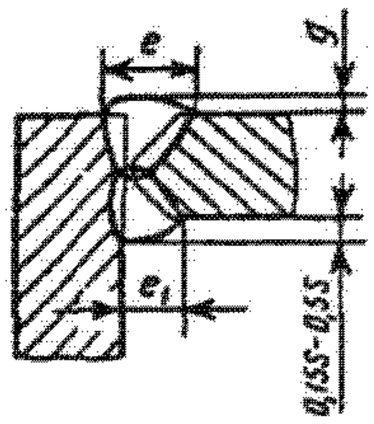
*Размер для справок.

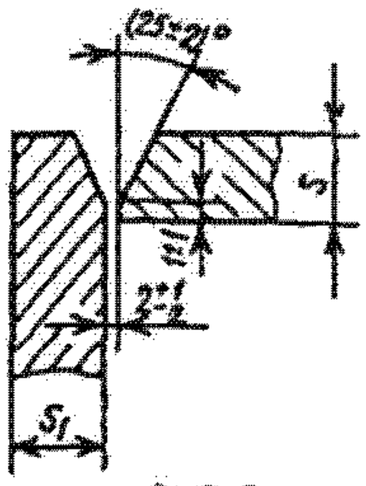
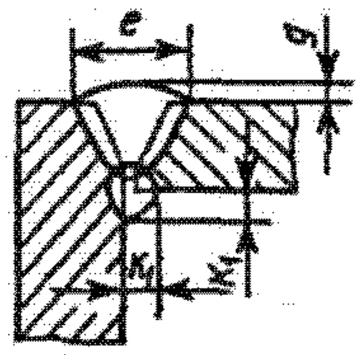
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		s	n	b	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.
У4	 $s_1 \geq 1$		От 1,0 до 1,5	Св. 0,5 s до s	0	+ 0,5
			Св. 1,5 до 3,0			+ 1,0
			Св. 3,0 до 30,0			+ 2,0

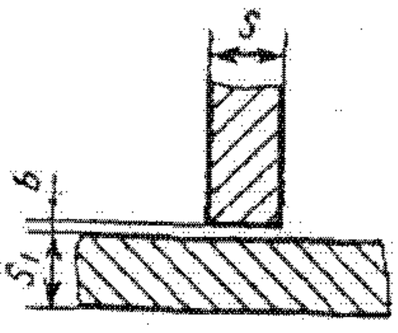
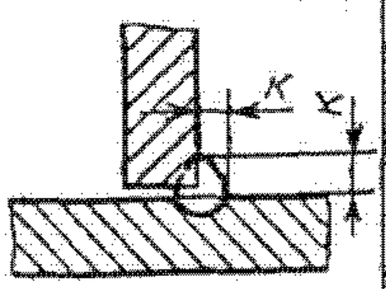
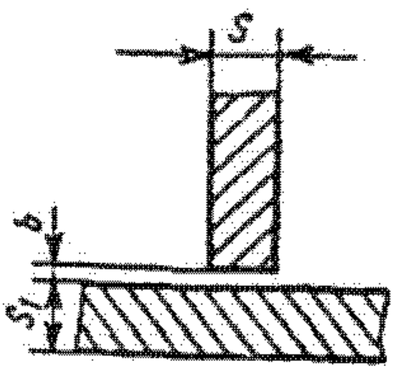
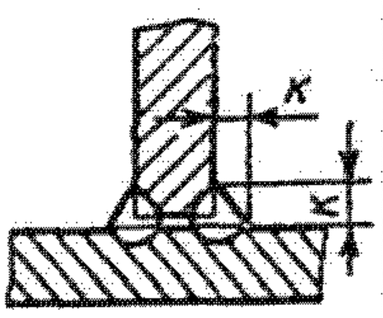
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		s	n	b		e, не более
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.	
У5	 $s_1 \geq 2$		От 2 до 3	От 0 до 0,5 s	0	+ 1	8
			Св. 3 до 5			+ 2	10
			Св. 5 до 6				12
			Св. 6 до 8				14

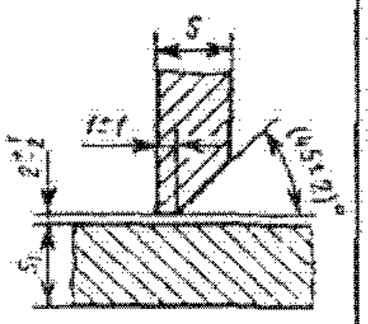
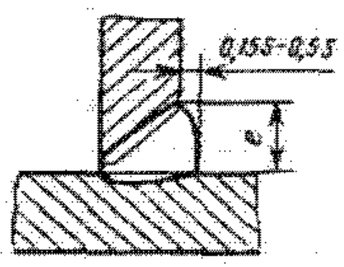
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		s	e		g		
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	
У6	 $s_1 \geq 0{,}5s$		От 3 до 5	8	± 2	0,5	+ 1,5 − 0,5	+ 2,0 − 0,5
			Св. 5 до 8	12				
			Св. 8 до 11	16				
			Св. 11 до 14	20				
			Св. 14 до 17	24				
			Св. 17 до 20	28	± 3			
			Св. 20 до 24	32				
			Св. 24 до 28	35				
			Св. 28 до 32	38				
			Св. 32 до 36	41				
			Св. 36 до 40	44				
			Св. 40 до 44	49	± 4			
			Св. 44 до 48	53				
			Св. 48 до 52	56				
			Св. 52 до 56	60				
			Св. 56 до 60	64				

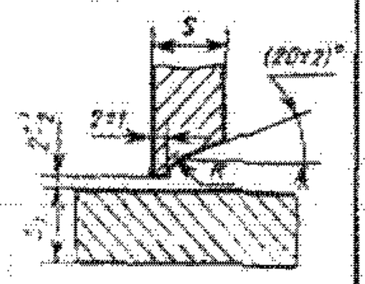
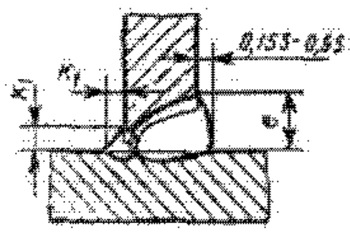
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		s	e		g	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
У 7	 $s_1 \geq 0{,}5s$		От 3 до 5	8	± 2	0,5	+ 1,5 − 0,5
			Св. 5 до 8	12			
			Св. 8 до 11	16			
			Св. 11 до 14	20			
			Св. 14 до 17	24	± 3		+ 2,0 − 0,5
			Св. 17 до 20	28			
			Св. 20 до 24	32			
			Св. 24 до 28	35			
			Св. 28 до 32	38			
			Св. 32 до 36	41			
			Св. 36 до 40	44			
			Св. 40 до 44	49	± 4		
			Св. 44 до 48	53			
			Св. 48 до 52	56			
			Св. 52 до 56	60			
			Св. 56 до 60	64			

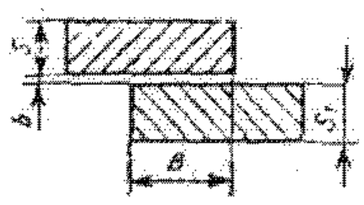
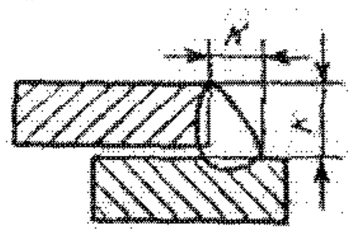
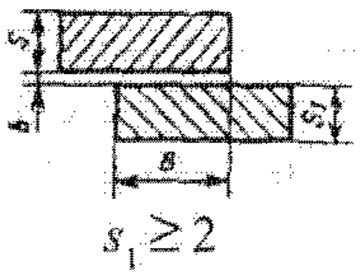
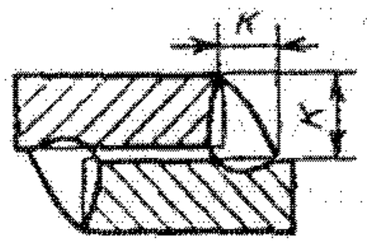
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		s	e		e_1		g	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
У 8	 $s_1 \geq 0{,}5s$		От 8 до 11	10	± 2	9	± 2	0,5	+ 1,5 − 0,5
			Св. 11 до 14	12		11			
			Св. 14 до 17	14	± 3	12	± 3		+ 2,0 − 0,5
			Св. 17 до 20	16		14			
			Св. 20 до 24	18		16			
			Св. 24 до 28	20		18			
			Св. 28 до 32	22		20			
			Св. 32 до 36	24		22			
			Св. 36 до 40	26		24			
			Св. 40 до 44	28		26			
			Св. 44 до 48	30		28			
			Св. 48 до 52	32		30			
			Св. 52 до 56	34		32			
			Св. 56 до 60	36		34			
			Св. 60 до 64	39	± 4	37	± 4		+ 3,0 − 0,5
			Св. 64 до 70	42		40			
			Св. 70 до 76	45		43			
			Св. 76 до 82	48		46			
			Св. 82 до 88	51		48			
			Св. 88 до 94	54		52			
			Св. 94 до 100	58		56			

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		s	e		g	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
У10	 $s_1 \geq 0{,}5s$		От 3 до 5	8	±2	0,5	+1,5 −0,5
			Св. 5 до 8	12			
			Св. 8 до 11	16			
			Св. 11 до 14	19			
			Св. 14 до 17	22	±3		+2,0 −0,5
			Св. 17 до 20	26			
			Св. 20 до 24	30			
			Св. 24 до 28	34			
			Св. 28 до 32	38			
			Св. 32 до 36	42			
			Св. 36 до 40	47			
			Св. 40 до 44	52	±4		
			Св. 44 до 48	54			
			Св. 48 до 52	56			
			Св. 52 до 56	60			
			Св. 56 до 60	65			

			s	b	
				Номин.	Пред. откл.
Т1	 $s_1 \geqslant 2$		От 2 до 3	0	+1
			Св. 3 до 15		+2
			Св. 15 до 40		+3
Т3	 $s_1 \geq 2$		От 2 до 3	0	+1
			Св. 3 до 15		+2
			Св. 15 до 40		+3

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		s	e	
	Подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		Номин.	Пред. откл.
Т6	 $s_1 \geq 0{,}5s$		От 3 до 5	7	±2
			Св. 5 до 8	10	
			Св. 8 до11	14	
			Св. 11 до 14	18	
			Св. 14 до 17	22	±3
			Св. 17 до 20	26	
			Св. 20 до 24	30	
			Св. 24 до 28	33	
			Св. 28 до 32	36	
			Св. 32 до 36	40	
			Св. 36 до 40	44	
			Св. 40 до 44	47	±4
			Св. 44 до 48	50	
			Св. 48 до 52	54	
			Св. 52 до 56	58	
			Св. 56 до 60	62	

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		s	R ±1	e	
	Подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.
Т2	 $s_1 \geq 0{,}5s$		От 15 до 17	8	14	±3
			Св. 17 до 20		15	
			Св. 20 до 24		16	
			Св. 24 до 28		17	
			Св. 28 до 32		18	
			Св. 32 до 36		20	
			Св. 36 до 40		22	
			Св. 40 до 44		24	±4
			Св. 44 до 48		26	
			Св. 48 до 52		28	
			Св. 52 до 56		30	
			Св. 56 до 60		32	
			Св. 60 до 64	10	34	±5
			Св. 64 до 70		36	
			Св. 70 до 76		38	
			Св. 76 до 82		40	
			Св. 82 до 88		42	
			Св.88 до 94		44	
			Св. 94 до 100		46	

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		s	B	b	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.
Н1			От 2 до 5	3—20	0	±1,0
			Св. 5 до 10	8—40		±1,5
			Св. 10 до 29	12—100		±2,0
			Св. 29 до 60	30—240		
Н2	 $s_1 \geq 2$		От 2 до 5	3—20	0	±1,0
			Св. 5 до 10	8—40		±1,5
			Св. 10 до 29	12—100		±2,0
			Св. 29 до 60	30—240		

Сварка стыковых соединений деталей неодинаковой толщины при разнице, не превышающей значений, указанных в табл. 8.2, должна проводиться так же, как деталей одинаковой толщины; конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по большей толщине.

Таблица 8.2

Толщина тонкой детали, мм	Разность толщин деталей, мм
От 1 до 4	1
Св. 4 до 20	2
Св. 20 до 30	3
Св. 30	4

Для осуществления плавного перехода от одной детали к другой допускается наклонное расположение поверхности шва (рис. 8.8).

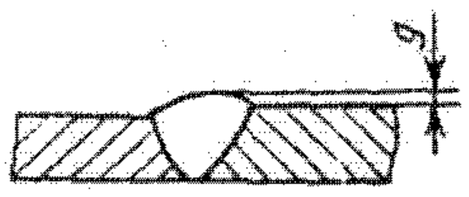


Рис. 8.8

При разности в толщине свариваемых деталей свыше значений, указанных в табл. 8.2, на детали, имеющей большую толщину s_1, должен быть сделан скос с одной или с двух сторон до толщины тонкой детали s, как указано на рис. 8.9, 8.10 и 8.11. При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

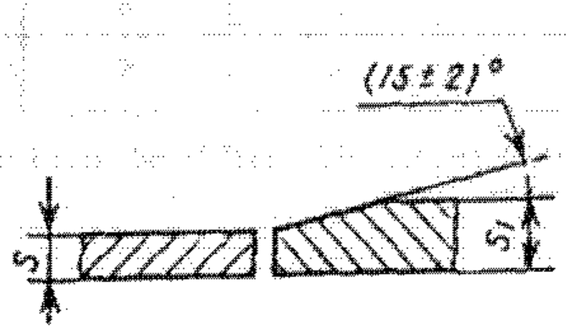


Рис. 8.9

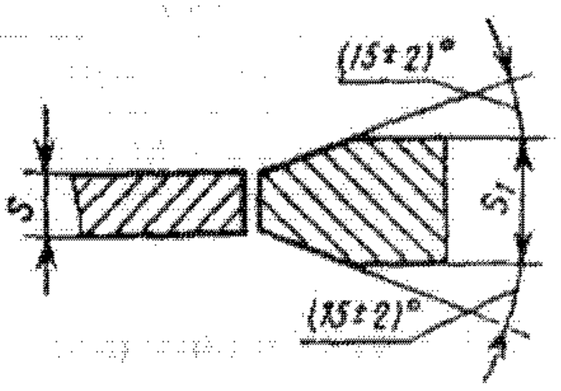


Рис. 8.10

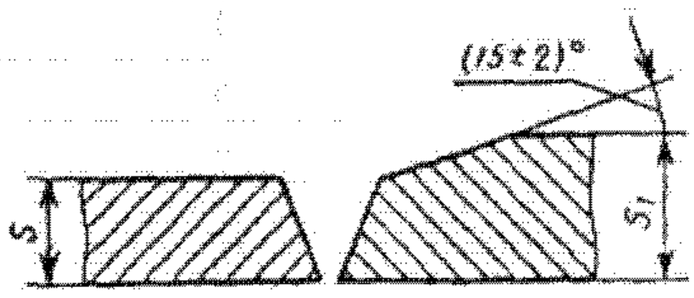


Рис. 8.11

Допускается смещение свариваемых кромок перед сваркой относительно друг друга, не более:

0,5 мм — для деталей толщиной до 4 мм;

1,0 мм — для деталей толщиной 4–10 мм;

0,1 *s*, но не более 3 мм — для деталей толщиной 10–100 мм;

0,01 *s* + 2 мм, но не более 4 мм — для деталей толщиной более 100 мм.

В стыковых, тавровых и угловых соединениях толщиной более 16 мм, выполняемых в монтажных условиях, допускается увеличение номинального значения размера *b* до 4 мм с одновременным уменьшением значения угла скоса кромок на 3°.

При сварке в положениях, отличных от нижнего, допускается увеличение размера *g* и g_1 не более:

1,0 мм — для деталей толщиной до 60 мм;

2,0 мм — для деталей толщиной свыше 60 мм.

При выполнении двустороннего шва с полным проплавлением перед сваркой с обратной стороны корень шва должен быть расчищен до чистого металла.

Катеты углового шва К и $К_1$ должны быть установлены при проектировании сварного соединения, но не более 3 мм для деталей толщиной до 3 мм включительно и 1,2 толщины более тонкой детали при сварке деталей толщиной свыше 3 мм.

Предельные отклонения катетов углового шва К и $К_1$ от номинального значения должны соответствовать:

+ 1 мм — при К и $К_1 \leq 5$ мм;

+ 2 мм — при К и $К_1 \geq 6$ мм.

Минимальные значения катетов угловых швов приведены в табл. 8.3.

При применении электродов с более высоким временным сопротивлением разрыву, чем у основного металла, катет углового шва в расчетном соединении может быть уменьшен до значений, приведенных в табл. 8.4

Допускается усиление или ослабление углового шва до 30 % его катета, но не более 3 мм. При этом ослабление не должно приводить к уменьшению расчетного катета.

Допускается применять установленные стандартом основные типы сварных соединений, конструктивные элементы и размеры сварных соединений при сварке в двуокиси углерода электродной проволокой диаметром 0,8 – 1,4 мм.

Таблица 8.3

Предел текучести свариваемой стали, МПа	Минимальный катет углового шва для толщины более толстого из свариваемых элементов, мм							
	От 3 до 4	Св. 4 до 5	Св. 5 до 10	Св. 10 до 16	Св. 16 до 22	Св. 22 до 32	Св. 32 до 40	Св. 40 до 80
До 400	3	4	5	6	7	8	9	10
Св. 400 до 450	4	5	6	7	8	9	10	12

Примечание. Минимальное значение катета не должно превышать 1,2 толщины более тонкого элемента.

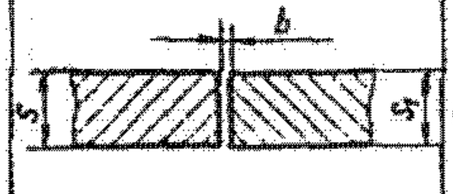
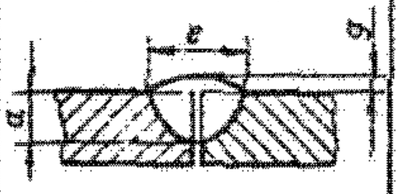
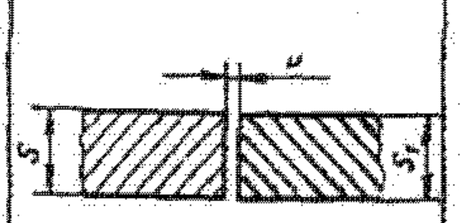
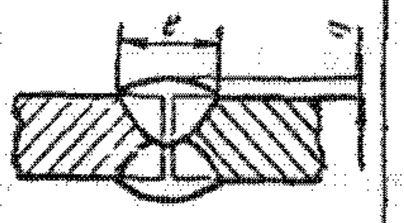
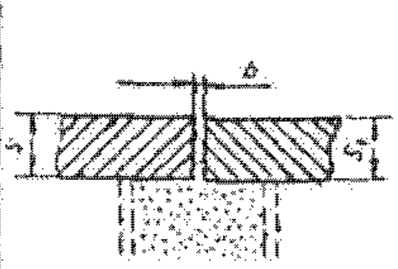
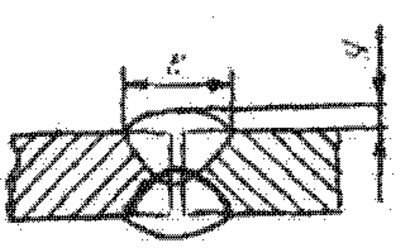
Таблица 8.4

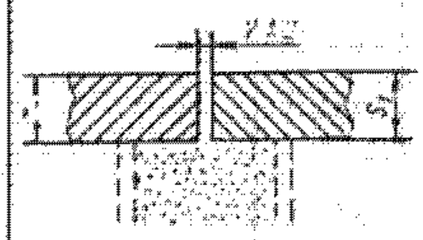
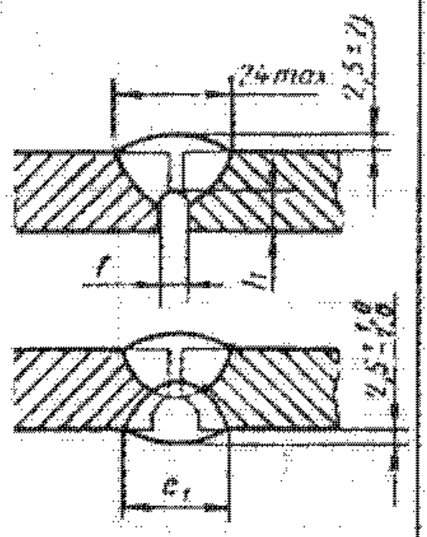
Катет углового шва для отношения временного сопротивления разрыву металла шва к временному сопротивлению разрыву основного металла, мм

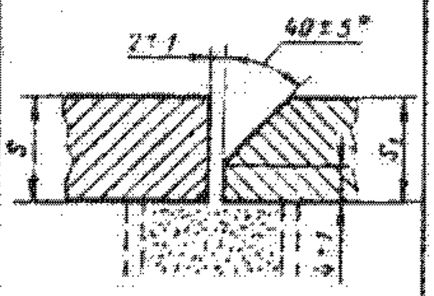
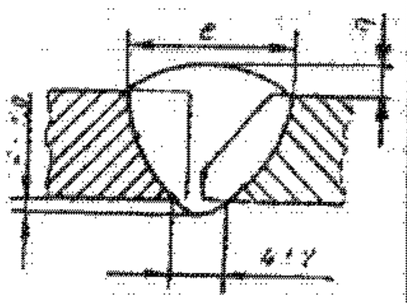
1,0	1,1	1,2	1,3	1,4
4	4	4	3	3
5	5	4	4	4
6	6	5	5	4
7	7	6	6	5
8	7	7	6	6
9	8	8	7	7
10	9	9	8	7
11	10	9	9	8
12	11	10	9	9
13	12	11	10	9
14	13	12	11	10
15	14	13	12	11
16	15	14	13	12
17	16	14	13	12
18	17	15	14	13
19	17	16	15	14
20	18	17	16	14

8.1.2. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых соединений сваркой под флюсом (ГОСТ 8713—79)

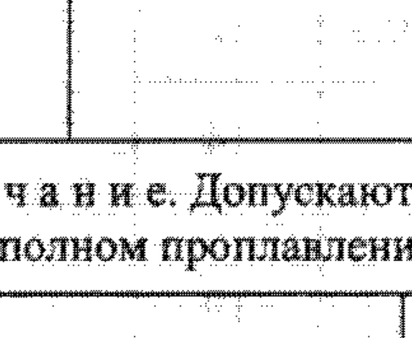
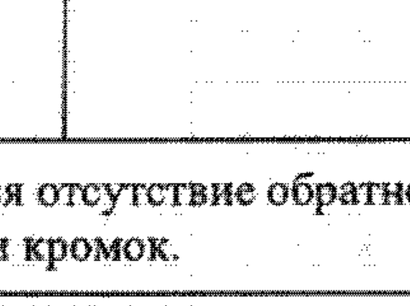
Размеры, мм

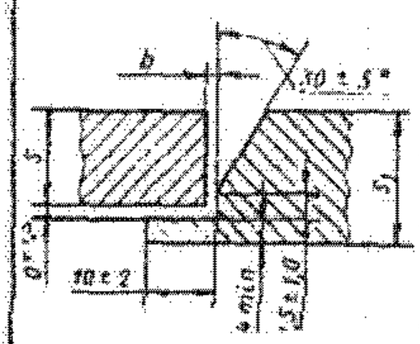
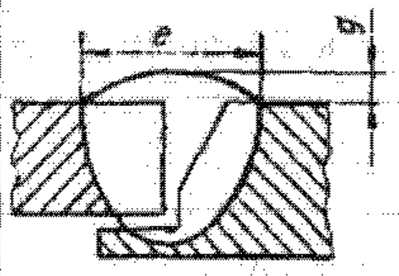
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e, не более	g: Номин.	g: Пред. откл.
С47			АФ; ПФ	2	0	+0,3	8,5	1,5	±1,0
				Св. 2 до 3		+0,5	10		
				Св. 3 до 4		+0,8	12	2,0	+1,0 −1,5
				Св. 4 до 5		+1,0	14		
				Св. 5 до 6					
				Св. 6 до 8			16		
				Св. 8 до 10			19		
				Св. 10 до 12			21		
Примечание. Способ сварки ПФ для $s < 3$ мм применять не рекомендуется.									
С7			АФ; ПФ	2	0	+0,3	8,5	1,5	±1,0
				Св. 2 до 3		+0,5	10		
				Св. 3 до 4		+0,8	12	2,0	+1,0 −1,5
				Св. 4 до 5		+1,0	14		
				Св. 5 до 6					
				Св. 6 до 9			19		±1,5
				Св. 9 до 14			23	3,0	+1,5 −2,0
				Св. 14 до 20			28		±2,0
Примечание. Способ сварки ПФ для $s > 6$ мм применять не рекомендуется.									
С29			АФф	2	0	±1	8,5	1,5	±1,0
				Св. 2 до 3	1		10		
				Св. 3 до 5			12	2,0	+1,0 −1,5
				Св. 5 до 6					
				Св. 6 до 9	2	±1,0	19		
				Св. 9 до 10			24		+1,0 −2,0
				Св. 10 до 14				2,5	
				Св. 14 до 16			26		±2,0
				Св. 16 до 22	3				

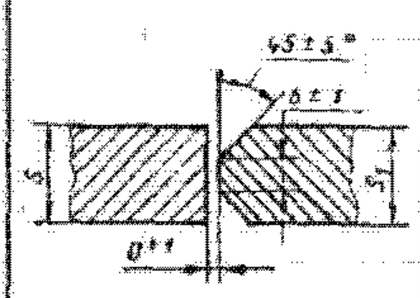
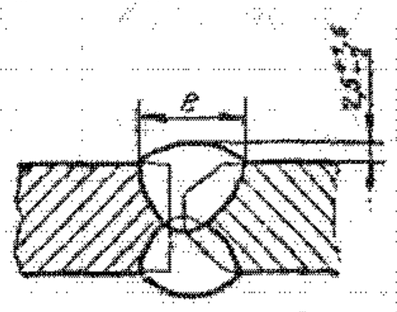
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	h (пред. откл. ± 1)	f (пред. откл. ± 2)	e_1, не более
С 30			АФф;	От 16 до 22	8	9	18
				Св. 22 до 26	13	14	24
				Св. 26 до 32	18	18	28

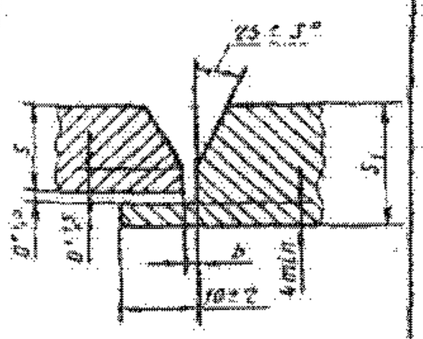
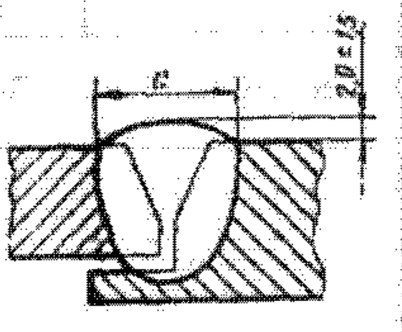
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	e		g	
					Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
С 9			АФф; АФм	От 8 до 9	18	±3	1,5	±1,0
				Св. 9 до 10	20	±4		
				Св. 10 до 14	22		2,0	+1,0 −1,5
				Св. 14 до 20	24		2,5	+1,0 −2,0

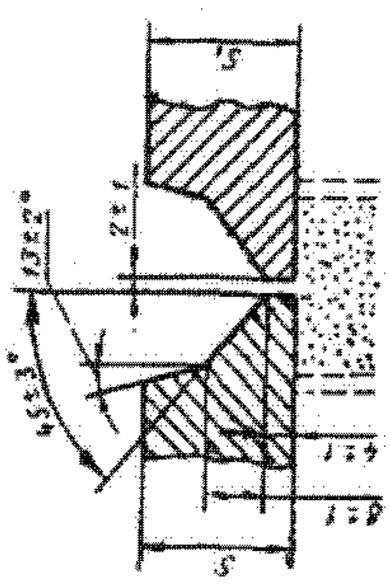
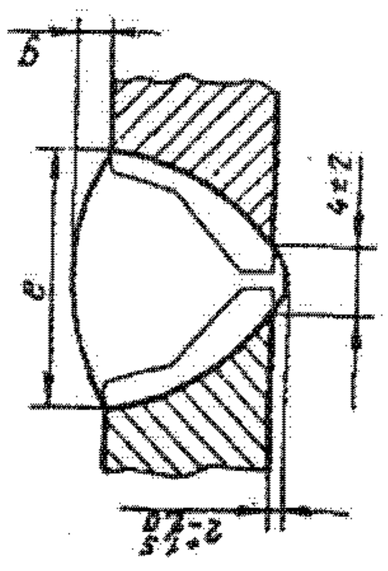
Примечание. Допускаются отсутствие обратного усиления шва и местные плавные ослабления глубиной не более 0,1 s при полном проплавлении кромок.

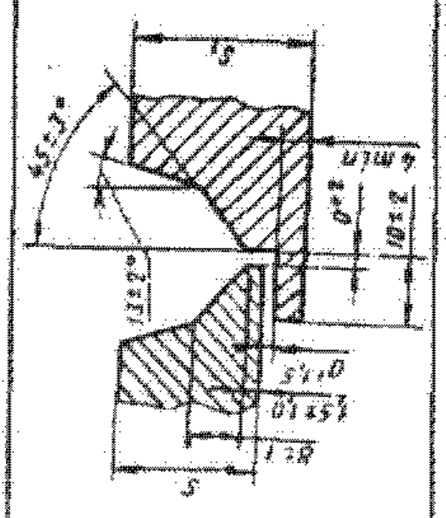
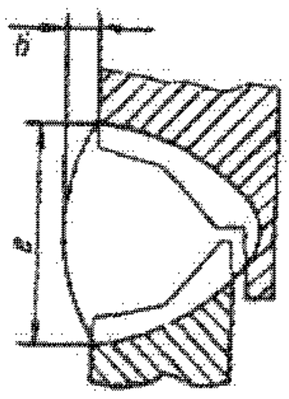
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b		δ, не менее	m, не менее	e		g	
					Номин.	Пред. откл.			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
С 10			АФо; ПФо	8	2	±1,0	3	25	18	±3	1,5	±1,0
				Св. 8 до 10					20			
				Св. 10 до 12					22	±4	2,0	+1,0 −1,5
				Св. 12 до 14	3	±1,5	4					
				Св. 14 до 16					24		2,5	+1,0 −2,0
				Св. 16 до 18	4			30				
				Св. 18 до 20								
				Св. 20 до 24	5		6		26			+1,5 −2,0
				Св. 24 до 30				40	30			

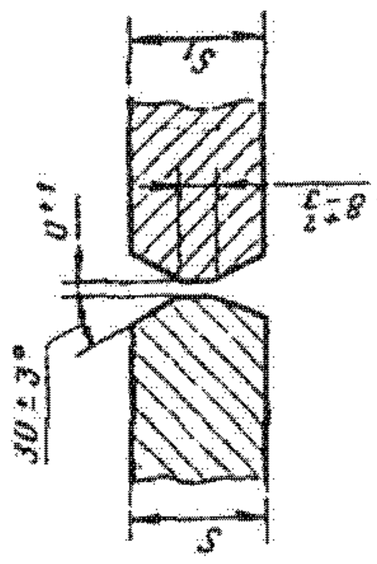
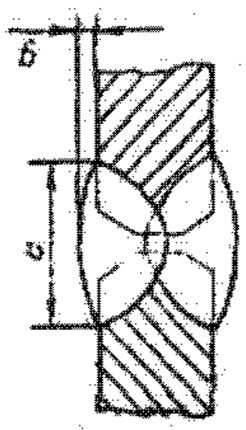
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы сварного шва	Способ сварки	s	b Номин.	b Пред. откл.	e Номин.	e Пред. откл.	g Номин.	g Пред. откл.
С11	 $s_1 \geq s + 4$		АФо	8	2	±1,0	18	± 3	1,5	±1,0
				Св. 8 до 10			20			
				Св. 10 до 12			22	± 4	2,0	+1,0 −1,5
				Св. 12 до 14	3	±1,5				
				Св. 14 до 16			24		2,5	+1,0 −2,0
				Св. 16 до 20	4					
				Св. 20 до 24	5		26			+1,5 −2,0
				Св. 24 до 30			30			

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	e Номин.	e Пред. откл.
С15			АФ	От 20 до 24	22	± 3
				Св. 24 до 28	26	± 4
				Св. 28 до 30	30	

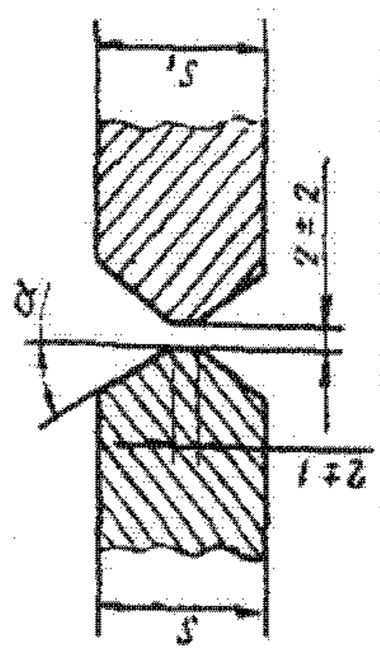
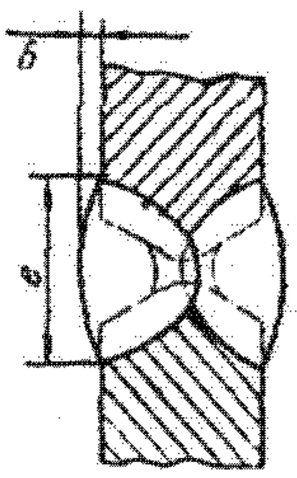
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы сварного шва	Способ сварки	s	b Номин.	b Пред. откл.	e Номин.	e Пред. откл.
С20	 $s_1 \geq s + 4$		АФо	8	2	±1,0	16	± 3
				Св. 8 до 9			17	
				Св. 9 до 10			18	
				Св. 10 до 12			20	
				Св. 12 до 14	3	±1,5	23	
				Св. 14 до 16			24	
				Св. 16 до 18	4		28	
				Св. 18 до 20			30	
				Св. 20 до 22	5		32	± 4
				Св. 22 до 24			34	
				Св. 24 до 26			36	
				Св. 26 до 28			38	
				Св. 28 до 30			40	

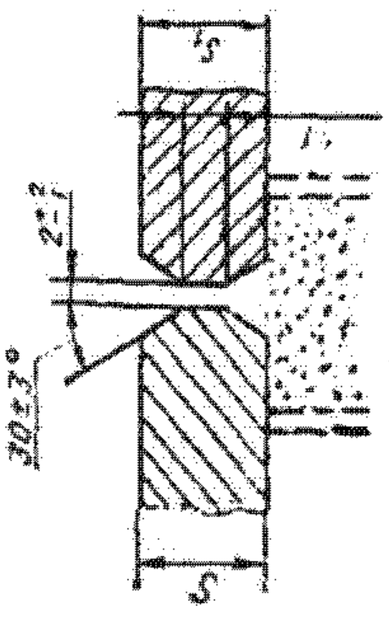
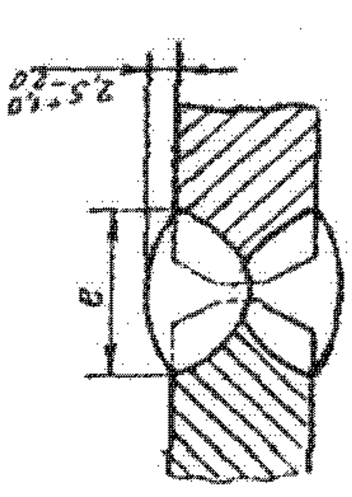
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	$s = s_1$	e		g	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
С 36			АФф	20	30	± 2	2,5	+1,0 –2,0
				Св. 20 до 22	31			
				Св. 22 до 24	32			
				Св. 24 до 26	33			
				Св. 26 до 28	34			
				Св. 28 до 30				
				Св. 30 до 32	35	± 3		
				Св. 32 до 34	36			
				Св. 34 до 36	37			
				Св. 36 до 38	38			
				Св. 38 до 40	39			
				Св. 40 до 42	40			
				Св. 42 до 45	41			+1,5 –2,0
				Св. 45 до 48	42			
				Св. 48 до 50	43	± 4		
				Св. 50 до 55	46			
				Св. 55 до 60	49			

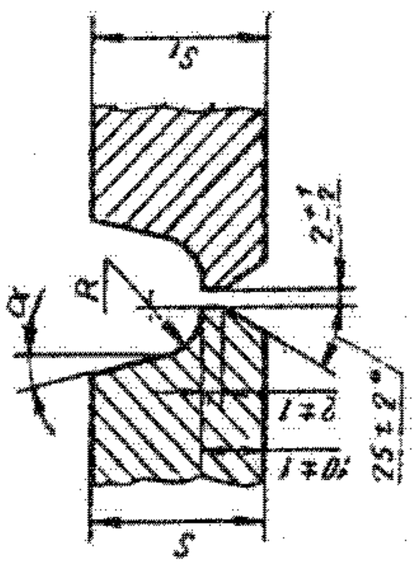
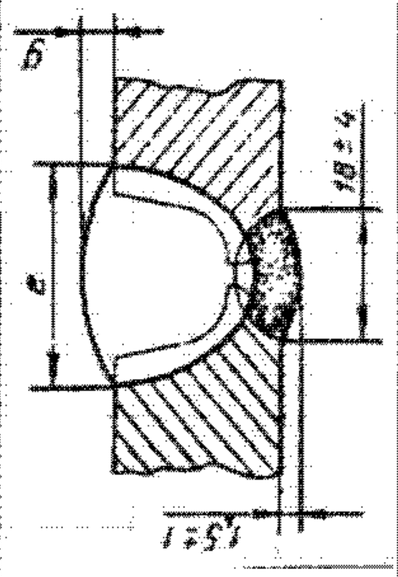
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	s	e		g	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
С 37	 $s_1 \geq s + 4$		АФо	16	28	± 2	2,5	+1,0 –2,0
				Св. 16 до 20	30			
				Св. 20 до 25	31	± 3		
				Св. 25 до 30	34			
				Св. 30 до 35	36	± 4		
				Св. 35 до 40	38			
				Св. 40 до 45	41			
				Св. 45 до 50	43	± 5		+1,5 –2,0
				Св. 50 до 55	45			
				Св. 55 до 60	47			

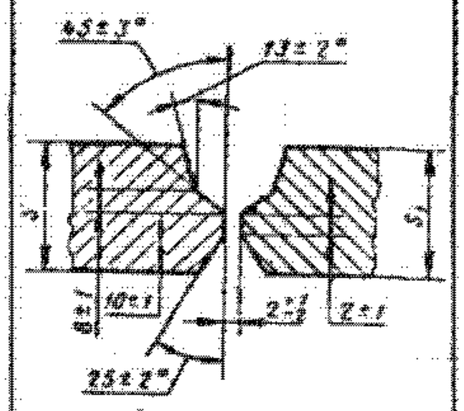
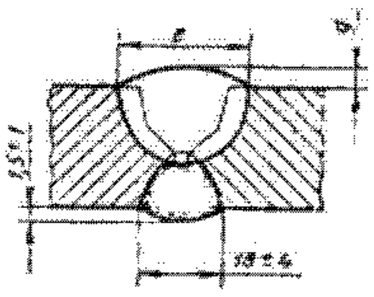
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	$s = s_1$	e		g	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.
С25			АФ; ПФ	Св. 18 до 28	24	± 4	2,5	+1,0 −2,0
				Св. 28 до 38	28	± 5		
				Св. 38 до 48	32			+1,5 −2,0
				Св. 48 до 54	36			
				Св. 54 до 60	39			

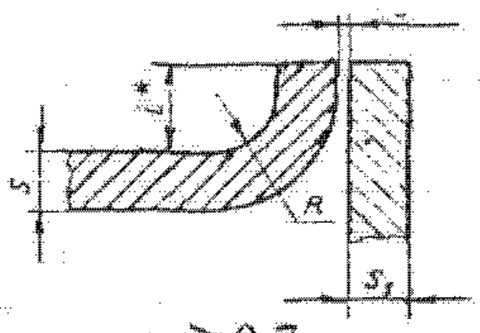
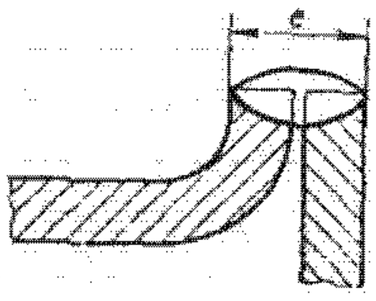
Примечание. При способе сварки ПФ притупление $c = 3 \pm 1$ мм.

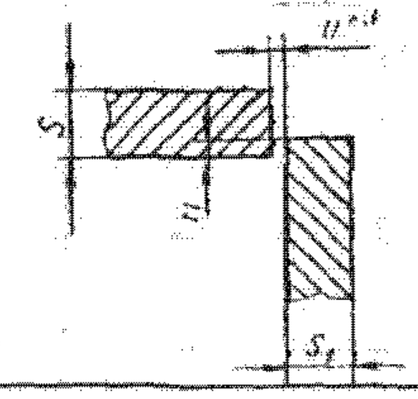
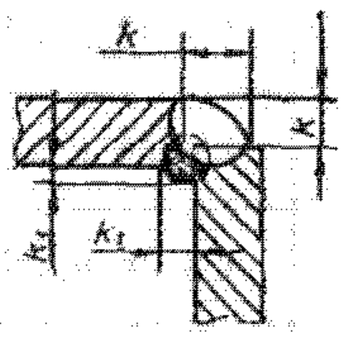
				$s = s_1$	e		g		α, ° (пред. откл. ± 3°)
					Номин.	Пред. откл.	Номин.	Пред. откл.	
С25			АФк	От 24 до 28	24	± 4	2,5	+1,0 −2,0	30
				Св. 28 до 38	29	± 5			
				Св. 38 до 48				+1,5 −2,0	25
				Св. 48 до 54	33				
				Св. 54 до 60	36				

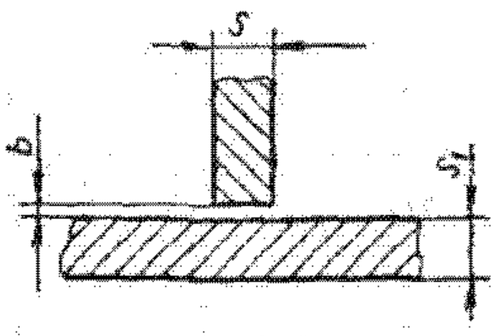
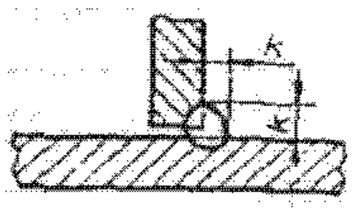
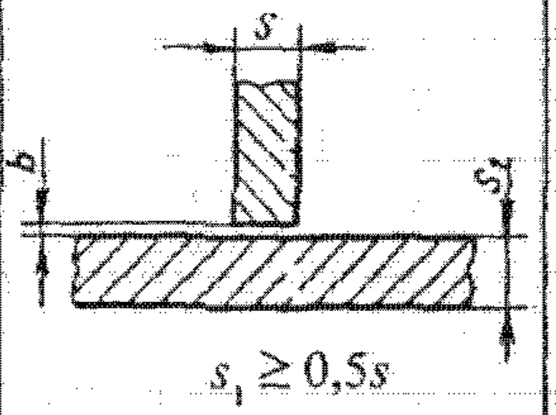
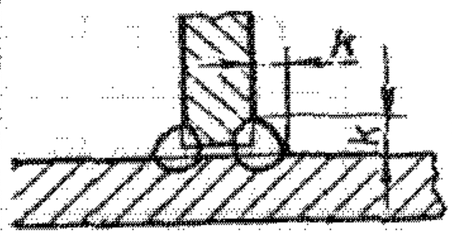
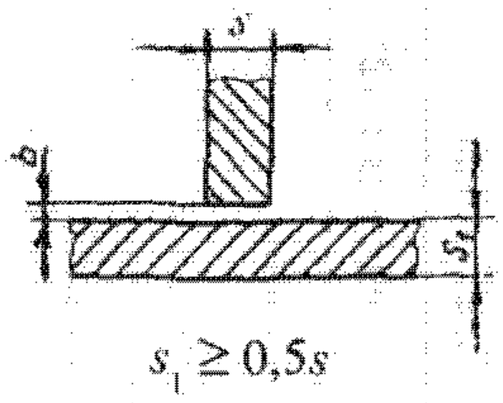
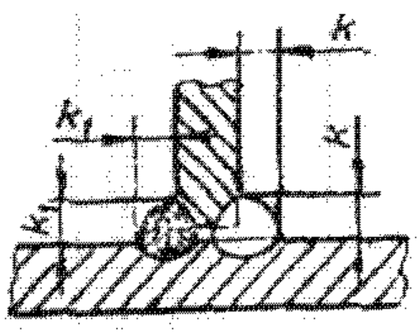
				$s = s_1$	g (пред. откл. ± 4)
С38			АФф	От 18 до 28	24
				Св. 28 до 40	32
				Св. 40 до 50	38
				Св. 50 до 60	43

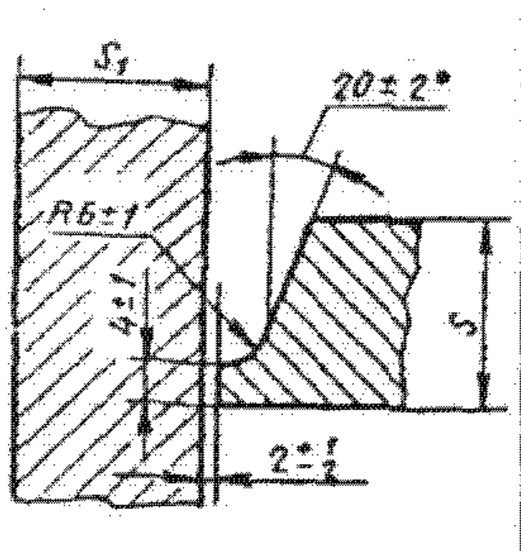
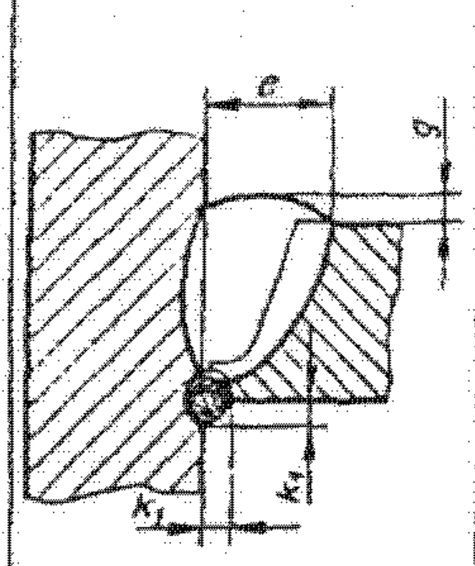
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	R (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.	α, ° (пред. откл. ±3°)
С40			АФш	От 24 до 28	6	25	± 5	2,5	+1,0 –2,0	12
				Св. 28 до 36		28	± 6			
				Св. 36 до 40		31				
				Св. 40 до 42	8					10
				Св. 42 до 55		36	± 7			
				Св. 55 до 65		46				
				Св. 65 до 80		50	± 9		+1,5 –2,0	
				Св. 80 до 100		58	± 10			
				Св. 100 до 110	10	61				8
				Св. 110 до 115		63				
				Св. 115 до 120		65				
				Св. 120 до 125		67				
				Св. 125 до 130		68	± 11			

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С41			АФш	24	28	± 3	2,5	+1,0 –2,0
				Св. 24 до 26	29			
				Св. 26 до 30	31			
				Св. 30 до 32	32			
				Св. 32 до 34	33			
				Св. 34 до 36	34	± 4		+1,5 –2,0
				Св. 36 до 38	35			
				Св. 38 до 42	36			
				Св. 42 до 45	38			
				Св. 45 до 50	40			
				Св. 50 до 55	42	± 5		
				Св. 55 до 60	45			

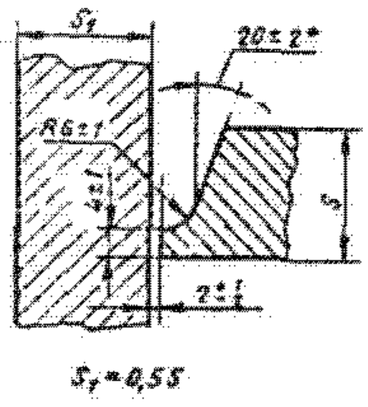
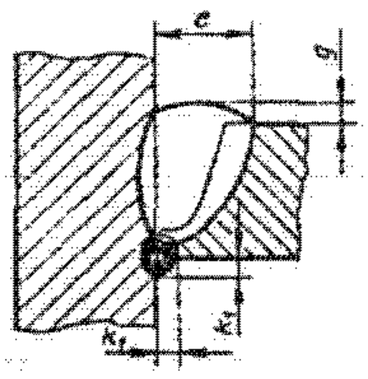
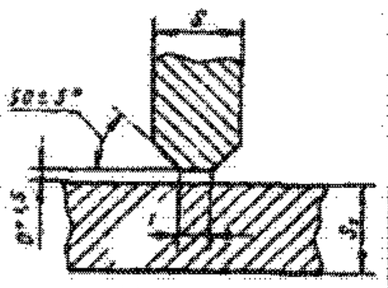
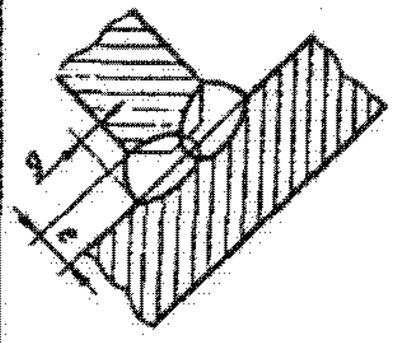
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	e (пред. откл. ± 3)	i	R
У 1	 $s_1 \geq 0,7s$		АФ; ПФ	1,5—3,0	$s + s_1$	$s - 3s$	$s - 1,5s$

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	n (пред. откл. ±1)
У 5			АФш; ПФш	4	1,5
				Св. 4 до 9	2
				Св. 9 до 14	3

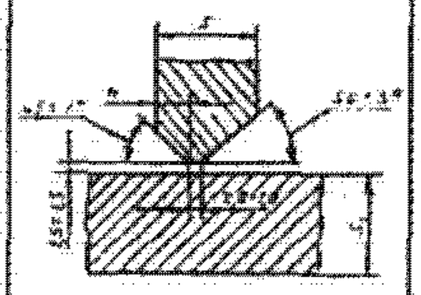
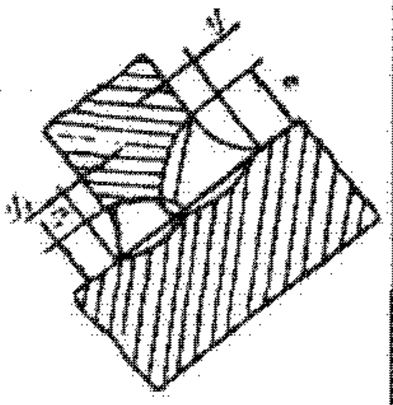
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b	
					Номин.	Пред. откл.
Т 1	 $s_1 \geq 0,5s$		АФ; ПФ	3	0	+0,8
				Св. 3 до 5		+1,0
				Св. 5 до 40		+1,5
Т 3	 $s_1 \geq 0,5s$		АФ; ПФ	3	0	+0,8
				Св. 3 до 5		+1,0
				Св. 5 до 40		+1,5
Т 3	 $s_1 \geq 0,5s$		АФш; ПФш	От 3 до 5	0	+1,5
				Св. 5 до 9		+2,0
				Св. 9 до 10		
				Св. 10 до 14		+3,0
				Св. 14 до 20		

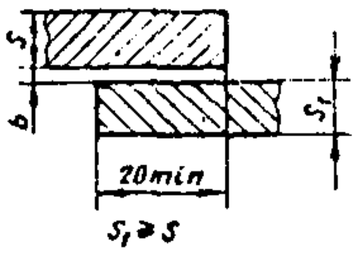
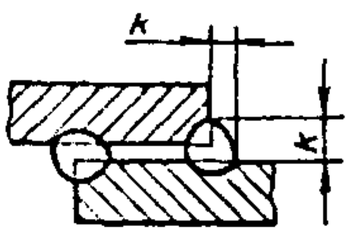
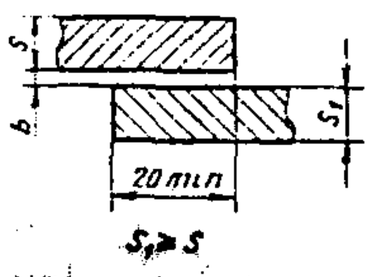
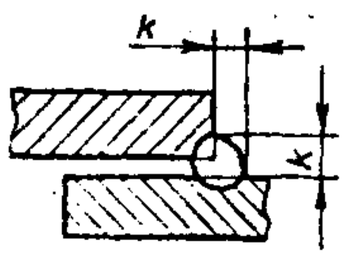
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	e		g (пред. откл. ±2)
					Номин.	Пред. откл.	
Т 2	 $s_1 \geq 0,5s$		АФш	16	18	±3	6
				Св. 16 до 18	19		
				Св. 18 до 20	20		7
				Св. 20 до 22			
				Св. 22 до 24	21		
				Св. 24 до 26	22		
				Св. 26 до 28		±4	8
				Св. 28 до 30	23		

* Размер для справок.

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	s	b		g (пред. откл ±2)
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.	
Т2	 $s_1 \approx 0{,}5s$		АФш	16	18	±3	6
				Св.16 до 18	19		
				Св. 18 до 20	20		7
				Св. 20 до 22			
				Св. 22 до 24	21		
				Св. 24 до 26	22		
				Св. 26 до 28		±4	8
				Св. 28 до 30	23		
Т8	 $s_1 \geq 0{,}5s$		АФ; ПФ	От 16 до 18	25	+4 -7	4
				Св.18 до 22	30	+4 -8	5
				Св. 22 до 26	36	+4 -10	6
				Св. 26 до 30	40	+4 -11	7
				Св. 30 до 36	50	+4 -12	8
				Св. 36 до 40	56	+4 -16	9

Примечание. При способе сварки ПФ притупление $c=3\pm1$ мм.

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	s	h (предл. откл. ±1)	g		$g1$ (предл. откл. ±2)	e		$e1$	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва				Номин.	Предл. откл.		Номин.	Предл. откл.	Номин.	Предл. откл.
Т4	 $s_1 \geq 0{,}5s$		АФш; ПФш	20	7	6	±2	3	26	+4 -7	13	±3
				Св. 20 до 24		7						
				Св. 24 до 28	8	8		4	29	+4 -8		
				Св. 28 до 34	10	10		5	35	+4 -10	17	
				Св. 34 до 40	12	12	±3		40	+4 -11		

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		Способ сварки	s	b	
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва			Номин.	Пред. откл.
Н1			АФ; ПФ	От 1 до 5	0	±1,0
				Св.5 до 10		±2,0
				Св. 10 до 20		±3,0
Н2			АФ; ПФ	От 1 до 5	0	±1,0
				Св.5 до 10		±2,0
				Св. 10 до 20		±3,0

Стандарт распространяется на соединения из сталей, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах, выполняемых сваркой под флюсом, и устанавливает основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений.

Стандарт не распространяется на сварные соединения стальных трубопроводов по ГОСТ 16037—70.

В стандарте приняты следующие обозначения способов сварки под флюсом:

АФ — автоматическая на весу;

АФф — автоматическая на флюсовой подушке;

АФм — автоматическая на флюсомедной подкладке;

АФо — автоматическая на остающейся подкладке;

АФп — автоматическая на медном ползуне;

АФш — автоматическая с предварительным наложением подварочного шва;

АФк — автоматическая с предварительной подваркой корня шва;

ПФ — полуавтоматическая на весу;

ПФо — полуавтоматическая на остающейся подкладке;

ПФш — полуавтоматическая с предварительным наложением подварочного шва;

ПФк — полуавтоматическая с предварительной подваркой корня шва.

При сварке кольцевых швов стыковых соединений допускается увеличение высоты усиления g, g_1 до 30 %.

Сварные соединения Т7, Т8, Т4 следует выполнять в положении «в лодочку» по ГОСТ 11969—79.

Угловые швы без скоса кромок разрешается выполнять как в нижнем положении, так и в положении «в лодочку» по ГОСТ 11969—79.

Подварочный шов и подварку корня шва разрешается выполнять любым способом дуговой сварки.

Сварка стыковых соединений деталей неодинаковой толщины при разнице, не превышающей значений, указанных в табл. 8.5, должна производиться так же, как деталей одинаковой толщины; конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по большей толщине.

Таблица 8.5

Толщина тонкой детали, мм	Разность толщин деталей, мм
От 2 до 4	1
Св. 4 до 30	2
Св. 30 до 40	4
Св. 40	6

Для осуществления плавного перехода от одной детали к другой допускается наклонное расположение поверхности шва (рис. 8.12).

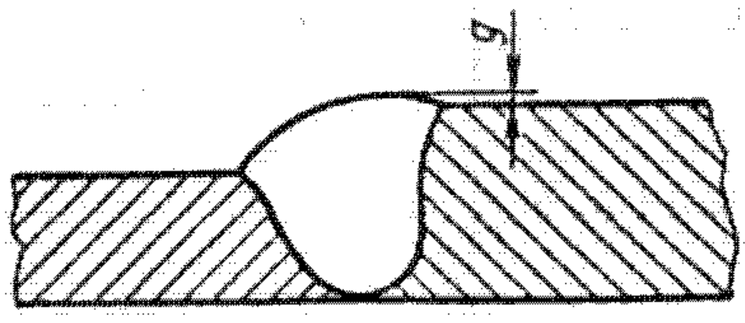


Рис. 8.12.

При разнице толщины свариваемых деталей свыше значений, указанных в табл. 8.5, на детали, имеющей большую толщину s_1, должен быть сделан скос с одной или с двух сторон до толщины тонкой детали s, как указано на рис. 8.13, 8.14 и 8.15. При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

Катеты углового шва $к$, $к_1$ должны быть установлены при проектировании сварного соединения, но не более 3 мм для деталей толщиной до 3 мм включительно и 1,2 толщины более тонкой детали при сварке деталей толщиной свыше 3 мм.

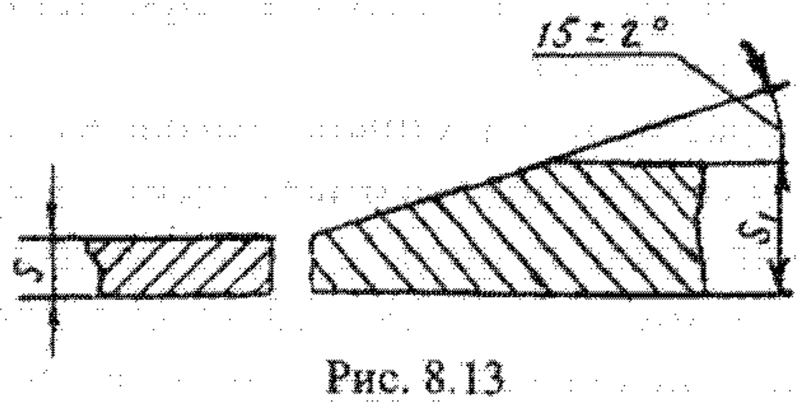


Рис. 8.13

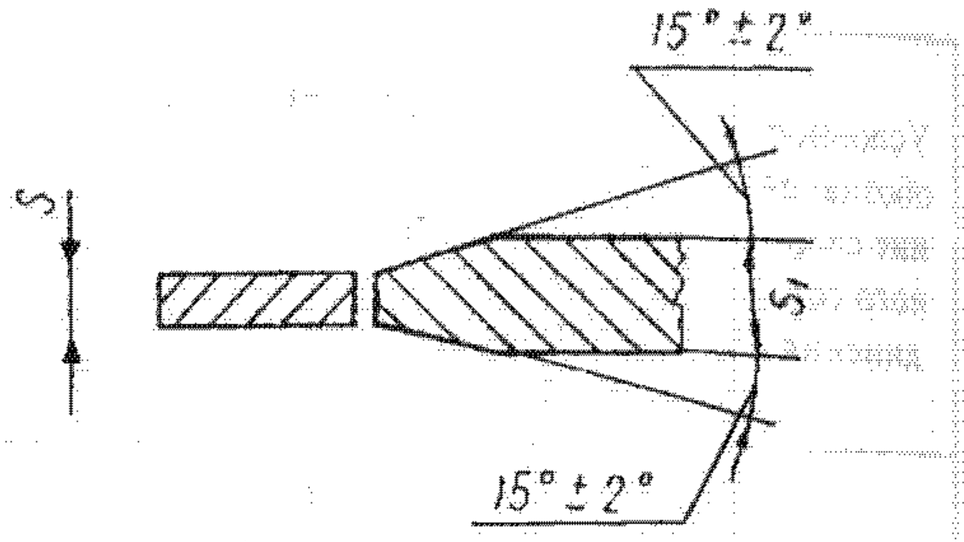


Рис. 8.14

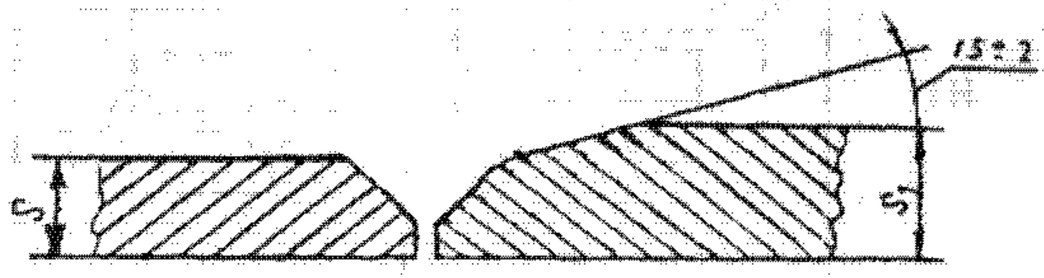


Рис. 8.15

Предельные отклонения катета углового шва $к$ от номинального значения должны соответствовать:

+1,0 мм — при $к < 8$ мм;

+1,5 мм — при $8 \le к \le 12$ мм;

+2,0 мм — при $к > 12$ мм.

Допускается усиление или ослабление углового шва до 30 % его катета, но не более 3 мм. При этом ослабление не должно приводить к уменьшению расчетного значения катета.

Минимальные значения катетов угловых швов приведены в табл. 8.6.

При применении сварки под флюсом взамен ручной дуговой сварки катет углового шва расчетного соединения может быть уменьшен до значений, приведенных в табл. 8.7.

Допускается смещение свариваемых кромок перед сваркой относительно друг друга не более:

0,5 мм — для деталей толщиной до 4 мм;

1,0 мм — для деталей толщиной 4—10 мм;

0,1s мм, но не более 3 мм — для деталей толщиной более 10 мм.

Таблица 8.6

Предел текучести свариваемой стали, Мпа	Минимальное значение катетов углового шва для свариваемого элемента большей толщины, мм							
	от 3 до 4	св. 4 до 5	св. 5 до 10	св. 10 до 16	св. 16 до 22	св. 22 до 32	св. 32 до 40	св. 40 до 80
До 400	3	3	5	5	6	7	8	9
Св. 400 до 450	3	4	5	6	7	8	9	10

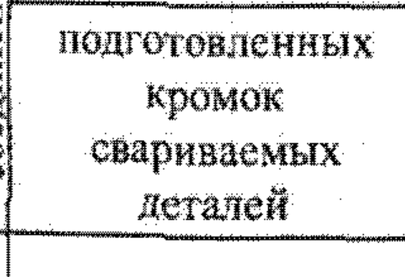
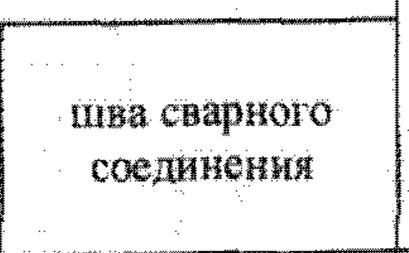
Примечание. Минимальное значение катетов не должно превышать 1,2 толщины более тонкого элемента.

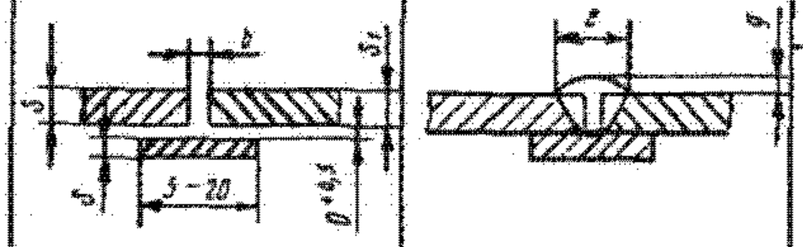
Таблица 8.7

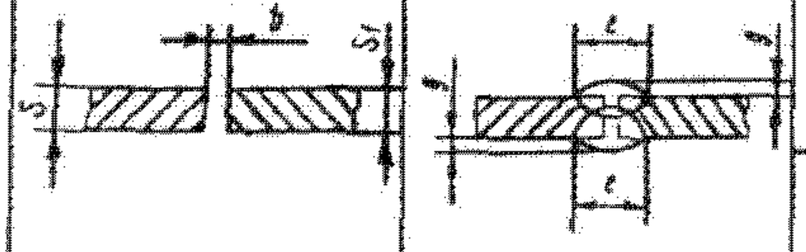
Катет углового шва для сварки, мм				
ручной дуговой	под флюсом			
	проволокой диаметром от 3 до 5		проволокой диаметром от 1,4 до 2,5	
	в положении «в лодочку»	в нижнем положении	в положении «в лодочку»	в нижнем положении
4	3	3	3	3
5	3	3	4	4
6	4	4	5	5
7	5	5	6	6
8	5	5	6	6
9	6	7	7	8
10	6	8	8	9
11	7	9	9	10
12	8	9	9	11
13	8	10	11	13
14	9	11	12	14
15	10	12	13	15
16	10	13	14	16
17	13	17	17	17
18	14	18	18	18
19	15	19	19	19
20	16	20	20	20
21	16	21	21	21
22	17	22	22	22
23	23	23	23	23
24	24	24	24	24
25	25	25	25	25

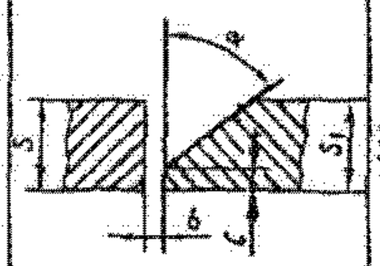
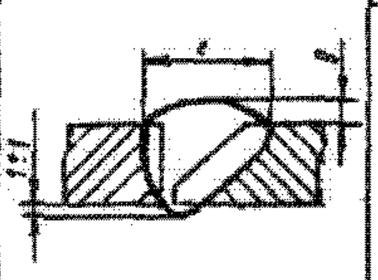
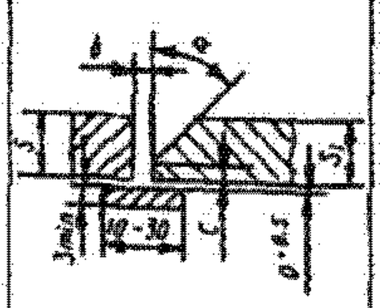
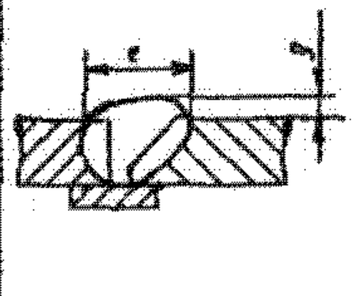
8.1.3. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых соединений в среде защитных газов (ГОСТ 14771—76)

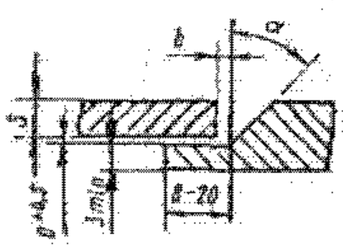
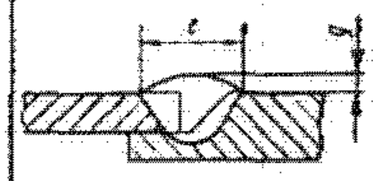
Размеры, мм

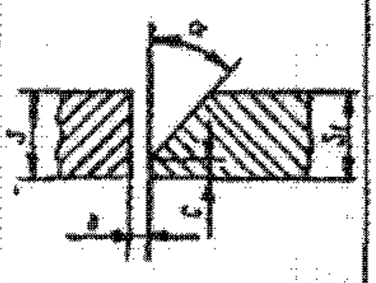
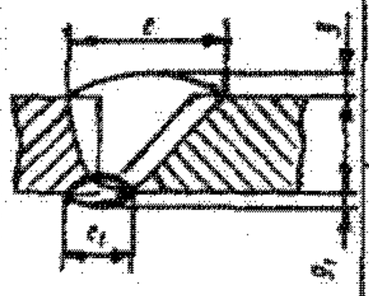
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s=s_1$	b Номин.	b Пред. откл.	e, не более	e_1 Номин.	e_1 Пред. откл.	g Номин.	g Пред. откл.	g_1 Номин.	g_1 Пред. откл.
С4			ИН	0,5–0,9	0	+0,1	6,0	2,0	±1,0	0	±0,1	0	+0,2
				1,0–1,5		+0,2	7,0				+0,2 –0,3		+0,5
				1,6–2,2		+0,3	8,0				+0,2 –0,5		+1,0
				2,5–4,0			9,0				+0,3 –1,0		
			ИНп	0,8–1,4		+0,5	7,0	4,0		0,5	+0,5 –0,2	0,5	±0,5
				1,5–2,2		+1,0	8,0						
				2,5–6,0			12,0			1,0	±0,5		
			ИП	0,8–1,4			7,0		±2,0	0,5	+0,5 –0,2	0	+0,5
				1,5–2,8		+1,5	8,0			1,0		0,5	±0,5
				3,0–6,0		+2,0	12,0	6,0		1,5		1,0	+1,0 –0,5
			УП	0,8–1,4		+1,5	6,0			1,0	+1,0 –0,5		
				1,5–2,8			7,0						
				3,0–4,0		+2,0	8,0			1,5		1,5	±1,0
				4,5–6,0	2,0		9,0						
				7,0–8,0			12,0			2,0	±1,0		

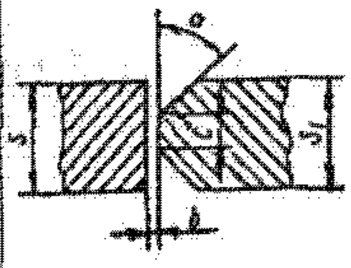
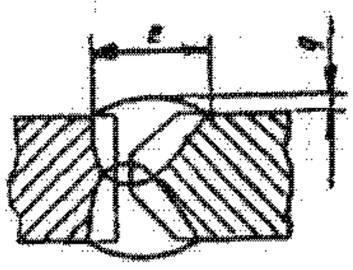
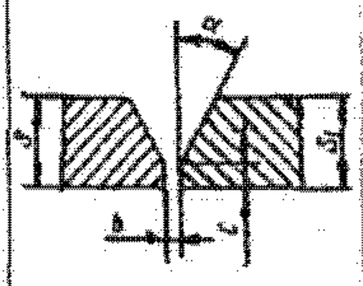
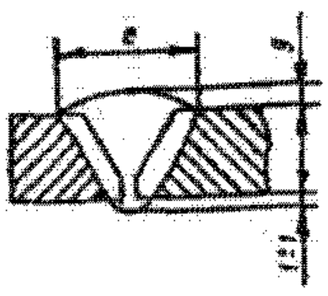
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e, не более	g: Номин.	g: Пред. откл.	δ, не менее
С 5			ИН	0,5–0,9	0	+0,1	6,0	0	± 0,1	s
				1,0–1,5		+0,2	7,0		± 0,2	
				1,6–2,2		+0,3	8,0			
				2,5–4,0			10,0			
			ИНп	0,8–1,5		+0,5	7,0	0,5	+0,5 –0,2	
				1,6–2,2		+1,0	8,0			
				2,5–6,0			12,0	1,0	± 0,5	3
			ИП	0,8–1,4			7,0	0,5	+0,5 –0,2	s
				1,5–2,8		+1,5	8,0	1,0	+1,0 –0,5	
				3,0–6,0		+2,0	12,0	1,5		3
			УП	0,8–1,4		+1,5	6,0	1,0		s
				1,5–2,8			7,0			
				3,0–4,0		+2,0	8,0	1,5		3,0
				4,5–6,0	2,0		9,0			
				7,0–8,0			12,0	2,0	± 1,0	

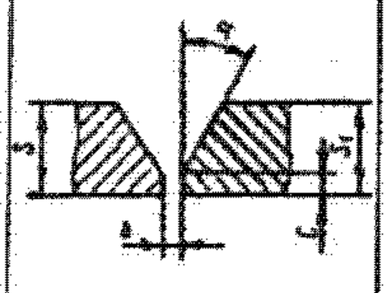
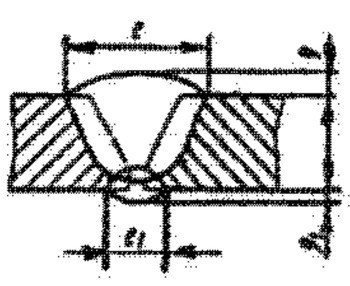
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e, не более	g: Номин.	g: Пред. откл.	δ, не менее
С 7			ИН	3,0–4,0	0	+0,5	9,0	0	+0,2	s
				4,5–6,0		+1,0	10,0			
			ИНп	3,0–4,0			9,0	1,0	+0,5 –1,0	
				4,5–6,0		+2,0	10,0			
			ИП	3,0–4,0		+1,0	9,0		± 1,0	
				4,5–6,0		+2,0	10,0			
			УП	3,0–4,0		± 0,5	8,0	1,5		
				4,5–6,0		± 1,0	9,0	2,0	± 1,5	
				7,0–8,0	1,5		10,0			
				9,0–10,0			12,0			
				11,0–12,0	2,0		14,0			

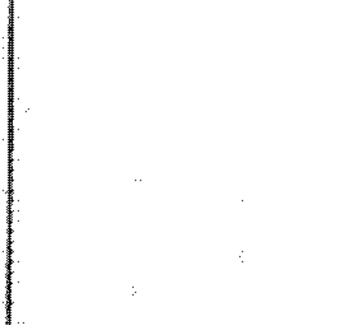
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.	α, град (пред. откл. ±2°)
С8			ИНп, ИП	3,0—3,5	1	±1	1	±1	6	±2,0	1,0	+0,5 −1,0	50
				3,8—4,5					7				
				5,0—5,5					8				
				6,0					10			±1,0	
				7,0					14				
				8,0					16				
				9,0					18				
				10,0					20				
			УП	3—4,0	2,0	+1,0 −2,0	2	+1,0 −2,0	6	±3,0	2,0	+1,0 −2,0	40
				4,5—7,0					8				
				8—11,0					14				
				12—14					18				
				16—18					22	±3,0			
				20—22					26				
				24—26					30	±4,0			
				28—30					34				
				32—34					38				
				36—40					42				
				42—45					46	±5,0			
				48—53					50				
				56—60					54				
С10			ИНп, ИП	3,0—3,5	1	±1	1	±1	6	±2	1	+0,3 −1,0	50
				3,8—4,5					7				
				5,0—5,5					8				
				6,0					12			±1,0	
				7,0					14				
				8,0					16				
				9,0					18				
				10,0					20				
			УП	3,0—4,0	2	+1 −2	2	+1 −2	6	±4	2	+1,0 −2,0	40
				4,5—7,0					10				
				8,0—11,0					16				
				12,0—14,0					20	±3			
				16,0—18,0					24				
				20,0—22,0					30	±4			
				24,0—26,0					34				
				28,0—30,0					38				
				32,0—34,0					42				
				36,0—40,0					46				
				42,0—45,0		±2			50	±5	2,5	+1,5 −2,0	
				48,0—53,0					54				
				56,0—60,0					58				

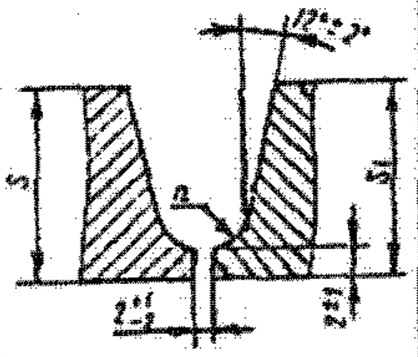
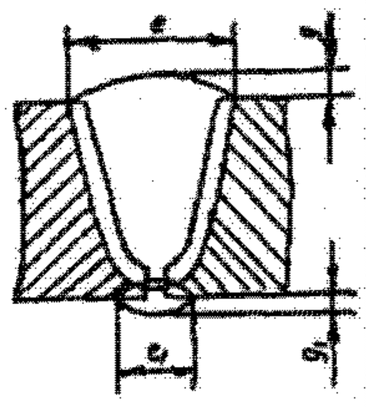
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	b Номин.	b Пред. откл.	e Номин.	e Пред. откл.	g Номин.	g Пред. откл.	α, град. (пред. откл. ± 2°)
С 11			ИНп, ИП	3,0—3,5	0	+3	7	± 2	1,0	+0,5 –1,0	50
				3,8—4,5			8				
				5,0—5,5			9			± 1,0	
				6,0			12				
				7,0			14				
				8,0			16				
				9,0			18				
				10,0			20				
			УП	3—4,0	2	± 2	6	± 3	2,0	+1,0 –2,0	40
				4,5—7,0			10				
				8,0—11,0			16				
				12,0—14,0			20				
				16,0—18,0			24				
				20,0—22,0			30	± 4			
				24,0—26,0			34				
				28,0—30,0			38				
				32,0—34,0			42				
				36,0—40,0			46				

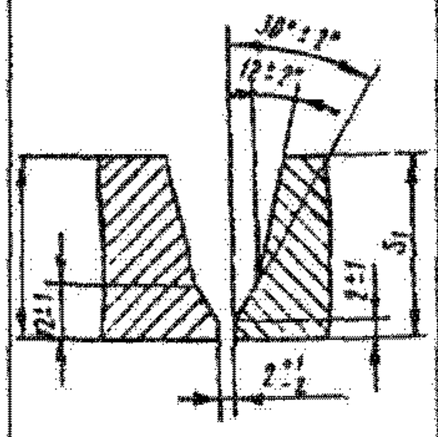
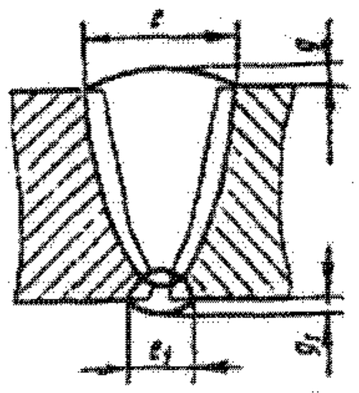
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	b Номин.	b Пред. откл.	c Номин.	c Пред. откл.	e Номин.	e Пред. откл.	e_1, (пред. откл. ± 2)	g Номин.	g Пред. откл.	g_1 Номин.	g_1 Пред. откл.	α, град. (пред. откл. ± 2°)
С 12			ИНп, ИП	3,0—3,5	1	±1	1	±1	6	± 2	6	1,0	+0,5 –1,0	0,5	+0,5	50
				3,8—4,5					7							
				5,0—5,5					8		8		± 1	1,0	+1,0	
				6,0					10							
				7,0					14							
				8,0					18							
				9,0												
				10,0					20							
			УП	3,0—4,0	2	+1 –2	2	+1 –2	6	± 3	6	2,0	+0,5 –1,0	2,0	±1,0	40
				4,5—7,0					8		8		± 1			
				8,0—11,0					14							
				12,0—14,0					18	± 3						
				16,0—18,0					22							
				20,0—22,0					26	± 4						
				24,0—26,0					30							
				28,0—30,0					34							
				32,0—34,0					38							
				36,0—40,0					42							
				42,0—45,0					46	± 5	10					
				48,0—53,0					50							
				56,0—60,0					54							

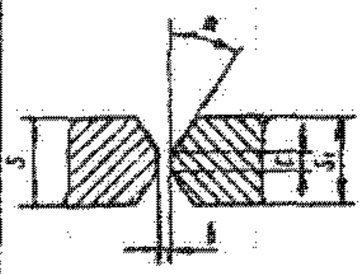
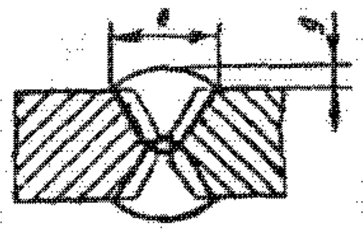
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.	α, град. (пред. откл. ± 2°)
С15			ИНп	6—9	1	±1	1	±1	7	±2	1	±1	50
				10—12					9				
				14—16					13				
				18—20					17				
			ИП, УП	8—11					8				
				12—14					10				
				16—20					12				
				22—26	2	+1 −2	2	+1 −2	16	±2	2	+1 −2	40
				28—32					18				
				34—38					22				
				40—44					26				
				46—50					30				
				52—56					34				
				58—62					38	±3			
				64—70					42				
				72—80					46	±4			
				82—90					50				
				92—100					54	±5			
С17			ИНп, ИП	3,0—4,0	1,0	±1,0	1,0	±1,0	6	±2	1	±1,0	30
				4,5—5,5					7				
				6,0					8				
				7,0					10				
				8,0					12				
			УП	9,0—10,0					14				
				3,0—4,5					6				
				5,0—7,0					8				
				8,0—10,0					10				
				11,0—14,0					13	±3			20
				16,0—18,0					16				
				20,0—22,0					20	±4			
				24,0—26,0					24				
				28,0—30,0	2,0	+1,0 −2,0	2,0	+1,0 −2,0	28		2	+1,0 −2,0	
				32,0—34,0					32				
				36,0—40,0					36				
				42,0—45,0					40	±5			
				48,0—53,0					44				
				56,0—60,0					50				

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	b Номин.	b Пред. откл.	c Номин.	c Пред. откл.	e Номин.	e Пред. откл.	e_1 (пред. откл. ±2)	g Номин.	g Пред. откл.	g_1 Номин.	g_1 Пред. откл.	α, град (пред. откл. ±2°)
С21			ИНп, ИП	3,0—3,5	1	±1	1	±1	6	±1	6	1,0	+0,5 −1,0	0,5	+0,5	30
				3,8—4,5					7							
				5,0—5,5	2	+1 −2	2	+1 −2	8	±2	8		±1,0	1,0	+1,0	
				6,0					10							
				7,0—8,0					12							
				9,0—10,0					14							
			УП	3,0—4,0					6							
				4,5—7,0					8							
				8—11					10							
				12—14					13	±3						
				16—18					16							
				20—22					20							
				24—26					24	±4	10	2,0	+1,0 −2,0	2,0	±1,0	20
				28—30					28							
				32—36					32							
				38—42					36							
				44—48					40							
				50—54					44							
				56—60					48							

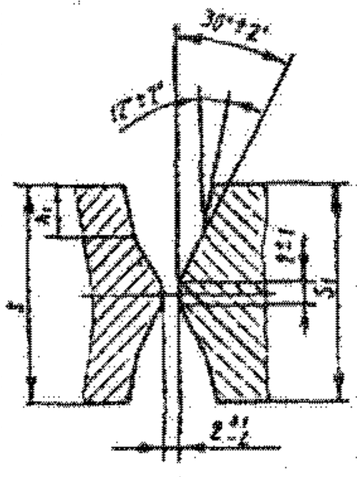
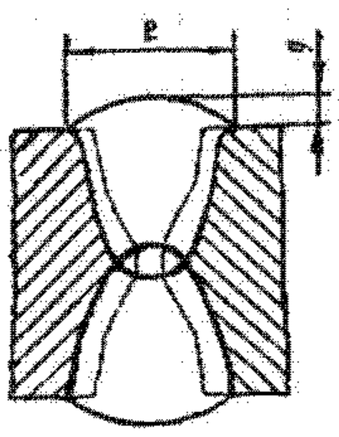
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	b Номин.	b Пред. откл.	c (пред. откл. ±0,5)	e (пред. откл. ±2)	g Номин.	g Пред. откл.	g_1 Номин.	g_1 Пред. откл.
С22			ИНп, ИП	4—4,5	0	+0,2	2,0	7	1,0	+0,5 −1,0	0	+1
				6—7		+0,5	3,0	8		±1,0		+2
				8—9				10				
				10—12		+1,0	3,5	12	2,0	+1,0 −2,0		
				14—16				16				
				18—20				18				

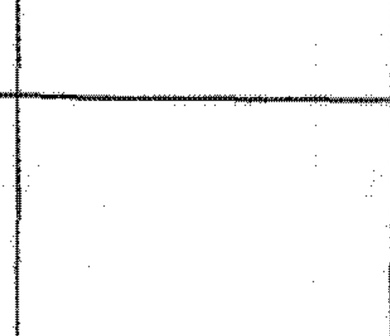
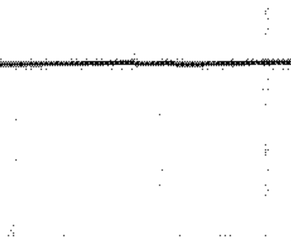
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	r (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	e_1 (пред. откл. ±2)	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1 (пред. откл. ±1)
С23			ИП, УП	24—28	8	28	±4	10	2	+1 −2	2
				30—34		30					
				36—40		32					
				42—45		34	±5				
				48—50		36					
				53—56		38		12			
				60—63		40	±6				
				65—70		43					
				75—80		48	±7		3	+1 −3	3
				85—90		52					
				95—100		58	±8				

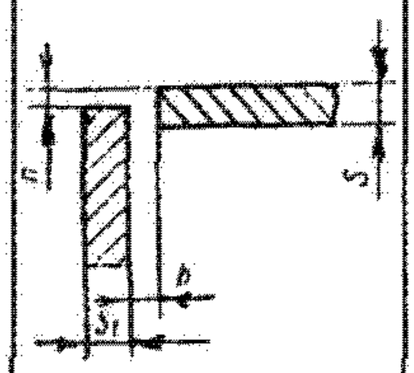
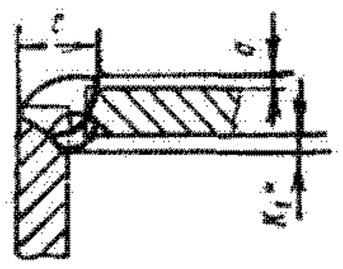
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	e: Номин.	e: Пред. откл.	e_1 (пред. откл. ±2)	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1 (пред. откл. ±1)
С24			ИП, УП	24—28	22	±5	10	2	+1 −2	2
				30—34	25					
				36—40	28	±6				
				42—45	30					
				48—50	33					
				53—56	35		12			
				60—63	38					
				65—70	40	±7		3	+1 −3	3
				75—80	43					
				85—90	48	±8				
				95—100	53					

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.	α, град (пред. откл. ±2°)
С 25			ИНп	6—9	1	±1	1	±1	7	±2	1	±1	30
				10—12					9				
				14—16					12				
				18—20					15				
			ИП, УП	6—9					6				20
				10—12					8				
				14—16					10				
				18—20					12				
				22—28	2	+1 −2	2	+1 −2	15		2	+1 −2	
				30—36					18	±3			
				38—45					20				
				48—53					24	±4			
				56—60					28				
				63—70					32				
				75—80					36				
				85—90					40	±5			
				95—100					44				
				105—110					48	±6			
				120					52				

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	e: Номин.	e: Пред. откл.	g (пред. откл. +1; −2)
С 26			ИП, УП	26—30	20	±3	2
				32—36	22		
				38—42	23	±4	
				45—48	24		
				50—53	25		
				56—60	26		
				63—70	30	±5	3
				75—80	32		
				85—90	34	±6	
				95—100	36		
				105—110	38	±7	
				120	40		

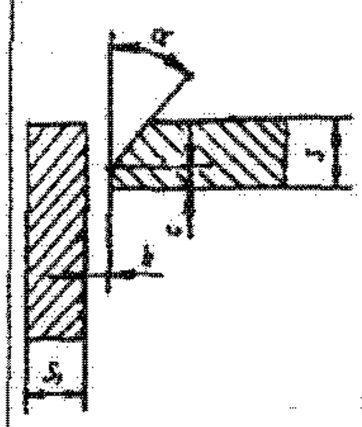
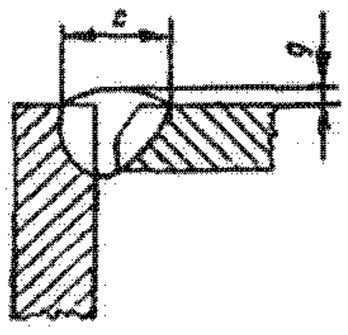
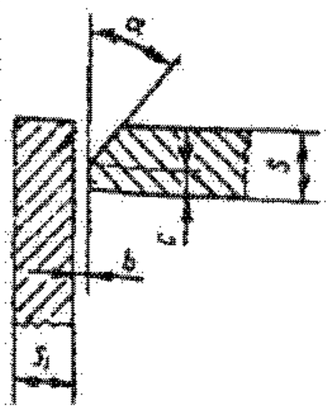
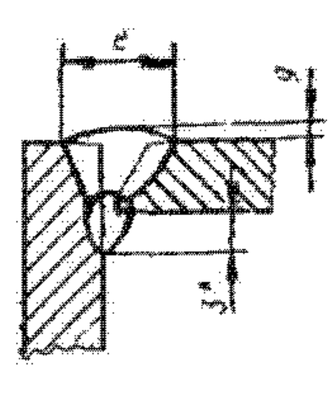
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	h_1 (пред. откл. +1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С27			УП	26—30	10	17	± 4	2	+1 −2
				32—36		19			
				38—42		20			
				45—48		21			
				50—53		22	± 5		
				56—60		24			
				63—70		26	± 6	3	+1 −3
				75—80		28			
				85—90		30			
				95—100	12	34			
				105—110		37	± 7		
				120		40			

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	n	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
У4			ИНп	0,8—1,4	0	+0,5	0—0,5s	3	±1	0	+1,0
				1,5—2,0				5			
				2,2—3,2				7	±2		+1,5
				3,5—4,0				8			
$s_1 \geq 0{,}8$			ИП, УП	0,8—1,4		+1,0		4	±1	10	+1,0
				1,5—2,8				6			
				3,0—5,0				8	±2		+1,5
				5,5—8,0				12			+2,0

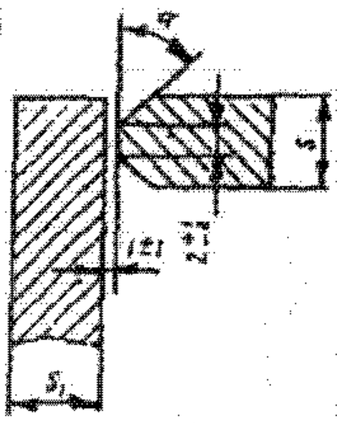
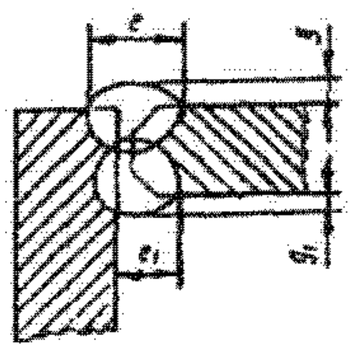
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	n	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.	K_1
У 5	 $s_1 \geq 0{,}8$		ИНп	0,8—1,4	0	+0,5	0—0,5s	3	± 1	0	+1,0	2
				1,5—2,0				5				
				2,2—3,2				7	±2		+1,5	3
				3,5—4,0				8				
			ИП, УП	3—5		+1,0		8	± 2		+1,5	
				5,5—8,0				12				
				9,0—12,0				15	± 3		+2,0	4

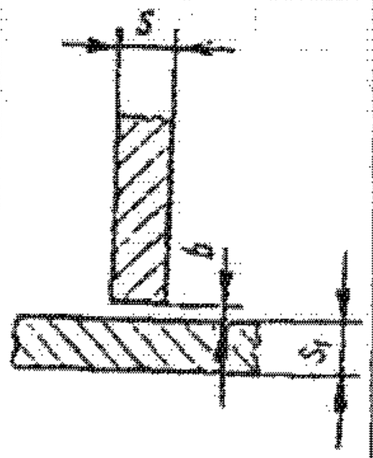
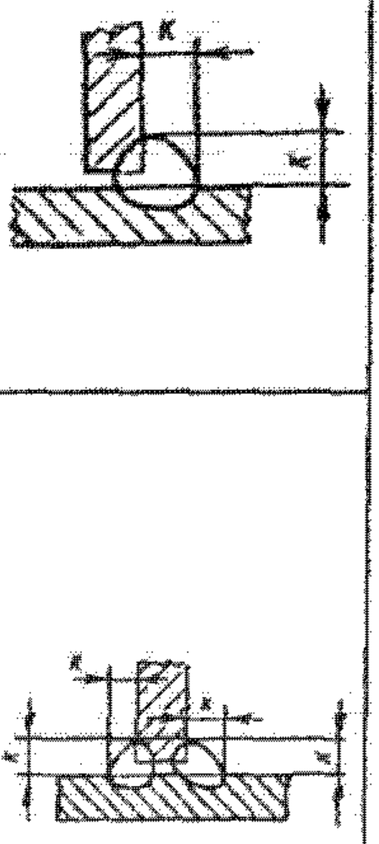
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	n
У 5	 $s_1 \geq 0{,}8$		ИНп	0,8—5,5	0	+0,5	Св. 0,5s до s
				6,0—10,0		+1,0	
			ИП, УП	0,8—6,0			
				7,0—11,0		+1,5	
				12,0—30,0		+2,0	

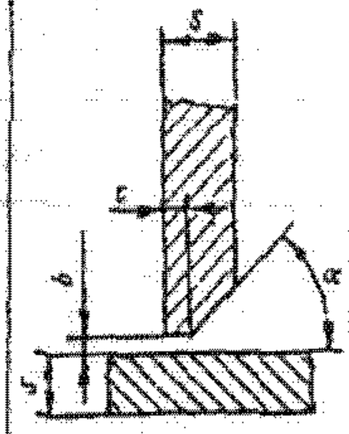
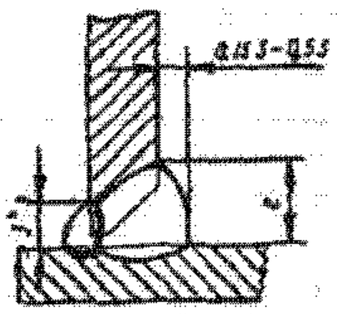
* Размер для справок

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.	α, град. (пред. откл. ± 2°)
У6	 $s_1 \geq 0{,}5s$		ИНп, ИП,	3,0—3,5	1	±1	1	±1	6	±2	1,0	+0,5 −1,0	50
				3,8—4,5					7				
				5,0—5,5					8			±1,0	
				6,0					10				
				7,0					14				
				8,0					16				
				9,0					18				
				10,0					20				
			УП	3,0—4,0	2	+1 −2	2	+1 −2	6	±3	2,0	+1,0 −2,0	40
				4,5—7,0					8				
				8,0—11,0					14				
				12,0—14,0					18				
				16,0—18,0					22	±4			
				20,0—22,0					26				
				24,0—26,0					30				
				28,0—30,0					34				
				32,0—36,0					38				
				38,0—42,0					42				
				45,0—48,0					46	±5			
				50,0—53,0					50				
				56,0—60,0					54				
У7	 $s_1 \geq 0{,}5s$		ИНп, ИП	3,0—3,5	1,0	±1,0	1,0	±1,0	6	±2	1,0	+0,5 −1,0	50
				3,8—4,5					7				
				5,0—5,5					8			±1,0	
				6,0					10				
				7,0					14				
				8,0					18				
				9,0					20				
				10,0									
			УП	3,0—4,0	2,0	+1,0 −2,0	2,0	+1,0 −2,0	6	±3	2,0	+1,0 −2,0	40
				4,5—7,0					8				
				8,0—11,0					14				
				12,0—14,0					18				
				16,0—18,0					22	±4			
				20,0—22,0					26				
				24,0—26,0					30				
				28,0—30,0					34				
				32,0—34,0					38				
				36,0—40,0					42				
				42,0—45,0					46	±5			
				48,0—53,0					50				
				56,0—60,0					54				

* Размер для справок

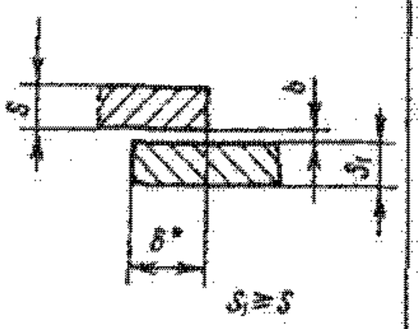
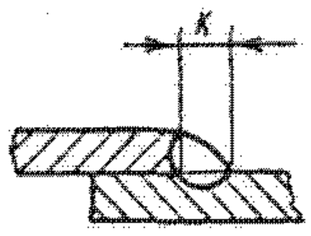
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	s	e: Номин.	e: Пред. откл.	e_1: Номин.	e_1: Пред. откл.	$g \approx g_1$: Номин.	$g \approx g_1$: Пред. откл.	α, град (пред. откл. ±2°)
У8	 $s_1 \geq 0{,}5s$		ИНп, ИП	6—9	7	±2	5	±1	1	±1	50
				10—12	9		7				
				14—16	13		11	+2			
				18—20	17		15				
			УП	6—10	8		6				40
				11—16	10		8				
				18—22	13		11				
				24—28	16		14				
				30—34	19		17				
				36—40	22		20				
				42—45	26		24				
				48—53	30		28				
				56—63	38	±3	36	±3	2	+1 −2	
				65—70	42		40				
				75—80	46	±4	44	±4			
				85—90	50		48				
				95—100	54	+5	52	+5			

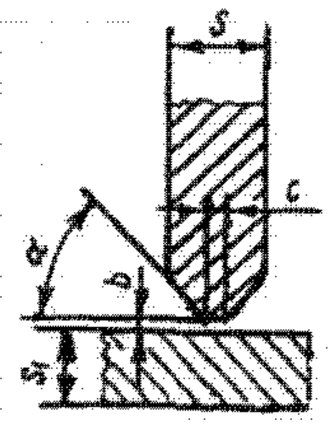
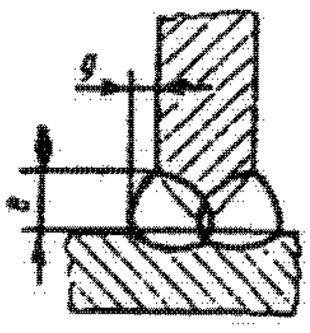
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.
Т1; Т3	 $s_1 \geq 0{,}6$		ИНп, ИП, УП	0,8—3,0	0	+0,5
				3,2—5,5		+1,0
				6,0—20,0		+1,5
				22,0—40,0		+2,0

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	α, град (пред. откл. ± 2°)
Т7	 $s_1 \geq 0{,}5s$		ИНп	3,0—4,0	0	+1	1,0	±1	7	±2	55
				4,5—6,0					10		
				7,0—10,0					16		
			ИП, УП	3,0—4,0					6		
				4,5—6,0					8		
				7,0—10,0					12		
				11,0—14,0		+2	2,0	+1,0 –2,0	16	±3	45
				16,0—18,0					20		
				20,0—22,0					24	±4	
				24,0—26,0					28		
				28,0—30,0					32		
				32,0—34,0					36		
				36,0—40,0					42		
				42,0—45,0		+3			46	+5	
				48,0—53,0					50		
				56,0—60,0					54		

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	B
Н2	 $s_1 \geq s$		ИН	0,8—3,0	0	+0,2	3,0—12,0
				3,2—4,0		+0,5	5,0—16,0
			ИНп	0,8—5,0			3,0—20,0
				5,5—10,0		+1,0	8,0—40,0
			ИП, УП	0,8—2,0		+0,5	3,0—20,0
				2,2—5,0		+1,0	
				5,5—10,0			8,0—40,0
				11,0—28,0		+1,5	12,0—100,0
				30,0—60,0		+2,0	30,0—240,0

* Размер для справок.

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Предл. откл.	B
Н1	 * Размер для справок		ИН	0,8—3,0	0	+0,2	3,0—12,0
				3,2—4,0		+0,5	5,0—16,0
			ИНп	0,8—5,0			3,0—20,0
				5,5—10,0		+1,0	8,0—40,0
			ИП, УП	0,8—2,0		+0,5	3,0—20,0
				2,2—5,0		+1,0	
				5,5—10,0			8,0—40,0
				11,0—28,0		+1,5	12,0—100,0
				30,0—60,0		+2	30,0—240,0

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g (пред. откл. ±2)	α, град. (пред. откл. +2°)
Т8	 $s_1 \geq 0{,}5s$		ИНп	6—9	1	±1	1	±1	7	±2	$0{,}08s$—$0{,}25s$	55
				10—12					9			
				14—16					12			
				18—20					16			
			ИП, УП	6—9					8			45
				10—12					10			
				14—18					12	±3		
				20—24					14			
				26—30					16	±4		
				32—36					20			
				38—42	2	+1 −2	2	+1 −2	24			
				45—48					28	±5		
				50—53					32			
				56—60					36			
				63—65					40			
				70—75					44			
				80					48			

Стандарт устанавливает основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений из сталей, а также сплавов на железоникелевой и никелевой основах, выполняемых дуговой сваркой в защитном газе.

Стандарт не устанавливает основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений стальных трубопроводов по ГОСТ 16037—80.

В стандарте приняты следующие обозначения способов сварки:

ИН — в инертных газах неплавящимся электродом без присадочного металла;

ИНп — в инертных газах неплавящимся электродом с присадочным металлом;

ИП — в инертных газах и их смесях с углекислым газом и кислородом плавящимся электродом;

УП — в углекислом газе и его смеси с кислородом плавящимся электродом.

При выполнении корня многослойного шва способом сварки, отличным от основного способа, которым производится заполнение разделки кромок, значения конструктивных элементов сварного соединения необходимо выбирать по основному способу сварки. При этом обозначение способа сварки следует производить дробью, в числителе которой дается обозначение способа сварки корня шва, а в знаменателе — обозначение основного способа сварки.

Для сварных соединений С12, С21, С23, С24, У7, У10, Т7, имеющих толщину деталей $s = 12$ мм и более, а также для соединений С15, С16, С25, С27, У8, Т8, имеющих толщину деталей $s = 20$ мм и более, выполняемых способом сварки УП, допускается притупление $c = 5 \pm 2$ мм.

Сварка встык деталей неодинаковой толщины в случае разницы по толщине, не превышающей значений, указанных в табл. 8.8, должна производиться так же, как деталей одинаковой толщины; конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по бо́льшей толщине.

Таблица 8.8

Толщина тонкой детали	Разность толщин деталей
2—3	1
4—30	2
32—40	4
Св. 40	6

Для осуществления плавного перехода от одной детали к другой допускается наклонное расположение поверхности шва (рис. 8.16).



Рис. 8.16

При разнице в толщине свариваемых деталей свыше значений, указанных в табл. 8.8, на детали, имеющей большую толщину s_1, должен быть сделан скос с одной или двух сторон до толщины тонкой детали s, как указано на рис. 8.17 и 8.18. При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

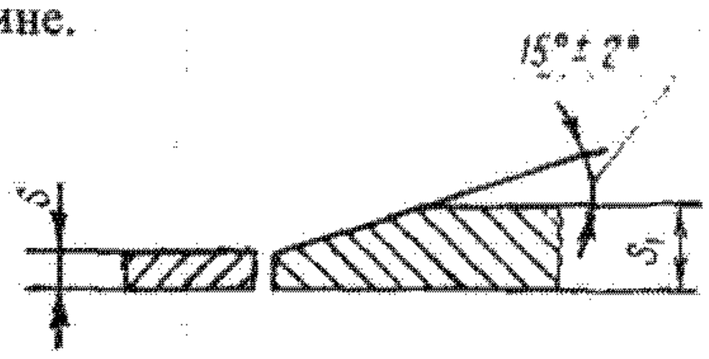


Рис. 8.17

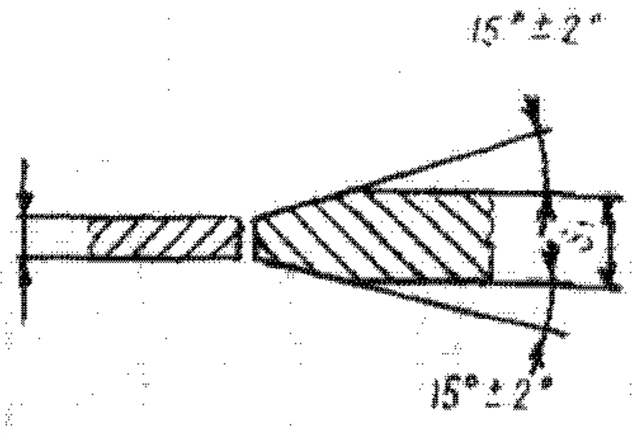


Рис. 8.18

Катет углового шва K не должен превышать 3 мм при сварке деталей толщиной до 3 мм включительно и 1,2 толщины более тонкой детали при сварке деталей толщиной свыше 3 мм.

В соединениях из проката с закругленными кромками (рис. 8.19) катет углового шва K не должен превышать $0{,}9s$.

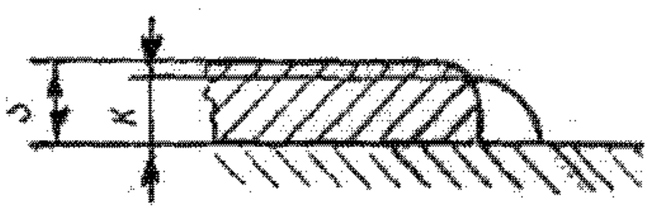


Рис. 8.19

Предельные отклонения катета углового шва K от номинального значения должны соответствовать:

от +1,0 до –0,5 мм при $K < 8$ мм;

от +1,5 до –0,5 мм при $8 \leq K \leq 12$ мм;

от +2,0 до –1,0 мм при $K > 12$ мм.

Усиление или ослабление углового шва может составлять до 30 % от величины его катета, но не более 3 мм.

Допускается перед сваркой смещение кромок относительно друг друга не более:

$0{,}2s$ мм — для деталей толщиной до 4 мм;

$0{,}1s + 0{,}5$ мм — для деталей толщиной 5—25 мм;

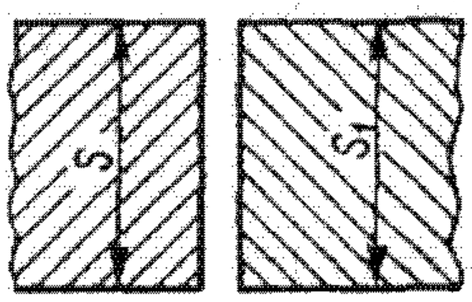
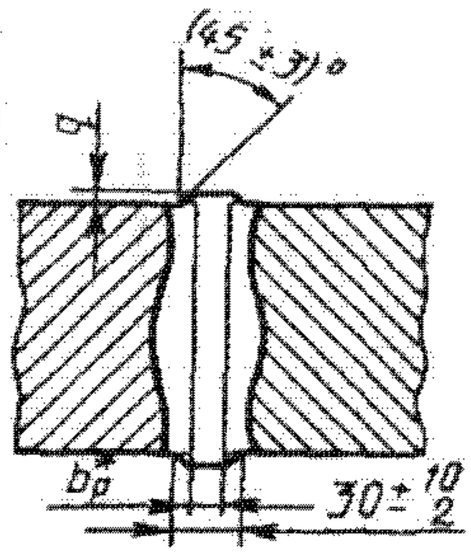
3 мм — для деталей толщиной 25—50 мм;

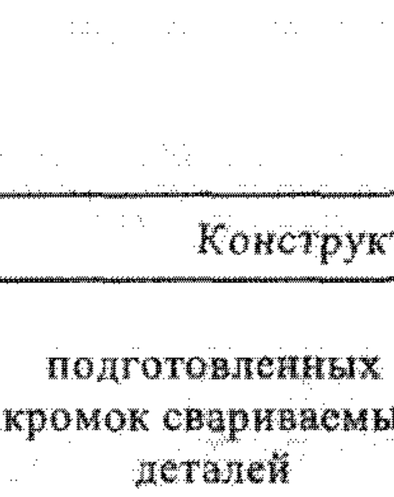
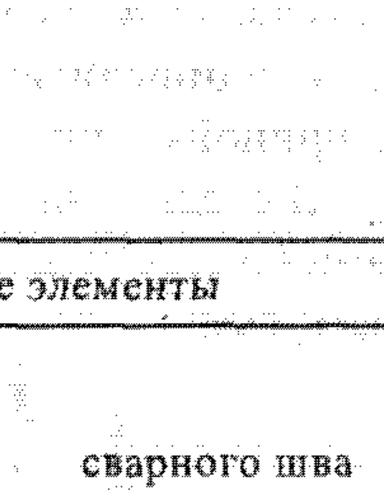
$0{,}04s + 1{,}0$ мм — для деталей толщиной 50—100 мм;

$0{,}01s + 4{,}0$ мм, но не более 6 мм — для деталей толщиной более 100 мм.

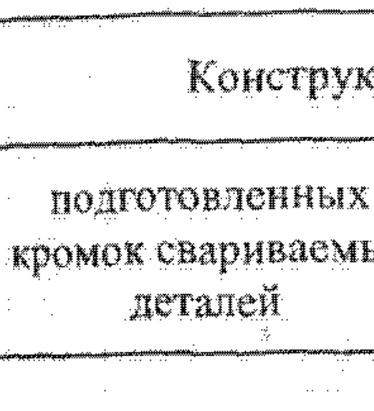
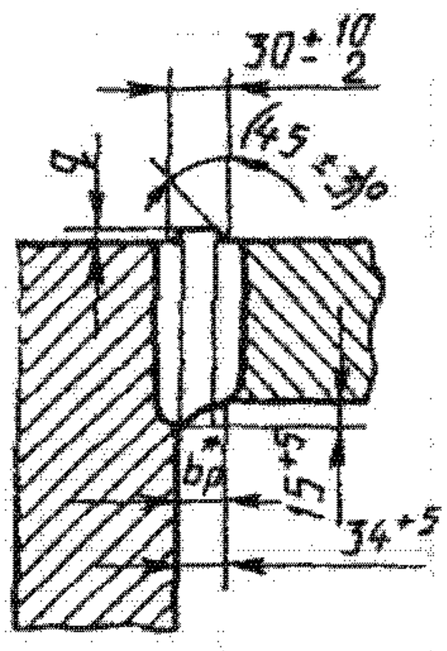
При сварке в углекислом газе электродной проволокой диаметром 0,8—1,4 мм допускается применять основные типы сварных соединений и их конструктивные элементы по ГОСТ 5264—80.

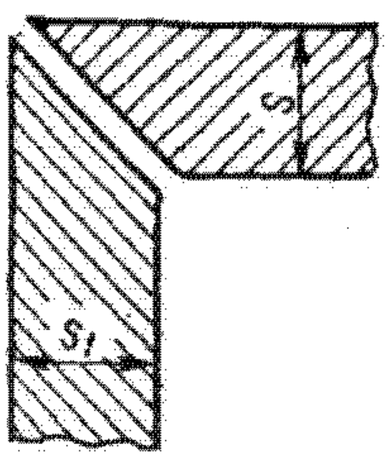
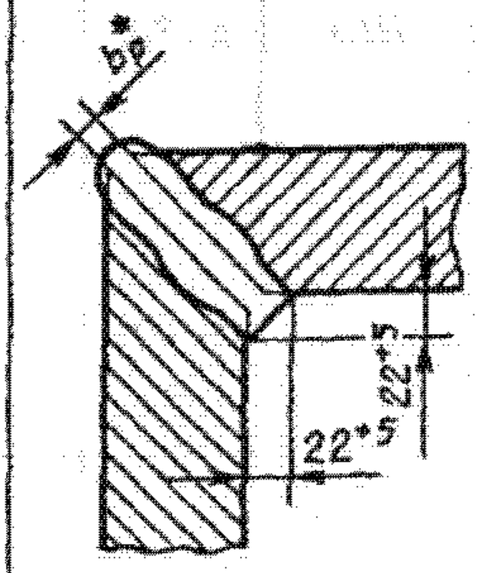
8.1.4. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых соединений электрошлаковой сваркой (ГОСТ 15164—78)

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	$b_р$	g: Номин.	g: Пред. откл.
С1			ШЭ	От 16 до 30	22	3	+2 −3
				Св. 30 до 80	25		
				Св. 80 до 450	28		
			ШМ	Св. 30	$20 + \delta_м$	5	±2
			ШП	От 30 до 800	$20 + \delta_п + 0{,}005l$	10	±2

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	$b_р$	g: Номин.	g: Пред. откл.	m (пред. откл. +5)	n (пред. откл. +5)
С2			ШЭ	От 16 до 30	22	3	+2 −3	60	40
				Св. 30 до 80	25				
				Св. 80 до 450	28				
			ШМ	Св. 30	$20 + \delta_м$	5	±2	80	60
			ШП	От 30 до 800	$20 + \delta_п + 0{,}005l$	10	±2		

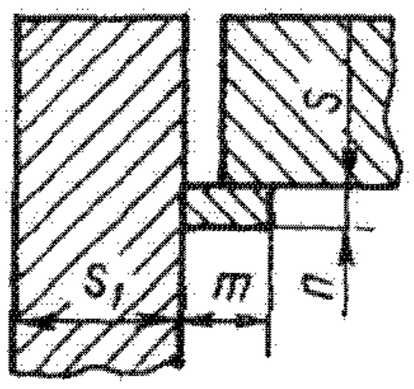
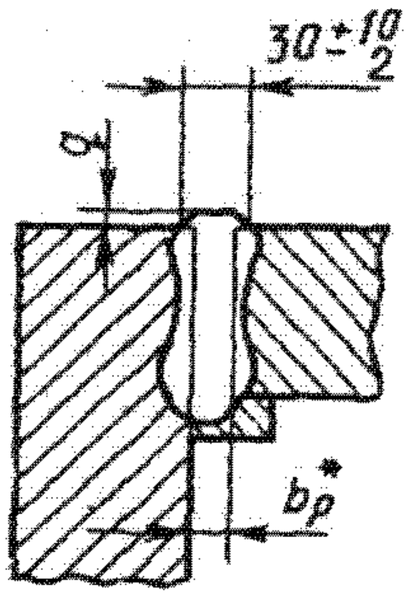
* Размер для справок

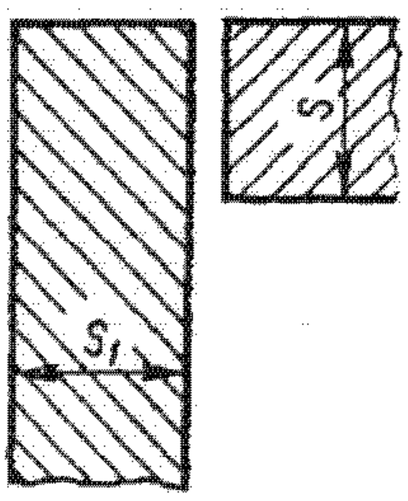
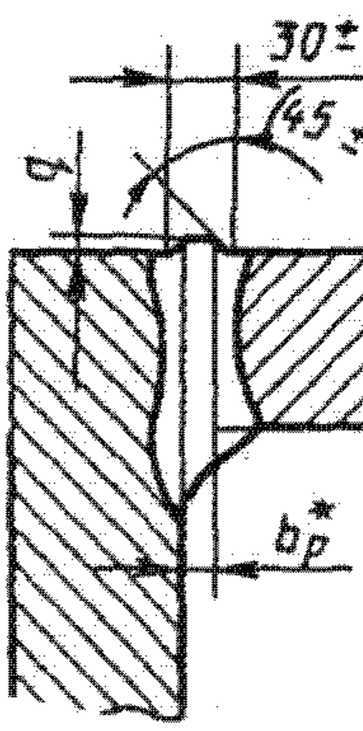
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	s_1, не менее	b_p	g: Номин.	g: Пред. откл.
У1			ШЭ	От 16 до 30	s	22	3	+2 −3
				Св. 30 до 80		25		
				Св. 80 до 450	80	28		
			ШМ	Св.30 до 80	s	20+ $\delta_м$	5	±2
				Св. 80	80			

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b_p
У2			ШЭ	От 16 до 300	28
			ШМ	Св. 30	20+ $\delta_м$

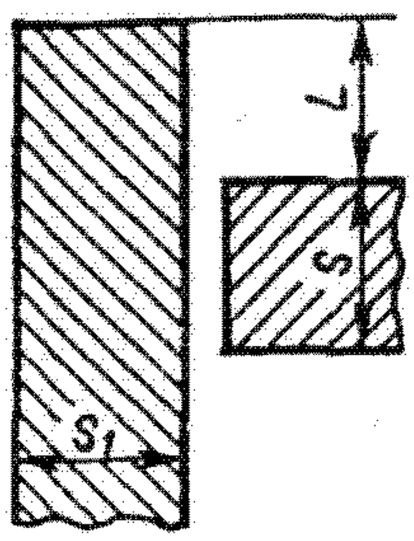
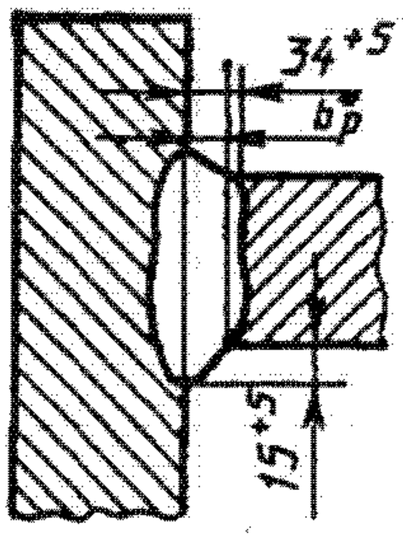
* Размер для справок.

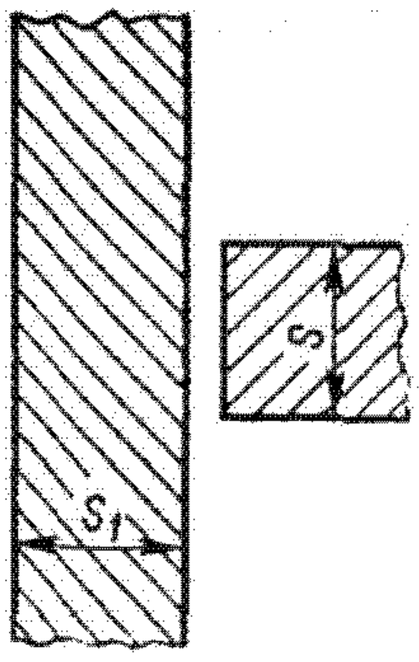
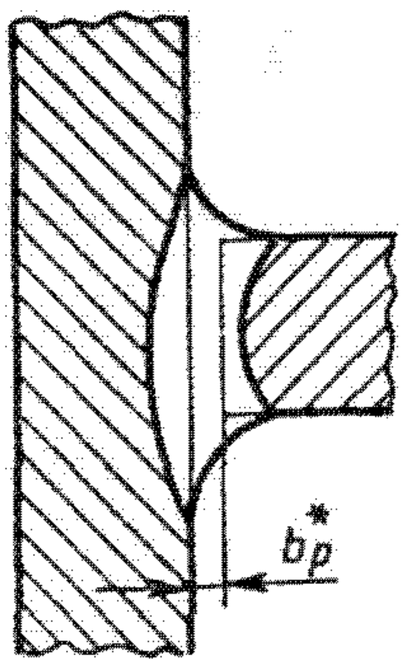
Примечание. *Соединение следует применять* при нагружениях, создающих опасность расслоения свариваемых кромок.

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	s_1, не менее	$b_р$	g: Номин.	g: Пред. откл.	m (пред. откл. +5)	n (пред. откл. +5)
У3			ШЭ	От 16 до 30	s	22	3	+2 −3	60	40
				Св. 30 до 80		25				
				Св. 80 до 450	80	28			80	60
			ШМ	Св. 30 до 80	s	$20 + \delta_м$	5	±2		
				Св. 80	80					
			ШП	От 30 до 80	1,5 s	$20 + \delta_п$ 0,005l	10	±2		
				Св. 80 до 800	120					

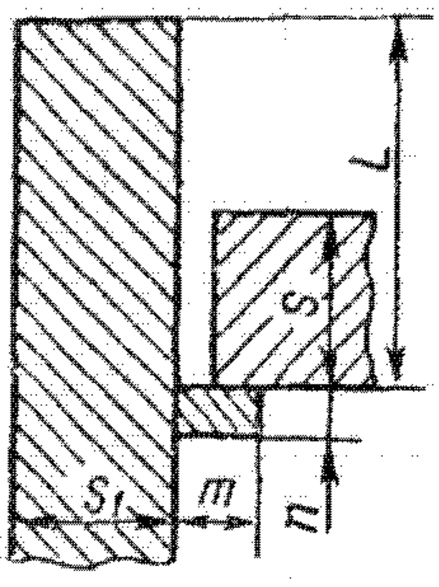
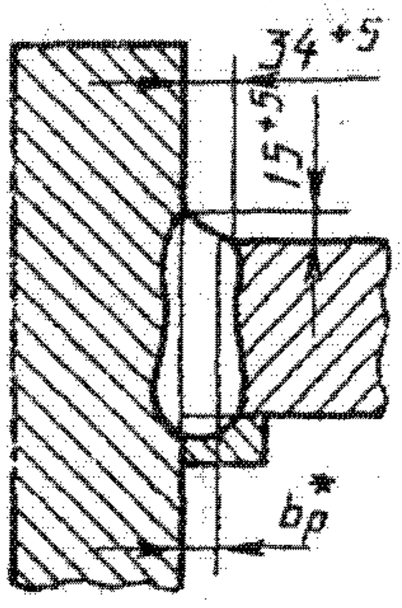
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	s_1, не менее	$b_р$	g: Номин.	g: Пред. откл.
У4			ШЭ	От 16 до 30	s	22	3	+2 −3
				Св. 30 до 80		25		
				Св. 80 до 450	80	28		
			ШМ	Св. 30 до 80	s	$20 + \delta_м$	5	±2
				Св. 80	80			

* Размер для справок

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	s_1, не менее	$b_р$	h
Т 1			*ШЭ*	От 16 до 30	*s*	22	Не более 450
				Св. 30 до 80		25	
				Св. 80 до 450	80	28	
			ШМ	Св.30 до 80	*s*	$20 + \delta_м$	Без ограничения
				Св. 80	80		

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	s_1, не менее	$b_р$
Т 2			*ШЭ*	От 16 до 30	*s*	22
				Св. 30 до 80		25
				Св. 80 до 450	80	28
			ШМ	Св. 30 до 80	*s*	$20 + \delta_м$
				Св. 80	80	

* Размер для справок

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	s_1, не менее	$b_р$	m (пред. откл. +5)	n (пред. откл. +5)	h
Т 3			*ШЭ*	От 16 до 30	*s*	22	60	40	Не более 450
				Св. 30 до 80		25	80	60	
				Св. 80 до 450	80	28			
			ШМ	Св.30 до 80	*s*	$20 + \delta_м$			Без ограничения
				Св. 80	80				

Стандарт устанавливает основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных соединений из сталей. Стандарт не устанавливает размер зазора между свариваемыми деталями перед сваркой.

В стандарте приняты следующие обозначения способов электрошлаковой сварки:

ШЭ — проволочным электродом;

ШМ — плавящимся мундштуком;

ШП — электродом, сечение которого соответствует по форме поперечному сечению сварочного пространства.

Для конструктивных элементов сварных соединений приняты следующие обозначения:

s, s_1 — толщина свариваемых деталей;

l — длина шва;

L — расстояние от торца полки тавра до нижней поверхности ребра;

b — ширина разделки кромок;

g — высота усиления сварного шва;

m — ширина остающейся подкладки;

n — высота остающейся подкладки;

R — радиус галтели;

K — катет шва;

$\delta_п$ — толщина электрода, сечение которого соответствует по форме поперечному сечению сварочного пространства;

$\delta_м$ — толщина плавящегося мундштука (большая из толщин пластины или канала);

$b_р$ — расчетный зазор (рис. 8.17) — разность между размером сваренного изделия (B) и суммой размеров свариваемых частей ($B_1 + B_2$).

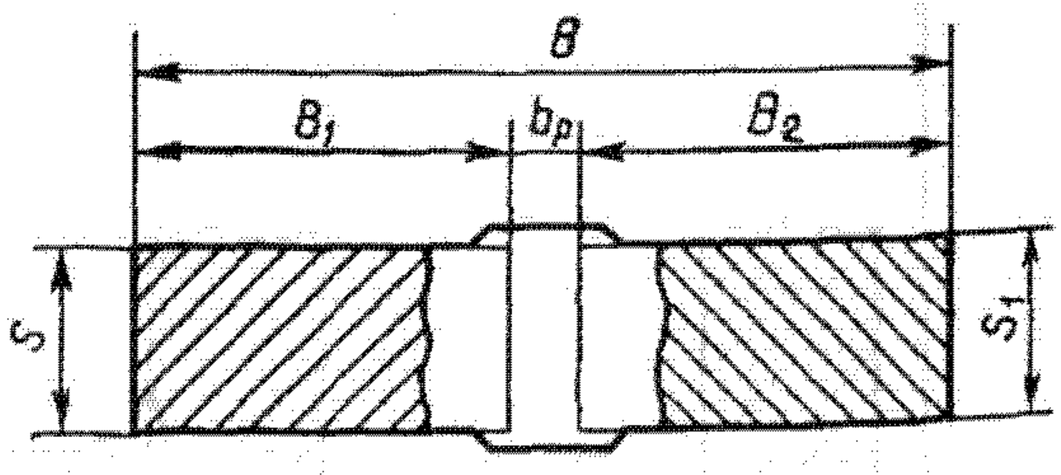
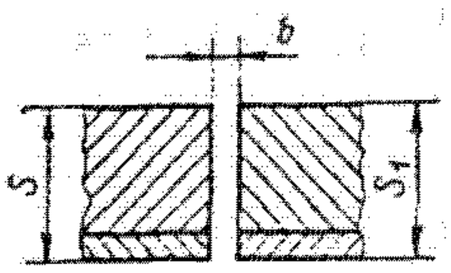
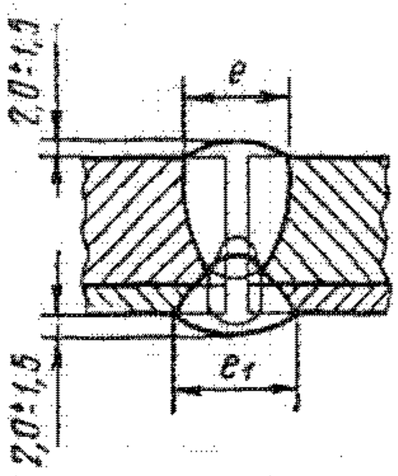
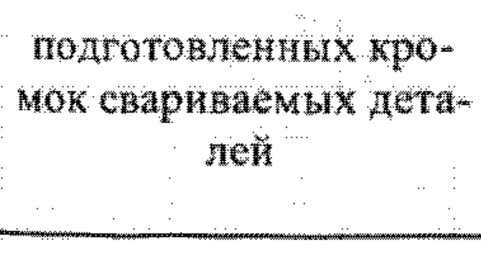
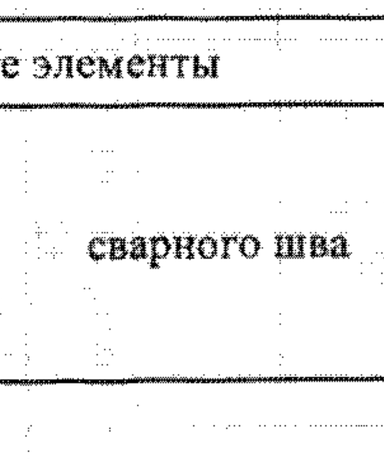
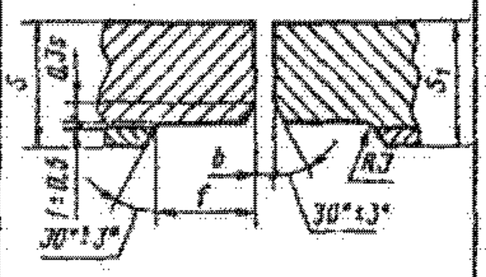
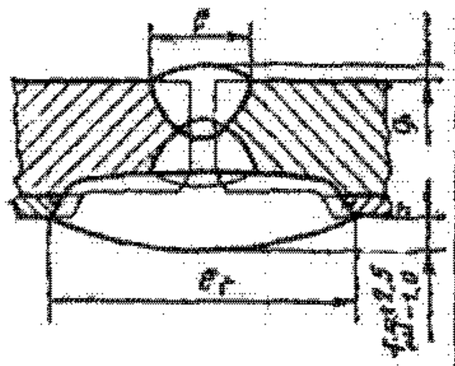


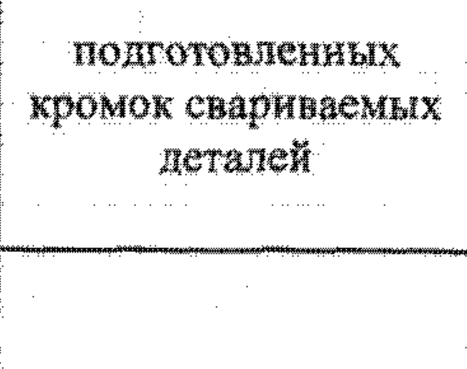
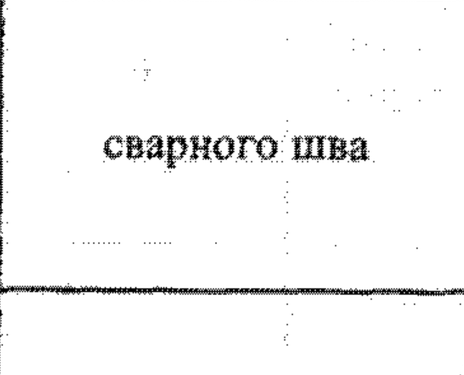
Рис. 8.17

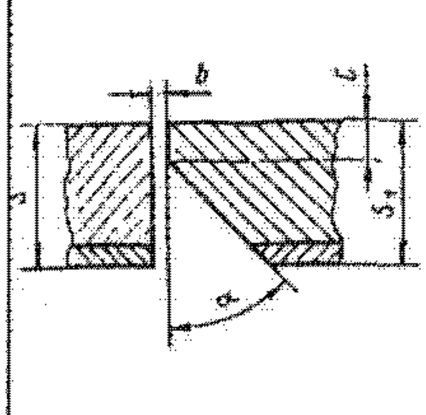
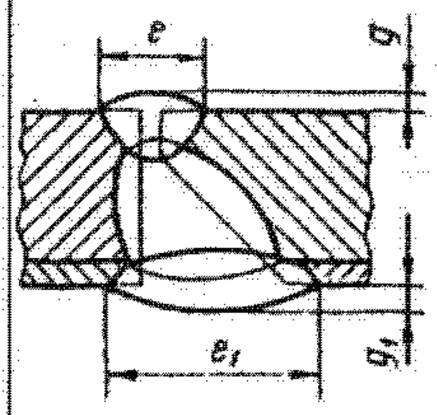
8.1.5. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых соединений из двухслойной коррозионностойкой стали (ГОСТ 16098—80)

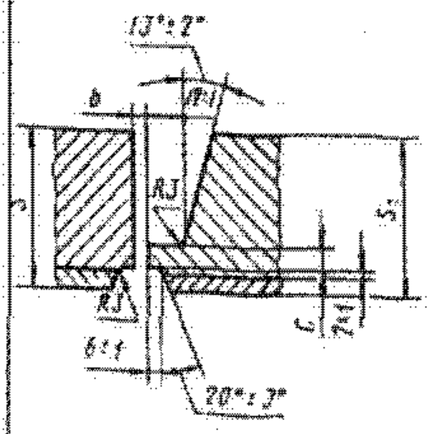
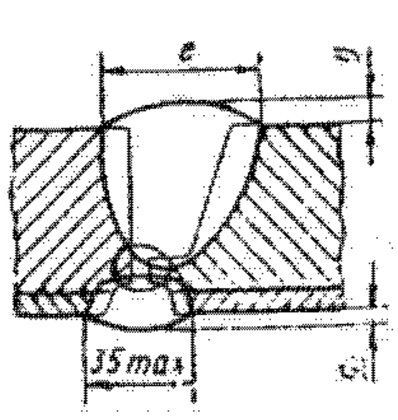
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: не более	e_1: не менее
С1			$\frac{АФ}{АФ}$; $\frac{АФ}{АФ_ф}$	8	3	±0,5	20	15
				10			22	
				12				18
				14		±1,0	24	20
				16			26	

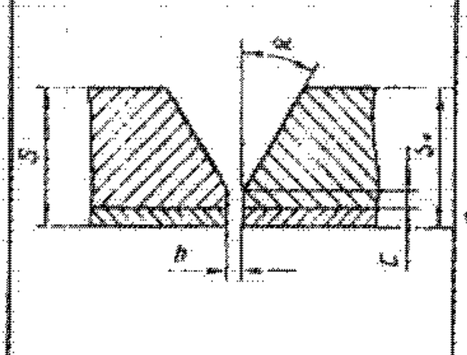
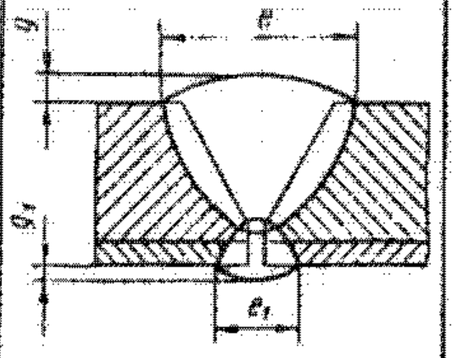
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: не более	e_1: не менее
С1			$\frac{Р}{Р}$	4	2,0	±1,0	10	7
				6		±1,5	12	8
			$\frac{АФ}{3+АФ}$	8	0,5	±0,5	20	15
				10			22	
			$\frac{АФ_ф}{АФ}$	8	1,0	+0,5 −1,0		18
				14			24	

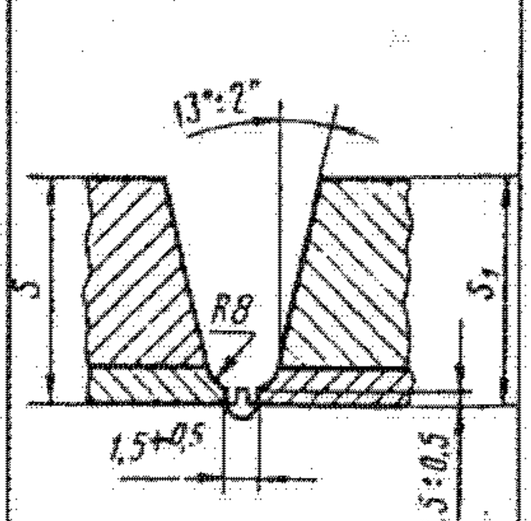
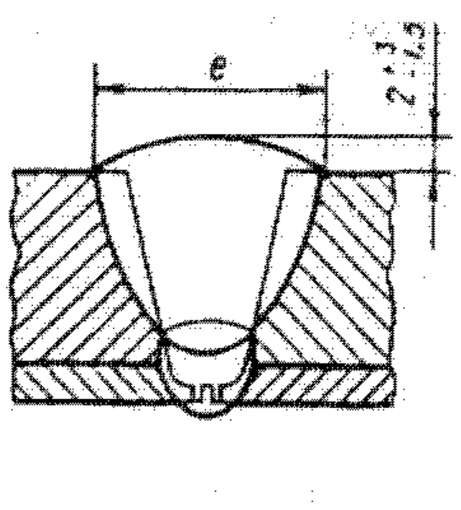
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s=s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	f (пред. откл. +1)	e: не более	e_1: не менее	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 2			$\frac{АФ}{АФ}$	10–12			9	24	30	1	+1,5 –0,5
				14–16	0	+1	10		32		+2,0 –0,5
				18–20			11	26	35		
			$\frac{АФ_ф}{АФ}$	10–12			9	24	30		+1,5 –0,5
				14–16	2	±2	10		32		+2,0 –0,5
				18–20			11	26	35		

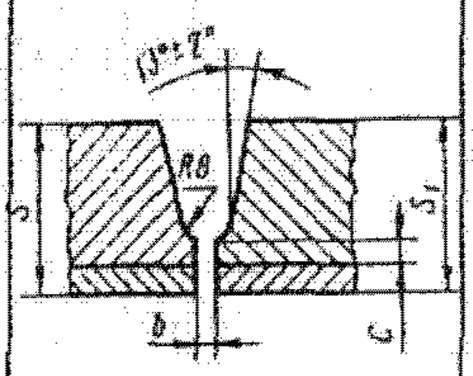
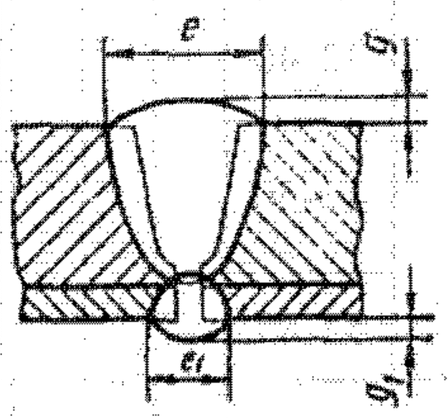
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s=s_1$	b (пред. откл. ±2)	f (пред. откл. ±2)	e (пред. откл. ±5)	e_1 (пред. откл. ±5)	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1: Номин.	g_1: Пред. откл.
С 3			$\frac{III}{Р}$; $\frac{III}{АФ}$	30–40	26	10	52	56		±2	1	+3 –0,5
				42–50		15	60	66	3			
				53–100	30	25		95				
				102–160		35	65	115			2	+3 –1,5

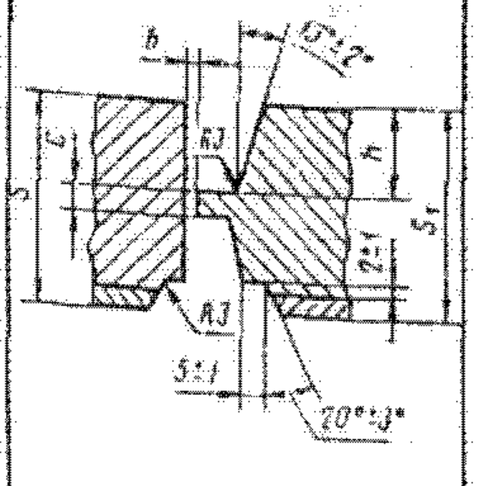
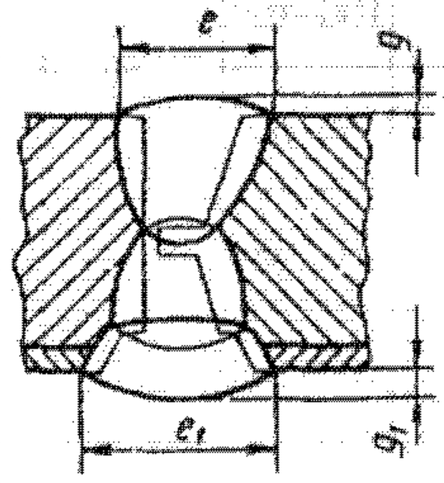
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s=s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	α (пред. откл. ±5)	e: не более	e_1: не менее	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1: Номин.	g_1: Пред. откл.
С4			$\frac{АФ}{АФ}$	14–16	0	+1	6	±1	40°	16	18	1,0	+1,5 –0,5	1,0	+1,5 –0,5
				18–20						18	20		–0,5 +2,0		–0,5 +2,0
			$\frac{P}{P}$	8–10	2	+1 –2	2	+1 –2	50°	15	18		+1,0 –0,5		+2,0 –0,5
				12–16						17	22				
				18–20						20	28		+2,0 –0,5		+3,0 –0,5

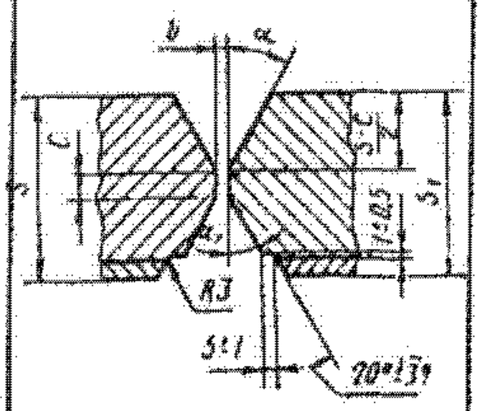
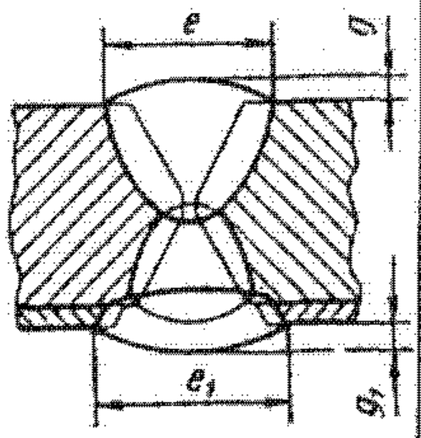
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s=s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	e_1 не более	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1: Номин.	g_1: Пред. откл.
С5			$\frac{АФ}{АФ}$	50	0	+2	6	35	1,5	+2,5 –1,0	1,5	+2,0 –1,0
				60				40				
				70				45				
			$\frac{P}{P}$	50	2	±1	3	35		+3,0 –0,5		+3,0 –0,5
				60				40				
				70				45				

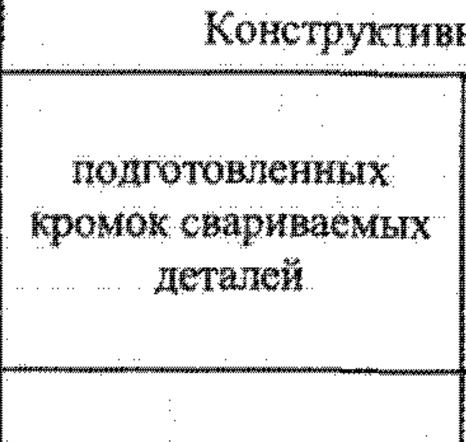
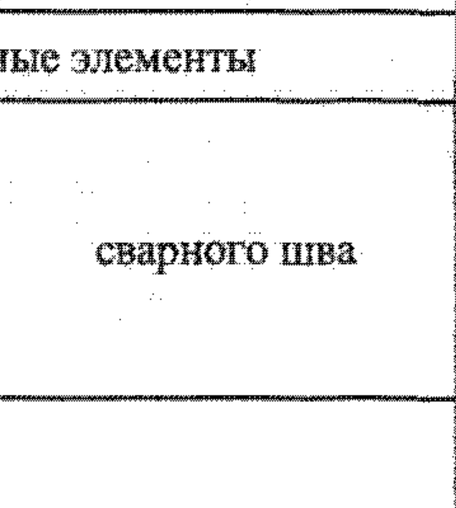
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	α (пред. откл. ±1)	e: не более	e_1: не менее	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1: Номин.	g_1: Пред. откл.
С6			$\frac{Р}{Р}$	8–10	1	±1,0	2	45°	24	9	1,0	+1,5 –0,5	1,0	+1,0 –0,5
				12–14	2	+1,0 –2,0								
				16–18					26	11		+2,0 –0,5		
				20–22					30					
				24–26					34					
			$\frac{АФ}{АФ}$	16–18	1	+0,5 –1,0	6	30°	25					
				20–22					30					
				24–26					35	12				
				28–30					40			+3,0 –0,5		

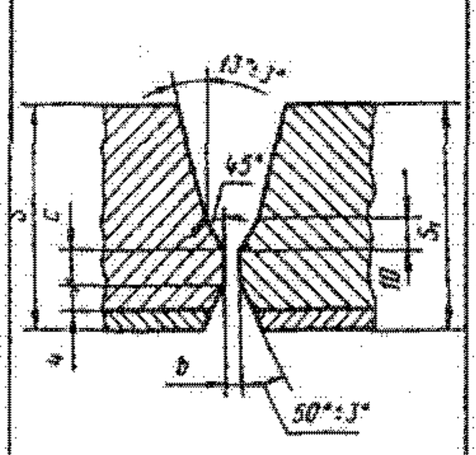
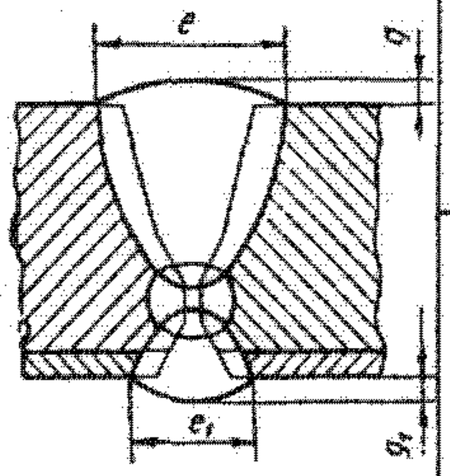
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	e, не более
С12			$\frac{АФ}{3}$; $\frac{Р}{3}$	50	45
				60	50
				70	55
				80	60
				90	65
				100	70

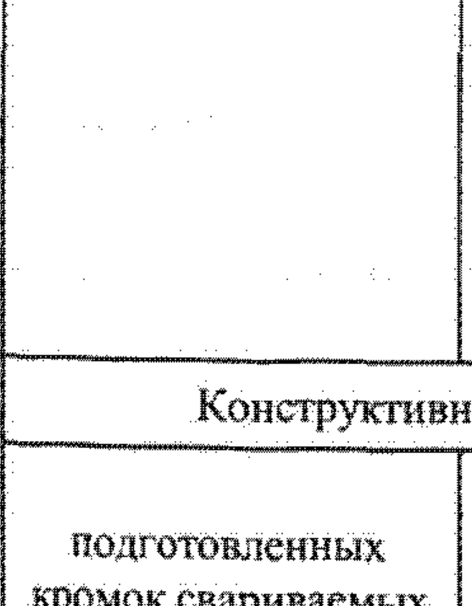
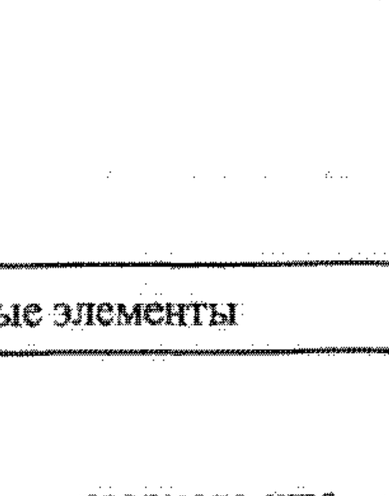
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	α (пред. откл. ±5°)	$e = e_1$, не более	$g = g_1$: Номин.	$g = g_1$: Пред. откл.
С13			$\frac{Р}{Р}$	12–14	2	±1	2	+1	45°	18	1,0	+2,0 –0,5
				16–20						22		
				22–26						25		
				28–30						28		
				32–40						36		+3,0 –0,5
				42–50						44		
				53–60						50		
			$\frac{АФ}{АФ}$	16–20	0	+2	6	±1	50°	22	1,5	+2,0 –0,5
				22–26						25		
				28–30						28		
				32–40						36		+2,5 –1,0
				42–50						44		
				53–60						50		

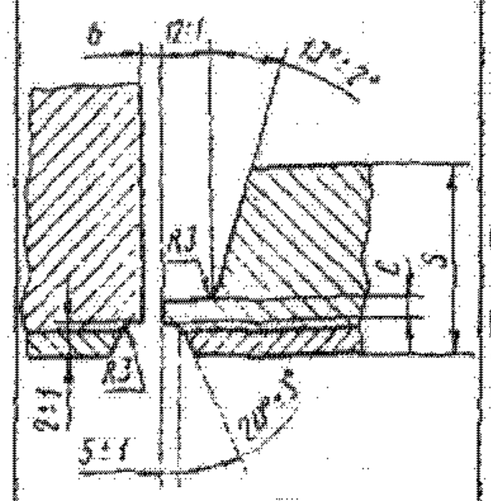
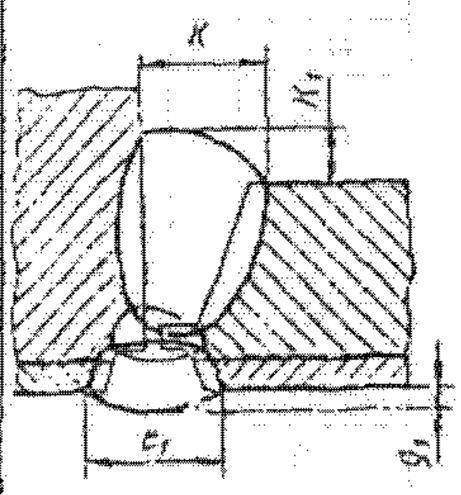
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	h (пред. откл. ±1)	e: Не более	e_1: Не менее	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1: Номин.	g_1: Пред. откл.
С18			$\frac{АФ}{АФ}$	60	0	+2	6	30	35	50	1,5	+2,0 –1,0	1,5	+3,0 –1,0
				70				35	40	55				
			$\frac{Р}{Р}$	60	2	±1	3	30	35	50	1,0	+3,0 –0,5	1,0	+4,0 –0,5
				70				35	40	53				

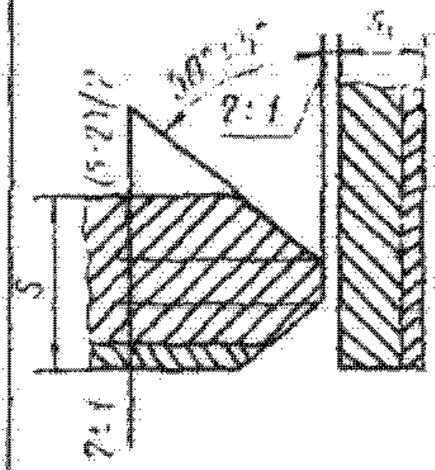
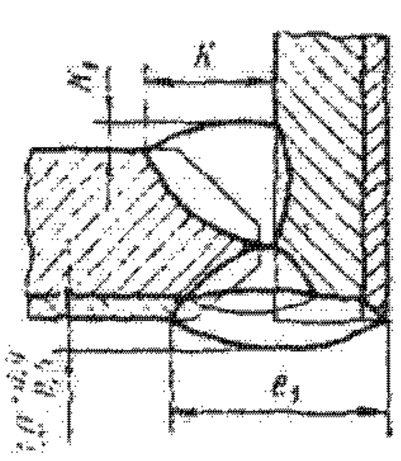
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s=s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	α: Пред. откл.	α_1	e: Не более	e_1: Не менее	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1: Номин.	g_1: Пред. откл.
С 20			$\frac{P}{P}$	18–20	2	+1	1	27°	35°	22	32	1,5	+3,0 −0,5	1,0	+3,0 −0,5
				22–26						25	35				
				28–30						28	39				
				32–40						33	42				
				42–50					30°	44	53				+4,0 −0,5
				53–85						50	60				
			$\frac{A\Phi}{A\Phi}$; $\frac{A\Phi_\phi}{A\Phi}$	18–20	0	+1	6	30°	35°	28	32	2,0	+2,5 −1,0	1,5	+3,0 −1,0
				22–26						29	35				
				28–30						30	39				
				32–40					30°	34	42				+4,0 −1,0
				42–50						37	53				
				53–85						42	60		+3,0 −1,0		

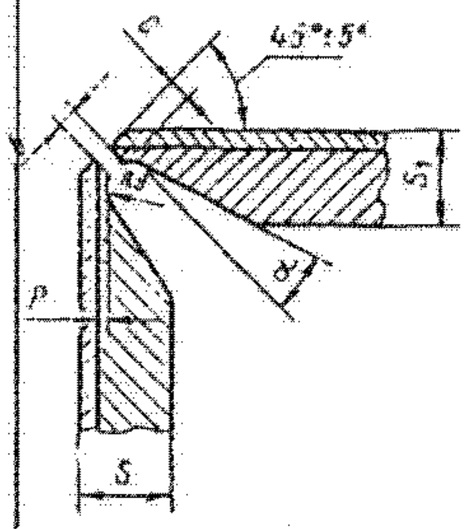
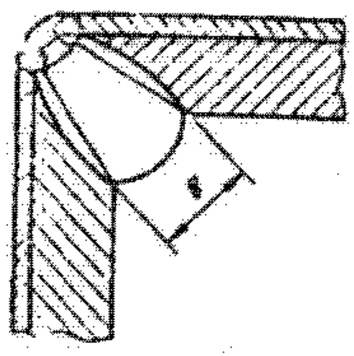
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s=s_1$	b (пред. откл. ±1)	e: Не более	e_1: Не менее	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1: Номин.	g_1: Пред. откл.
С 22			$\frac{A\Phi + III}{A\Phi}$	50–60	1	60	42	3,0	+2,0 −2,5	1,5	+3,0 −1,0
				70–100			45				
				100–160			48				
			$\frac{P}{P}$	50–60	2	38	44	1,0	+3,0 −0,5	1,0	+3,0 −0,5
				70–100			47				
				100–160			50				
			$\frac{A\Phi}{A\Phi}$	50–60	1	40	44	1,5	+3,0 −1,0	1,5	+3,0 −1,0
				70–100			47				
				100–160			50				

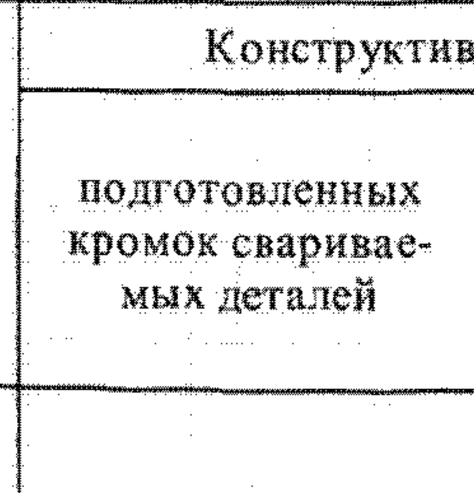
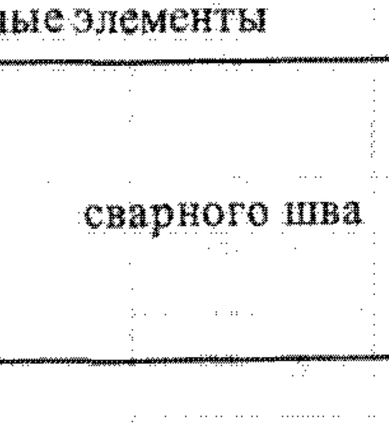
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s=s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Не более	e_1: Не менее	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1: Номин.	g_1: Пред. откл.
С23			$\frac{АФ}{АФ}$	50	0	+2	10	±1,0	50	20	2,0	+2,0 −1,0	1,5	+3,0 −1,0
				60					53					
				70					56					
				80					60					
				90					65	25		+3,0 −1,0		
				100					68					
				110					72					
				120					76					
				130					80					
				140					84					
				150					88					
				160					92					
				50					50					
				60					53					
				70					56					
				80					60					
			$\frac{III}{АФ}$; $\frac{АФ + III}{АФ}$	90					65					
				100					68					
				110					72					
				120					76					
				130					80					
				140					84					
				150					88					
				160					92					

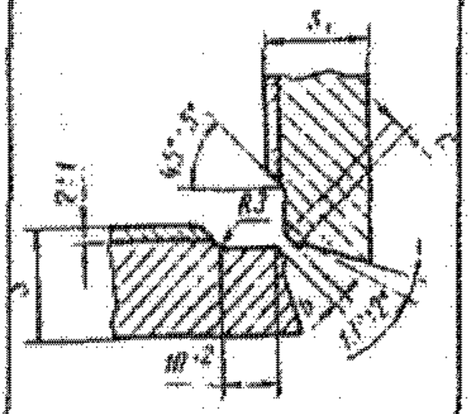
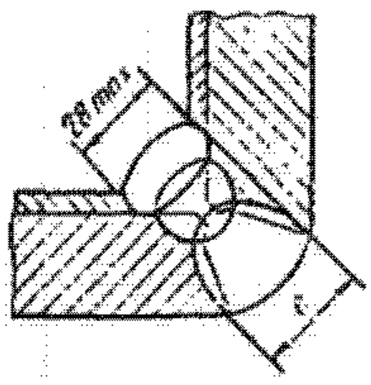
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	K: Не более	K_1	e_1: Не более
У2			$\frac{P}{P}$	8—10	18	4	20
				12—14	20	6	24
				16—18	22		28
				20	25	8	30

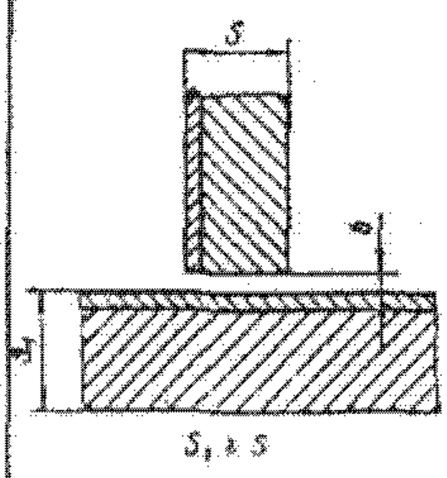
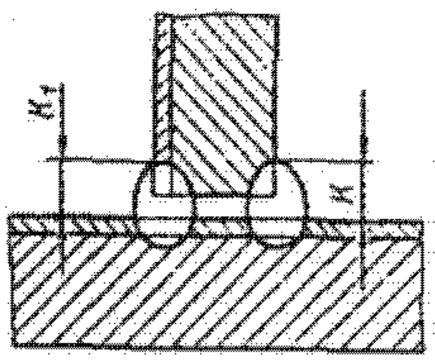
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	K, не более	K_1 (пред. откл. +3 −1)	e_1, не менее	s_1: Номин.	s_1: Пред. откл.
У4			$\frac{Р}{Р}$	50	0	+2	3	30	12	25	1,0	+3,0 −0,5
				60				32				
				70				35		28		
				80				38	23			
				90				40				
				100				43				
			$\frac{АФ}{АФ}$	50	2	±1	6	30	12	25	1,5	+2,0 −1,0
				60				32				
				70				35		28		
				80				38	23			
				90				40				
				100				43				

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	e_1	K_1	K
					Не более		
У5			$\frac{Р}{Р}$	18—20	$20 + s_1$	3	20
				22—26	$22 + s_1$		22
				28—30	$25 + s_1$	4	25
				32—40	$31 + s_1$	5	31
				42—50	$38 + s_1$	6	38
				60	$45 + s_1$	8	45

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	p (пред. откл. ±1)	α (пред. откл. ±2)	e_1, не более
У9			$\frac{Р}{Р}$	16—20	2	+1 −2	2	+1,0 −0,5	3,0	10°	28
				22—26							34
				28—30							38
			$\frac{АФ}{АФ}$	16—20	0	+2	6	+1,0	5,0	13°	30
				22—26							34
				28—30							40

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин	c: Пред. откл.	α (пред. откл. ±2)	e_1, не более	e, не более
У10			$\frac{Р}{Р}$	16—20	2	+1 −2	2	+1,0 −0,5	10°	30	18
				22—26						36	
				28—30						40	
			$\frac{АФ}{АФ}$	16—20	0	+2	6	+1,0	13°	32	20
				22—26						38	
				28—30						44	

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	c_1, не более
У 11			$\frac{P}{P}$	20	2	+1	2	30
				25				34
				30				36
				40				40
			$\frac{АФ}{АФ}$	20		±2	6	28
				25				30
				30				34
				40				38

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	$K = K_1$, не более
Т 1			$\frac{АФ}{АФ}$	4—6	0	+1,0	4
				8—10		+1,5	5
				12—14			6
				16—18		+2,0	8
				20—40			10
			$\frac{P}{P}$	4—6	1	±1,0	4
				8—10		+2,0 −1,0	5
				12—14			6
				16—18		+3,0 −1,0	7
				20—26			8
				28—40			10

В стандарте приняты следующие обозначения способов сварки:

Р — ручная дуговая сварка;

АФ — автоматическая сварка под флюсом на весу;

$АФ_ф$ — автоматическая дуговая сварка под флюсом на флюсовой подушке;

З — дуговая сварка в защитных газах;

Ш — электрошлаковая сварка.

Сварка стыковых соединений деталей неодинаковой толщины при разности, не превышающей значений, указанных в табл. 8.9, должна производиться так же, как и у деталей одинаковой толщины; конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по большей толщине.

Таблица 8.9

Толщина тонкой детали	Разность толщины деталей
4—7	1
8—20	2
22—36	3
Св. 40	4

Выравнивание листов должно производиться по границе основного и плакирующего слоев — как указано на рис. 8.18 или по наружной поверхности плакирующего слоя — как указано на рис. 8.19.

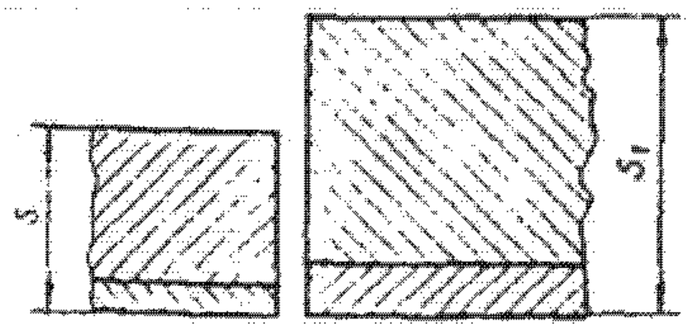


Рис. 8.18

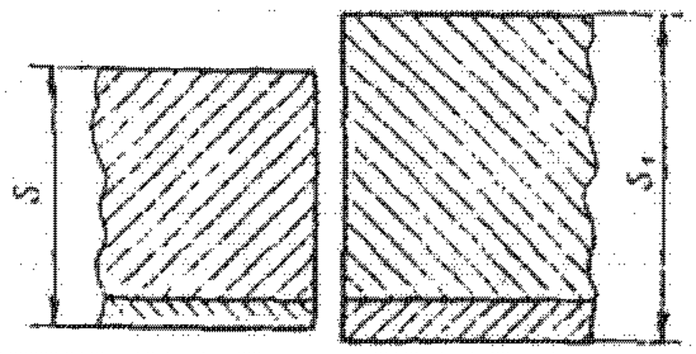


Рис. 8.19

При разнице толщины свариваемых деталей свыше значений, указанных в табл. 8.9, на детали, имеющей большую толщину s_1, со стороны основного слоя должен быть сделан скос до толщины тонкой детали *s* — как указано на рис. 8.20.

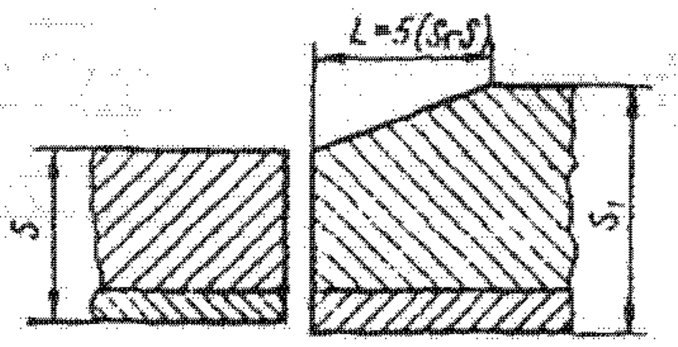


Рис. 8.20

8.1.6. Конструктивные элементы подготовленных кромок сварных соединений стальных трубопроводов (по ГОСТ 16037—80)

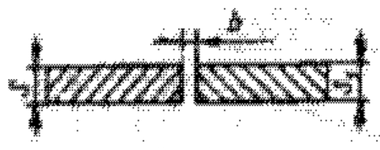
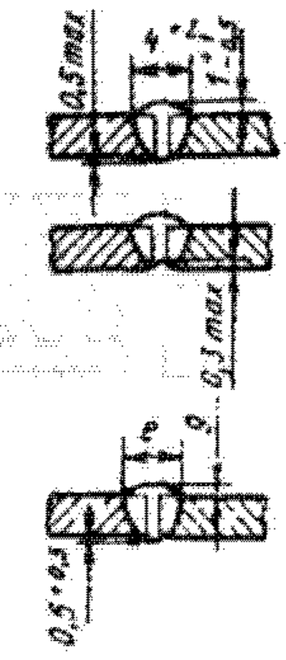
Швы предназначены для изготовления трубопроводов из сталей способом ручной дуговой сварки, обозначаемым *Р*; дуговой сварки в защитном газе: *ЗП* — плавящимся электродом; *ЗН* — неплавящимся электродом; *Ф* — дуговой сварки под флюсом; *Г* — газовой сварки.

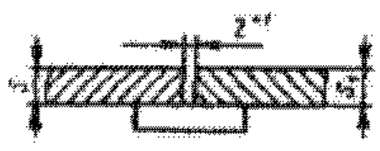
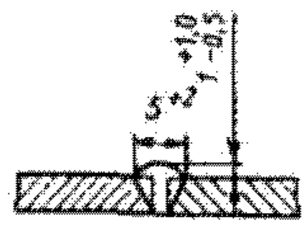
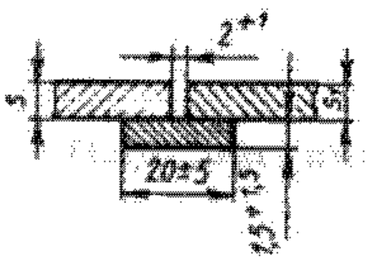
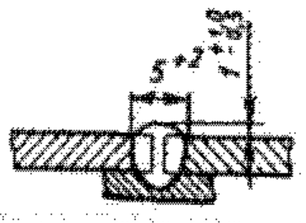
При изготовлении тройников и крестовин из труб должны применяться типы сварных соединений, установленные для отростков с трубами, а при сварке тройников, крестовин и переходов с трубами или фланцами — соответственно типы сварных соединений труб с трубами или труб с фланцами.

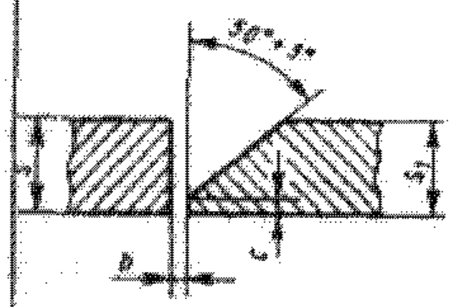
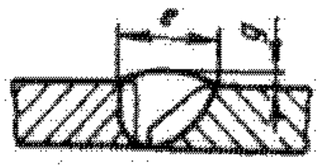
Сварка стыковых соединений деталей неодинаковой толщины при разнице, не превышающей значений, указанных ниже в табл. 8.10, должна производиться так же, как деталей одинаковой толщины; конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по большей толщине.

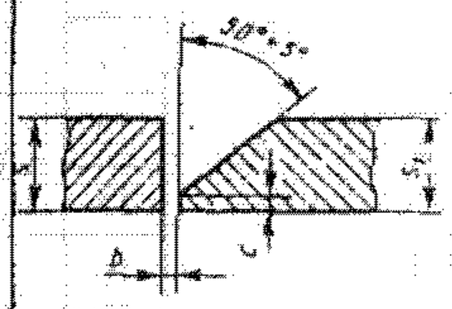
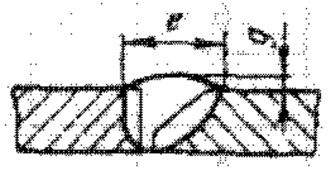
Таблица 8.10

Толщина тонкой детали, мм	Разность толщин деталей, мм
До 3	1
Св. 3 до 7	2
Св. 7 до 10	3
Св. 10	4

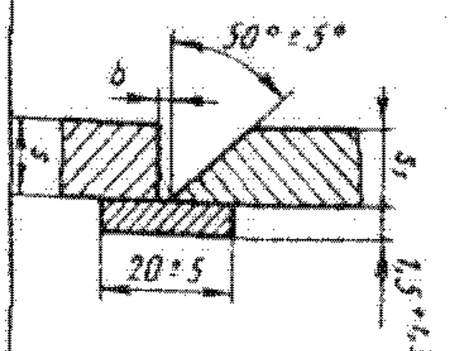
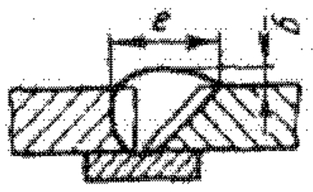
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
Стыковые соединения										
С 2			*ЗП; Р*	2,0	0,5	+0,5	4	+2	–	–
				3,0	1,0					
				4,0—5,0	1,5					
			Ф	4,0			8			
				6,0			10			
			ЗН	2,0—3,0	0	+0,3	–	–		
			Г	1,0—1,6	0,5	±0,3	3	+1	0,5	+0,5
				2,0—3,0	1,0	±0,5	4	+2	1,0	±0,5

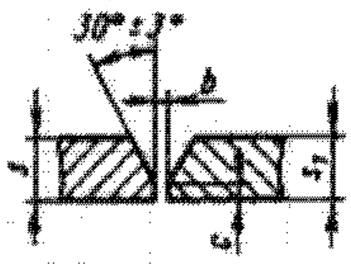
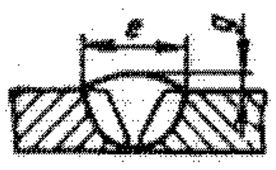
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$
С 4			*Р; ЗН; ЗП*	2—3
				2—4
С 5			*ЗП; ЗН; Р*	2—3

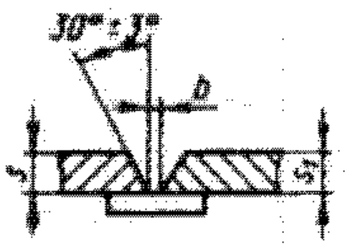
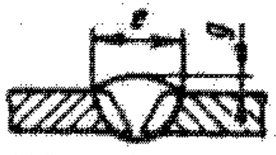
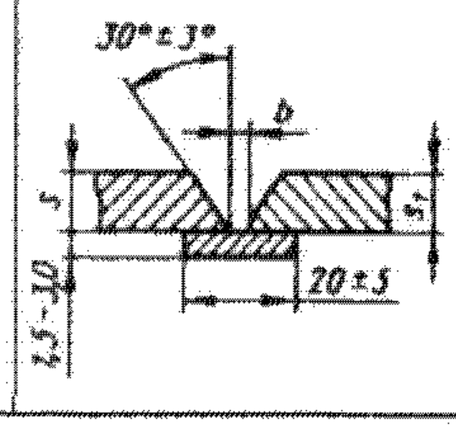
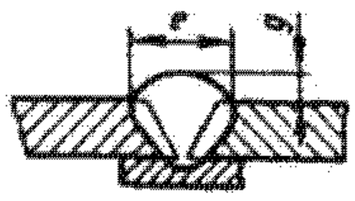
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 8			*ЗП; Р*	3	1	+0,5	0,5	+0,5	8	+2	1,5	+1,5 −1,0
				4					10			
				5					11			
				6					12			
				7					13	+3		

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 8			ЗП; Р	8	1	+0,5	1,0	+0,5	14	+3	2,0	+2,0 −1,5
				9					16	+4		
				10					18			
				12	2				20	+5		
				14					22			
				16		+1,0			25			
				18					27			
				20					29	+7		

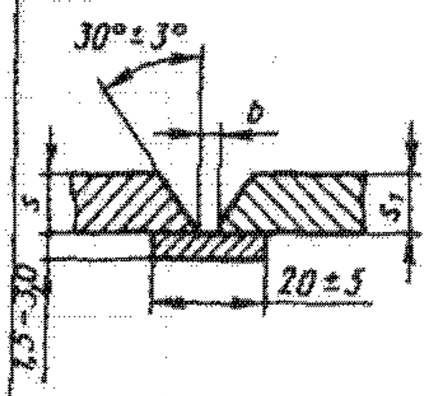
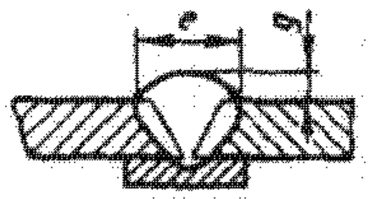
Условное обозначение сварного соединения	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 10	2	2	+2	9	+2	1,5	+1,5 −1,0
	3			10			
	4			11			

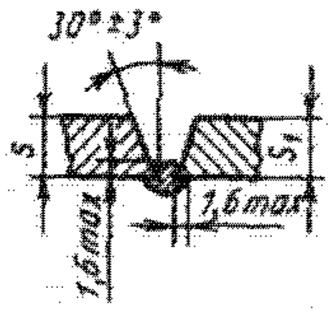
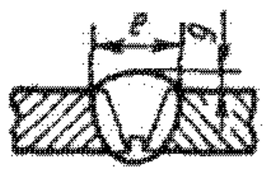
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 10			ЗП; Р	5	2	+2	12	+3	1,5	+1,5 −1,0
				6			13			
				7			14	+4		
				8	4	±1	16		2,0	+2,0 −1,0
				9			18			
				10			19			
				12	5	+2 −1	21	+5		
				14			23	+6		
				16			26			
				18			28			
				20			31	+7		

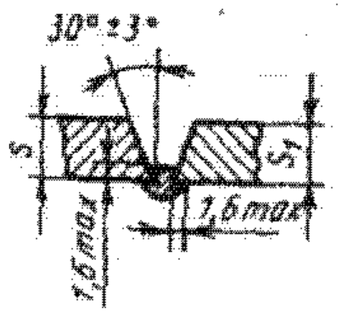
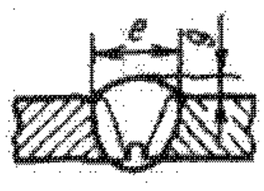
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 17			ЗП; ЗН; Р; Г	3	1,0	+0,5	0,5	+0,5	7	+2	1,5	+1,5 −1,0
				4					8			
				5	1,5				9			
				6					11			
				7					12	+3		
			ЗП; ЗН; Р	8	2,0	+1,0	1,0	±0,5	13			
				10					16	+4	2,0	+2,0 −1,5
				12					18			
				14					21			
				16		+1,5	1,5		23	+6		
				18					26			
				20					28			

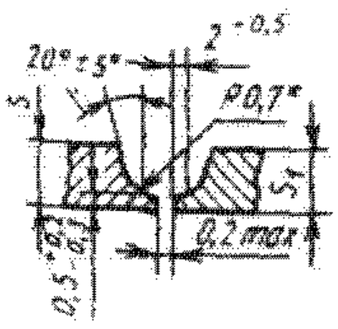
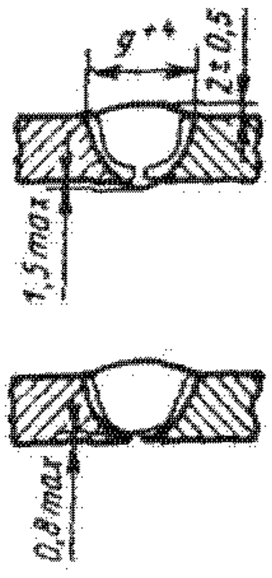
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 18			ЗП; ЗН; Р	2	2	+1,0	7	+2	1,5	+1,5 −1,0
				3—4			8			
				5			10			
			ЗП; ЗН; Р; Ф	6—8	3	+1,0 −0,5	13	+3		
				9—10			15			
				12			18			
				14	4	+1,0	22	+4	2,0	+2,0 −1,5
				16			24			
				18			26	+5		
				20			29			
				25—30	6	±1,0	39	+7		
				35—40			50			
С 19			ЗП; ЗН; Р	2	2	+1,0	7	+2	1,5	+1,5 −1,0
				3			8			
				4			9			
				5			10			

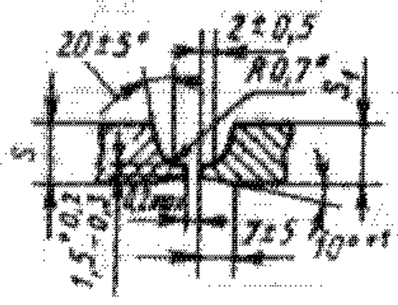
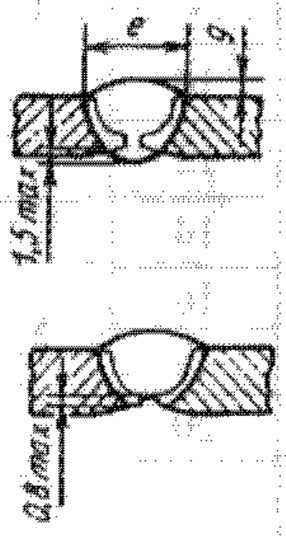
Примечание. При способе сварки ЗН зазор $b = 0^{+0,5}$.

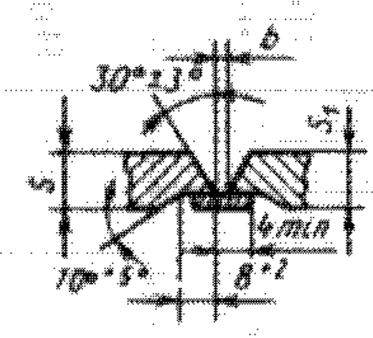
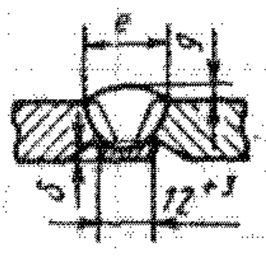
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С19			ЗП; ЗН; Р	6	3	+1,0 −0,5	12	+3	1,5	+1,5 −1,0
				7			13	+4		
				8			14			
				10			16	+5	2,0	+2,0 −1,5
				12			18			
				14	5	±1,0	23	+6		
				16			25	+8		
				18			27			
				20			30			

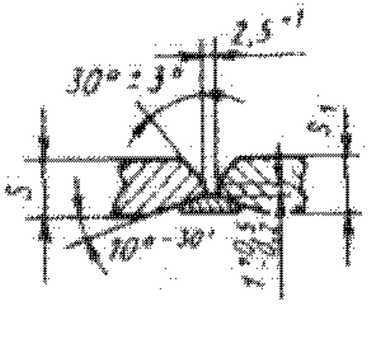
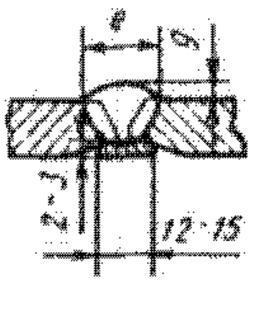
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С46			ЗП; ЗН; Р	4	9	+2	1,5	+1,5 −1,0
				5	10			
				6	11			
				7	12			

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С46			ЗП; ЗН; Р	8	13	+2	1,5	+1,5 −1,0
				9	14	+3		
				10	15			
				12	17			
				14	18		2,0	+2,0 −1,5
				16	22	+5		
				18	24			
				20	27			

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$
С47			ЗН	5—6

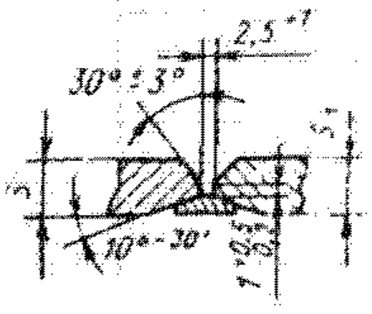
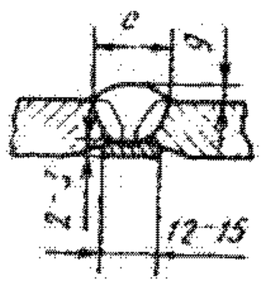
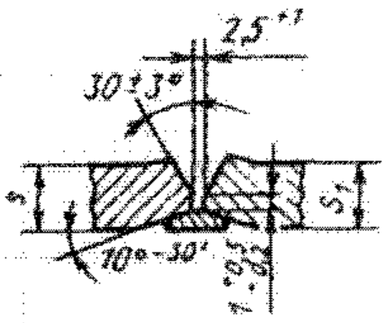
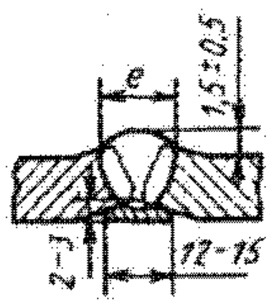
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 48			3Н	6	16	+3	2,0	±0,5
				7	17			
				8				
				9	18		3,0	
				10				
				12	20	+4		±1,0
				14	23		4,0	
				16				
				18	27			
				20				
				25	30			

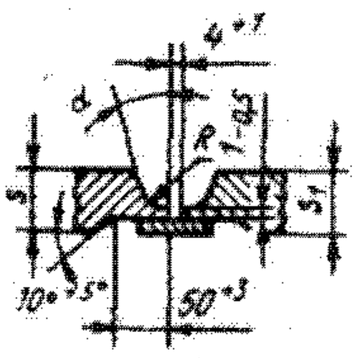
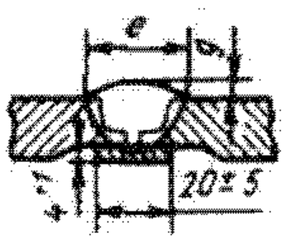
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.	δ (пред. откл. +0,2)
С 49			3П; 3Н; Р	6	3	+1,0 −0,5	12	+3	1,5	+1,5 −1,0	2,5 (при D_y до 150 включ.); 3,0 (при D_y более 150)
				7			13				
				8			14				
				9			15		2,0	+2,0 −1,5	
				10			16				
				12			18	+4			
				14	5	±1,0	23				
				16			25				
				18			27				
				20			30				

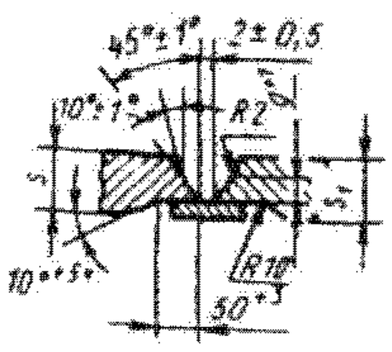
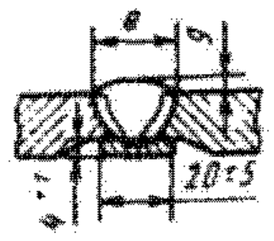
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 50			3П; 3Н; Р	6	22	+3	2,5	+1,5
				7		+4		
				8	23			

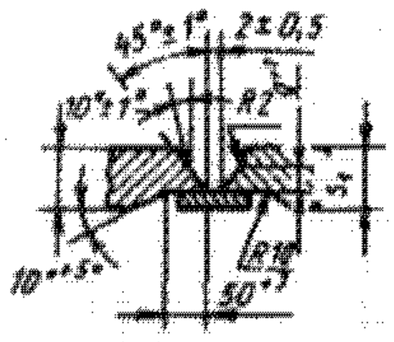
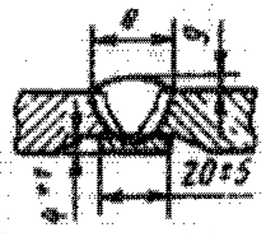
* Допускается увеличение до 2 мм.

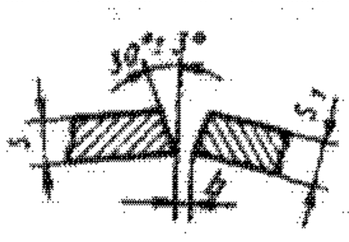
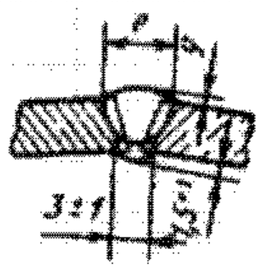
Примечание. При способе сварки 3Н зазор $b = 2{,}5^{+1{,}0}$.

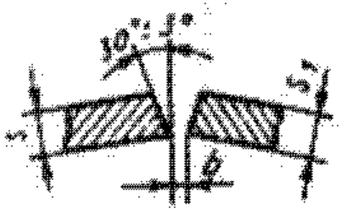
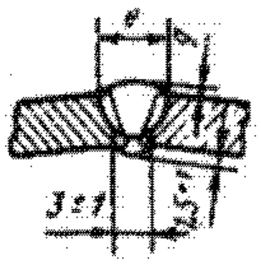
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 50			ЗП; ЗН; Р	9	23	+5	3,5	+2,0
				10	24			
				12	27			
				14	28	+6		
				16	29	+8		
				18	30			
				20	33			
С 51			ЗП; ЗН	$s = s_1$	e (пред. откл. +2)			
				2	11			
				3	12			
				4	13			
				5	14			
				6				

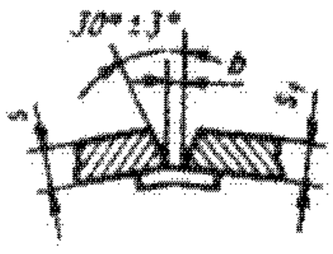
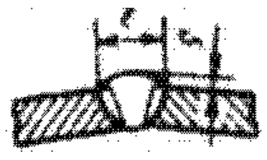
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	R	e (пред. откл. +6)	g: Номин.	g: Пред. откл.	α (пред. откл. ±1°)
С 52			Р; ЗП; Ф; ЗН	7	4	18	2	±2	22
				11		21			
				16	6	27			15
				20		29			
				22		30			
				30		34			
				32		35	3	+2 −3	
				36		38			
				40		36			12
				45		38			
				60		48			

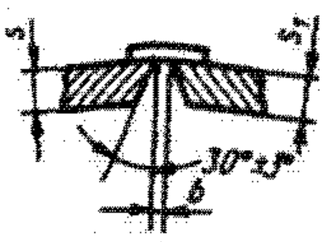
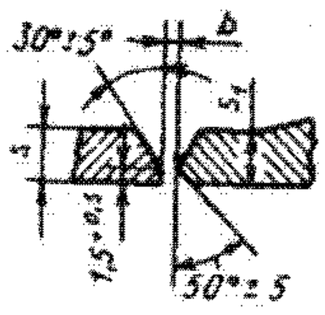
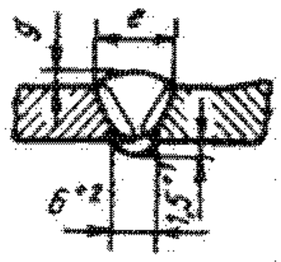
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	e (пред. откл. +6)	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 53			Р; ЗП; Ф	16	26	2	±2
				20	30		
				22			
				30	33		

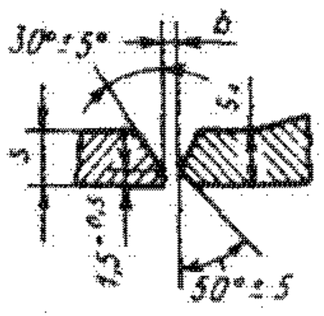
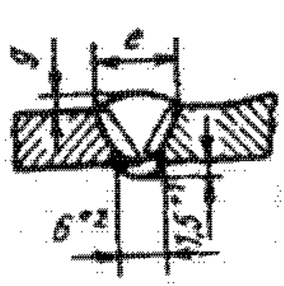
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	e (пред. откл. +6)	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 53			*Р; ЗП; Ф*	32	33	3	+3 −2
				36	35		
				40	36		
				45	37		
				60	46		

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 54			*Р; ЗП*	3	1,5	+1,5 −0,5	8	+2	1,5	+1,5 −1,0
				4			9			
				5			10			
				6			12	+3		
				7			13	+4		
				8			14			

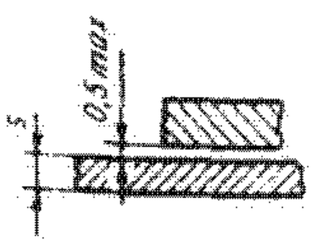
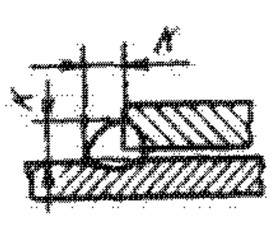
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 54			*Р; ЗТ;*	10	2,0	+1,0 −0,5	16	+4	2,0	+2,0 −1,0
				12			18	+5		
				14			20			
				16	3,0		22			
				18			24	+6		
				20			26			
				22			28			
				24			30	+7		
				25			35			

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 55			*ЗП; Р*	3	2	+1,0	8	+2	1,5	+1,5 −1,0
				4			9			
				5			10			

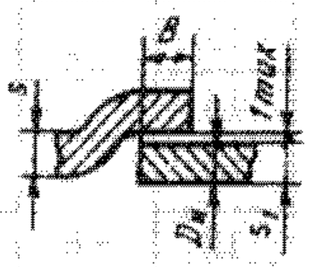
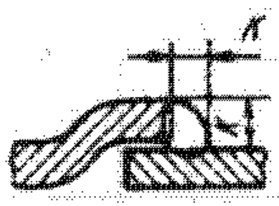
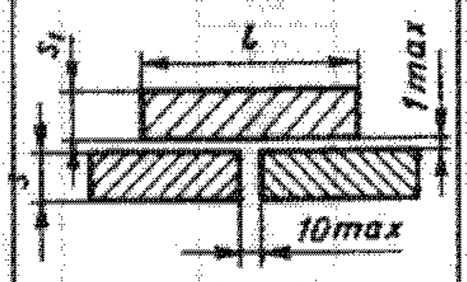
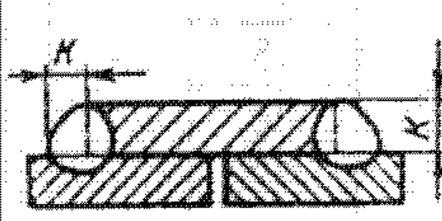
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 55			ЗП; Р	6	3	+1,0 −0,5	12	+3	1,5	+1,5 −1,0
				7			13	+5		
				8			14			
				10			16	+6	2,0	+2,0 −1,5
				12	4		18		3,0	
				14			21			
				16			23	+7		
				18			25			
				20			28			
				22	5		31		4,0	
				24			33			
				25			35			
С 56			ЗП; Р	3	1,5	+1,0 −0,5	5	+2	1,5	+1,5 −1,0
				4			7			
				5			8			
				6			9			

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 56			ЗП; Р	7	2,0	+2,0 −0,5	10 12	+3	1,5	+1,5 −1,0
				8						
				10 12			14 16	+4	2,0	+2,0 −1,5
				14 16			20 22	+6		
				18			24	+8		
				20			26			
				25—30			35		3,0	
				35—40			48			

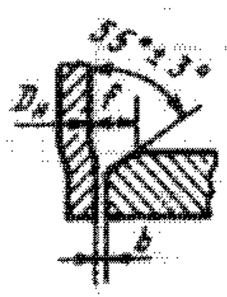
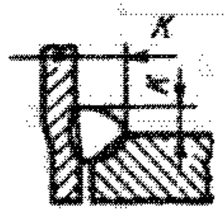
Нахлесточные соединения

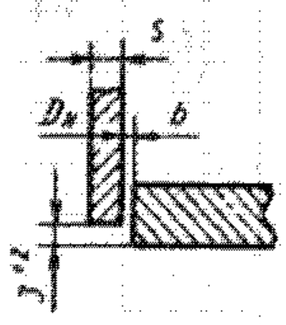
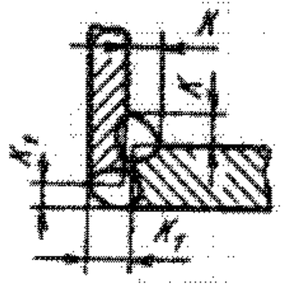
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	s	K (пред. откл. +2)
Н 1			Г	1,0 1,5	2
			ЗП; ЗН; Р; Г	2,0 2,5	3
				3,0	4
				3,5 4,0	5
				5,0	7

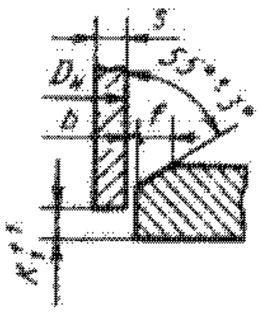
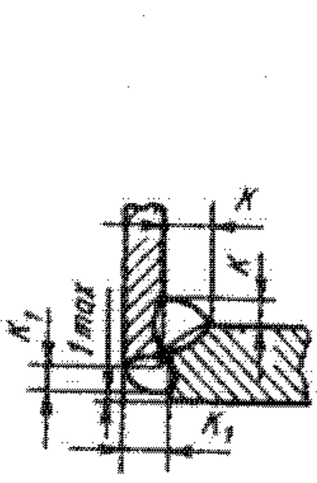
Примечание. Допускается применение штуцеров и ниппелей с фаской.

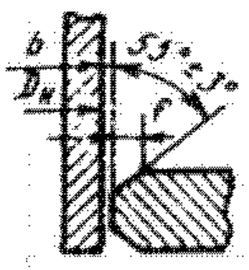
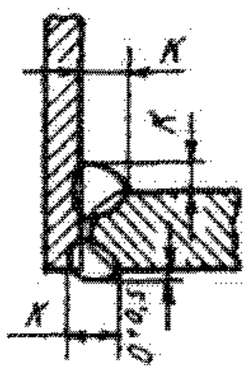
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	s	K	B, не более
Н 3			*ЗП; Р*	2—20	$s + 1$	30 (при $D_н$ до 32 включ.); 40 (при $D_н$ св. 32 до 108 включ.); 50 (при $D_н$ св. 108)
			Г	1,6—1,7		
Н 4			*ЗП; Р*	2—20	$1{,}3s^{+1}$	40 (при $D_н$ не менее 32); 50 (при $D_н$ св. 32 до 108 включ.); 60 (при $D_н$ более 108)
			Г	1,6—7,0		

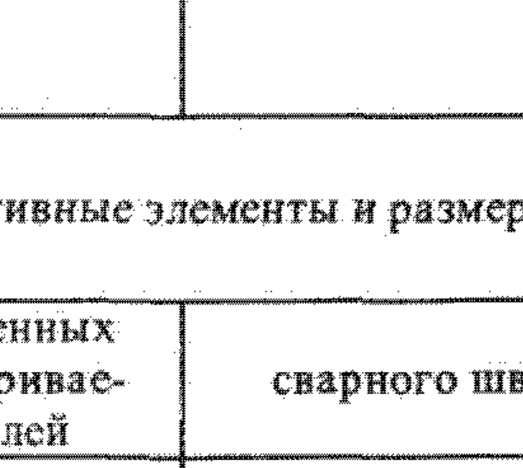
Угловые соединения

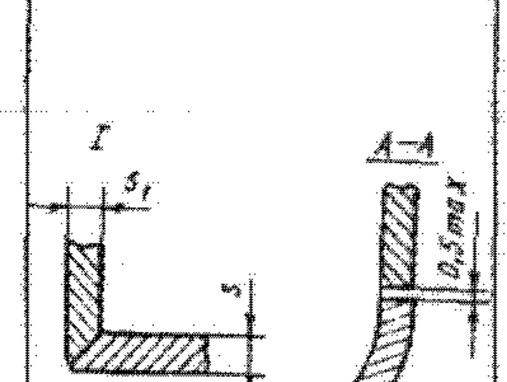
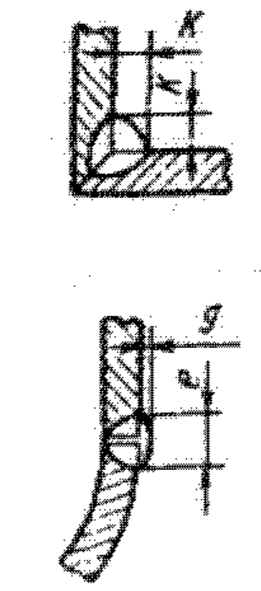
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$D_н$	f	K, не менее	b, не более
У 15			*ЗП; Р*	14—25 32—57 76—159 194	$K - 1$	3 4 5 6	0,05

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	s	b, не более	f	K	K_1
У 5			*ЗП; Р*	2—15	0,5 (при $D_н$ до 45 включ.); 1,0 (при $D_н$ св. 45 до 194 включ.); 1,5 (при $D_н$ св. 194)	s^{+1}		s (при s до 3 включ.); 3 (при s св. 3)

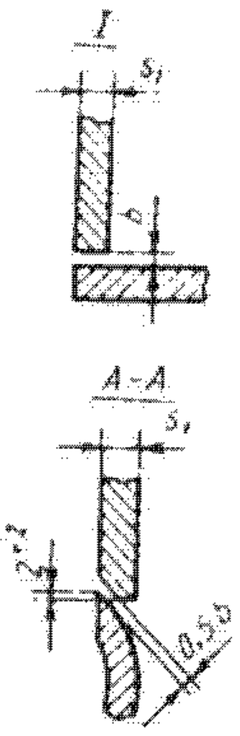
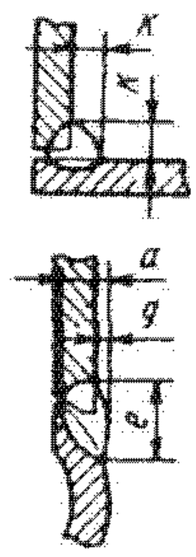
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$D_н$	b, не более	f	K, не менее	K_1
У 7			*ЗП; Р*	14—25	0,5	$K - 1$	3	s (при s до 3 включ.); 3 (при s св. 3)
				32—57			4	
				79—159	1,0		5	
				194			6	
				219	1,5		7	
				245			8	
				273—325			9	
				377—530			10	

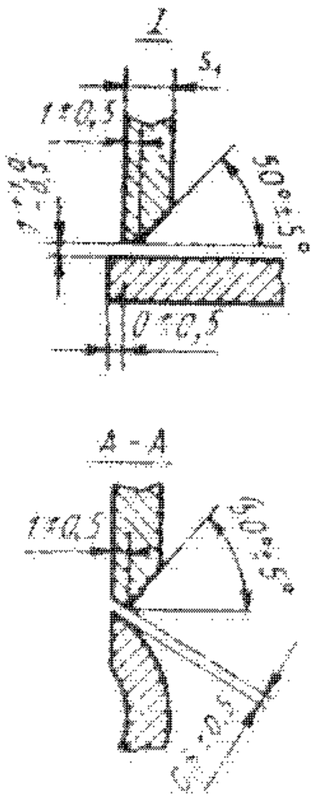
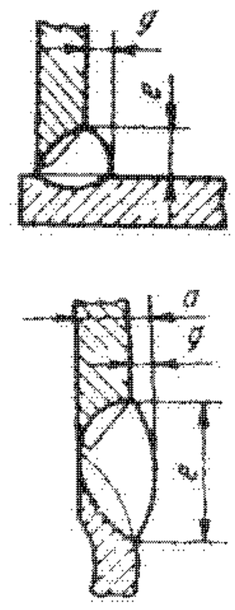
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$D_н$	b, не более	f	K, не менее	K_1
У 8			ЗП	14—25	0,5	К – 1	3	–
				32—57			4	
				76—159	1,0		5	
				194			6	
				219	1,5		7	
				245			8	
				273—325			9	
				377—530			10	

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	K: Номин.	K: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.
У 16			ЗП; Р	2	3	+1	1,5	+1,0 –0,5	4	+2
				3						
				4	4				6	

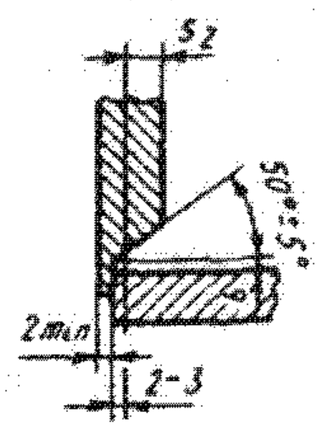
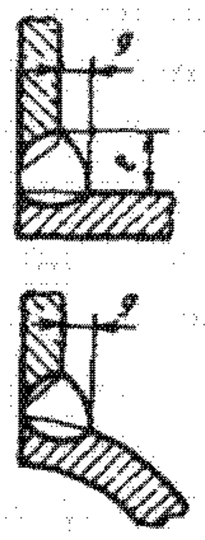
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	s_1	b, не более	K
У 17			Г	1—7	1	1,3 толщины более тонкой детали
			ЗП; ЗН; Р	2—20	2	

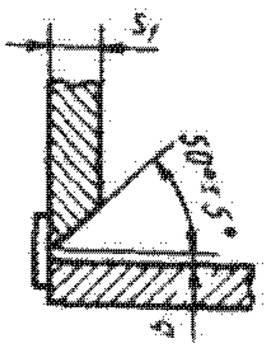
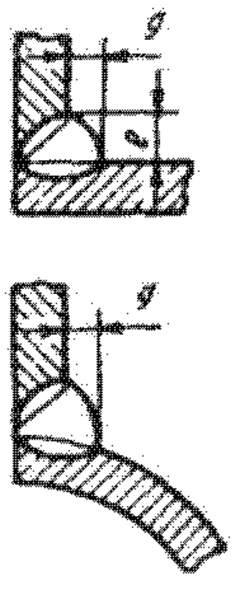
Примечание. Значение K определяется при проектировании.

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	s_1	b, не более	K
У 18			Г	1—7	1	1,3 толщины более тонкой детали
			ЗП; ЗН; Р	2—25	2	

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	s_1	e: Номин.	e: Пред. откл.	g (пред. откл. +2)
У 19			ЗП; ЗН; Р	4	8	+2	3
				5	10		
				6	11		
				8	14	+3	
				10	16	+4	
				12	19		
				14	22	+5	5
				16	24	+6	
				18	26		
				20	28		
				22	30		
				25	33		

Примечание. Соединение У 18 применяется при отношении наружного диаметра ответвления к наружному диаметру трубы более 0,5; соединение У 17 — при отношении до 0,5.

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	s_2	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
У 20			ЗП; Р; ЗН	4—5	3	+1,0 –0,5	11	+4	2,5	+1
				6	4	±1,0	14		4,0	+3
				8			16	+5	6,0	
				10			19	+7	8,0	
				12			21		9,0	
				14	5		24	+8	10,0	+4
				16			26		11,0	
				18			28		13,0	
				20			30		14,0	

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы и размеры: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы и размеры: сварного шва	Способ сварки	s_1	b: Номин.	b: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
У 21			ЗП; ЗН; Р	4—5	3	+1,0 –0,5	10	+2	2,5	+1
				6	4	±1,0	11	+4	4,0	+3
				8			14		6,0	
				10			16	+5	8,0	
				12			19	+7	9,0	
				14	5		21		10,0	
				16			24	+8	11,0	+4
				18			26		13,0	
				20			28		14,0	

Примечания: 1. При способе сварки ЗН зазор $b = 2{,}0^{+0{,}3}$.
2. Длина протачиваемой части приварыша, входящей в трубу, устанавливается при проектировании соединения.
3. Величина s_2 приведена после расточки.

Для осуществления плавного перехода от одной детали к другой допускается наклонное расположение поверхности шва. При разнице в толщине свариваемых деталей свыше значений, указанных в табл. 8.10, на детали, имеющей бóльшую толщину, должен быть сделан скос до толщины тонкой детали. При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

Остающиеся подкладки и муфты должны изготовляться из стали той же марки, из которой изготовлены трубы. Для труб из углеродистой стали допускается изготовлять остающиеся подкладки и муфты из сталей марок 10 и 20 по ГОСТ 1050—88.

Зазор между остающейся подкладкой и трубой для сварных соединений, контролируемых радиографическим методом, должен быть не более 0,2 мм, а для соединений, не контролируемых радиографированием, — не более 0,5 мм. Местные зазоры для указанных соединений допускаются до 0,5 мм и 1,0 мм соответственно.

Зазор между расплавляемой вставкой и торцовой или внутренней поверхностью трубы должен быть не более 0,5 мм.

В сварных соединениях отростков с трубами допускается присоединение отростков под углом до 45° к оси трубы.

В соединениях У 18 и У 19 размеры e и g в сечении А—А должны устанавливаться при проектировании; при этом размер e должен перекрывать утонение стенки трубы, образуемое при вырезке отверстия, на величину до 3 мм, а размер a должен быть не менее минимальной толщины стенки свариваемой детали.

Швы с привалочной стороны фланцев допускается заменять развальцовкой конца трубы.

Предельные отклонения катета углового шва K, K_1 от номинального в неоговоренных случаях должны соответствовать:

+2 мм — при $K \leq 5$ мм;

+3 мм — при $5 < K \leq 12$ мм;

+5 мм — при $K > 12$ мм.

Допускается усиление углового шва до 2 мм при сварке в нижнем положении и до 3 мм при сварке в других пространственных положениях. Ослабление углового шва до 30 % величины катета, но не более 3 мм.

Для сварных соединений труб с толщиной стенки более 4 мм допускается сварка корня шва способом, отличным от осевого способа сварки.

8.1.7. Материалы и режимы сварки

Таблица 8.11

Электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей

Марки свариваемой стали	Типы электродов по ГОСТ 9467—75	Марки электродов	Условия применения
Ст3кп; Ст3пс	Э42	АНО-5, АНО-17 и др.	По отраслевым стандартам на технические требования к изделиям (по ОСТ 26-291—94 или другим стандартам)
Ст3сп; Ст3Гпс	Э42А	УОНИ-13/45, УП-1/45 и др.	
10, 15, 20, 15К, 16К, 18К, 20К	Э46	АНО-13, АНО-3, АНО-4, МР-3, АНО-18, ОЗС- 3, ОЗС-12 и др.	
16ГС, 09Г2С, 10Г2	Э50А	УОНИ-13/55, УП-1/55, УП-2/55, К-5А, АНО-11, ВП-4, ОЗС-29 и др.	
10Г2С1	Э55	ОЗС/ВНИИСТ-27	
17ГС, 17Г1С, 15Г2СФ, 09Г2ФБ	Э60	ОЗС-24М	

Примечание. По решению главного сварщика допускается замена электродов Э42, Э42А, Э46, Э46А электродами Э50А при условии положительных результатов контрольных испытаний сварных соединений.

Таблица 8.12

Режимы ручной сварки углеродистых и низколегированных сталей

Типы электродов по ГОСТ 9467—75	Марка электродов	Диаметр электродов, мм	Сварочный ток, А	Род тока
Э42	АНО-17	4 5 6	160—210 190—280 270—360	Постоянный ток, любая полярность или переменный ток
Э42А	УОНИ-13/45	2 3 4 5 6	45—65 80—100 130—160 170—200 210—240	Постоянный ток, обратная полярность
	УП-1/45	2 3 4 5	45—65 100—130 140—160 160—250	Постоянный ток, обратная полярность или переменный ток
Э46	МР-3	4 5 6	160—200 180—260 260—320	Постоянный ток, обратная полярность или переменный ток
	ОЗС-4	3 4 5 6	90—100 160—180 200—250 250—300	Постоянный ток, любая полярность или переменный ток
Э50А	УОНИ-13/55	3 4 5 6	80—100 130—160 170—200 210—240	Постоянный ток, обратная полярность
	УП-1/55	3 4 5 6	90—120 140—160 160—250 280—350	Постоянный ток, обратная полярность или переменный ток
	ОЗС-29	3 4 5	80—100 120—150 150—180	Постоянный ток, обратная полярность
Э55	ОЗС/ВНИИСТ-27	3 4	90—110 130—150	Постоянный ток, обратная полярность
Э60	ОЗС-24М	3 4	90—110 130—150	Постоянный ток, обратная полярность

Примечание. Режимы ручной дуговой сварки углеродистых и низколегированных сталей электродами, не указанными в табл. 8.11 и 8.12, выбираются в соответствии с паспортными данными этих электродов.

Таблица 8.13

Выбор марки присадочной проволоки для углеродистых и низколегированных сталей

Марка свариваемого металла	Марка проволоки по ГОСТ 2246—70	Марка флюса по ГОСТ 9087—81	Условия применения
Ст3кп; Ст3пс; Ст3сп; Ст3Гпс, 10, 15, 15К, 16К, 18К, 20, 20К	Св-08, Св-08А, Св-08ГА[x]	АН 348А, ОСЦ 45М, АН-60 или им равноценные, АН-22	По отраслевым стандартам на технические требования к сосудам и аппаратам
17ГС, 17Г1С, 16ГС, 09Г2С, 10Г2, 10Г2С1, 09Г2ФБ	Св-08ГА Св-08ГС Св-08Г2С Св-10ГА Св-10НЮ (ТУ 14-1-2219—77) Св-10НМА Св-08Х		
15Г2ОФ	Св-10Г2, Св-08ГА, Св-10НМА		

[x] Для кипящих и полуспокойных сталей предпочтительнее применять проволоку Св-08ГА.

Таблица 8.14

Сварочные материалы для углеродистых и низколегированных сталей при автоматической сварке под флюсом с применением крошки

Марка свариваемой стали	Сварочные материалы		
	Марка сварочной проволоки по ГОСТ 2246—70	Марка крошки по ГОСТ 2246—70	Флюс по ГОСТ 9087—81
Ст3кп	Св-08А	Св-08ГА Св-08Г2С	АН-348А, ОСП-45 и им равноценные
	Св-08ГА,	Св-08А	
	Св-08Г2С		
Малоуглеродистые стали, кроме кипящих	Св-08А		
	Св-08ГА	Св-08А Св-08ГА	
	Св-08Г2С	Св-08А Св-08ГА	
16ГС	Св-08ГА	Св-08Г2С	
08Г2С		Св-08ГА СВ-10Г2	
	Св-08МХ*	СВ-08ГА	
	Св-10Г2	Св-08ГА Св-10Г2	
10Г2С1	Св-08ГА, Св-08МХ* Св-10Г2	Св-08ГА Св-10ГА Св-08ГА	

* Должна быть проверена необходимость подогрева при сварке и отпуске после сварки в зависимости от толщины металла.

Таблица 8.15

Ориентировочные режимы автоматической двусторонней однопроходной сварки под флюсом стыковых соединений без разделки кромок углеродистых и низколегированных сталей с применением крошки

Толщина металла, мм	Диаметр электродной проволоки, мм	Расход гранулированной металлической присадки, г/см	Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч	Оптимальный зазор, мм
10	5	2,0	800—825	38—40	50	74,5	5
20		5,0	850—950	40—44	35	103	6
30		8,0	850—950	42—45	19,5	103	7
40		12,0	1200—1300	43—48	16,0	128	8
50		16,0	1300—1400	44—48	12,0	140	9
60		18,0	1400—1500	45—50	12,0	163	11
20	4	5,0	800—900	42—45	35	154	6
30		8,0	850—950	42—46	19	163	7
40		12,0	850—950	43—48	14	163	8
50		16,0	1100—1200	44—49	14	210	9
60		18,0	1300—1400	45—50	12	240	11

Таблица 8.16

Режимы полуавтоматической сварки под флюсом двусторонних стыковых швов углеродистых и низколегированных сталей

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм
4—6	2	200—250	32—34	18—30	79—101	25
8		250—300	34—36		126—156	
10		350—420	36—38		191—250	
12		450—540	38—42		306—378	
14—20		550—600	42—44		472	
22—30		630—670	44—46		600	

Таблица 8.17

Режимы полуавтоматической сварки в углекислом газе для низкоуглеродистой и низколегированной стали

Толщина свариваемого металла, мм	Условное обозначение шва по ГОСТ 14771—75	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Расход углекислого газа, л/ч	Количество слоев	Скорость сварки, м/ч
0,6—1,0	С1	0,5—0,8	50—60	17—20	500—600	1	20—25
0,6—1,0	С2	0,5—0,8	60—80	17—20	500—600	1	25—35
1,2—2,0	С2	0,8—1,0	70—110	18—20	500—600	1—2	18—24
3,0—5,0	С2	1,6—2,0	160—200	21—24	600—800	1—2	20—22
3,0—8,0	С7	1,6—2,0	200—300	22—28	800—1000	2	25—30
5,0—8,0	С4	1,6—2,0	220—300	22—30	800—1000	1—2	18—22
10,0—14,0	С9	2,0	320—350	30—32	800—1000	2	18—22
16,0—24,0	С9	2,0	350—380	30—32	800—1000	4—5	18—22
26,0—30,0	С9, С10	2,0	350—400	30—34	900—1100	5	18—22
8,0—12,0	С17, С21	2,0	380—400	30—32	800—1000	2—3	18—22
12,0 и более	С25	2,0—2,5	440—420	30—32	800—1000	4	16—20
30,0 и более	С23	2,0—2,5	440—500	30—32	900—1100	10 и более	16—20
32,0 и более	С26	3,0	500—750	34—36	900—1100	12 и более	16—20

Таблица 8.18

Сварочные материалы и температура подогрева для ручной, автоматической и полуавтоматической сварки сталей 12МХ и 12ХМ (толщиной до 80 мм)

Марка стали	Электроды (типы по ГОСТ 9467—75 и марки), проволока по ГОСТ 2246—70	Флюсы, защитный газ	Температура предварительного и сопутствующего подогрева, °С
12МХ	Электроды типа Э-09МХ (ГЛ-14, УОНИ-13/45 МХ, ОЗС-11 и др.)	—	200—250
	Проволока Св-08МХ	АН-15, АН-22, АН-348А, АН-60, ОСЦ-45, ОСЦ-45М и им равноценные	150—200
	Проволока Св- 10ХГ2СМА	Углекислый газ, сорт I, ГОСТ 8050—85	150—200
12ХМ	Электроды типа Э-09Х1М (ЦУ-2ХМ, ТМЛ-1 и др.); Э-09Х1МФ (ЦЛ-20-67, ТМЛ-3 и др.)	—	250—300
	Проволока Св-08ХМ, Св-10Х2М	АН-15, АН-22, АН-348А, АН-60, ОСЦ-45, ОСЦ-45М и им равноценные	200—250
12ХМ	Проволока Св-10ХГ2СМА	Углекислый газ, сорт I, ГОСТ 8050—85	200—250

Примечание. После сварки требуется отпуск по режиму, предусмотренному нормативно-технической документацией по термообработке.

Таблица 8.19

Сварочные материалы для электрошлаковой сварки углеродистых и низколегированных сталей

Марка стали	Марка проволоки по ГОСТ 2246—70	Марка флюса	Условия применения сварных соединений
Ст3сп Ст3пс 20, 15К, 16К	Св-08ГА Св-08А	АН-8 ГОСТ 9087—81 АН-9 ТУ ИЭС 201—78	После нормализации и высокого отпуска при температуре, допускаемой для свариваемой стали
18К,20К, 22К	Св-10Г2, Св-08ГС	АН-8 ГОСТ 9087—81	
16ГС, 09Г2С	Св-10Г2, Св-08ГС, Св-08Г2С Св-10НЮ по ТУ 14-1-2219—77	АН-9 ТУ ИЭС 201—78 АН-348 АН-22 ГОСТ 9087—81	
12ХМ	Св-10Х2М по ТУ 14-1-2219—77 Св-08ХМ	Ан-8 ГОСТ 9087—81 АН-9 ТУ ИЭС 201—78	После нормализации и высокого отпуска не ниже 0°С
12МХ	Св-08МХ		

Таблица 8.20

Режимы сварки углеродистых и низколегированных сталей (для сварочной проволоки диаметром 3 мм)

Толщина металла, мм	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Глубина шлаковой ванны, мм	Сухой вылет электрода, мм	Скорость поперечных колебаний, м/ч	Время выдержки у ползуна, сек	Скорость подачи проволоки, м/ч	Количество электродов
36—40	650—730	46—50	40—50	70—75	—	—	260—290	1
41—100	670—750	44—48	50—55		40	2—3	270—300	1(2)
101—200	380—500	46—52	55		30—40	3—4	140—200	2(3)

Примечания: 1. В скобках — количество электродов, допускаемое для сварки указанных толщин металла.
2. Сухой вылет электрода — расстояние от нижней точки мундштука до поверхности шлаковой ванны.

Таблица 8.21

Сварочные материалы для ЭШС с крошкой углеродистых и низколегированных сталей

Марка свариваемой стали	Марка сварочной проволоки по ГОСТ 2246—70	Марка крошки по ГОСТ 2246—70	Условия применения
Ст3сп Ст3пс 20К, 15К, 16К	Св-08ГА	Св-08Г2С Св-10ГС	После нормализации и высокого отпуска при температуре, допускаемой для свариваемой стали
09Г2С	Св-10НМА	Св-08Г2С Св-10НМА	
10Г2С1	Св-10Г2	Св-08Г2С	

Таблица 8.22

Режимы ЭШС с крошкой углеродистых и низколегированных сталей

Толщина металла, мм	Сварочный зазор, мм	Диаметр электрода, мм	Скорость подачи электрода, м/ч	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Расход крошки, г/мин
С нормальным расходом крошки						
30	26—28	5	99,5	1000—1100	40—42	140
40			126,0	1200—1250	42—46	175
50			142,0	1300—1350	44—48	200
60			159,0	1350—1450	46—50	210
С повышенным расходом крошки						
30	26—28	4	159,0	900—1000	42—46	300
40					42—45	
50					44—48	
60					46—50	
30		5	99,5	1000—1100	40—42	290
40					40—42	
50					42—44	
60					43—45	

Таблица 8.23

Электроды для сварки высоколегированных коррозионностойких сталей и сплавов на железоникелевой основе аустенитного и аустенитно-ферритного классов

Марки свариваемой стали	Типы электродов по ГОСТ 10052—75 (марка электродов)[x]	Допускаемая температура эксплуатации[xxx] соединений и условия применения электродов	
		без требований стойкости против межкристаллитной коррозии	при наличии требования стойкости против межкристаллитной коррозии
08Х18Н2Т 08Х22Н6Т	Э-07Х20Н9 (ОЗЛ-8, АНВ-29)	До 300°С	Не допускается
	05Х22Н5Г2Б (ОЗЛ-40) ТУ 14-168-43—80 Э-08Х20Н9Г2Б (ОЗЛ-7, ЦЛ-11, Л-38М) Э-08Х19Н10Г2Б (АНВ-23, ЦТ-15)		До 300°С
08Х18Н10 12Х18Н9	Э-07Х20Н9 (ОЗЛ-8)	Не ограничено	Не допускается
	Э-04Х20Н9 (ОЗЛ-36)	До 500°С	
08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н10Т 08Х18Н12Б 10Х18Н9ТД	Э-07Х20Н9 (ОЗЛ-8, АНВ-29)	Не ограничено	Не допускается
	Э-04Х20Н9 (ОЗЛ-36)	До 500°С	
	Э-08Х20Н9Г2Б (ОЗЛ-7, ЦЛ-11, Л-38М, Л-40М, АНВ-35)	До 450°С	До 350°С
			Свыше 350°С до 450°С после стабилизирующего отжига
	Э-08Х19Н10Г2Б (АНВ-23, ЦТ-15)	Не ограничено	До 350°С
			Свыше 350°С до 610°С после стабилизирующего отжига
03Х18Н11	Э-02Х19Н9Б (АНВ-13) ТУ 14-4-301—73	До 450°С	До 350°С
03Х18Н11	Э-02Х21Н10Г2 (ОЗЛ-22)	До 450°С	До350°С
03Х19А13Н10	Э-02Х19Н9Б (АНВ-13) ТУ 14-4-301—73	Не ограничено	Свыше 350°С после стабилизирующего отжига до температуры применения стали по ОСТ 26-291—79
10Х14Г14Н4Т	Э-03Х15Н9АГ4 (АНВ-24)	До 500°С	—
03Х13АГ19 07Х13АГ20	Э-07Х20Н9 (ОЗЛ-8) Э-04Х20Н9 (ОЗЛ-36) Э-08Х20Н9Г2Б (ОЗЛ-7, МД-11, Л38М, Л-40М)	До 350°С без требования равнопрочности металла шва основному металлу	—
08Х17Н13М2Т 08Х17Н15М3Т	Э-02Х20Н14Г2М2 (ОЗЛ-20) Э-02Х19Н18Г5АМ3 (АНВ-17) ТУ 14-4-362—73	Не ограничено	До 350°С при условии подтверждения стойкости против межкристаллитной коррозии предварительным испытанием сварных соединений конкретной стали
08Х17Н13М2Т 08Х17Н15М3Т	Э-06Х19НПГ2М2 (ЭНТУ-3М) 06Х18НПГ3М2 (АНВ-26) ТУ ИЭС 272—80 Э-02Х19Н18Г5АМ3 (АНВ-17) ТУ 14-4-362—73		Не допускается
10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т 03Х21Н21М4ГБ (ЭИ-35)	07Х19Н11М3Г2Ф (ЭА-400/10У) ОСТ 5.9244—75 Э-09Х19Н1012М2Б (НЖ-13, СЛ-28) ТУ 14-4-715—75 04Х21Н21М4Г2Б (ОЗЛ-26А) ТУ 14-4-316—79	До 450°С Свыше 450°С до 700°С при условии содержания ферритной фазы не более 6 %	До 350°С

Продолжение табл. 8.25

1	2	3	4	5
12Х18Н9 08Х18Н10 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н10Т 08Х18Н12Б 10Х18Н9ТЛ	Св-04Х19Н9 Св-06Х19Н9Т	АН-26с ГОСТ 9087—81 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75 АНК-45 ТУ 14-1-2859—80	До 600°С	Не допускается
	Св-07Х18Н9Т10 Св-05Х20Н9ФБС Св-08Х20Н902БТ10 ТУ 14-1-1140—74		До 600°С (при необходимости замены других марок), п.3.3.3	До 350°С; св. 350°С до 600°С после стабилизирующего отжига (см. табл. 8.23)
	Порошковая проволока ПП-АНВ1			
03Х18Н11	Св-01Х18Н10 ТУ 14-1-2795—79 Св-01Х19Н9	АН-18 ГОСТ 9087—81	—	До 350°С
03Х19АГ3Н10	Св-01Х20Н18АГ12 (ЭП-689) Св-08Х20Н9С2БТЮ	АН-26с ГОСТ 9087—81	—	До 350°С
10Х14Г14Н4Т (ЭИ-711) 03Х13АГ19 (4С-36) 07Х13АГ20 (4С-46)	Св-05Х15Н9 Г6АМ ТУ 14-1-1595—76	АН-26с ГОСТ 9087—81	По техническим условиям (стандартам) на изделие	—
08Х17Н13М2Т 10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т 08Х17Н15М3Т	Св-04Х19Н11М3 Св-06Х19Н10М3Т	АН-26с ГОСТ 9087—81 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75 АНК-61 ТУ ИЭС 519—85	До 700°С (см. п. 3.3.3)	Не допускается
	Св-06Х20Н11М3ТБ Св-06Х19Н10М3Б Св-08Х19Н10М3Б		До 700°С (при необходимости замены других марок)	До 350°С
03Х17Н14М3	Св-01Х19Н18Г10АМ4 (ЭП-690) ТУ 14-1-4892—76 Св-01Х17Н14М2 ТУ 14-1-2795—79	АН-18 ГОСТ 9087—81 АНК-45МУ ТУ ИЭС 623—87	До 350°С (для получения швов без ферритной фазы)	До 350°С при подтверждении коррозионной стойкости предварительными испытаниями
03Х18АГ3Н11М3Б 08Х21Н6М2Т (ЭП-54)	Св- 01Х19Н18Г10АМ4 (ЭП-690) ТУ 04-1-1892—76	АН-26с ГОСТ 9087—81 48-ОФ-6 ОСТ 5.9260—75		До 350°С
	Св-04Х19Н11М3 Св-06Х19Н10М3Т		До 300°С	Не допускается
	Св-01Х19Н15Г6М2АВ2 (ЧС-39) ТУ 14-1-1595—76		До 300°С	До 300°С
	Св-06Х19Н10М3Б Св-08Х19Н10М3Б Св-06Х20Н11М3ТБ		До 300°С (при необходимости замены других марок)	До 300°С
03Х21Н21М4ГБ (ЭИ-35)	Св-02Х21Н21М4Б (ЭИ-69) ТУ 14-1-3262—81 Св-01Х23Н28М3Д3Т Св-03ХН25МДГБ (ЭП-978) ТУ 14-1-2571—78 Св-01Х24Н25А17Д (ЭК-75) ТУ 14-1-3682—83	АНК-50 ТУ ИЭС 461—85 АН-18 ГОСТ 9087—81	—	До 350°С
03ХН28МДТ (ЭП-516) 06ХН28МДТ (ЭИ-943)	ТУ 14-1-3682—83 Св-01Х23Н28М3Д3Т (ЭП-516) Св-03ХН25МДГБ (ЭП-978) ТУ 14-1-2571—78		—	До 350°С

Продолжение табл. 8.25

1	2	3	4	5
12Х18Н9 08Х18Н10 08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н10Т 08Х18Н12Б 10Х18Н9ТЛ	Св-04Х19Н9 Св-06Х19Н9Т	АН-26с ГОСТ 9087—81 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75 АНК-45 ТУ 14-1-2859—80	До 600°С	Не допускается
	Св-07Х18Н9Т10 Св-05Х20Н9ФБС Св-08Х20Н902БТ10 ТУ 14-1-1140—74		До 600°С (при необходимости замены других марок), п.3.3.3	До 350°С; св. 350°С до 600°С после стабилизирующего отжига (см. табл. 8.23)
	Порошковая проволока ПП-АНВ1			
03Х18Н11	Св-01Х18Н10 ТУ 14-1-2795—79 Св-01Х19Н9	АН-18 ГОСТ 9087—81	—	До 350°С
03Х19АГ3Н10	Св-01Х20Н18АГ12 (ЭП-689) Св-08Х20Н9С2БТЮ	АН-26с ГОСТ 9087—81	—	До 350°С
10Х14Г14Н4Т (ЭИ-711) 03Х13АГ19 (4С-36) 07Х13АГ20 (4С-46)	Св-05Х15Н9 Г6АМ ТУ 14-1-1595—76	АН-26с ГОСТ 9087—81	По техническим условиям (стандартам) на изделие	—
08Х17Н13М2Т 10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т 08Х17Н15М3Т	Св-04Х19Н11М3 Св-06Х19Н10М3Т	АН-26с ГОСТ 9087—81 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75 АНК-61 ТУ ИЭС 519—85	До 700°С (см. п. 3.3.3)	Не допускается
	Св-06Х20Н11М3ТБ Св-06Х19Н10М3Б Св-08Х19Н10М3Б		До 700°С (при необходимости замены других марок)	До 350°С
03Х17Н14М3	Св-01Х19Н18Г10АМ4 (ЭП-690) ТУ 14-1-4892—76 Св-01Х17Н14М2 ТУ 14-1-2795—79	АН-18 ГОСТ 9087—81 АНК-45МУ ТУ ИЭС 623—87	До 350°С (для получения швов без ферритной фазы)	До 350°С при подтверждении коррозионной стойкости предварительными испытаниями
03Х18АГ3Н11М3Б 08Х21Н6М2Т (ЭП-54)	Св- 01Х19Н18Г10АМ4 (ЭП-690) ТУ 04-1-1892—76	АН-26с ГОСТ 9087—81 48-ОФ-6 ОСТ 5.9260—75		До 350°С
	Св-04Х19Н11М3 Св-06Х19Н10М3Т		До 300°С	Не допускается
	Св-01Х19Н15Г6М2АВ2 (ЧС-39) ТУ 14-1-1595—76		До 300°С	До 300°С
	Св-06Х19Н10М3Б Св-08Х19Н10М3Б Св-06Х20Н11М3ТБ		До 300°С (при необходимости замены других марок)	До 300°С
03Х21Н21М4ГБ (ЭИ-35)	Св-02Х21Н21М4Б (ЭИ-69) ТУ 14-1-3262—81 Св-01Х23Н28М3Д3Т Св-03ХН25МДГБ (ЭП-978) ТУ 14-1-2571—78 Св-01Х24Н25А17Д (ЭК-75) ТУ 14-1-3682—83	АНК-50 ТУ ИЭС 461—85 АН-18 ГОСТ 9087—81	—	До 350°С
03ХН28МДТ (ЭП-516) 06ХН28МДТ (ЭИ-943)	ТУ 14-1-3682—83 Св-01Х23Н28М3Д3Т (ЭП-516) Св-03ХН25МДГБ (ЭП-978) ТУ 14-1-2571—78		—	До 350°С

Таблица 8.26

Режимы автоматической сварки под флюсом высоколегированных коррозионностойких сталей

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч	Величина вылета сварочной проволоки, мм
5—8	4	520—550	32—34	35	49,5	40—50
10	4—5	560—600	34—36	35	55,5	40—50
12	4—5	625—650	34—38	31	60,0	40—50
14	4—5	650—675	36—38	31	64,0	40—50
16	4—5	700—725	36—38	25	70,0	40—50
18	5	725—750	38—40	25	75,0	40—50
20	5	725—750	38—40	25	75,0	40—50
22—50	5	750—775	38—42	25	81,0	40—50

Таблица 8.27

Режимы полуавтоматической сварки высоколегированных коррозионностойких сталей

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч	Величина вылета проволоки, мм не более
4—6	2	170—220	30—32	18—30	79—101	25
8		230—300	32—34		126—152	
10		300—360	34—36		191—250	
12		370—420	36—38		306—378	
14—20		430—460	38—40		472	
22—30		470—500	40—42		600	

Таблица 8.28

Сварочные материалы для сварки в среде защитных газов высоколегированных коррозионностойких сталей и сплавов на железоникелевой основе

Марка свариваемой стали	Марка проволоки по ГОСТ 2246—70	Защитный газ	Условия применения; температура эксплуатации сварных соединений	
			без требования стойкости против МКК	при наличии требования стойкости против МКК
08Х22Н6Т (ЭП-53) 08Х18Г8Н2Т (КО-3)	Св-08Х20Н9С2БТЮ ТУ 14-1-1140—74	Углекислый газ по ГОСТ 8050—85 (сорт I)	До 300°С	До 300°С
	Св-04Х19Н9 Св-06Х19Н10Т	Аргон по ГОСТ 10157—79 Гелий по ТУ 51-940—80 (высокой чистоты)	До 300°С	Не допускается
	Св-06Х21Н7БТ ТУ 14-1-1389—75 Св-07Х19Н10Б Св-07Х18Н9ТЮ		До 300°С (при необходимости замены других марок)	До 300°С
08Х18Н10	Св-04Х19Н9		До 600°С	Не допускается
08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н10Т 08Х18Н12Б	Св-01Х19Н9			До 350°С; свыше 350°С; до 600°С после стабилизирующего отжига
	Св-06Х19Н9Т Св-08Х20Н9Г7Т			
	Св-07Х19Н10Б Св-07Х18Н9ТЮ Св-05Х20Н9ФБС		До 600°С	До 350°С; свыше 350°С; до 600°С после стабилизирующего отжига
03Х18Н11	Св-01Х18Н10 ТУ 14-1-2795—79		—	До 350°С
	Св-01Х19Н9			То же при допустимости ферритной фазы
03Х19АГ3Н10	Св-01Х20Н18АГ12 (ЭП-689)	Аргон по ГОСТ 10157—79 Гелий по ТУ 51-940—80 (высокой чистоты)	До 600°С	До 350°С
	Св-01Х18Н10 ТУ 14-1-2795—79		До 600°С без требования равнопрочности соединений	До 350°С без требования равнопрочности соединений

Продолжение табл. 8.28

Марка свариваемой стали	Марка проволоки по ГОСТ 2246—70	Защитный газ	Условия применения; температура эксплуатации сварных соединений	
			без требования стойкости против МКК	при наличии требования стойкости против МКК
03Х19АГ3Н10	Св-01Х19Н9		То же при допустимости ферритной фазы	То же при допустимости ферритной фазы
10Х14Г14Н4Т (ЭИ-711) 03Х13АГ19 (ЧС-36) 07Х13АГ20 (ЧС-46)	Св-05Х15Н9Г6АМ ТУ 14-1-1595—76	Аргон по ГОСТ 10157—79 Гелий по ТУ 51-940—80 (высокой чистоты)	По техническим условиям (стандарту) на изделие	—
08Х17Н13М2Т 10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т	Св-04Х19Н11М3		До 700°	Не допускается
	Св-06Х19Н10М3Т		До 700°С; для замены других марок	До 350°С
	Св-06Х20Н11М3ТБ Св-06Х19Н10М3Б Св-08Х19Н10М3Б			До 350°С
08Х17Н15М3Т	Св-01Х19Н18Г10АМ4 (ЭП-690) ТУ 14-1-1892—76		До 350°С для получения швов без ферритной фазы	До 350°С при подтверждении стойкости против МКК предварительными испытаниями
	Св-01Х17Н14М2 ТУ 14-1-2795—79			
10Х23Н18	Св-07Х25Н13	Аргон по ГОСТ 10157—79 (сорт высший, I, II) Гелий по ТУ 51-940—80 (высокой чистоты)	По техническим условиям (стандарту) на изделие	Не допускается
08Х17Н15М3Т 03Х17Н14М3 03Х18АГ3Н11М3Б	Св-01Х17Н14М2 по ТУ 14-1-2795—79	Аргон по ГОСТ 10157—79 (сорт высший, I, II) Гелий по ТУ 51-940—80 (высокой чистоты)	—	до 350 °С при подтверждении стойкости против МКК предварительными испытаниями
	Св-01Х19Н18Г10АМ4 (ЭП-690) по ТУ 14-1-1892—76			
08Х21Н6М2Т	Св-04Х19Н11М3 Св-06Х19Н10М3Т		До 300°С	Не допускается
	Св-06Х19Н10М3Б Св-08Х19Н10М3Б Св-06Х20Н11М3ТБ		До 300°С для замены других марок	До 300°С
03Х21Н21М4ГБ (ЭИ-35)	Св-02Х21Н21М4Б (ЭИ-69) ТУ 14-1-3262—81		—	До 350°С
06ХН28МДТ (ЭИ-943) 03ХН28МДТ (ЭП-516)	Св-01Х23Н28М3Д3Т Св-01Х24Н25М3АГ7Д (ЭК-75) ТУ 14-1-3682—83			

Таблица 8.29

Режимы сварки в среде аргона высоколегированных коррозионностойких сталей

Способ сварки	Толщина свариваемого металла, мм	Число проходов	Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Расход аргона в горелку, л/мин
Ручная дуговая неплавящимся электродом	2—6 6—12 12—20	1—2 2—6 6—16	1,6—2,0 2,0—3,0 3,0—4,0	50—80 80—120 120—200	10—11 10—11 10—12	—	6—8 8—10 10—12
Полуавтоматическая дуговая плавящимся электродом	2,5 3,0 4,0 6,0 8,0 10,0	1 1 1 1—2 2 2	1,0 1—1,6 1—1,6 1,6—2,0 1,6—2,0 2,0	140—180 150—260 160—300 220—320 320—360 290—380	20—25	—	6—8 6—8 7—9 9—12 11—15 12—17
Автоматическая дуговая плавящимся электродом	2,5 3,0 4,0 6,0 8,0 10,0	1 1 1 1—2 2 2	1,6—2,0 1,6—2,0 2,0—2,5 2,0—2,5 2,0—3,0 2,0—3,0	160—240 200—280 220—320 280—360 300—380 320—440	20—30	20—40 20—40 20—40 15—30 15—30 15—30	6—8 6—8 7—9 9—12 11—15 12—17

Примечание. Режимы приведены для стыковых соединений со стандартной подготовкой кромок.

Таблица 8.30

Режимы автоматической сварки под флюсом аустенитных сталей с применением гранулированной присадки (крошки)

Условное обозначение шва	Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Номер слоя в шве	Относительное количество крошки *Gкр/Gпр*	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч
Ск1	12 14 16	4	1; 2	0,1; 0 0,15; 0 0,2; 0	510; 550 530; 590 590; 650	34—36 34—36 36—38	24; 26 24; 26 22; 24
	18 20 25 30 36 40 45 50	5	1; 2	0,2; 0 0,25; 0 0,25; 0 0,3; 0 0,35; 0 0,4; 0	700; 750 750; 800 800; 850 850; 900 900; 950 950; 1000 1050; 1100 1150; 1200	37—39 38—40 39—41 40—42 41—43 42—44 44—46 46—48	32; 34 30; 32 28; 30 24; 26 24; 26 22; 24 22; 24 20; 22
Ск2	8	3	1	0,1	480	30—34	22
	10 12	4	1	0,15 0,2	630 650	32—34 32—34	22 20
Ск3	12 14 16	4	2; 3	0,8; 0 1,0; 0 1,2; 0	530; 580 570; 630 600; 680	34—36 36—38 36—38	28; 30 25; 27 24; 26
	18 20 22 24	5	2; 3	0,8; 0 1,0; 0 1,1; 0 1,2; 0	700; 750 750; 800 780; 830 800; 850	38—40 38—40 38—40 38—40	28; 30 28; 30 26; 28 26; 28
Ск4	16 18 20 22 24 26 28 30	4	2; 3	0,8; 1,0 0,6; 0,8 0,4; 0,6 0,8; 1,0 0,6; 0,8 1,0; 1,2 0,4; 0,6 0,6; 0,8	500; 550 550; 600 550; 600 600; 650 650; 700 700; 750 650; 700 700; 750	36—38 38—40 40—42 42—44 40—42 —	28; 30 28; 30 24; 26 24; 26 22; 24 22; 24 18; 20 18; 20
	35 40 45 50	5	2; 3	0,6; 0,8 0,8; 1,0 0,6; 0,8 0,8; 1,0	900; 950 900; 950 1000; 1050 1050; 1000	42—44 — 44—46 46—48	24; 26 22; 24 22; 24 20; 22

Примечание. *Gкр* – количество засыпаемой крошки.; *Gпр* – количество расплавляемой крошки.

Таблица 8.31

Сварочные материалы при ЭШС высоколегированных сталей

Марка свариваемой стали	Марка сварочной проволоки по ГОСТ 2246—70	Марка флюса	Условие применения
08Х18Н10Т 12Х18Н9Т 12Х18Н10Т	Св-04Х19Н9 Св-01Х19Н9	АН-26с по ГОСТ 9087—81 48-ОФ-6 по ОСТ 5.9206—75 или им равноценные	До 600°С при отсутствии требований по стойкости металла к МКК
	Св-07Х19Н10Б Св-05Х20Н9ФБС Св-06Х19Н9Т Св-08Х19Н9Ф2С2	АН-45 по ГОСТ 9087—81 АН-9 (АН-9У) ТУ ИЭС 201—78	До 350°С стойкость соединений против МКК обеспечивается в состоянии после сварки
08Х17Н13М2Т 10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т	Св-01Х19Н18Г10АМ4 (ЭП-690) по ТУ 14-1-1892—76 Св-01Х19Н1516М2АВ2 ТУ 14-1-1595—76 Св-06Х20Н11М3ТБ	АН-45 по ГОСТ 9087—81 АН-9 (АН-9У) ТУ ИЭС 201—78	До 350°С стойкость соединений против МКК обеспечивается в состоянии после сварки
13ХН28МДТ (ЭП-516) 06ХН28МДТ	Св-01Х23Н28М3Д3Т (ЭП-516)	АН-45 по ГОСТ 9087—81	До 350°С при наличии требований по стойкости металла шва против МКК

Таблица 8.32

Режимы ЭШС высоколегированных сталей

Толщина свариваемого металла, мм	Сварочный ток, А, на 1 электрод	Напряжение, В	Глубина шлаковой ванны, мм	Сухой вылет электрода, мм	Скорость поперечных колебаний, м/ч	Время выдержки у ползуна, сек	Скорость подачи проволоки, м/ч	Количество электродов
36—40	480—520	42—44	40—50	50—60	—	—	240—280	1
41—100	500—580	42—44	50—55	60	40	2—3	220—240	1(2)
102—200	350—420	44—46	55	60—65	30—40	3—4	200—220	2(3)

Примечание. В скобках указано допускаемое количество электродов. Рекомендуемый диаметр электрода – 3 мм.

Таблица 8.33

Материалы, применяемые для сварки хромистых сталей

Марка свариваемой стали	Свойства сварных соединений	Материалы для сварки			
		ручной дуговой	аргонодуговой	автоматической	под флюсом
		тип электрода по ГОСТ 10052—75 и марка электрода	проволока сварочная по ГОСТ 2246—70	проволока сварочная по ГОСТ 2246—70	флюс
08Х13	Равнопрочность (в том числе длительная прочность при температурах до 350°С), без требования стойкости против МКК (в состоянии после сварки); пониженная пластичность и вязкость металла шва и сварных соединений	Э-12Х13 (ЛМЗ-1, УОНИ-13/НБ 12Х13 12Х13 АНВ-1 и др.)	Св-12Х13 Св-08Х14ГНТ	Св-12Х13 Св-08Х14ГНТ	АН-18 ГОСТ 9087—81 АН-26с ГОСТ 9087—81 48-Ф-6 ОСТ 5.9206—75
08Х13 08Х17Т 14Х17Н2 15Х25Т	Пластичность металла шва; без требования стойкости против МКК	Э-10Х25Н13Г2 (ОЭЛ-6, ЦЛ-25 и др.)	Св-07Х25Н13 Св-06Х25Н12ТЮ Св-08Х25Н13БТЮ	Св-07Х25Н13 Св-06Х25Н12ТЮ Св-8Х25Н13БТЮ	АН-26с 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75 АН-18 ГОСТ 9087—81
08Х17Т	Стойкость против общей и межкристаллитной коррозии в состоянии после сварки; низкая пластичность и вязкость шва и сварных соединений; жаростойкость до 800°С	Э-10Х17Т (УОНИ/ 10Х17Т)	Св-10Х17Т	Св-10Х17Т	48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75

Продолжение табл. 8.33

Марка свариваемой стали	Свойства сварных соединений	Материалы для сварки			
		ручной дуговой	аргонодуговой	автоматической	под флюсом
		тип электрода по ГОСТ 10052—75 и марка электрода	проволока сварочная по ГОСТ 2246—70	проволока сварочная по ГОСТ 2246—70	флюс
08Х17Т 15Х25Т	Стойкость против общей и межкристаллитной коррозии, пластичность металла шва, низкая пластичность и вязкость околошовной зоны	Э-10Х25Н13Г2Б (ЦЛ-9, ЗИО-7, ЭА-48М/22 и др.) 10Х20Н15ФБ (АНВ-9) 10Х20Н15Б (АНВ-10) Э-08Х20Н9Г2Б (ЦЛ-11) Э-10Х26Н13Г2Б (ЦЛ-9, АНВ-35)	Св-06Х25Н12ТЮ Св-08Х25Н13БТЮ	Св-06Х25Н12ТЮ Св-08Х25Н13БТЮ	АН-26с ГОСТ 9087—81 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75
04Х19АФТ (ТУ 14-1-3657—83) 03Х18БФЮ (ТУ 14-1-3398—82)	Стойкость против общей и межкристаллитной коррозии, удовлетворительная пластичность и вязкость околошовной зоны		Св-06Х19Н9Т	Св-06Х25Н12ТЮ Св-08Х25Н13БТЮ	АН-26с ГОСТ 9087—81
14Х17Н2	Равнопрочность (в том числе длительная прочность), без требования стойкости против МКК; жаростойкость до температуры 800°С при отсутствии требований пластичности, без термической обработки	10Х18Н2 (АНВ-2)	Св-08Х14ГНТ	Св-08Х14ГНТ	АН-26с ГОСТ 9087—81 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75

Примечание. Без индекса «Э» указаны нестандартные типы электродов.

8.1.8. Сварка двухслойных сталей

Таблица 8.34

Сочетания марок сталей основного и плакирующего слоев

Марки плакирующего слоя	Марки основного слоя					
	Ст3сп	20К	16ГС	09Г2С	12МХ	12ХМ
08Х22Н6Т	+	+	–	–	–	–
08Х18Н10Т	+	+	+	+	+	+
12Х18Н10Т	+	+	+	+	+	+
10Х17Н13М2Т	+	+	+	+	–	–
10Х17Н13М3Т	+	+	+	+	–	–
08Х17Н15М3Т	+	+	+	–	–	–
06ХН28МДТ	+	+	+	–	–	–
08Х13	+	+	+	+	+	+

Таблица 8.35

Группы способов исполнения сварных швов, предусмотренных ГОСТ 16098—80

Вид сварного соединения	Группа исполнения		
	I	II	III
	типы сварных швов по ГОСТ 16098—80		
Стыковое	С2; С3; С4; С5; С6*; С7; С8; С13; С14; С15; С16; С17; С18; С19; С20; С21; С22	С9; С10; С11; С12	С1; С6*
Угловое	У2; У3*; У4; У5; У6; У7; У8*; У9; У10; У11	У1*	У1*; У2*; У8*
Тавровое	Т1*; Т3*; Т4; Т5	Т2	Т1*; Т3*

Знаком * обозначены типы швов, исполнение которых возможно по двум группам.

Таблица 8.36

Электроды для двухслойных сталей

Группа способов сварки	Слой шва		Марка плакирующего слоя двухслойной стали	Электроды		Температура эксплуатации, °С, не более	Условия применения
	номер	название		тип электрода по ГОСТ 10052—75	марка электрода, технические условия		
	1, 2	Основной	Любая	По рекомендациям для стали основного слоя			
I	3	Переходный	08Х18Н10Т 12Х18Н10Т 08Х22Н6Т 08Х13	Э-10Х25Н13Г2	ОЗЛ-6 и др.	375	С ограниченным проплавлением основного слоя
				08Х24Н25М3Г2	АНЖР-3У по ТУ 14-168-23—78	430	При наличии в среде окислителей – с последующей наплавкой толщиной не менее двух плакирующих слоев
				11Х25Н40М7Г2	АНЖР-2 по ТУ 14-4-598-75	475	Не рекомендуется для сред, содержащих окислители
I	3	Переходный	10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т 0817Н15М3Т	11Х15Н25М6АГ2 08Х24Н25М3Г2 Э-ЮХ25Н13Г2 Э-02Х19Н18Г5АМ3	ЭА395/9 ОСТ 5.9244—75 ОЗЛ-6 АНЖР-3У по ТУ 14-165-23—78 АНВ-17 ТУ 14-4-362—73 АНВ-37 ТУ ИЭС 375—83	340	Не рекомендуется для сред, содержащих окислители
I	3	Переходный	06ХН28МДТ	08Х24Н40М7Г2 04Х23Н27М3Д3Г2 08Х24Н40М7Г2	АНЖР-2 по ТУ 14-4-598—75 ОЗЛ-17уП[4] АНЖР-2	478	Не рекомендуется для сред, содержащих окислители
				04Х23Н27М3Д3Г2Ф	АНВ-28	430	
I	4	Плакирующий	08Х18Н10Т 12Х18Н10Т	Э-04Х20Н9 Э-07Х20Н9 Э-10Х25Н13Г2	ОЗЛ-36 ОЗЛ-8, АНВ-29 ОЗЛ-6	450 500 450	Без требования стойкости против МКК
				Э-08Х20Н9Г2Б – » – Э-08Х19Н10Г2Б Э-10Х25Н13Г2Б	ЦЛ-11 ОЗЛ-7 ЦТ-15, АНВ-23 ЦЛ-9	550 450 – 450	Для температуры более 350°С без требования стойкости против МКК
I	4	Плакирующий	08Х13	Э-10Х25Н13Г2	ОЗЛ-6		Без требования стойкости против МКК
				Э-08Х24Н40М7Г2	АНЖР-2 ТУ 14-4-598—75	–	Без требований по МКК. Не рекомендуется для сред, содержащих окислители
			08Х17Т 15Х25Т	08Х20Н15ФБ 10Х20Н15Б	АНВ-9 АНВ-10	450	Более 350°С без требования по МКК
			10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т	07Х19Н11М3Г2Ф Э-09Х19Н10Г2М2Б	ЭА-400/10У ОСТ 5.9244—75 НЖ-13	–	Более 350°С без требования по МКК; более 450°С с содержанием феррита не более 6%

Продолжение табл. 8.36

Группа способов сварки	Слой шва: номер	Слой шва: название	Марка плакирующего слоя двухслойной стали	Электроды: тип электрода по ГОСТ 10052—75	Электроды: марка электрода, технические условия	Температура эксплуатации, °С, не более	Условия применения
I	4	Плакирующий	08Х17Н15М3Т	07Х19Н11М3Г2Ф Э-09Х19Н10Г2М2Б	ЭА-400/10У ОСТ 5.9244—75 НЖ-13	–	Для 08Х17Н15М3Т, если допускается ферритная фаза
			08Х17Н15М3Т	Э-02Х19Н18Г5АМ3 Э-02Х20Н14Г2М2	АНВ-17 ОЗЛ-20	350	Не менее двух слоев при подтверждении стойкости против МКК предварительными испытаниями
			06ХН28МДТ	04Х23Н27М3Д3Г2Б 04Х23Н27М3Д3Г2Ф 04Х23Н26М3Д3Г2Б	ОЗЛ-17У АНВ-28 АНВ-37 ОЗЛ-37-2	350 350 350	До 350°С; при подтверждении коррозионной стойкости в конкретной среде Не менее двух слоев
II	1	Плакирующий	08Х18Н10Т 12Х18Н10Т 15Х25Т 08Х17Т 08Х13	Э-10Х25Н13Г2Б	ЦЛ-9	450	Не менее двух слоев, более 350 °С без требования по МКК
				По рекомендациям для плакирующего слоя (4) группы I			
			10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М2Т	Э-09Х19Н10Г2М2Б	НЖ-13	–	Те же, что для плакирующего слоя 4 группы способов I; не менее двух слоев
			08Х17Н15М3Т	Э-02Х19Н18Г5АМ3	АНВ-17		
			06ХН28МДТ	04Х23Н27М3Д3Г2Б 04Х23Н27М3Д3Г2Ф 04Х23Н26М3Д3Г2Б	ОЗЛ-17 АНВ-28 ОЗЛ-37-2	350	
II	2	Основной	Любая	Те же, что для переходного слоя (3) группы I			С ограниченным проплавлением плакирующего слоя
III	2	Основной	08Х18Н10Т 12Х18Н10Т 15Х25Т 08Х17Т 08Х13Т	11Х15Н25М6АГ2	ЭА-395/9 ОСТ 5.9244—75 НИАТ-5	350	С ограниченным проплавлением
				Э-10Х20Н70Г2М2В	ОЗЛ-25Б	–	–
III	2	Основной	10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т	06Х24Н40М7Г2 08Х24Н60М10Г2	АНЖР-2 ТУ 4-4-598—75 АНЖР-1 ТУ 14-4-568—74	450 –	–
	1; 3	Подварочный и плакирующий	08Х18Н10Т 12Х18Н10Т 08Х17Т 15Х25Т, 08Х13	Э-10Х25Н13Г2Б	ЦЛ-9	350	–
				Э-10Х25Н13Г2	ОЗЛ-6	350	Без требования стойкости против МКК
III	1; 3	Подварочный и плакирующий	10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т	08Х24Н40М7Г2 08Х24Н60М10Г2	АНЖР-2 ТУ 14-4-598—75 АНЖР-1 ТУ 14-4-568—74	450	Без требования стойкости против МКК

Примечания. 1. Типы электродов, приведенные без индекса «Э» ГОСТ 10052—75, не предусмотрены.
2. Допускается применение других марок указанных типов электродов.

Таблица 8.37

Сварочные материалы для автоматической сварки под флюсом и аргонодуговой сварки двухслойных сталей

Группа способов сварки	Слой шва: номер	Слой шва: название	Марка плакирующего слоя двухслойной стали	Рекомендуемые сварочные материалы: проволока сварочная по ГОСТ 2246—70	Рекомендуемые сварочные материалы: защитная среда	Температура эксплуатации, °С, не более	Условия применения
I	1;2	Основной	Любая	По рекомендациям для стали основного слоя			
	3	Переходный	08Х18Н10Т 12Х18Н10Т	Св-07Х25Н12Г2Т Св-08Х25Н13БТЮ Св-01Х23Н16ГТ ТУ 14-1-3776—84	Флюс 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75 Флюс АН-90 ТУ ИЭС 453—84	375	С ограниченным проплавлением основного слоя
			15Х25Т 08Х17Т 08Х13	Св-08Х25Н40М7 (ЭП-673) ТУ 14-1-1001—74	Флюс Ан-26с ГОСТ 9087—81 Флюс АН-18 ГОСТ 9087—81 Аргон ГОСТ 10157—79	475	При наличии в среде окислителей с последующей наплавкой толщиной не менее двух плакирующих слоев
						Определяется ограничениям и по переходному слою	
	3	Переходный	10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т 08Х17Н15М3Т 06ХН26МДТ	Св-08Х25Н40М7 (ЭП-673) Св-08Х25Н60М10 (ЭП-606) ТУ 14-1-2461—78	Флюс 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75 Флюс АН-26с ГОСТ 9087—81 Аргон ГОСТ 10157—79	475	–
				Св-07Х25Н13Г2Т Св-08Х25Н13БТЮ	Флюс 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75	375	С наплавкой не менее двух плакирующих слоев
I	4	Плакирующий	06Х18Н10Т	Св-06Х19Н9Т	Флюс АН-26с ГОСТ 9087—81	Определяется ограничениями по переходному слою	Без требования стойкости против МКК
			12Х18Н10Т	Св-07Х25Н13БТЮ Св-05Х20Н9С2БТЮ Св-05Х20Н9ФБС Св-01Х23Н16ГТ ТУ 14-1-3776—84	Флюс АН-18 ГОСТ 9087—81 Аргон ГОСТ 10157—79 Флюс АН-90 ТУ ИЭС 453—84		Выше 350°С – без требования стойкости против МКК
I	4	Плакирующий	15Х25Т 08Х17Т 08Х13	Св-07Х25Н13БТЮ Св-06Х25Н12ТЮ	Флюс АН-26с ГОСТ 9087—81 Флюс АН-18 ГОСТ 9087—81 Аргон ГОСТ 10157—79 Св-01Х17Н14М3 (ЭП-551) ТУ 14-1-2795—79 Св-04Х19Н11М3	Определяется ограничениями по переходному слою	–
				Св-07Х25Н12Г2Т			Без требования стойкости против МКК
				10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т 08Х17Н15М3Т		Определяется ограничениями по переходному слою	Без требования стойкости против МКК
I	4	Плакирующий	10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т 08Х17Н15М3Т	Св-06Х20Н11М3ТБ Св-08Х19Н10М3Б		Определяется ограничениями по переходному слою	Более 350°С без требования по МКК
				Св-01Х19Н18Г19АМ4 (ЭП-690) ТУ 14-1-1892—76 Св-01Х23Н19Г5АМ4 ТУ 14-1-3777—84	Флюс АН-18 ГОСТ 9087—81 Аргон ГОСТ 10157—79 Флюс АН-90 ТУ ИЭС 453—84 Флюс АНК-50 ТУ ИЭС 461—85		Более 350°С без требования по МКК; в случаях недопустимости ферритной фазы; после предварительных испытаний на МКК. Наплавка валика не менее двух слоев

Продолжение табл. 8.37

Группа способов сварки	Слой шва: номер	Слой шва: название	Марка плакирующего слоя двухслойной стали	Рекомендуемые сварочные материалы: проволока сварочная по ГОСТ 2246—70	Рекомендуемые сварочные материалы: защитная среда	Температура эксплуатации, °С, не более	Условия применения
I	4	Плакирующий	06ХН28МДТ	Св-01Х23Н28М3Д3Т (ЭП-516) Св-03Х25М4ДГБ (ЭП-978) ТУ 14-1-2571—78	Флюс АН-18 ГОСТ 9087—81 Аргон ГОСТ 10157—79 Флюс АН-90 ТУ ИЭС 453—84 Флюс АНК-50 ТУ ИЭС 461—85	Определяется ограничениями по переходному слою	Выше 350°С без требования по МКК
II	1	Плакирующий	08Х18Н10Т 12Х18Н10Т	Св-08Х20Н9С2БТЮ Св-05Х20Н9ФБС Св-07Х25Н13БТЮ Св-01Х23Н16ГТ ТУ 14-1-3776—84	Аргон ГОСТ 10157—79 Флюс 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75 Флюс АН-90 ТУ ИЭС 453—84 Флюс АНК-51 ТУ ИЭС 519—85	Определяется ограничениями по переходному слою	Выше 350°С без требований стойкости против МКК
II	1	Плакирующий	15Х25Т 08Х17Т 08Х13	Св-07Х25Н12Г2Т	Флюс АН-26с ГОСТ 9087—81 Флюс АН-18 ГОСТ 9087—81		Без требований стойкости против МКК
			10Х17Н13М2Т	Св-06Х19Н11М3ТБ Св-08Х19Н10М3Б			Выше 350°С без требования стойкости против МКК
			10Х17Н13М3Т	Св-08Х25Н40М (ЭП-673) ТУ 14-1-1001—74 Св-01Х23Н19Г5АМ4 ТУ 14-1-3777—84	Флюс АН-90 ТУ ИЭС 453—84 Флюс АНК-50 ТУ ИЭС 461—85		Без требований стойкости против МКК
II	1	Плакирующий	08Х17Н15М3Т	Св-01Х17Н14М3 (ЭП-551) ТУ 14-1-2795—79 Св-04Х19Н11М3	Флюс АН-90 ТУ ИЭС 453—84 Флюс АНК-50 ТУ ИЭС 461—85	Определяется ограничениями по переходному слою	Без требования стойкости против МКК
II	1	Плакирующий		Св-01Х19Н18Г10АМ4 (ЭП-690) ТУ 14-1-1892—76	Флюс АН-18 ГОСТ 9087—81 Флюс АН-26с ГОСТ 9087—81		ЭП-690 после испытаний на МКК
			10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т 08Х17Н15М3Т	Св-05Х30Н40М6ТБ (ЭП-829) ТУ 14-1-914—74			Выше 350°С без требований по МКК
	2	Основной	Любая	Те же, что для переходного слоя 3 группы I			С ограниченным проплавлением плакирующего слоя
II	2	Основной	08Х18Н10Т 12Х18Н10Т	Св-08Х25Н25М3 (ЭП-622) ТУ 14-130-173—76	Аргон ГОСТ 10157—79	350	С ограниченным проплавлением
			15Х25Т 08Х17Т 08Х13	Св-08Х25Н40М7 (ЭП-673) Св-08Х25Н60М10 (ЭП-606) ТУ 14-1-2461—78	Флюсы: 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75	450	Не рекомендуется для сред, содержащих окислители
			08Х18Н10Т 12Х18Н10Т 15Х25Т	Св-05Х30Н40М6ТБ (ЭПВ-29) ТУ 14-1-914—74	АН-26с ГОСТ 9087—81 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75	450	Не рекомендуется для сред, содержащих окислители

Продолжение табл. 8.37

Группа способов сварки	Слой шва: номер	Слой шва: название	Марка плакирующего слоя двухслойной стали	Рекомендуемые сварочные материалы: проволока сварочная по ГОСТ 2246—70	Рекомендуемые сварочные материалы: защитная среда	Температура эксплуатации, °С, не более	Условия применения
			08Х17Т 08Х13	Св-10Х16Н25АМ6	АН-18 ГОСТ 9087-81	350	То же, с ограниченным проплавлением
	2	Основной	10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т	Св-10Х16Н25АМ6 Св-08Х25Н25М3 (ЭП-622) ТУ 14-130-173—76	Аргон ГОСТ 10157-79	350	С ограниченным проплавлением
III				Св-08Х25Н40М7 (ЭП-673) Св-08Х25Н60М10 (ЭП-606) ТУ 14-1-2461—78 Св-05Х30Н40М6ТБ (ЭП-829) ТУ 14-1-914—74		450	–
	1; 3	Подварочный и плакирующий	08Х18Н10Т 12Х18Н10Т 15Х25Т 08Х17Т 08Х13	Св-07Х25Н13БТЮ	Аргон ГОСТ 10157—79 *Флюсы:* 48-ОФ-6 ОСТ 5.9206—75 АН-26с ГОСТ 9087—81 АН-18 ГОСТ 9087—81	350	С ограниченным проплавлением
				Св-05Х30Н40М6ТБ (ЭП-829) ТУ 14-1-914—74		450	Не рекомендуется для сред, содержащих окислители
				Св-08Х25Н40М7 (ЭП-673) Св-08Х25Н60М10 (ЭП-606) ТУ 14-12461—78			То же без требований стойкости против МКК
III			10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т	Св-05Х30Н40М6ТБ (ЭП-829) ТУ 14-1-914—74 Св-08Х25Н60М10 (ЭП-606) ТУ 14-1-2461—78	Аргон ГОСТ 10157—79 Флюсы: 48-ОФ-6, АН-26с, ГОСТ 9087—81 АН-18 ОСТ 5.9206—75 ГОСТ 9087—81	450	Без требования стойкости против МКК
	1, 3	Подварочный и плакирующий	10Х17Н13М3Т 10Х17Н13М2Т	Св-08Х25Н40М7 (ЭП-673) ТУ 14-1-1001—74		450	Без требования стойкости против МКК

Примечания. 1. Флюс АН-18 рекомендуется для преимущественного применения в сочетании с низкоуглеродистыми проволоками и не содержащими ферритную фазу (склонными к образованию горячих трещин).
2. Применение сварочных проволок без ферритной фазы (с содержанием никеля более 13 %, особенно ЭП-829) требует отработки мер против горячих трещин в соединениях толщиной более 12 мм.

8.1.9. Сварка разнородных сталей

Таблица 8.38

Электроды для ручной электродуговой сварки разнородных сталей

Сочетание сталей в сварном соединении		Электроды: Тип	Электроды: Марка	Условия сварки
12Х18Н9Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н10, 12Х18Н10Т, 08Х18Н12Б, 08Х22Н6Т, 10Х14Г14Н4Т, 07Х13АГ20, 08Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т, 03Х17Н14М3, 08Х21Н6М2Т	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, 10, 15, 20, 15К, 16К, 18К, 20К, 16ГС, 09Г2С, 10Г2, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С, 12МХ, 12ХМ	Э-10Х25Н13Г2 11Х15Н25М6АГ2 08Х24Н25М3Г2 08Х24Н40МГ2 08Х24Н60М10Г2	ОЗЛ-6 ЭА-395/9 АНЖР-3У АНЖР-2 АНЖР-1	До 400 °С До 435 °С До 470 °С До 550 °С Свыше 550 °С Для деталей 12МХ и 12ХМ подогрев. Термообработка
	03Х21Н21М4ГБ 06ХН28МДТ 03ХН28МДТ	03Х24Н25М3АГ3 04Х23Н27М3ДЗГ2Ф	АНВ-38 АНВ-28	При положительных результатах допускается применение электродов, предназначенных для менее легированной стали

Продолжение табл. 8.38

Сочетание сталей в сварном соединении		Электроды		Условия сварки
		Тип	Марка	
03Х21Н21М4ГБ 06ХН28МДТ 03ХН28МДТ	Ст3кп, Ст3сп, Ст3сп, 10, 15, 20, 15К, 16К, 18К, 20К, 16ГС, 09Г2С, 10Г2, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С, 12МХ, 12ХМ	Э-02Х19Н18Г5АМ3 08Х24Н40М7Г2 11Х15Н25М6АГ2 10Х25Н25М3Г2	АНВ-17 АНЖР-2 ЭА-395/9 АНЖР-3у	Для сталей 12МХ и 12ХМ подогрев. Термообработка
12МХ, 12ХМ	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, 10, 15, 20, 15К, 16К, 18К, 20К 16ГС, 09Г2С, 10Г2, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С	Э-42, Э-46 Э-09МХ Э-50, Э-09МХ	АНО-5, АНО-7, АНО-13, АНО-3, АНО-4, ОЗС-4, ОЗС-6, ОЗС-3, ОЗС-12 и др. УОНИ-13/55, УП-1/55, АНО-11 и др.	Подогрев и термооб- работка
16ГС, 09Г2С, 10Г2, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С, 15Г2СФ	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, 10, 15, 20, 15К, 16К, 18К, 20К	Э-42, Э-46 Э-46А, Э-42А	АНО-5, АНО-7, АНО-13, АНО-3, АНО-4 и др. УОНИ-13/45 УП-1/45 и др.	–

Примечание. Без индекса «Э» даны условные обозначения электродов, не предусмотренные ГОСТ 10052—75.

Таблица 8.39

Сварочные проволоки для сварки разнородных сталей в среде защитных газов и под флюсом

Сочетание сталей в сварном соединении		Марка сварочной проволоки	Условия сварки
12Х18Н9Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н10, 12Х18Н10Т, 08Х18Н12Б, 08Х22Н6Т, 10Х14Г14Н4Т, 07Х13АТ20, 08Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т, 03Х17Н14М3, 08Х21Н6М2Т	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, 10, 15, 20, 15К, 16К, 18К, 20К, 16ГС, 09Г2С, 10Г2, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С, 12МХ, 12ХМ	Св-07Х25Н13 Св-07Х25Н12Г2Т Св-10Х16Н25АМ6 Св-08Х25Н25М3 Св-08Х25Н40М7 Св-08Х25Н60М10	До 400 °С До 400 °С До 435 °С До 470 °С До 550 °С Свыше 550 °С Для деталей 12МХ и 12ХМ подогрев. Термообработка
	03Х21Н21М4ГБ 06ХН28МДТ 03ХН28МДТ	Св-01Х24Н25М3АГ7Д Св-01Х23Н28М3Д3Т Св-02Х21Н21М4ГБ	При положительных ре- зультатах допускается применение проволоки, предназначенной для менее легированной стали
03Х21Н21М4ГБ 06ХН28МДТ 03ХН28МДТ	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, 10, 15, 20, 15К, 16К, 18К, 20К, 16ГС, 09Г2С, 10Г2, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С, 12МХ, 12ХМ	Св-01Х19Н18Г10АМ4 Св-08Х25Н40М7	Для сталей 12МХ и 12ХМ подогрев. Термообработка
12МХ, 12ХМ	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, 10, 15, 20, 15К, 16К, 18К, 20К, 16ГС, 09Г2С, 10Г2, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С,	Св-08ГА, Св-08ГС Св-08МХ, Св-08ХМ	Подогрев и термообработка
16ГС, 09Г2С, 10Г2, 10Г2С1, 17ГС, 17Г1С, 15Г2СФ	Ст3кп, Ст3пс, Ст3сп, 10, 15, 20, 15К, 16К, 18К, 20К	Св-08, Св-08А	–

8.1.10. Сварка алюминия и его сплавов

Таблица 8.40

Сварочные проволоки для алюминия и его сплавов

Марка алюминия	Ручная дуговая сварка		Сварка в защитных газах (аргон, гелий)	Автоматическая дуговая сварка под флюсом		Электрошлаковая сварка		Газовая сварка	
	марка электродов или покрытия	марка сварочной проволоки по ГОСТ 7871—75	марка сварочной проволоки по ГОСТ 7871—75	марка сварочной проволоки по ГОСТ 7871—75	марка флюса	марка электродной пластины	марка флюса	марка сварочной проволоки по ГОСТ 7871—75	марка флюса
А99, А85, А8, А7, А6	АФ-4а	А99 СвА97 СвА85Т	СвА97 СвА85Т	СвА97 СвА85Т	АН-А1	–	–	Св-А97 СвА85Т	АФ-4А
АДОО АДО, А5	ОЗА-1 ЭАЛ-1 (АФ1)	СвА85Т	СвА85Т	СвА85Т	УФОК-А1	АДО по ГОСТ 4784—74	АН-А308	СвА85Т	АФ-4А
АД1		СвА5	СвА5	СвА5				СвА5	
АМц АМцС	–	–	Св АМц	Св АМц		–	–	–	–
АМг1	–	–	Св АМг	Св АМг3	АН-А1 УФОК-А1	СвАМг5 по ГОСТ 7871—75	АН-А301	–	–
АМг3	–	–	Св АМг3 Св АМг5	Св АМг3 Св АМг5					
АМг5	–	–	Св АМг5 Св АМг6	Св АМг5 Св АМг6	АН-А4	СвАМг6 по ГОСТ 7871—75			
АМг6	–	–	Св АМг6 по ГОСТ 7871—75	Св АМг6	АН-А4	АМг7 по ГОСТ 7871—75	АН-А301	–	–

Примечание. Применение проволоки марки Св АМг5 для сварки сплава АМг3 допускается в случае отсутствия требований к сварным соединениям по стойкости к межкристаллитной коррозии.

Таблица 8.41

Режимы ручной дуговой сварки алюминия марок А99, А85, А8, А7, А6, А5, АДОО, АДО, АД1

Форма подготовленных кромок	Характер выполненного шва	Толщина свариваемого металла*, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
Без скоса кромок	Двусторонний	6	5	280—300
		8	6	300—320
		10	6	320—380
		12	8	350—450
		16		400—450
		20		450—550
		25		500—550
Без скоса кромок	Односторонний, на остающейся подкладке	6	5	280—300
		8	6	300—320
		10	6	320—380
Со скосом кромок	Двусторонний	26—28	8	500—550
		30—32		550—600
		34—60		600—700
С двумя симметричными скосами кромок	Двусторонний	35	8	550—600
		40		
		45		600—700
		50		
		60		

* Для толщин 10—14 мм при ручной аргонодуговой сварке возможен более производительный режим: сварочный ток 400—450 А, диаметр вольфрамового электрода 8 мм, диаметр присадочной проволоки 6—8 мм, количество проходов 2—3.

Таблица 8.42

Режимы ручной аргонодуговой сварки неплавящимся электродом алюминия и его сплавов

Условное обозначение шва по ГОСТ 14806—80	Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Расход аргона, л/мин	Сварочный ток, А	Количество слоев	Примечания
С1	1,5 2,0	2,0 3,0	1,0 2,0	5—6 5—6	60—90 80—110	1 1	—
С7	3,0	4,0	3,0	7—8	100—130	2	—
С5	2,0 3,0—4,0 5,0—12,0	3,0—4,0 4,0 4,0—5,0	2,0—2,5 3,0 3,0	5—6 7—8 7—8	80—100 150—170 160—200	1 1 1—4	—
С21	5,0—12,0 12,0—30,0	5,0 6,0 8,0	4,0—5,0 6,0—8,0	10—12 12—14 12—14	180—220 240—260 400—450	2—10 2—5	Количество слоев изменяется в зависимости от толщины изделия
С25	5,0—12,0	5,0 6,0	4,0—5,0	10—12 12—14	180—220 240—260	2—10	То же
	12,0—30,0	8,0	6,0—8,0	12—14	400—450	2—5	
Т3, Т1	1,5—20,0	5,0—6,0	4,0	8—10	180—260	1—5	Количество слоев изменяется в зависимости от толщины изделия и катета шва
Н1, Н2	1,5—20,0	4,0 5,0 6,0	3,0—5,0	8—10 10—12 12—14	140—150 180—220 220—260	1—5	То же

Таблица 8.43

Ориентировочные режимы автоматической дуговой сварки по флюсу стыковых двусторонних швов алюминия и его сплавов (С7 по ГОСТ 14806—80)

Толщина свариваемого металла, мм	Количество сварочных проволок	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/с	Ширина слоя флюса, мм	Толщина слоя флюса, мм
6	1	1,2—1,4	170—180	28—30	25—26	24—26	8—10
8	1	1,4—1,6	190—210	30—32	20—22	24—26	8—10
10	1	1,6—2,0	220—280	32—36	18—22	26—28	8—12
	2	1,6	300—320	32—34	16—18	26—30	8—10
12	1	2,5—2,7	350—370	38—40	16—18	32—34	10—12
	2	1,6—1,8	320—340	32—34	16—18	30—32	10—12
16	1	2,8—3,0	400—450	38—42	14—16	40—44	12—14
	2	2,0—2,2	400—450	36—38	16—18	38—40	10—12
18	1	3,0—3,2	450—480	38—42	14—16	40—44	12—14
20	2	2,3—2,5	470—500	36—40	14—16	46—50	12—14
25	1	3,0—3,2	450—480	38—42	12—14	46—50	12—14
35	1	5,0—5,2	1000—1200	46—48	10—12	50—54	14—16

Таблица 8.44

Ориентировочные режимы автоматической аргонодуговой сварки плавящимся электродом алюминия и его сплавов

Условное обозначение шва по ГОСТ 14806—80	Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Скорость сварки, м/ч	Напряжение на дуге, В	Расход аргона, л/мин	Скорость подачи проволоки, м/ч	Количество слоев	Примечания
С7	10 14 20	2,0 3,0 2,0—2,5	320—340 340—360 360—380	20—26 16—20 14—16	27—28 27—28 29—30	24—28 24—28 28—35	290—310 310—330 330—360	2	Сварку первого слоя выполняют на прокладке во избежание прожогов
С5	4 6 10 12	1,2—1,4 1,4—1,6 2,0 2,0	150—170 260—300 360—380 380—420	30—35 18—25 18—22 14—16	16—20 23—25 26—28 28—29	14—18 20—24 24—28 28—35	170—190 240—260 330—360 360—390	1	—
С18	15	2,0	1-й слой 240—280 2-й слой 320—340	20—25	23—25	24—28	220—250 290—310	2	—
С18	20	2,0	1-й слой 360—380 2-й слой 400—420	16—18	28—30	28—35	330—360	2	—
С25	20	2,0	1-й слой 240—280 2-й слой 320—340	20—25	23—25	24—28	220—250 290—310		Первый слой выполнять на прокладке. Корень шва перед сваркой с обратной стороны подрубить
	25	2,0	1-й слой 360—380 2-й слой 400—430	14—16	28—30	28—35	330—360 370—392	2	
С25	30	2,0	1-й слой 360—380 Последующие слои 400—430	14—16	28—30	28—35	330—360 370—390	4	Первый слой выполнять на подкладке. Корень шва перед сваркой с обратной стороны подрубить
С26	36	2,0	1-й слой 360—380 Последующие слои 400—430	14—16	28—30	28—35	330—360 370—390	6	Первые слои выполнять на подкладке
С7	10	2,0	300—320		28—29	12—14	260—290	2	Первый слой сваривать на подкладке, во избежание прожогов. Перед сваркой зачистить шов с обратной стороны
С5	4 6	1,2—1,4 1,4—1,6	120—160 220—260		25 25	10—12 12—14	150—170 200—220	1 1	
С18	10 15 20	2,0	300—320		28—29	12—14	260—290	1 3 4 (подварка с обратной стороны)	
С25	15 20	2,0 2,0	300—320 300—320		28—29 28—29	12—14 12—14	260—290 260—290	4 4	Первый слой выполнять на подкладке. Корень шва перед сваркой с обратной стороны подрубить

Продолжение табл. 8.44

Условное обозначение шва по ГОСТ 14806—80	Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Скорость сварки, м/ч	Напряжение на дуге, В	Расход аргона, л/мин	Скорость подачи проволоки, м/ч	Количество слоев	Примечания
С26	30	2,0	300—320		28—29	14—16	260—290	10	Первый слой выполнять на накладке. Сварка рекомендуется с подогревом
	36	2,0	300—320		28—29	14—16	260—290	12	
Т3	10	2,0	300—320		28—29	12—14	260—290	1 с каждой стороны	Δ = 3—6 мм (катет шва)
Т8	20	2,0	300—320		28-29	14-16	260—290	6—7 с каждой стороны	Δ = 8—15 мм (катет шва)
	30							12—15 с каждой стороны	Δ = 10—20 мм (катет шва), рекомендуется подогрев
	36	2,0	300—320		28—29	14—16	260—290	18—22 с каждой стороны	Δ = 15—30 мм (катет шва), рекомендуется подогрев
Н1, Н2	10	2,0	300—320		28—29	12—14	260—290	1	Для толщины 30—36 мм рекомендуется подогрев
	20							6	
	30					14—16		12—15	
	36							18—20	

Таблица 8.45

Режим газовой сварки алюминия и подготовка кромок к сварке

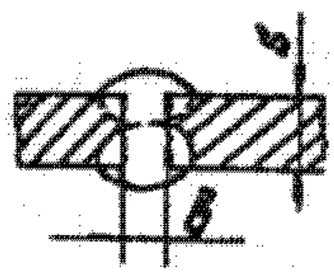
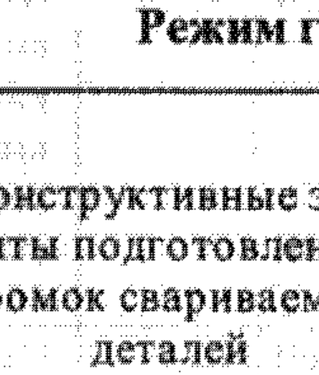
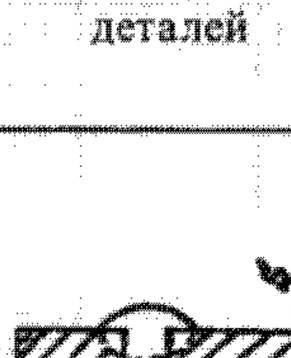
Толщина свариваемого металла, мм	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Зазор, b_i, мм	Притупление, c_i, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Номер наконечника горелки	Рабочее давление кислорода, МПа	Расход ацетилена, л/ч	Примечания
1,5		1,0	—	2,0	1—2	15	50—100	Односторонний шов без подварки применять в исключительных случаях. Металл толщиной 18 и 20 мм сваривать с подогревом до 250—300°С
2,0		1,5		3,0	1—2	15	100—200	
3,0		2,0		3,0	2—3	20		
4,0		2,0		4,0	2—3	20	200—400	
6,0		2,5		5,0	4	20—25		
8,0		3,0		6,0	5	25—30	400—700	
10,0		3,0		6,0	6	30—35		
12,0		3,0		8,0	6	30—60	700—1200	
6		2,0	2,0	5,0	4	20—25		
8		2,5	2,0	6,0	5	25—30	400—700	
10		3,0		6,0	6	30—35		
12		4,0	3,0			30—35		
14		5,0			7	35—60	700—1200	
16		6,0	4,0			35—60		
14		3,0	7,0		6	30—35		
16		3,5	8,0	8,0	6	30—35	700—1200	
18		3,5	9,0		7	35—60		
20		4,0	10,0		7	35—60		

Таблица 8.46

Режимы ручной плазменной сварки алюминия

Толщина металла, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Режим сварки				
		Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Диаметр формирующего сопла, мм	Расход аргона, л/мин	Обозначение сварного соединения
6	4	180—200	28—32	6	6—8	С5
8	5	220—240	32—34	7	7—9	С5
10	5	230—250	33—36	7	8—10	С5
12	6	240—270	34—36	7	8—9	С17
14	6	270—300	34—37	8	7—9	С17
16	6	320—350	35—38	8	8—11	С21
18	6	340—380	36—40	8	9—12	С21
20	6	370—410	38—42	8	10—14	С21

Таблица 8.47

Режимы автоматической плазменной сварки

Толщина металла, мм	Сварочный ток, А	Скорость		Расход аргона, л/мин		Диаметр формирующего сопла, мм
		сварки, м/ч	подачи проволоки диаметра 3,0 мм, м/ч	для защиты	плазмообразующего	
6	340—350	16,0—18,0	60—65	14—16	1—1,0	4
8	350—365	12,0—14,0	60—65	16—18	1—1,4	4
10	370—390	8,0—10,0	80—90	18—20	1—1,8	5
12	400—415	7,0—8,0	95—100	20—22	1—2,0	5
14	420—435	6,5—7,0	95—105	22—24	1—2,0	6
16	430—445	5,8—6,5	100—110	24—26	1—2,0	8
18	450—465	5,5—6,0	110—120	26—28	1—2,0	8
20	470—480	5,0—5,5	120—130	26—28	1—2,0	10

Примечание. Расстояние от торца плазмотрона до изделия должно устанавливаться в пределах 12—22 мм.

8.1.11. Сварка меди и медных сплавов

Таблица 8.48

Сварочные материалы, применяемые для ручной дуговой сварки меди

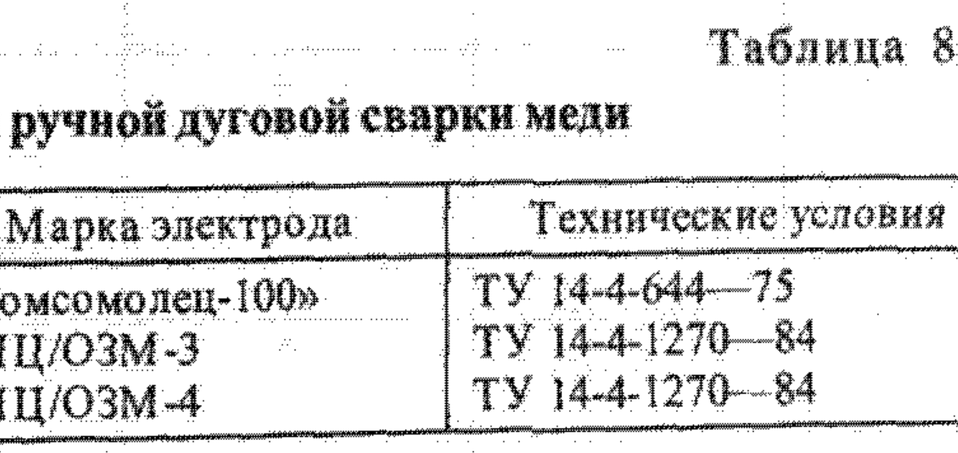
Марка свариваемого материала	Проволока	Марка электрода	Технические условия
М1Р М2Р М3Р	МТ (ГОСТ 2112—79) М1 (ГОСТ 859—78)	«Комсомолец-100» АНЦ/ОЗМ-3 АНЦ/ОЗМ-4	ТУ 14-4-644—75 ТУ 14-4-1270—84 ТУ 14-4-1270—84

Таблица 8.49

Величина сварочного тока в зависимости от диаметра электрода

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А
До 3	3	150—200
До 5	4	250—300
Свыше 5	5	350—450
	6	500—600

Кромки подготавливают к сварке механическим способом. При толщине свариваемого металла до 10 мм — разделка со скосом двух кромок, свыше 10 мм — с криволинейным скосом двух кромок (рис. 8.21).



а *б*

а — при *s* до 10 мм;
б — при *s* > 10 мм.

Рис. 8.21. Форма поперечного сечения кромок свариваемых деталей

Таблица 8.50

Ориентировочные режимы дуговой сварки меди и медных сплавов

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр угольного электрода, мм	Диаметр присадочного стержня, мм	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В
3	6	4	180—200	30—35
4	8	5	200—240	30—35
5	10	6	240—270	30—35
6	14	7	270—300	30—35
7	16	8	300—350	30—35
8	18	8	350—380	35—40
10	18	8	400—450	35—40
12	20	8	430—470	35—40
14	20	10	450—500	35—40
16	20	10	500—550	35—40

Таблица 8.51

Ориентировочные режимы ручной аргонодуговой сварки стыковых соединений меди неплавящимся электродом

Толщина металла, мм	Разделка кромок	Число проходов	Проходы	Диаметр присадочного прутка, мм	Сварочный ток, А	Расход аргона, л/мин
1,0	без скоса кромок	1	—	1,2	4,0—100	4—5
1,5		1	—	2,0	50—120	4—5
2,0		1	—	2,0	110—140	4—5
3,0		1	—	3,0	170—220	5—6
4,0		2	—	3,0	200—250	5—6
5,0	со скосом кромок	2	1	4,0	300—350	5—6
6,0		3	1	3,0	300—350	6—7
			2	4,0	300—350	6—7
			подварочный шов	4,0	300—350	6—7
10,0		4	1	3,0	300—350	7—8
			2	5,0	300—350	7—8
			3	6,0	300—400	7—8
			подварочный шов	3,0	300—350	7—8
12,0		5	1	3,0	250—350	8—10
			2	5,0	300—400	8—10
			3	6,0	350—450	8—40
			4	6,0	350—450	8—10
			подварочный шов	3,0	300—350	8—10
20	с двумя симметричными скосами	6	1,2	3,0	300—400	10—12
			3,4	5,0	300—450	10—12
			5,6	6,0	300—350	10—12
25		8	1 и 2	3,0	300—400	12—14
			3 и 4	5,0	360—450	12—14
			5 и 6	6,0	400—550	12—14
			7 и 8	6,0	450—600	12—14

Таблица 8.52

Ориентировочные режимы сварки меди в азоте и гелии

Толщина металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Вылет электрода	Защитный газ
6,0	5	4	400	5—7	азот
8,0—10,0	5	4	180—210	6—8	гелий
12,0	6	4	210—230	8—12	гелий
	6	5	250—300	8—12	гелий

Таблица 8.53

Значения силы тока для неплавящихся электродов

Диаметр электрода, мм	Сварочный ток, А	
	Постоянный ток, прямая полярность	Переменный ток
1,0	25—65	10—75
2,0	65—150	40—125
3,0	200—250	75—150
4,0	200—300	125—250
5,0	250—400	200—300
6,0	300—450	300—400

Таблица 8.54

Сварочные проволоки, применяемые в качестве плавящегося электрода при полуавтоматической сварке

Марка свариваемого металла	Сварочная проволока		Защитный газ	
	марка	нормативно-технический документ	марка	нормативно-технический документ
М1Р М2Р М3Р	МНЕКТ 5-1-0,2-0,2 БрКМц 3-1	ГОСТ 16130—85 ГОСТ 5222—72	азот аргон-азот гелий-азот	ГОСТ 9293—74 ГОСТ 10157—79 ГОСТ 9293—74 ТУ 51-940—80

Таблица 8.55

Режимы полуавтоматической сварки тонкой меди плавящимся электродом в среде азота

Толщина металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Вылет электрода, мм	Напряжение на дуге, В	Сварочный ток, А	Ориентировочная скорость сварки, м/ч	Расход защитного газа, л/мин
1,5	0,8	10—11	24—25	130—140	18—20	18—20
2,0	1,0	10—12	25—26	170—180	20—25	
2,5	1,0	10—12	26—27	180—200	20—25	
3,0	1,0	10—12	27—30	200—210	20—25	
4,0	1,0	10—12	30—32	220—240	20—25	
5,0	1,6	10—12	31—32	250—260	20—25	
6,0—12,0	1,8	10—12	32—36	260—320	20—25	

Таблица 8.56

Ориентировочные режимы автоматической сварки меди

Толщина металла, мм	Зазор между кромками, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Скорость подачи проволоки, м/ч	Скорость сварки, м/ч	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В
6	0,5—1,0	4	204	27	450—550	30—32
8	1,0—2,0	4	221	25	600—650	28—30
10	2,0—3,0	4	282	25	700—800	26—28
40	2,0—3,0	6	—	2,4	1000—1100	24—26
50	2,0—3,0	6	—	1,5	1000—1100	24—26
60	2,0—3,0	6	—	1,5	1100—1200	24—26
70	2,0—3,0	6	—	1,5	1200—1300	24—26
80	2,0—3,0	6	—	1,5	1300—1400	24—26

8.1.12. Газовая сварка латуни

Таблица 8.57

Подготовка кромок к сварке

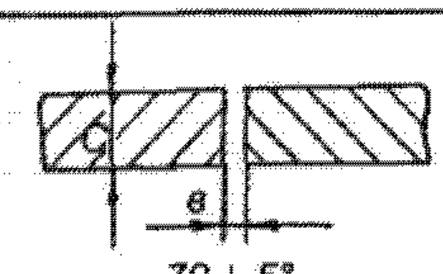
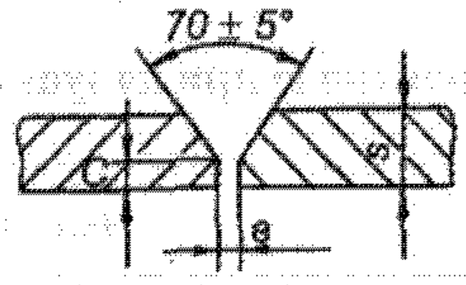
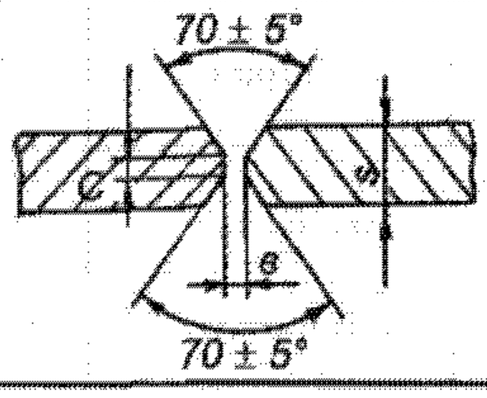
Толщина свариваемого металла, мм	Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых деталей	Притупление, с, мм	Зазор в, мм
До 2		—	1,0—1,5
2—10		1,0—1,5	1,5—2,0
12—20		1,5—2,6	2,0—3,0

Таблица 8.58

Режим сварки

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Номер наконечника горелки	Расход ацетилена, л/ч
2	2	2	300—400
4	4	3	300—500
6	5	3	750—1200
8	6	5	750—1200
10	6	6	1700—2500
12	8	6	1700—2500
14	8	6	1700—2500
16	10	7	1700—2500
18	12	7	1700—2500
20	12	7	1700—2500

Таблица 8.59

Ориентировочные режимы ручной аргонодуговой сварки меди с латунью неплавящимся электродом

Толщина, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр присадочной проволоки, мм	Сварочный ток, А
4	4	3	300—340
5	4—5	3	320—360
6	5	3—4	380—450

8.1.13. Сварка никеля

Таблица 8.60

Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом стыковых соединений никеля без скоса кромок

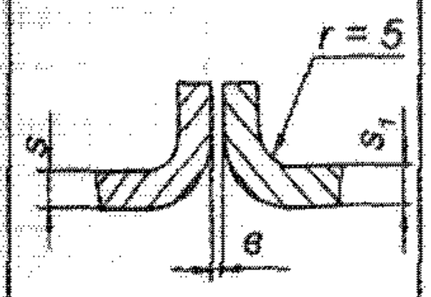
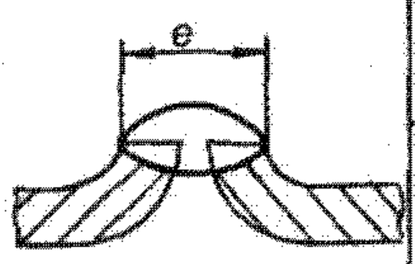
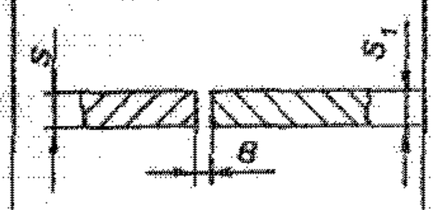
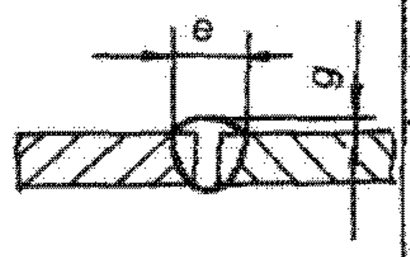
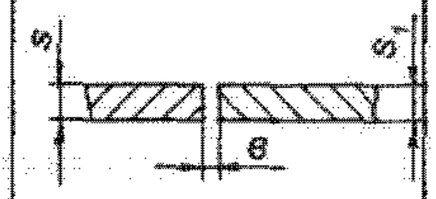
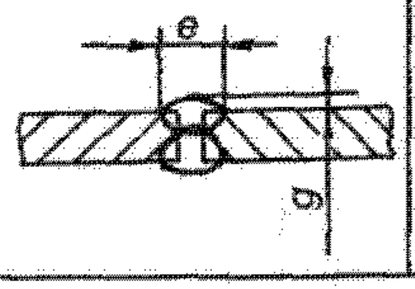
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	$s = s_1$	b: номин.	b: пред. откл.	e: номин.	e: пред. откл.	g: номин.	g: пред. откл.	Диаметр электрода	Режим сварки: сварочный ток, А	Режим сварки: номер слоя в шве	Режим сварки: расход аргона, л/с
Св 1			1,2	0	+0,5	2S	+2	–	–	2,0	90–100	1	0,16–0,20
			3,0		+1,5		+3		–		120–140		0,20–0,23
Св 2			1,0	0	+0,5	5	+1 –2	1,0	±0,5	2,0	40–60	1	0,13–0,20
			1,5								60–80		
			2,0	1	+1,0	6		1,5	±1,0	1,5	90–100		0,16–0,20
			3–4			8	±2				120–140		0,20–0,23
Св 4			2,0	2	±1,0	5	+1 –2	1,5	±1,0	1,5	90–100	2	0,16–0,20
			3–4			7	±2			2,0	100–140		0,20–0,23

Таблица 8.61

Аргонодуговая сварка неплавящимся электродом стыковых соединений никеля с симметричными скосами двух кромок

Размеры, мм

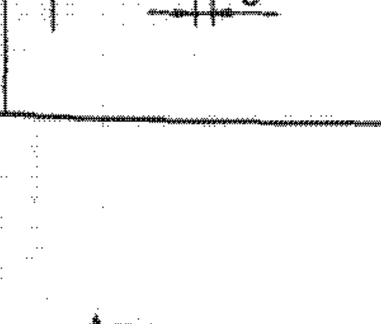
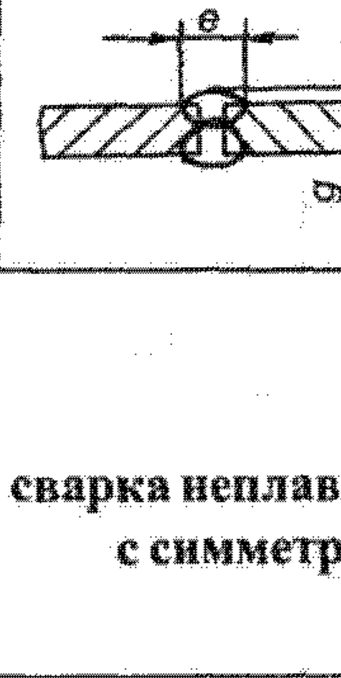
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	$s = s_1$	h	h_1	f	l: не более	h: не более	g: номин.	g: пред. откл.	Режим сварки: Диаметр электрода	Режим сварки: сварочный ток, А	Режим сварки: номер слоя в шве	Режим сварки: расход аргона, л/с
Св 21			4–6	3–5			17		0,5	+1,0	4	180–160	1 и последующие	0,20–0,25
			6–8	5–6	2–3	4–5	19	10		–0,5				0,20–0,26
			8–10	6–8	3–4	6–7	22	12		+2,0		200–250		0,23–0,26
			10–12	8–10	4–5	6–8	25	13		–0,5		250–300		

Таблица 8.62

Сварочные материалы для сварки никеля и механические свойства сварных соединений

Марка электрода (марка проволоки, разработчик электродов)	Механические свойства при 20°С						Область применения
	Наплавленный металл			Сварное соединение			
	предел прочности, МПа, не менее	предел текучести, МПа, не менее	относительное удлинение, %, не менее	предел прочности, МПа, не менее	угол загиба, град., не менее	ударная вязкость, Дж/см², не менее	
ОЗЛ-32 (НМцАТК1, 0-1, 5-2, 5-0,15) ТУ 14-4-786—76 (ВНИИПТхимаш и ОСЗ)	450	300	25	380	120	150	Для сварки конструкций, работающих в агрессивных средах и под давлением
П-2НЧ/НП2 ВНИИПТхимаш	30	–	10	350	60	130	Для ремонта сварных швов
НС-1/НП2 Пермский политехн. институт	–	–	–	410	120	180	Для сварки и ремонта конструкций, работающих без давления с температурой стенки не более 100°С в растворах щелочей
НР-1/НП2 Пермский политехн. институт	–	–	–	380	90	120	

Таблица 8.63

Ручная дуговая сварка штучным электродом стыковых соединений никеля без скоса кромок

Размеры, мм

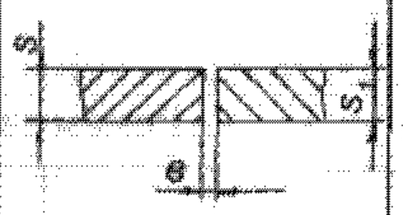
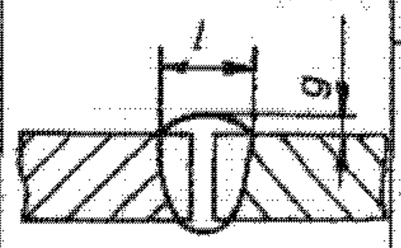
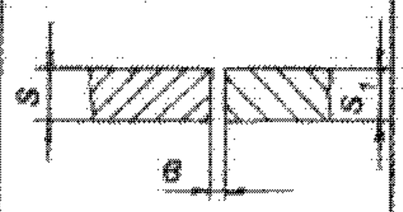
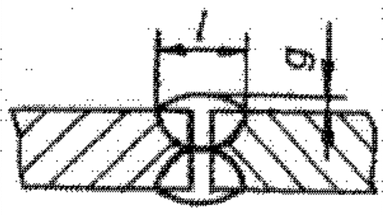
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	a		l (пред. откл. +1 –2)	g (пред. откл. ±1)	Режим сварки		
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		номин.	пред. откл.			диаметр электрода	сварочный ток, А	номер слоя в шве
Сн 2			3	1		7	1,5	3	120-140	1
			4				2			
Сн 4			3-5	2	±1	8	1,5	4	150-180	1—2

Таблица 8.64

Ручная дуговая сварка штучным электродом стыковых соединений никеля со скосом двух кромок

Размеры, мм

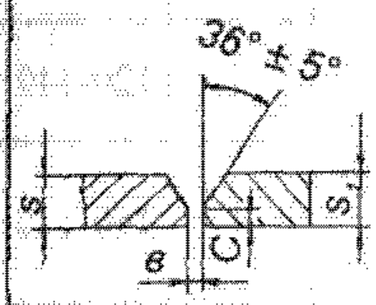
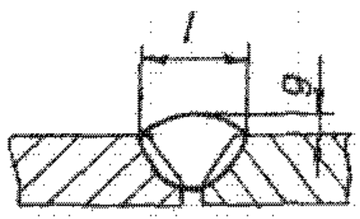
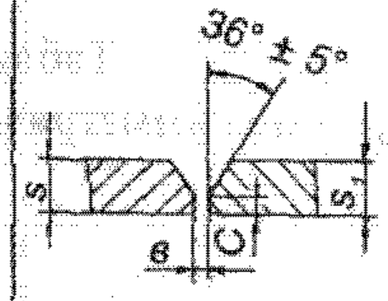
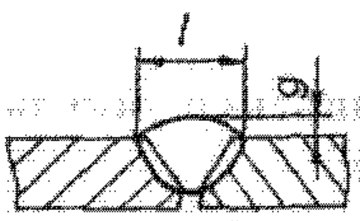
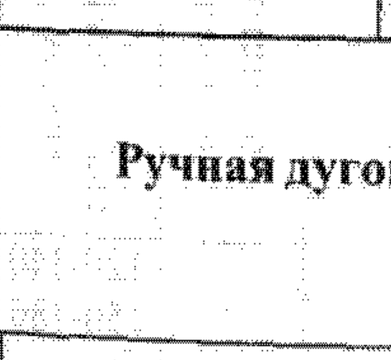
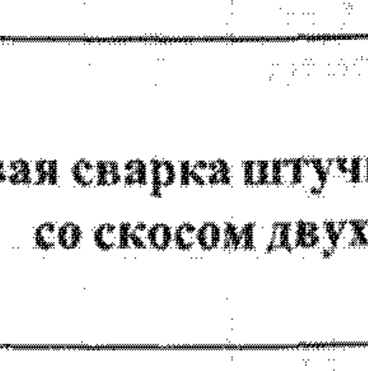
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	$c = e$		l, не более	g		Режим сварки		
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		номин.	пред. откл.		номин.	пред. откл.	диаметр электрода	сварочный ток, А	номер слоя в шве
Сн 15			3-5	1	±1	12	0,5	+1,5 −0,5	3	120-140	1 и последующий
			6-8			18			4	150-180	2 и последующий
			10-12	2	+1 −2	25		+2,0 −0,5	3	120-140	1
									4	150-180	2 и последующий
Сн 15			14-16	2	+1 −2	31	0,5	+2,0 −0,5	3	120-140	1
									4	150-180	2 и последующий
			18-20			38			3	120-140	1
									4	150-180	2 и последующий

Таблица 8.65

Ручная дуговая сварка штучным электродом стыковых соединений никеля со скосом двух кромок с подваркой корня шва

Размеры, мм

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы		$s = s_1$	$C = e$		l, не более	l_1 (пред. откл. +1 −2)	g		Режим сварки		
	подготовленных кромок свариваемых деталей	сварного шва		номин.	пред. откл.			номин.	пред. откл.	диаметр электрода	сварочный ток, А	номер слоя в шве
Сн 18			3-5	1	±1	12	8	1,5	+1,5 −0,5	3	120-140	1 и последующий 1 и подварочный
			6-8			18						
										4	150-180	2 и последующий

Продолжение табл. 8.65

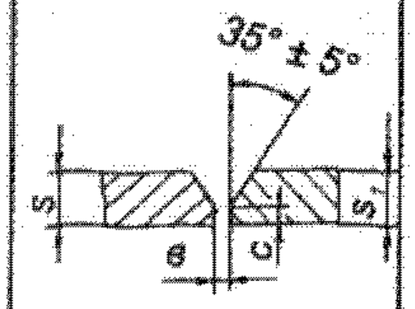
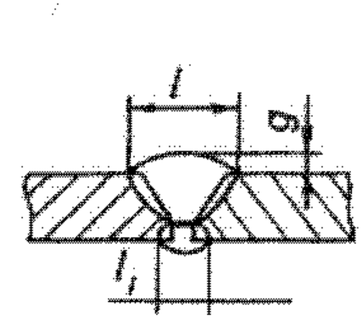
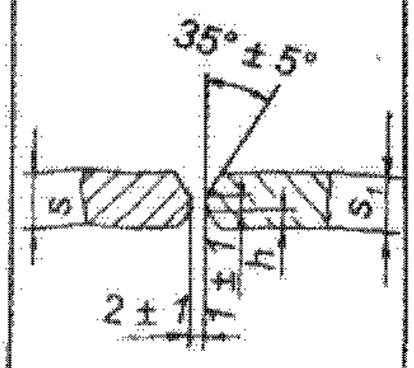
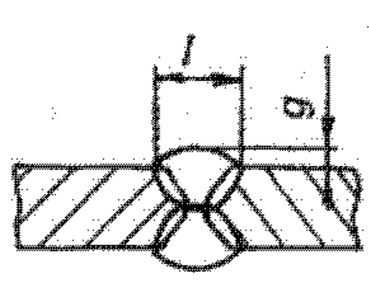
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	$s = s_1$	$c = e$: номин.	$c = e$: пред. откл.	l, не более	l_1 (пред. откл. +1 −2)	g: номин.	g: пред. откл.	Режим сварки: диаметр электрода	Режим сварки: сварочный ток, А	Режим сварки: номер слоя в шве
Сн 18			10-12	2	+2 −2	25	10	1,5	−0,5	3	120-140	1 и подварочный
										4	150-180	2 и последующий
			14-16			31		0,5	+2,0 −0,5	3	120-140	1
										4	150-180	2 и последующий
			18-20			38				3	120-140	1
										4	150-180	2 и последующий

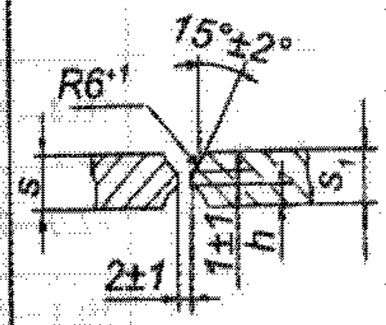
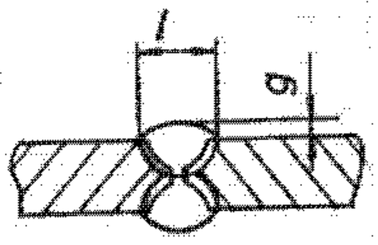
Таблица 8.66

Ручная дуговая сварка штучным электродом стыковых соединений никеля с двумя симметричными скосами двух кромок

Размеры, мм

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	$s = s_1$	h	l, не более	g: номин.	g: пред. откл.	Режим сварки: диаметр электрода	Режим сварки: сварочный ток, А	Режим сварки: номер слоя в шве
Сн 21			12-14	5-7	19	0,5	+2,0 −0,5	3	120-140	1
								4	150-180	2 и последующий
			16-18	7-8	22			3	120-140	1
								4	150-180	2 и последующий
			20-24	9-11	28			3	120-140	1
								4	150-180	2 и последующий
			26-30	12-14	32		+3,0 −0,5	3	120-140	1
								4	150-180	2 и последующий
			30-40	14-19	40			3	120-140	1
								4	150-180	2 и последующий

Продолжение табл. 8.66

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	$s = s_1$	h	l, не более	g: номин.	g: пред. откл.	Режим сварки: диаметр электрода	Режим сварки: сварочный ток, А	Режим сварки: номер слоя в шве
Си 22			30-32	13-14	26	0,5	+2,0 –0,5	3 4	120-140 150-180	1 2 и последующий
			34-36	15-16	28			3 4	120-140 150-180	1 2 и последующий
			38-40	17-18	29			3 4	120-140 150-180	1 2 и последующий

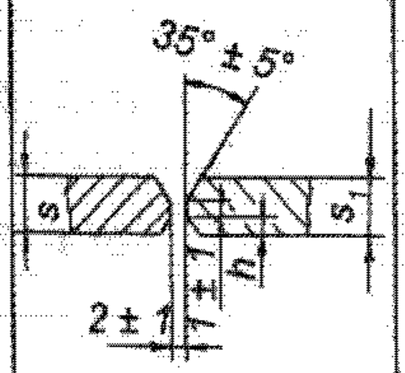
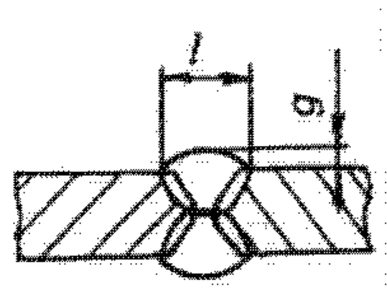
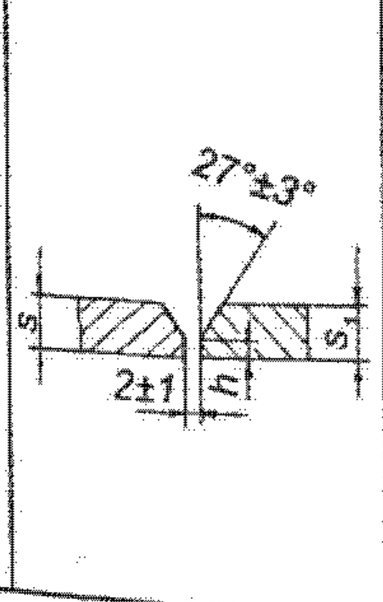
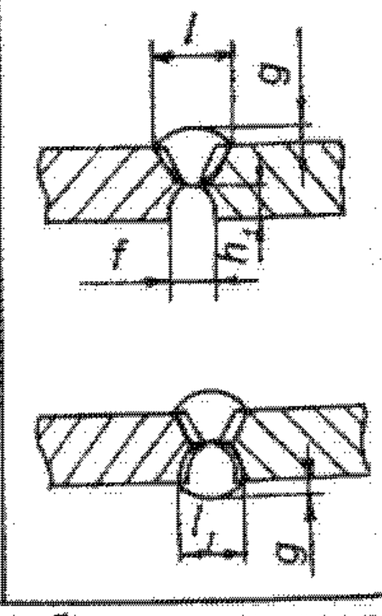
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	$s = s_1$	h	h_1	f	l не более	l_1 не более	g: номин.	g: пред. откл.	Режим сварки: диаметр электрода	Режим сварки: сварочный ток, А	Режим сварки: номер слоя в шве	Режим сварки: расход аргона, л/с
Си 25			12-14	5-7	–	–	19	–	0,5	+2,0	5	250-300	1 и последующие	0,23–0,26
			16-18	7-8	–	–	22	–		–0,5				
			18-20	8-9	–	–	24	–						

Таблица 8.67

Ручная дуговая сварка штучным электродом стыковых соединений никеля со скосом двух кромок с последующей строжкой

Размеры, мм

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	$s = s_1$	h	h_1	f	l не более	l_1 не более	g: номин.	g: пред. откл.	Режим сварки: диаметр электрода	Режим сварки: сварочный ток, А	Режим сварки: номер слоя в шве
Си 25			6-10	6-7	4-5	6-8	22	13	0,5	+1,0 –0,5	3	120-140	1-2 подварочный
			12-14	8-10	6-7	8-10	24	15		+2,0	4	150-180	3 1 и последующий
			16-18	11-13	7-8		31					130-170	1 и последующий
			20-22	14-15	8-10	11-13	32	18		–0,5		150-170	1 и последующий

Примечания. 1. В случае обрыва дуги сварку начинать на шве, отступая от кратера на 60-80 мм, тщательно очистив кратер и шов от шлака. 2. При сварке кольцевых швов необходимо перекрыть начало шва на 50-60 мм. 3. Шлаковую корку и нерасплавленный флюс удалять после остывания шва ниже 100°С.

Таблица 8.68

Автоматическая дуговая сварка двусторонних швов стыковых соединений никеля без скоса кромок на флюсовой подушке

Условное обозначение шва сварного соединения по ГОСТ 8713—79	Толщина металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Номер слоя в шве	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч
Сн 29	5	3	1	370—400	32—34	25,9—27,7	50,4—57,6
			2	420—450			72,0—82,8
	6	4	1	450—500	30—34	27,7—29,9	50,4—57,6
			2	500—550			68,4—72,0
	7		1				
			2	600—650			72,0—82,8
	8		1	550—600	34—36		68,4—72,0
			2	600—650			72,0—82,8
	10		1 2	650—700		25,9—27,7	50,4—57,6
	12		1 2	700—750	36—40	23,8—25,9	61,2—68,4
	14		1	750—800			
			2		38—40		68,4—72,0
	16	5	1			18,4—23,8	
			2	800—850	38—42		72,0—82,0
	18		1				
			2	850—900	40—42	18,0—18,4	
	20		1 2	900—950	42—44		82,8—86,4

Таблица 8.69

Автоматическая дуговая сварка двусторонних швов стыковых соединений никеля без скоса кромок на флюсовой подушке с последующей строжкой

Условное обозначение шва сварного соединения по ГОСТ 8713—79	Толщина металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Номер слоя в шве	Сварочный ток, А	Напряжение на дуге, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч
Сн 30	10	4	1—2	650—700	36—40	25,9—27,7	50,4—57,6
	12			700—750		23,8—25,9	61,2—68,4
	14	5					
	16		1—3	750—800	38—40		72,0—82,8
	18					18,4—23,8	
	20			850—900			57,6—61,2

Таблица 8.70

Автоматическая дуговая сварка двусторонних швов стыковых соединений никеля со скосом двух кромок на флюсовой подушке

Условное обозначение шва сварного соединения по ГОСТ 8713—79	Толщина металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Номер слоя в шве	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч
Сн 33	14	5	1	800—850	38—40	27,7—29,9	97,2—104,4
			2	700—750			50,4—57,6
	16		1(2)*	800—850	40—42		72,0—86,4
			2	700—750			50,4—57,6
	18		1(2)*	800—850			97,2—104,4
			2				50,4—57,6
	20		1(2)*	700—750			118,6—129,6
			2				50,4—57,6

(2)* – первый слой может быть выполнен за 2 прохода.

Таблица 8.71

Автоматическая дуговая сварка двусторонних швов стыковых соединений никеля со скосом двух кромок с предварительной подваркой корня шва

Условное обозначение шва сварного соединения по ГОСТ 8713—79	Толщина металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Номер слоя в шве	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч
Сн 21	14	3	1	370—400	32—40	29,9—31,7	50,4—57,6
		5	2 и последующий	600—650	30—34	27,7—29,9	72,0—82,8
	16	3	1	370—400	32—40	29,9—31,7	50,4—57,6
		5	2 и последующий	600—650	30—32	27,7—29,9	72,0—82,8
	18	3	1	370—400	32—40	29,9—31,7	50,4—57,6
		5	2 и последующий	750—800	22—24	18,4—23,8	68,4—72,0
	20	3	1	370—400	30—32	29,9—31,7	50,4—57,6
		5	2 и последующий	800—850	24—26	23,8—25,9	68,4—72,0

Таблица 8.72

Автоматическая дуговая сварка двусторонних стыковых соединений никеля со скосом двух кромок с предварительным наложением подварочного шва

Условное обозначение шва сварного соединения по ГОСТ 8713—79	Толщина металла, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Номер слоя в шве	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч
Сн 81	5	3	1	440—460	32—34	18,0—23,8	61,2—68,4
	6	4		550—600			82,8—86,4
	7			600—650	33—35	18,0—18,4	90,0—97,2
	8						111,6—118,8
	9	5			35—37		86,4—90,0
	10			650—700			97,2—104,4
	12				34—36		111,6—118,8
	14						

Таблица 8.73

Сварочные материалы для сварки сплавов на никелевой основе

Марка свариваемого сплава	Марка проволоки, технические условия	Марка и тип электрода, ГОСТ
ХН65МВ (ЭП567) ХН65МВУ (ЭП760)	Прутки из листа s = 1,6-3 мм сплава ХН65МВУ (ЭП760) ХН63МБ-ВИ (ЭП758У-ВИ) ТУ 14-1-3685—84 ХН65МВ (ЭП567)	ОЗЛ-21 (Э-02Х20Н60М15В3) ГОСТ 9466—75 ГОСТ 10052—75
ХН65МБ	ТУ 14-1-683-79 ХН63МБ-ВИ (ЭП758У-ВИ)	—
Н70МФВ-ВИ (ЭП814А-ВИ)	Н70М-ВИ (ЭП495-ВИ) ТУ 14-1-683—72 Н65М-ВИ (ЭП982-ВИ) ТУ 14-1-3281—81	—
Н65М-ВИ (ЭП982-ВИ)	Н65М-ВИ (ЭП982-ВИ) ТУ 14-1-3281—81	—
ХН78Т (ЭИ-435)	ХН78Т (ЭИ-435) ТУ 14-1-997—74 ХН75МБТЮ (ЭИ-602) ТУ 14-1-997—74	ОЗЛ-25Б (Э-10Х20Н70Г2М2Б2В) ГОСТ 9466—75 ГОСТ 10052—75 ОЗЛ-23 ГОСТ 9466—75 ТУ 14-1-503—74

Таблица 8.74

Режимы аргонодуговой сварки (ручной) сплавов ХН65МВ, ХН65МВУ, ХН63МВ

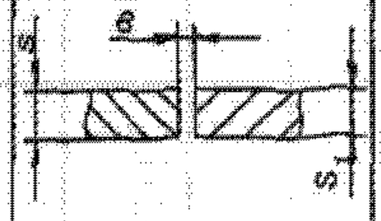
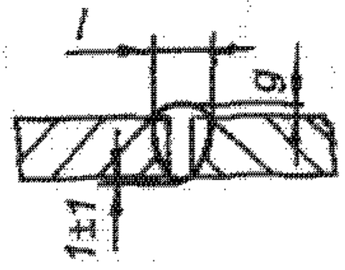
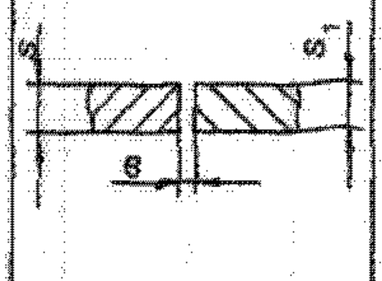
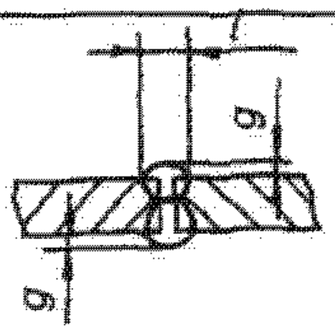
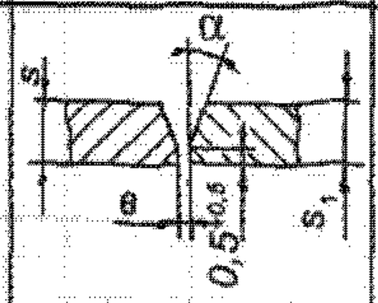
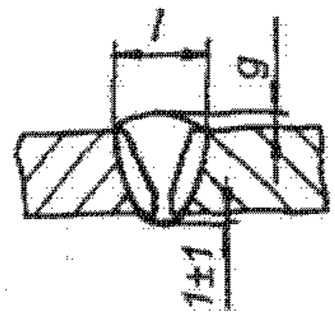
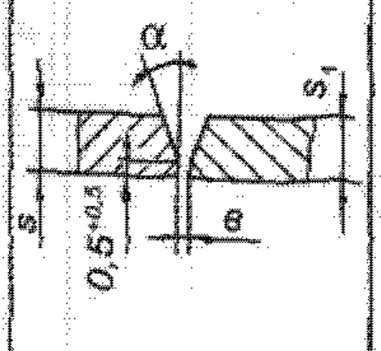
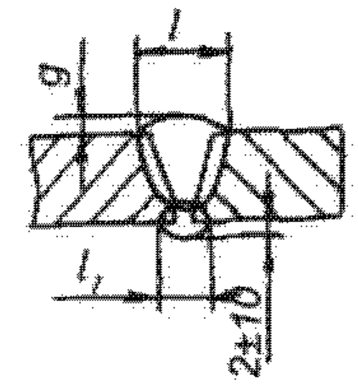
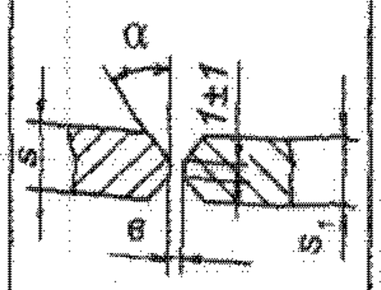
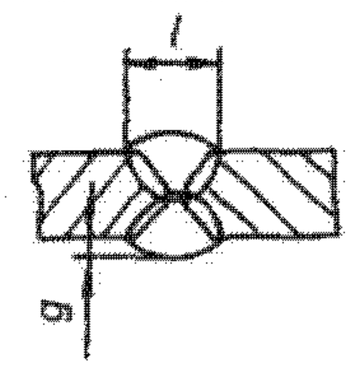
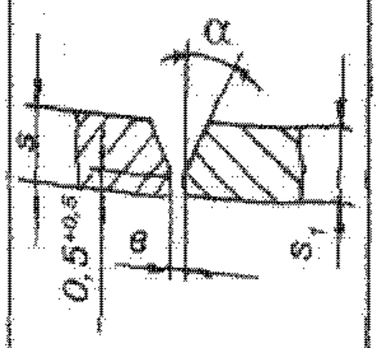
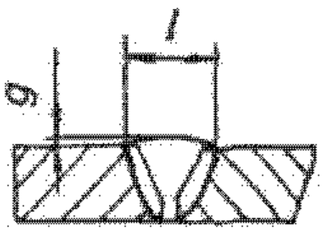
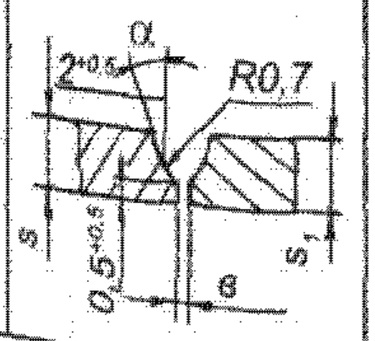
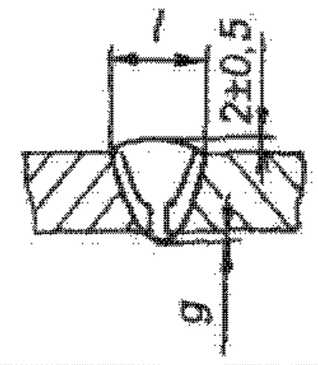
Толщина свариваемого металла, мм	Форма подготовки кромок и характер выполненного шва	Количество проходов	Диаметр, мм		Сварочный ток, А	Расход аргона, л/мин	
			вольфрамового электрода	сварочной проволоки		на горелку	на защиту обратной стороны шва
2 4	Без скоса кромок, односторонний и двусторонний	1—2 2—3	1,5—2,0 2,0	2,0 2,0	60—75 75—90	8—10 8—10	2—3 2—3
4 6 10	Со скосом двух кромок, односторонний и двусторонний	2—3 4—5 10—12	2,0—2,5 2,5—3,0 2,5—3,0	2,0—3,0 2,0—3,0 3,0	80—100 80—110 100—120	8—10 10—12 12—14	2—3 4—6 4—6
6 8 10	С двумя симметричными скосами двух кромок, двусторонний	4—5 6—8 8—10	2,5—3,0 2,5—3,0 3,0	2,0—3,0 2,0—3,0 2,0—3,0	80—110 90—120 110—130	10—12 10—12 12—14	4—6 4—6 4—6
12	Со скосом двух кромок односторонний	8—12	4	3	120—140	12—15	4—6
16	С двумя симметричными скосами двух кромок	10—12	4	3	120—140	12—15	4—6
20	Двусторонний	14—16	4	3	120—140	12—15	4—6

Примечание. Напряжение должно быть 12—13 В.

Таблица 8.75

Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных стыковых соединений сплавов ХН65МВ, ХН65МВУ и ХН63МВ

Размеры, мм

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	$в$: номин.	$в$: пред. откл.	h_1 ±2	g: номин.	g: пред. откл.	l: номин.	l: пред. откл.	α град. пред. откл. ±2°
С1н			ИНп	от 1,8 до 2,0	0,5					7	+3	–
С2н			ИНп	св. 2,0 до 3,0	0,5		+0,5	–	1,0	9	+3	–
С3н			ИНп	св. 3,0 до 8,0	1,0					10	±2	35
				св. 8,0 до 10,0	1,5					10	±2	30
С4н			ИНп	от 4,0 до 6,0	1,0			8	1,0	10	±2	35
				св. 6,0 до 10,0	1,5					14	±2	30
				св. 10,0 до 14,0				10	2,0	15	±2	25
С5н			ИНп	от 10,0 до 12,0			±0,5			9	±2	
				св. 12,0 до 16,0				–	1,0	12	±2	
				св. 16,0 до 20,0						15	±2	
С6н			ЗП	от 1,5 до 2,0	0,0		+0,1	–	1,5	7	+2	35
С7н			ЗП	св. 3,0 до 4,0	0,6		+0,2		1,4	9	+4	20
				св. 4,0 до 6,5					1,5			

Примечание. Сварные соединения типов С6н и С7н применяются при сварке труб.

Таблица 8.76

Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных угловых соединений сплавов ХН65МВ, ХН65МВУ и ХН63МБ

Размеры, мм

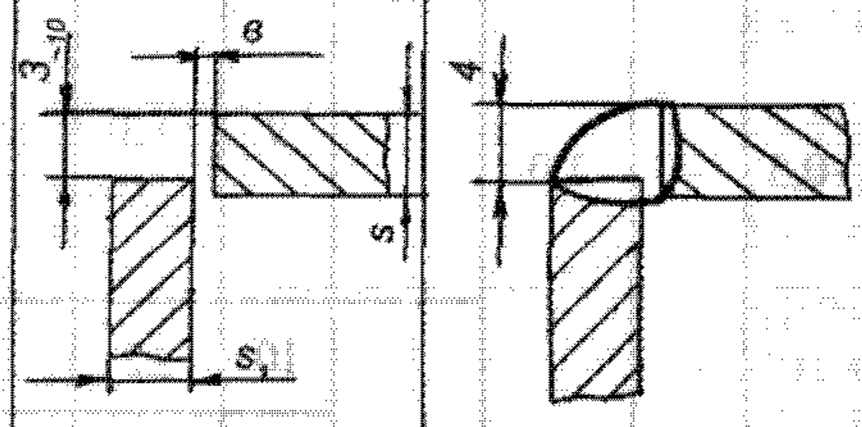
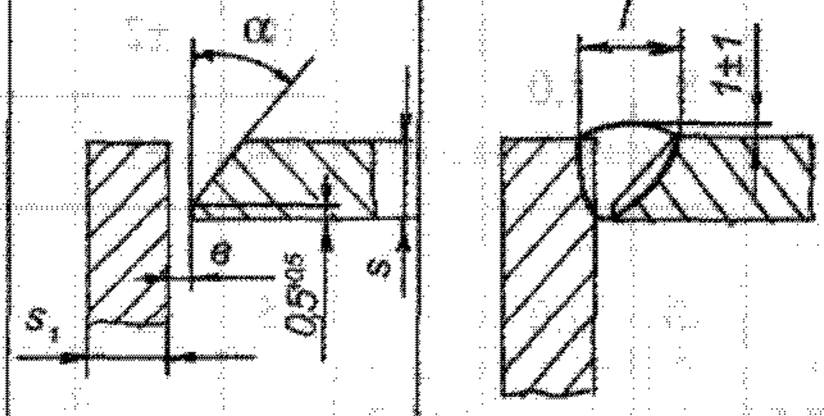
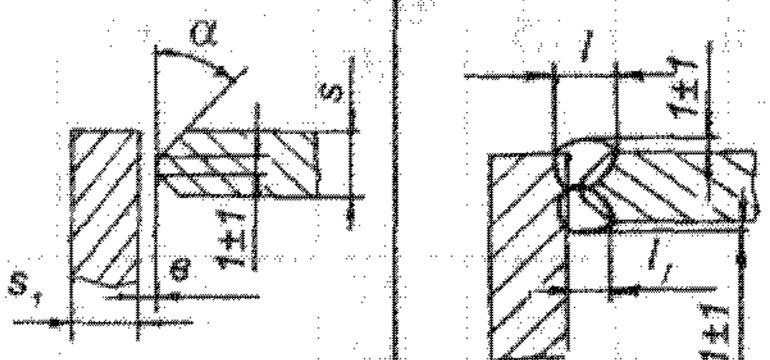
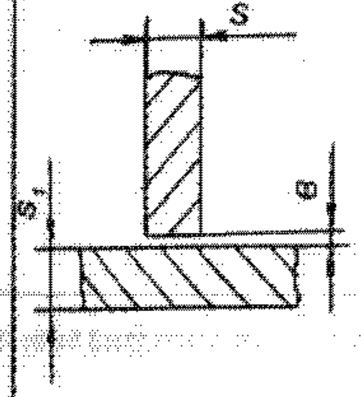
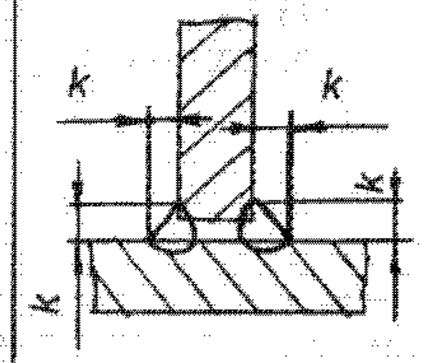
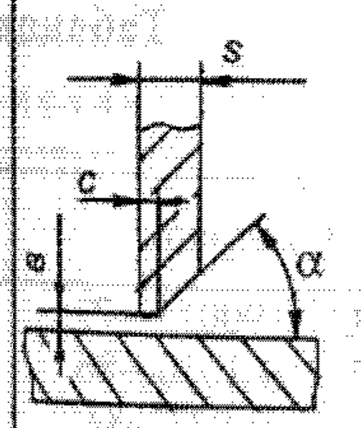
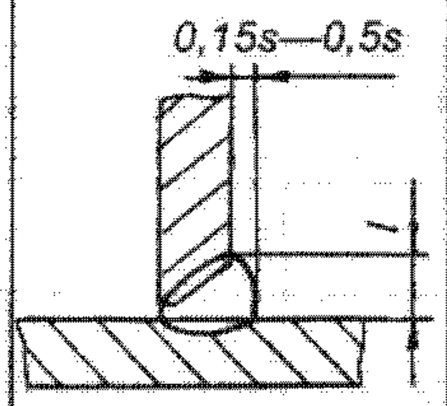
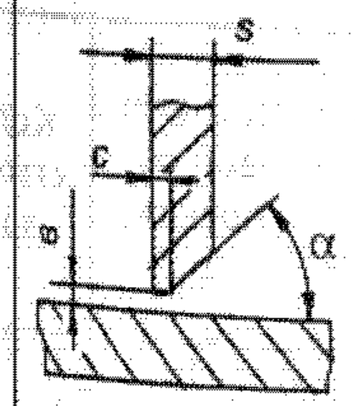
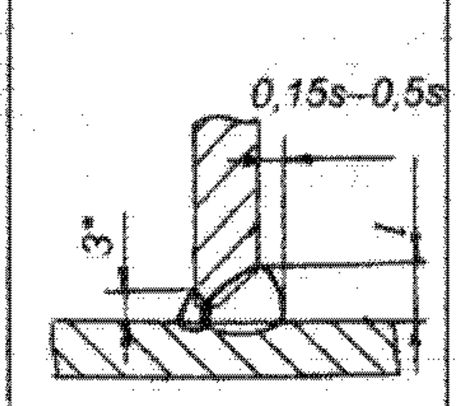
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	s	b: номин.	b: пред. откл.	l: номин.	l: пред. откл.	l_1: номин.	l_1: пред. откл.	α град. пред. откл. ±2°
У1н		$s \geq 2$	ИНп	от 6,0 до 10,0	0,5	+0,5	–	–	–	–	–
У2н			ИНп	от 6,0 до 10,0	1,0	±1,0	18	±2,0	–	–	50
				св. 10,0 до 20,0	2,0		22		–	–	
У3н			ИНп	от 6,0 до 10,0	0,5	+1,5	7	±2,0	5	±1,0	50
				св. 10,0 до 20,0			17		15		

Таблица 8.77

Основные типы, конструктивные элементы и размеры сварных тавровых соединений сплавов ХН65МВ, ХН65МВУ и ХН63МБ

Размеры, мм

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: шва сварного соединения	Способ сварки	$s = s_1$	e: номин.	e: пред. откл.	c: номин.	c: пред. откл.	l: номин.	l: пред. откл.	α град. пред. откл. ±2°
Т1н		 $k = s$	ИНп	от 2,0 до 3,0	0	+1,0	–	–	–	–	–
				св. 3,0 до 6,0							
				св. 6,0 до 12,0							
Т2н		 0,15s—0,5s	ИНп	от 3,0 до 4,0	0	+1,0	0,5	+0,5	7	±1,0	50
				св. 4,0 до 8,0					10		
				св. 8,0 до 14,0		+1,5			16	±2,0	
				св. 14,0 до 16,0		+2,0			18		
Т3н		 0,15s–0,5s	ИНп	от 3,0 до 4,0	0	+1	0,5	+0,5	7	±1,0	50
				св. 4,0 до 8,0		+1,5			10		
				св. 8,0 до 14,0					16	±2,0	
				св. 14,0 до 20,0		+2,0			18		

Примечания. 1. Размеры прихваток 15–20 мм, расстояние между прихватками 150–200 мм при толщине свариваемых деталей до 6 мм и 200–250 мм при толщине более 6 мм. 2. При возобновлении сварки после случайного или вынужденного обрыва дуги окончание шва следует перекрывать на 10–15 мм. Поверхность перекрываемого участка шва перед этим должна быть зачищена абразивным кругом или обезжирена.

Таблица 8.78

Сварочные материалы для сварки сплавов на основе никеля со сталями

Марка свариваемых материалов		Проволока для аргонодуговой сварки		Электроды для ручной дуговой сварки	
сплав	сталь	марка по ГОСТ 2246—70 или техническим условиям	рабочая температура, °С, не более	марка или тип по ГОСТ 10052—75 или техническим условиям	рабочая температура, °С
ХН65МВ (ЭП567) ХН65МВУ (ЭП760) ХН63МБ (ЭП758У) Н70МФВ-ВИ (ЭП814А-ВИ) Н65М-ВИ (ЭП982-ВИ) ХН78Т (ЭИ435)	Углеродистые и низколегированные ВСт3сп, 10, 20, 16ГС, 09Г2С	Св-07Х25Н13	До 350°С В пределах применения сталей по ОСТ 26-291—79	ОЗЛ-6 (Э-10Х25Н13Г2) ЭА-395/9	До 350°С В пределах применения сталей по ОСТ 26-291—79
	Высоколегированные и хромоникелевые и хромоникельмолибденовые типа Х18Н10Т и Х17Н13М2Т	Св-10Х16Н25АМ6[1] Св-01Х23Н28М3Д3Т		ЭА-395/9[1] (11Х15Н25М6АГ2) ОСТ 5.9244-75 ОЗЛ-6[1] (Э-10Х25Н13Г2)	

Примечания. 1. Без требования по стойкости против МКК. 2. Допускается также применение сварочных материалов, предназначенных для выполнения однородных соединений сплавов.

8.1.14. Сварка титановых сплавов

Таблица 8.79

Сварочные материалы

Марка свариваемого сплава	Марка проволоки	Стандарт
ВТ1-00, ВТ1/0, ГОСТ 19807—74 ПТ1М, ОСТ 1-92077—78	ВТ1-00 ВТ1-00С	ОСТ 190015—77 ТУ 1-9-1056—86 ТУ 1-9-922—82
ОТ4-0, ГОСТ 19807—74	ОТ4-1	ОСТ 190015—77 ТУ 1-9-1056—86

Таблица 8.80

Ориентировочные режимы ручной аргонодуговой сварки титановых сплавов

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Расход аргона, л/мин		Диаметр сопла горелки, мм	Количество проходов
					для защиты дуги	для защиты обратной стороны шва		
0,5—1,0	1,5—2,0	1,0—1,5	25—60	8—10	15—20	10—15	14—16	1
1,6	1,5—2,0	1,5—2,0	60—80	10—12	15—20	10—15	14—16	1
2,0	2,0—2,5	1,5—2,0	80—100	10—14	15—20	10—15	14—16	1
3,0	2,5—3,0	1,5—3,0	120—160	10—14	15—20	10—15	16—18	1
4,0	2,5—3,0	1,5—3,0	120—160	10—16	15—20	10—15	18—20	2
6,0	2,5—3,0	1,5—3,0	140—180	10—16	15—20	10—15	18—20	3—4
8,0—10,0	2,5—3,0	2,0—3,0	160—180	10—16	16—20	10—15	18—20	8—10
12,0	3,0—4,0	2,0—4,0	180—220	10—16	16—20	10—15	18—20	12
14,0	3,0—4,0	3,0—4,0	200—220	10—16	20—30	8—12	18—20	14
16,0	3,0—4,0	3,0—4,0	200—240	10—16	20—30	8—12	18—20	16
18—20	4,0—5,0	3,0—4,0	200—300	10—16	20—30	8—12	18—20	20
20—26	4,0—5,0	4,0—5,0	250—300	10—16	20—30	8—12	18—20	24
26—30	4,0—5,0	4,0—5,0	250—300	10—16	20—30	8—12	18—20	26

Таблица 8.81

Ориентировочные режимы автоматической сварки стыковых швов титана неплавящимся электродом

Толщина свариваемого металла, мм	Диаметр вольфрамового электрода, мм	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи сварочной проволоки, м/ч	Расход аргона, л/мин	
							для защиты дуги	для защиты обратной стороны шва
Без присадочного металла								
0,5	1,5	—	30—45	8—10	45—50	—	8—10	4,4
0,8	1,5	—	60—80	8—10	30—35	—	8—10	2—4
1,0	1,5	—	80—100	8—10	25—35	—	10—12	2—4
1,5	1,5—2,0	—	120—140	8—10	25—35	—	10—12	2—4
2,0	2,0—2,5	—	160—200	9—11	25—35	—	12—14	4—6
2,5	2,0—2,5	—	180—240	10—12	25—35	—	12—14	4—6
3,0	2,5—3,0	—	260—300	10—12	25—30	—	14—16	4—6
С присадочным металлом								
3	2,5—3,0	1,5—2,0	200—260	8—10	20—25	20—50	14—16	4—6
4	2,5—3,0	1,5—2,0	200—260	8—10	15—20	15—50	14—16	4—6
6	2,5—3,0	1,5—2,0	200—260	8—10	15—20	25—70	20—30	5—8
10—12	2,5—3,0	1,5—2,0	200—260	8—10	15—20	25—70	20—30	5—8

Примечание. Превышение кромок должно быть не более 10 % от толщины металла.

Таблица 8.82

Ориентировочные режимы автоматической аргонодуговой сварки стыковых швов титана плавящимся электродом

Толщина свариваемого металла, мм	Характер выполненного шва	Диаметр сварочной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Скорость сварки, м/ч	Скорость подачи проволоки, м/ч	Расход газа для защиты, л/мин		
						сварочной ванны и шва	обратной стороны шва	инертный газ (в горелку)
8—10	Односторонний со скосом двух кромок на съемной подкладке	1,6	360—400	15—20	80—90	12—14 30—40	3—6	гелий аргон
8—10	Двусторонний с двумя симметричными скосами двух кромок	1,6	340—360	25	65—70	14—16 30—40	3—6	гелий аргон
12—14	Односторонний со скосом двух кромок на съемной подкладке	1,6	580—600	17	145	14—16 30—40	8—10	гелий аргон
12—14	Двусторонний с двумя симметричными скосами двух кромок	1,6	360—400	20—25	100—120	14—16 30—40	8—10	гелий аргон
16—20	Двусторонний с двумя симметричными скосами двух кромок	1,6	440—480	20—22	130—135	14—16 30—40	8—10	гелий аргон

Таблица 8.83

Ориентировочные режимы автоматической двусторонней сварки стыковых швов титана неплавящимся электродом в защитном газе

Толщина свариваемого металла, мм	Проходы	Инертный газ (в горелку)	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Скорость сварки, м/ч	Расход газа, л/мин	
						в горелку	в приставку, аргон
10	На провар	гелий	350—400	20—22	12—14	40—50	30—40
	Сглаживание	аргон	340—300	13—15	13—15	20—25	—
		гелий	150—200	20—22	10—12	—	—
20	На провар	гелий	550—600	22—24	7—8	60—70	35—45
	Сглаживание	гелий	200—250	23—25	9—10	40—50	—
30	На провар	гелий	960—980	17—18	12—14	60—70	40—50
	Сглаживание	гелий	350—400	25—28	9—10	45—55	35—45
34—36	На провар	гелий	970—1000	15—16	10—12	60—70	35—45
	Сглаживание	гелий	400—450	26—28	9—10	50—70	—

Таблица 8.84

Режимы автоматической дуговой сварки титановых сплавов под флюсом

Толщина свариваемого металла, мм	Метод сварки	Диаметр сварочной проволоки, мм	Режим сварки			
			сварочный ток, А	напряжение дуги, В	скорость подачи сварочной проволоки, м/ч	скорость сварки, м/ч
3	На остающейся подкладке	2,0	190—210	28—30	162	50
3	То же	2,5	240—260	30—32	162	50
4	То же	2,5	270—290	30—32	189	50
4	На медной подкладке	3,0	340—360	30—32	150	50
5	На остающейся подкладке	3,0	340—360	30—32	150	50
5	На медной подкладке	3,0	370—390	30—32	150	50
6	На остающейся подкладке	3,0	380—400	30—32	162	50
6	На медной подкладке	3,0	390—420	28—30	175	50
6	Двусторонняя	2,5	240—260	28—32	162	50
8	На медной подкладке	4,0	590—600	30—32	95	45
8	Двусторонняя	3,0	310—300	28—30	189	50
10	На медной подкладке	4,0	600—610	32—34	95	45
10	Двусторонняя	3,0	340—360	30—32	150	50
12	То же	3,0	350—400	28—30	162	50
15	То же	3,0	390—420	30—32	175	30

Таблица 8.85

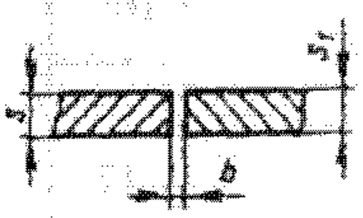
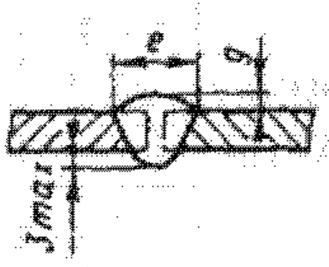
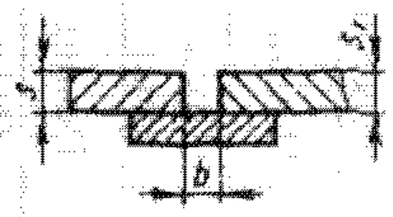
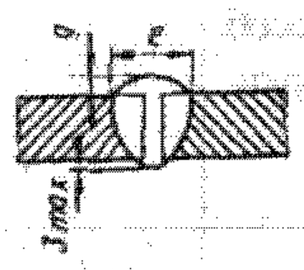
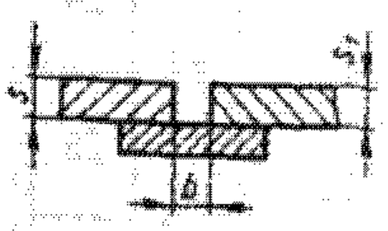
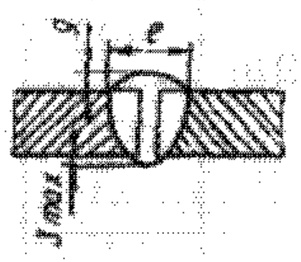
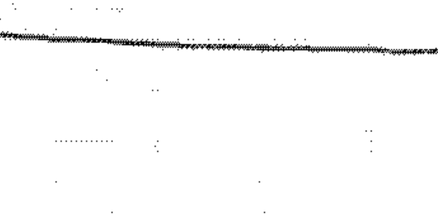
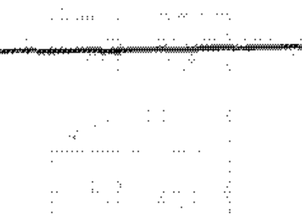
Режимы электрошлаковой сварки титановых сплавов пластинчатым электродом

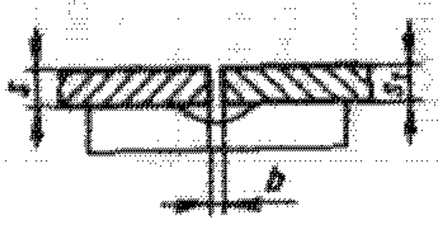
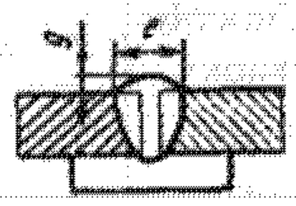
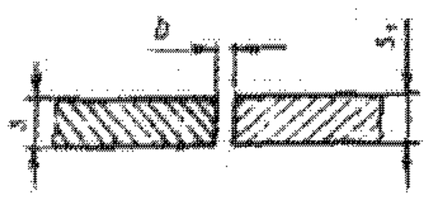
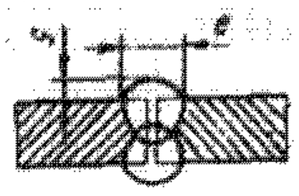
Толщина свариваемого металла, мм	Толщина пластинчатого электрода, мм	Плотность тока, $А/мм^2$	Напряжение дуги, В	Масса засыпаемого флюса, г
30—40	8—10	1,0—1,4	16—18	80—100
40—60	10—12	1,4—1,7		100—140
60—90	10—12	1,6—2,2		140—200
90—120	10—12	2,2—2,4		180—250

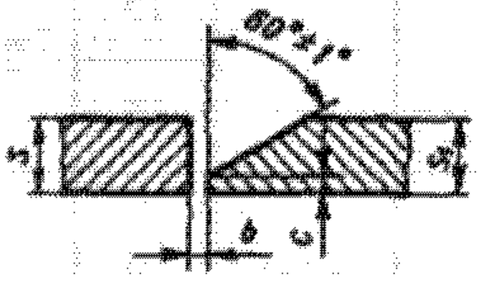
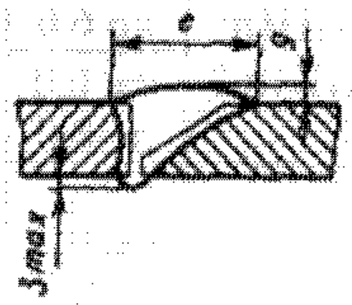
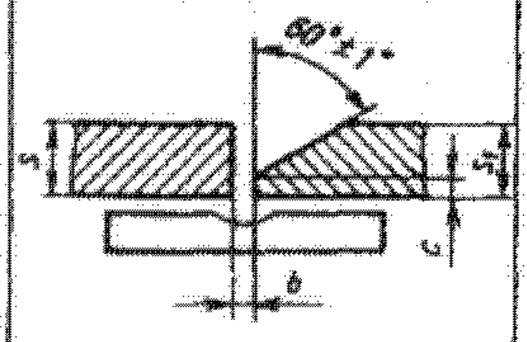
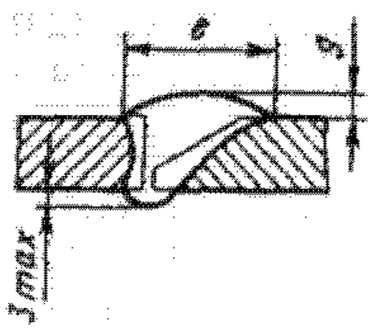
8.1.15. Сварные соединения из алюминия и алюминиевых сплавов

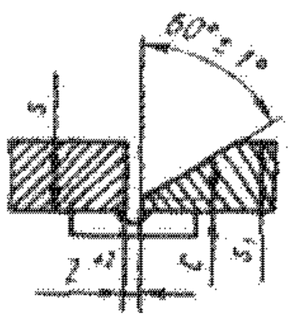
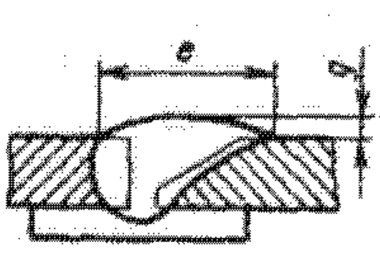
Конструктивные элементы и размеры сварных соединений из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 14806—80)

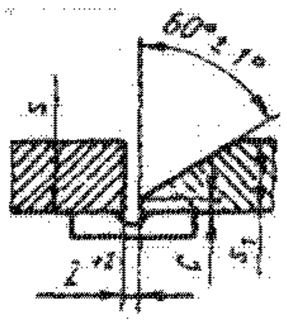
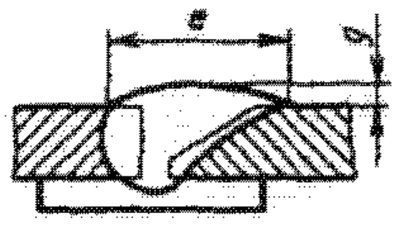
Размеры, мм

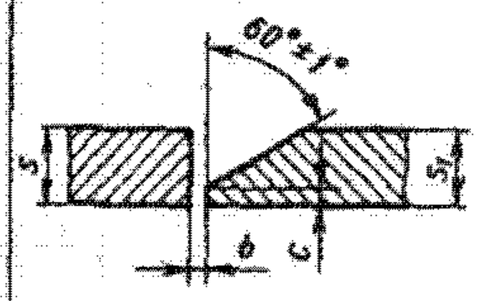
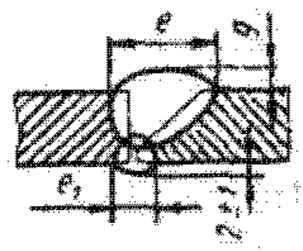
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e, не более	g: Номин.	g: Пред. откл.
Стыковые соединения									
С2			РИНп; АИНп	от 0,8 до 1,0	0	+0,5	7	0,8	±0,5
				св. 1,0 до 2,5			10		
				св. 2,5 до 4,0		+1,0	12	1,0	
С4			РИНп; АИНп	от 0,8 до 1,0	0	+0,5	7	0,8	±0,5
				св. 1,0 до 2,0			10		
				св. 2,0 до 4,0		+1,0	12	1,0	
				св. 4,0 до 5,0			14		
			АИНп; АИНп-3	св. 4,0 до 6,0			15	2,0	±1,0
				св. 6,0 до 8,0			16		
С4			АИНп; АИНп-3	св. 0,8 до 10,0	0	+1,0	19	2,0	±1,0
				св. 10,0 до 12,0		+2,0	21		
				св. 12,0 до 14,0			22		
				св. 14,0 до 16,0			23		
С5			РИНп; АИНп	от 0,8 до 1,0	0	±1,5	8	0,8	±0,5
				св. 1,0 до 2,0			10		
				св. 2,0 до 4,0	1	±1,0	12	1,0	
				св. 4,0 до 5,0			14		
			АИНп; АИНп-3	св. 4,0 до 6,0	1,5	±1,5	15	2,0	±1,0
				св. 6,0 до 8,0			16		

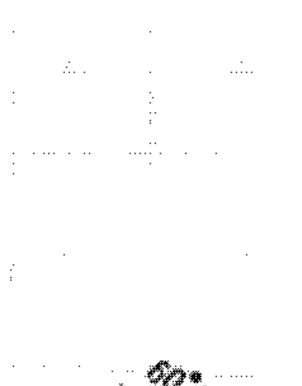
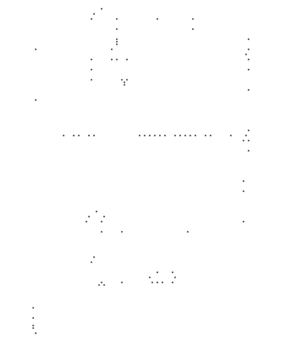
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	e, не более	g: Номин.	g: Пред. откл.
С5			АИНп; АИНп-3	св. 8,0 до 10,0	1,5	±1,5	19	2,0	±1,0
				св. 10,0 до 12,0			21		
				св. 12,0 до 14,0			22		
				св. 14,0 до 16,0			23		
С7			РИНп; АИНп	от 2 до 3	0	+1	10	1	±0,5
				св. 3 до 4			12		
				св. 4 до 6					
			АИНп	св. 6 до 8			16	2	±1,0
				св. 8 до 10		+2	19		

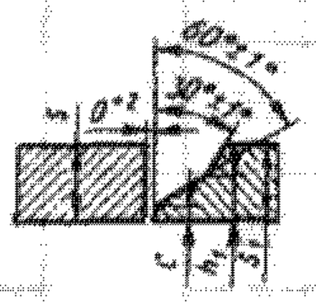
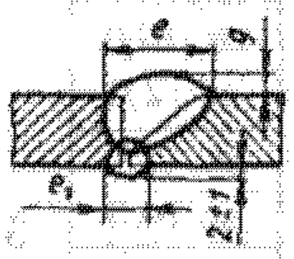
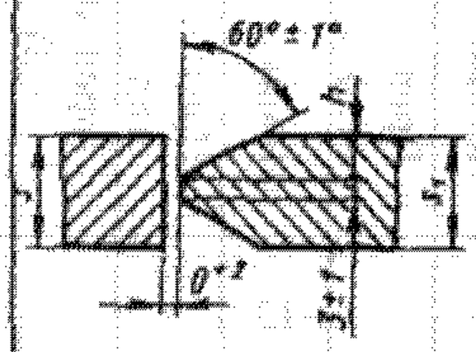
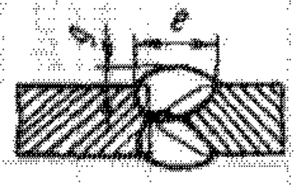
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С8			РИНп	от 4 до 6	0	+1	2	±1	13	±2	2	±1
				св. 6 до 8					16			
				св. 8 до 10			3		20			
С9				св. 10 до12		+2			24			
				св. 12 до 14					28	±3	3	
				св. 14 до 16					32			
				св. 16 до 18					36			
				св. 18 до 20					40			

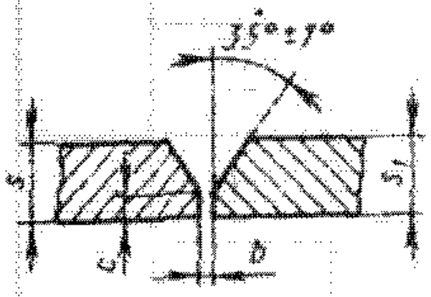
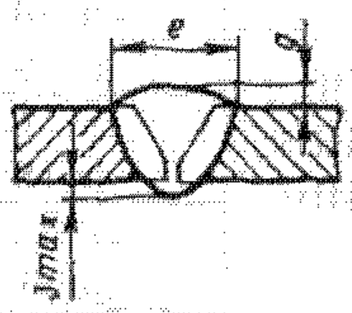
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	c: Номин.	c: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С10			РИНп	от 4 до 6	2	±1	16	±2	2	±1

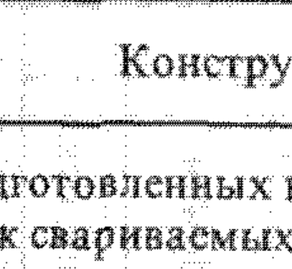
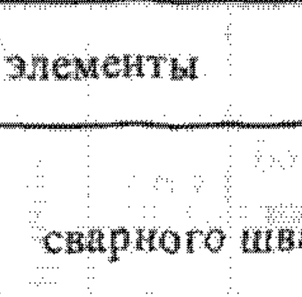
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	c Номин.	c Пред. откл.	e Номин.	e Пред. откл.	g Номин.	g Пред. откл.
С10			РИНп	св. 6 до 8	2	±1	19	±2	2	±1
				св. 8,0 до 10,0	3		22			
				св. 10,0 до 12,0			25			
				св. 12,0 до 14,0			29	±3	3	
				св. 14,0 до 16,0			33			
				св. 16 до 18			37			
				св. 18 до 20			41			

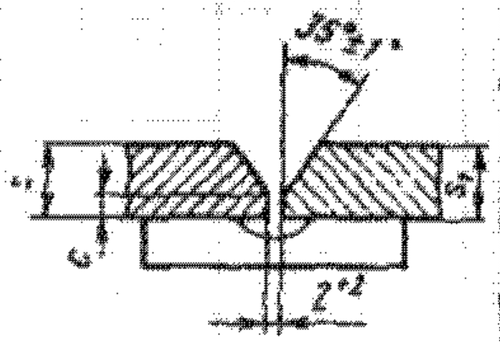
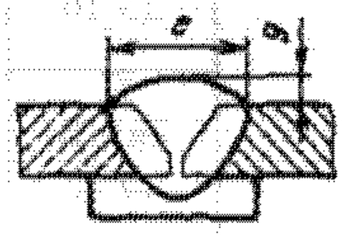
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b Номин.	b Пред. откл.	c Номин.	c Пред. откл.	e Номин.	e Пред. откл.	e_1 (пред. откл. ±2)	g Номин.	g Пред. откл.
С12			РИНп	от 4 до 6	0	+1	2	±1	13	±2	10	2	±1
				св. 6 до 8					16				
				св. 8 до 10		+1			20	±2	10	2	
				св. 10 до12					24				
				св. 12 до 14		+2			28	±3	13	3	±1
				св. 14 до 16					32				
				св. 16 до 18					36				
				св. 18 до 20					40				

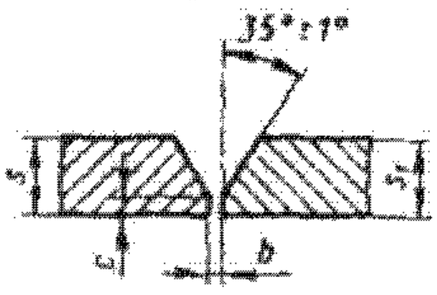
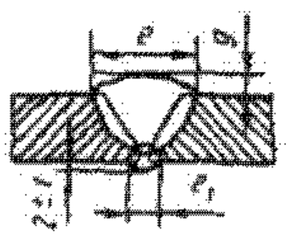
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	c (пред. откл. ±1)	h_1 (пред. откл. ±1)	e Номин.	e Пред. откл.	g Номин.	g Пред. откл.
С14			РИНп	от 16 до 18	2	11	25	±2	3	±1
				св. 18 до 20			26			

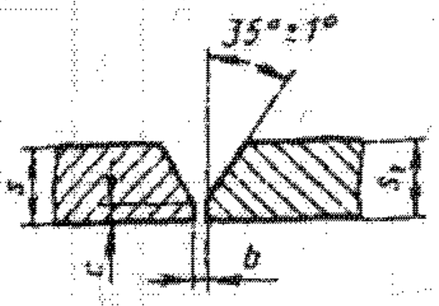
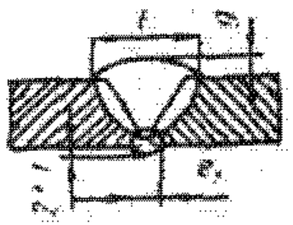
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	c (пред. откл. ±1)	h_1 (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 14			РИНп	св. 20 до 22	2	11	27	±2	3	±1
				св. 22 до 24			28			
				св. 24 до 26			29		4	
				св. 26 до 28			30	±3		
				св. 28 до 30			31			
С 15			РИНп	от 12 до 14	2	$h = 5$	16	±2	2	±1
				св. 14 до 16		6	18			
				св. 16 до 18		7	20		3	
				св. 18 до 20		8	22		3	
				св. 20 до 22		9	24	±2		
				св. 22 до 24		10	26			
				св. 24 до 26		11	28			
				св. 26 до 28		12	30		4	
				св. 28 до 30		13	32	±3		
				св. 30 до 32		14	34			
				св. 32 до 35		15	36			

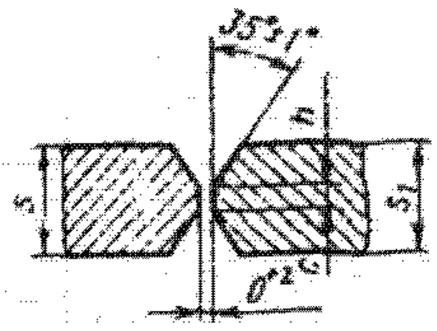
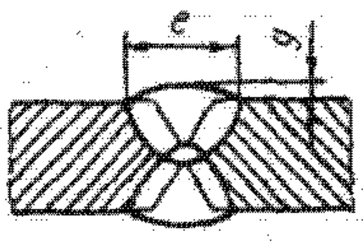
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С17			РИНп	от 4 до 6	0	+1	2	12	±2	2	±1
				св. 6 до 8				14			
			РИНп; АИНп	св. 8 до 10				17			
				св. 10 до 12				20			
				св. 12 до 14		+2		23	±3	3	
				св. 14 до 16				26			
				св. 16 до 18				29			
				св. 18 до 20				30			

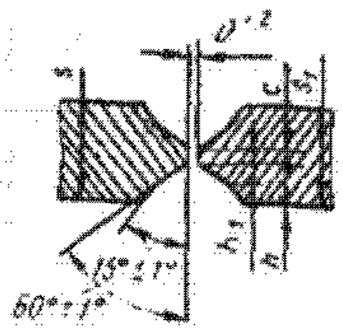
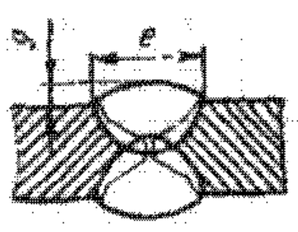
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	c (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С18			РИНп	от 4 до 6	2	12	±2	2	±1
				св. 6 до 8		14			
			РИНп; АИНп; АИНп-3	св. 8 до 10		17			
				св. 10 до 12		20			
				св. 12 до 14		23	±3	3	
				св. 14 до 16		26			
				св. 16 до 18		29			
				св. 18 до 20		30			

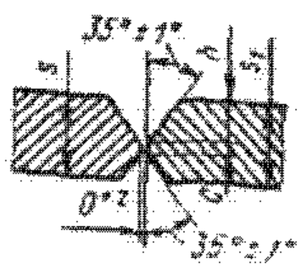
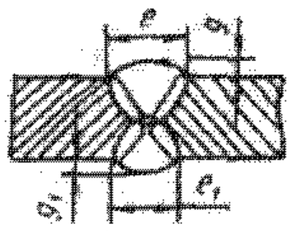
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	c (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 19			РИНп; АИНп; АИНп-3	от 5 до 8	2	17	±2	2	±1
				св. 8 до 10		19			
				св. 10 до 12		21			
				св. 12 до 14		24		3	
				св. 14 до 16		27			
				св. 16 до 18		30	±3		
				св. 18 до20		33			
				св. 20 до 22		36			
				св. 22 до 24		39			
				св. 24 до 26		41		4	+1 −2
				св. 26 до 28		44			
				св. 28 до 30		47			

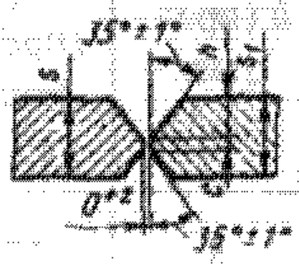
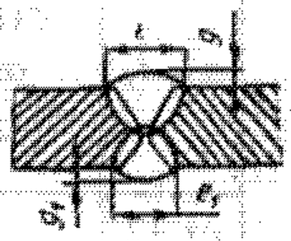
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	e_1 (пред. откл. ±2)	g: Номин.	g: Пред. откл.
С 21			РИНп; АИНп	от 4 до 6	0	+1	2	12	±2	12	2	±1
				св. 6 до 8				15				
				св. 8 до 10		+2	3	18		16	3	
				св. 10 до 12				20				
				св. 12 до 14				24				
				св. 14 до 16				26		18		
				св. 16 до 18				28				
				св. 18 до 20				31	±3			
			АИНп; АИНп-3	от 20 до 23			12	36		15	5	+1 −2
				св. 23 до 26				40				
				св. 26 до 29				44				

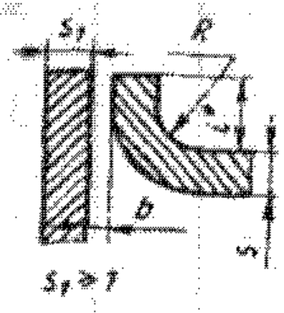
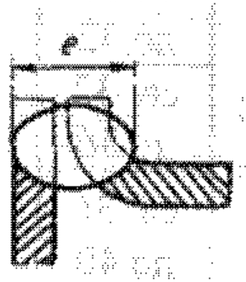
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	e_1 (пред. откл. ±2)	g: Номин.	g: Пред. откл.
С21			АИНп; АИНп-3	св. 29 до 32	0	+2	12	48	±3	15	5	+1 −2
				св. 32 до 36				52				
				св. 36 до 40				58				

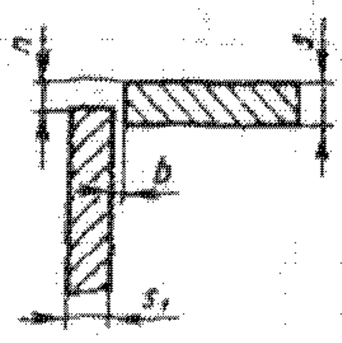
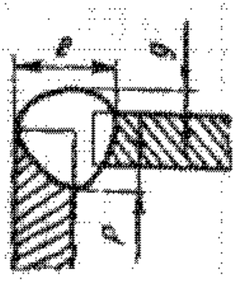
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	c (пред. откл. ±1)	h (пред. откл. ±1,5)	e_1 (пред. откл. ±3)	g: Номин.	g: Пред. откл.
С25			РИНп; АИНп	от 12 до 14	3	5	17	3	±1
				св. 14 до 17		7	19		
				св. 17 до 20		9	21		
				св. 20 до 23		10	23		
				св. 23 до 26		11	25	4	
				св. 26 до 30		13	27		

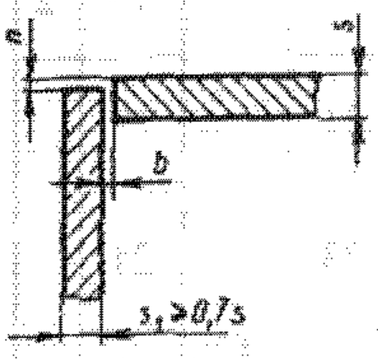
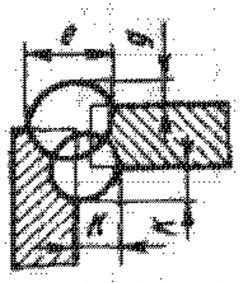
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	c (пред. откл. ±1)	h (пред. откл. ±1,5)	h_1: Номин.	h_1: Пред. откл.	e пред. откл. ±3)	g: Номин.	g: Пред. откл.
С27			РИНп; АИНп	то 30 до 32	3	14	8	±1	30	4	+1
				св. 32 до 36		16			31		
				св. 36 до 40		18			32	5	
			АИНп	от 42 до 46		20			33		
				св. 46 до50		22			34		
				св. 50 до 54		24			35	6	
				св. 54 до 60		27			36		

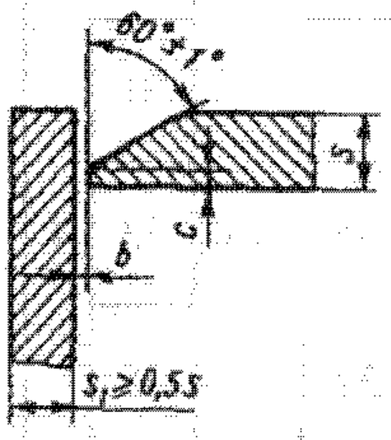
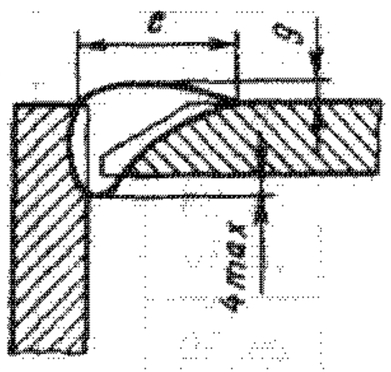
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	c (пред. откл. ±1)	h (пред. откл. ±1,5)	e (пред. откл. ±3)	e_1 не более	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1: Номин.	g_1: Пред. откл.
С39			РИНп; АИНп	от 12 до 14	3	7	19	14	3	±1	2	±1
				св. 14 до 17		9	23	15				

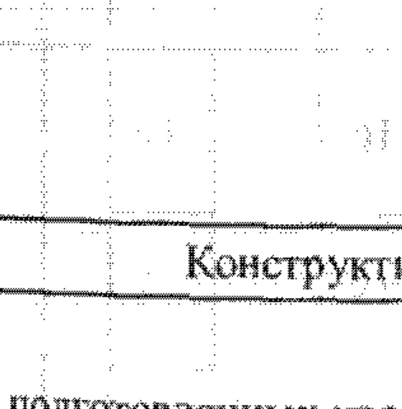
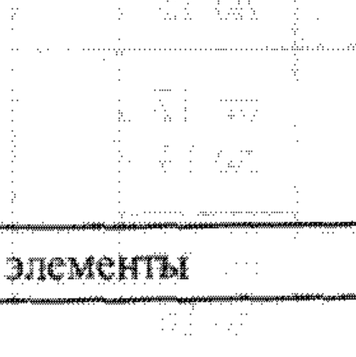
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	c (пред. откл. ±1)	h (пред. откл. ±1,5)	l (пред. откл. ±3)	e, не более	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1: Номин.	g_1: Пред. откл.
С39			РИНп; АИНп	св. 17 до 20	3	11	26	16	3	±1	2	±1
				св. 20 до 23		13	29	18				
				св. 23 до 26		15	32	20	4		3	
				св. 26 до 30		18	35	22				
			АИНп; АИНп-3	св. 32 до 36	12	16	33	18	3		4	
				св. 36 до 40		19	35	20				
				св. 40 до 44		22	38	22				
				св. 44 до 48		25	42	24				
				св. 48 до 52		27	46	26	4	+1 −2		
				св. 52 до 56		30	50	28				
				св. 56 до 60		33	55	30				

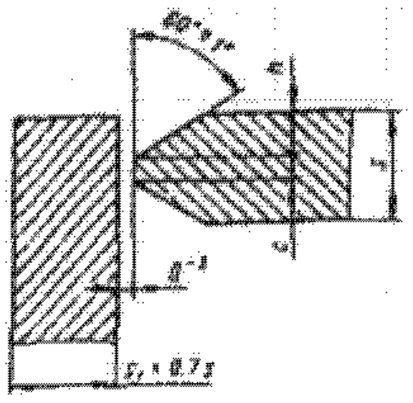
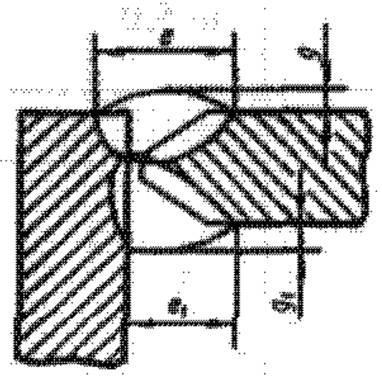
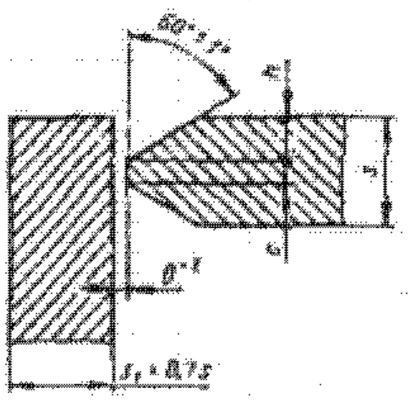
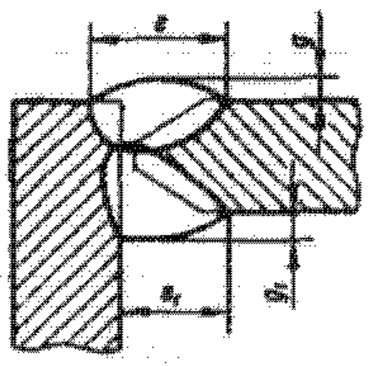
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	R	l	e, не более	b: Номин.	b: Пред. откл.
Угловые соединения									
У1			РИНп; АИНп	от 1,0 до 1,5	2,5-3,0	От s до 2,5s	5	0	+0,1
				св. 1,5 до 2,0	3,0-4,5		7		
				св. 2,0 до 2,5	4,5-5,0		8		+0,2

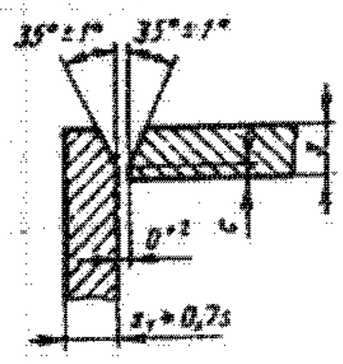
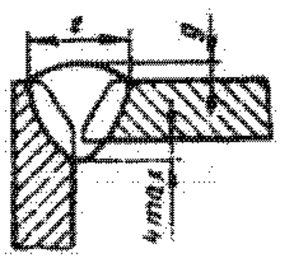
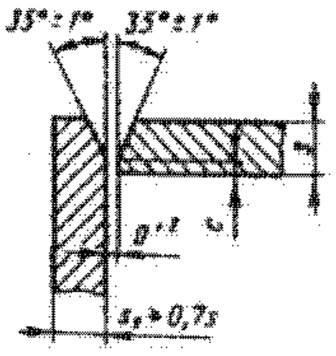
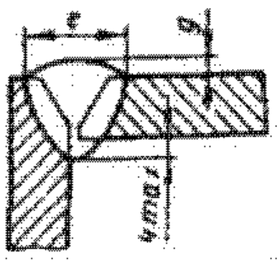
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	n	e, не более	g: Номин.	g: Пред. откл.	p, не более
У4	 $s_1 \geq 0{,}7s$		РИНп; АИНп	от 1,5 до 3,0	0	+0,5	От 0 до 0,5	7	1	+1	2
				св. 3,0 до 5,0				10			3
			РИНп; АИНп; АИП; ПИП	св. 5,0 до 8,0		+1,0		14		+2	4
				св. 8,0 до 10,0				16			
				св. 10,0 до 12,0		+2,0		20			

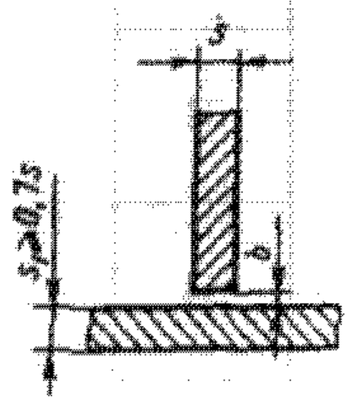
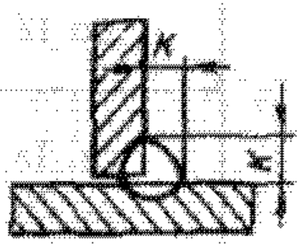
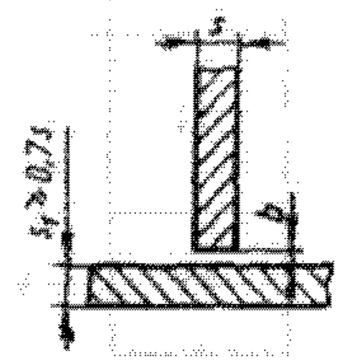
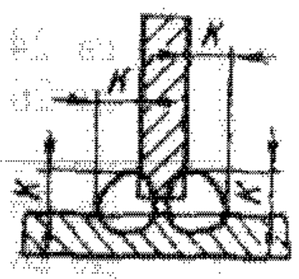
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	n	e, не более	g: Номин.	g: Пред. откл.	K: Номин.	K: Пред. откл.
У5			РИНп; АИНп	от 1,5 до 3,0	0	+0,5	От 0 до 0,5s	7	1	+1	3	+2
				св. 3,0 до 5,0		+1,0		10				+3

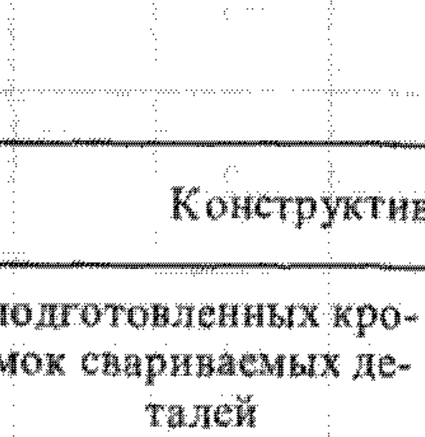
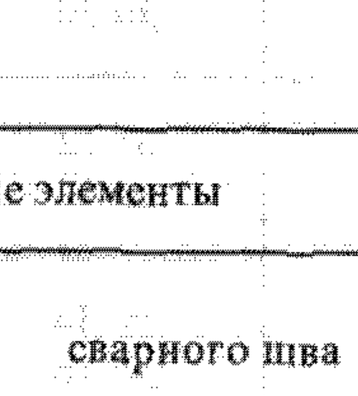
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
У6			РИНп; АИНп	от 4 до 6	0	+1	2	15	±2	2	±1
				св. 6 до 8				17			
				св. 8 до 10		+2	3	20	±3	3	
				св. 10 до 12				23			
				св. 12 до 14				26			
				св. 14 до 16				30			
				св. 16 до 18				34			
				св. 18 до 20				38			

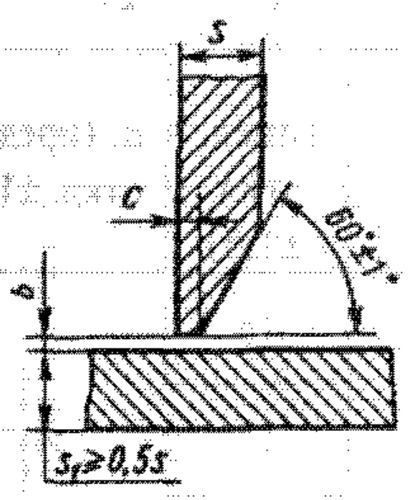
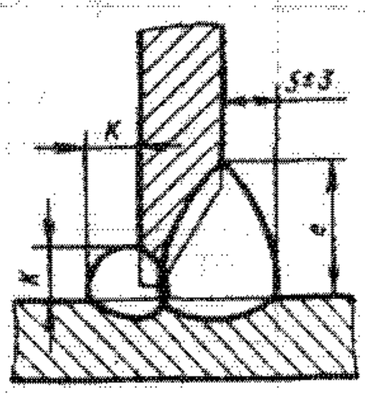
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	K: Номин.	K: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
У7			РИНп; АИНп	от 4 до 6	0	+1	2	3	+3	15	±2	2	±1
				св. 6 до 8						17			
				св. 8 до 10		+2	3	4	+4	20			
				св. 10 до 12						23			
				св. 12 до 14						26			
				св. 14 до 16						30	±3	3	
				св. 16 до 18						34			
				св. 18 до 20		+1			+5	38			

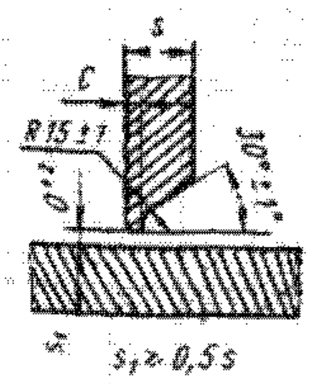
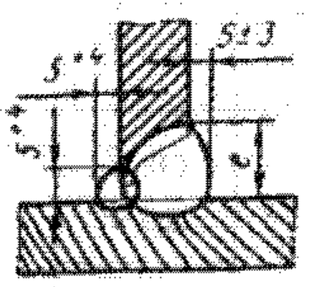
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	c (пред. откл. ±1)	h (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	e, не более	g: Номин.	g: Пред. откл.	g_1: Номин.	g_1: Пред. откл.
У 8			РИНп	от. 12 до 14	2	5	19	±2	17	3	±1	5	±2
				св. 14 до 16		6	21		19				
				св. 16 до 18		7	23		21				
				св. 18 до 20		8	25		23				
				св. 20 до 22		9	27		25				
				св. 22 до 24		10	29		27				
				св. 24 до 26		11	31	±3	29	4		10	±3
				св. 26 до 28		12	33		31				
				св. 28 до 30		13	35		33				
				св. 30 до 32		14	37		35				
				св. 32 до 35		15	39		37				
У 8			ГИП	от. 12 до 14	4	4	16	±2	17	5	+1 −2	6	±3
				св. 14 до 16		5	18		19				
				св. 16 до 18		6	20		21				
				св. 18 до 20		7	22		23				
				св. 20 до 22		8	24		25				
				св. 22 до 24		9	26		27				
				св. 24 до 26		10	28	±3	29			10	±4
				св. 26 до 28		11	30		31				
				св. 28 до 30		12	32		33				
				св. 30 до 32		13	34		35				
				св. 32 до 35		14	36		37				

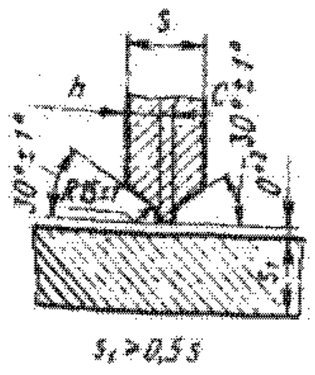
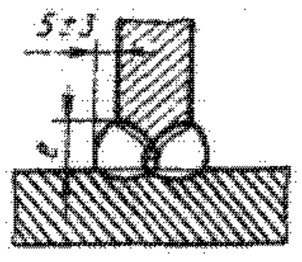
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	c (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.	g: Номин.	g: Пред. откл.
У9			РИНп; АИНп;	от 12 до 14	2	25	±2	2	±1
				св. 14 до 16		28			
				св. 16 до 18		31		3	
				св. 18 до 20		34			
				св. 20 до 22		37			
				св. 22 до 24		40			
				св. 24 до 26		43	±3	4	
				св. 26 до 28		45			
				св. 28 до 30		48			
У9			АИП; ПИП	от 12 до 14	4	22	±2	4	+1 −2
				св. 14 до 16		24			
				св. 16 до 18		27			
				св. 18 до 20		30			
				св. 20 до 22		33			
				св. 22 до 24		36			
				св. 24 до 26		39	±3	5	
				св. 26 до 28		42			
				св. 28 до 30		45			

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	K: Номин.	K: Пред. откл.
Тавровые соединения								
Т 1			РИНп	от 1 до 2	0	+0,5	3	+2
			РИНп; АИНп	св. 2 до 3		+1,0		
				св. 3 до 4			4	+3
Т 3			РИНп; АИНп; АИНп-3; АИП; ПИП	св. 3 до 8				
				св. 8 до 10			6	+4
				св. 10 до 12		+2,0		
				св. 12 до 14				
				св. 14 до 16				
				св. 16 до 18			8	+5
				св. 18 до 20				

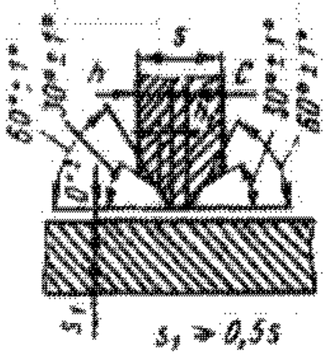
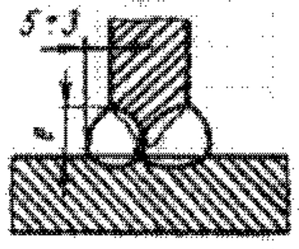
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	e: Номин.	e: Пред. откл.
Т 6			РИНп; АИНп	от 4 до 6	0	+1	2	13	±2
				св. 6 до 8				16	
				св. 8 до 10				19	
				св. 10 до 12		+2	3	21	±3
				св. 12 до 14				25	
				св. 14 до 16				29	
				св. 16 до 18				33	
				св. 18 до 20				37	

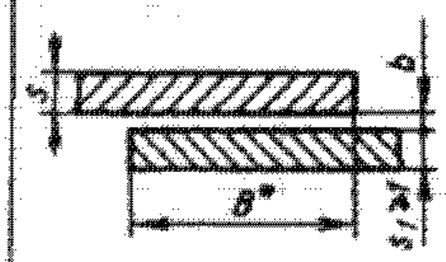
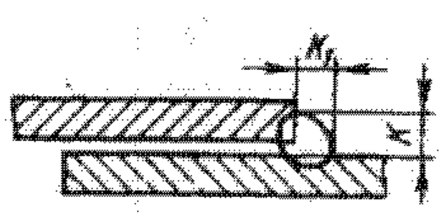
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b: Номин.	b: Пред. откл.	c (пред. откл. ±1)	K: Номин.	K: Пред. откл.	e: Номин.	e: Пред. откл.
Т7			РИНп; АИНп	от 4 до 6	0	+1	2	3	+3	13	±2
				св. 6 до 8						16	
				св. 8 до 10				4		19	
				св. 10 до 12				+2	3	21	±3
				св. 12 до 14						25	
				св. 14 до 16						29	
				св. 16 до 18				5	+4	33	
				св. 18 до 20					+5	37	

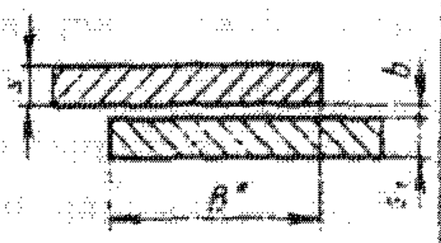
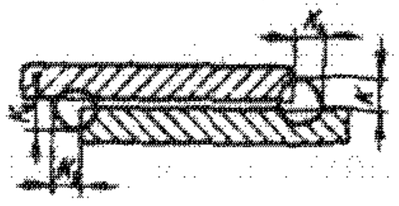
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	c	e: Номин.	e: Пред. откл.
Т2			РИНп; АИНп	от 16 до 18	2±1	23	±2
				св. 18 до 20		24	
				св. 20 до 22		25	
				св. 22 до 24		26	
				св. 24 до 26		27	±3
				св. 26 до 28		28	
				св. 28 до30		29	

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	e	h (пред. откл. ±1,5)	e (пред. откл. ±3)
Т5			РИНп	от 32 до 36	3±1	15	21
				св. 36 до 40		17	23
				св. 40 до 44		19	25
				св. 44 до 48		21	27

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	c	h (пред. откл. ±1,5)	e (пред. откл. ±3
Т 5			РИНп	св. 48 до 52	3±1	23	29
				св. 52 до 56		25	31
				св. 56 до 60		27	33

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	c (пред. откл. ±1)	h (пред. откл. ±1,5)	h_1 (пред. откл. ±1)	e (пред. откл. ±3)
Т 10			РИНп	от 32 до 36	3	15	11	21
				св. 36 до 40		17		23
				св. 40 до 44		19		25
				св. 44 до 48		21		27
				св. 48 до 52		23		29
				св. 52 до 56		25		31
				св. 56 до 60		27		33

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	B, не менее	b: Номин.	b: Пред. откл.	$s = s_1$: K	$s = s_1$: K_1	$s > s_1$: K	$s > s_1$: K_1	$s < s_1$: K	$s < s_1$: K_1
Нахлесточные соединения													
Н 1			РИНп	от 1 до 2	5		+0,5	$s+b$	$s+b$	$s+b$			
				св. 2 до 4			+1,0						
				св. 4 до 6									
				св. 6 до 8	15								
			РИНп; АИНп; АИНп-3; АИП; ПИП	св. 8 до 10		0		от 0,5s до s	от 0,5s до s	от 0,5s до s	от 0,5s_1 до s_1	от 0,5s до s	от 0,5s_1 до s_1
				св. 10 до 12									
				св. 12 до 14	20		+2,0						
				св. 14 до 16									
				св. 16 до 18									
				св. 18 до 20									

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	B, не менее	b: Номин.	b: Пред. откл.
Н2		 (Значения K_1 ниже)	РИНп	от 1 до 2	5		+0,5
			РИНп; АИНп; АИНп-3; АИП; ПИП	св. 2 до 4	15	0	+1,0
				св. 4 до 6			
				св. 6 до 8			+2,0
				св. 8 до 10			
				св. 10 до 12			
				св. 12 до 14			
				св. 14 до 16	20		
				св. 16 до 18			
				св. 18 до 20			

Способ сварки	s	$s = s_1$: K	K_1	K_2	K_3	$s_1 < s$: K	K_1	K_2	K_3	$s_1 > s$: K	K_1	K_2	K_3
РИНп	от 1 до 2	$s + b$						$s_1 + b$		$s + b$			
РИНп; АИНп; АИНп-3; АИП; ПИП	св. 2 до 4					от 0,5s до s	от s_1 до 1,4 s_1	от 0,5s_1 до s_1	от 0,5s до s	от 0,5s до s	от 0,5s_1 до s_1	от 0,5s_1 до s_1	от s до 1,4 s
	св. 4 до 6												
	св. 6 до 8												
	св. 8 до 10												
	св. 10 до 12												
	св. 12 до 14												
	св. 14 до 16												
	св. 16 до 18												
	св. 18 до 20												

Способ дуговой сварки в инертных газах: РИНп — ручная неплавящимся электродом с присадочным металлом; АИНп — автоматическая неплавящимся электродом с присадочным металлом; ПИП — полуавтоматическая плавящимся электродом.

При сварке швов стыковых соединений деталей неодинаковой толщины, когда разность толщин не превышает величин, указанных в табл. 8.86, подготовку кромок под сварку производят так же, как и для деталей одинаковой толщины. В этом случае конструктивные элементы подготовки кромок и размеры выполненного шва назначают по большей толщине свариваемых деталей.

Таблица 8.86

Разность толщин (мм) листов при стыковой сварке

Толщина тонкой детали	Разность толщины деталей
От 0,8 до 3,0	0,5
Св. 3,0 до 5,0	1,0
» 5,0 » 12,0	1,2
» 12,0 » 25,0	1,5
» 25,0 » 60,0	3,0

В нахлесточных соединениях сварной шов не должен выступать над поверхностью более чем на 1 мм.

При сварке технического алюминия допускается увеличение размеров швов до 20 %.

При выполнении двустороннего шва с полным проплавлением перед сваркой с обратной стороны корень шва должен быть расчищен до чистого металла. Расчистка абразивными кругами не допускается.

Для осуществления плавного перехода от одной детали к другой допускается наклонное расположение поверхности шва.

При разности в толщине свариваемых деталей выше значений, указанных в табл. 8.86, на детали, имеющей большую толщину s_1, должен быть сделан скос с одной или двух сторон до толщины тонкой детали s, как указано на рис. 8.22.

При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

В стыковых соединениях без скоса кромок деталей толщиной свыше 6 мм при сварке неплавящимся электродом с присадочным металлом для обеспечения направленности его подачи в сварочную ванну разрешается снимать фаску с верхних кромок деталей размером (1,0—1,5)×45°.

При сварке в положениях, отличных от нижнего, допускается увеличение размеров шва, но не более: 2 мм — для деталей толщиной до 25 мм; 3 мм — свыше 25 мм.

При сварке в гелии на постоянном токе размеры шва могут быть уменьшены до 15 %.

Для расчетных угловых швов значения катетов K; K_1 должны быть установлены при проектировании сварного соединения.

Предельные отклонения величины катета расчетных швов должны соответствовать:

+2,0 мм при $K < 5$ мм; +3,0 мм при $5 \le K \le 8$ мм; +4,0 мм при $K > 8$ мм.

Для стыковых соединений допускается уменьшение размера с ± 2 до ± 1 мм, для тавровых и угловых соединений до 1^{+1} мм.

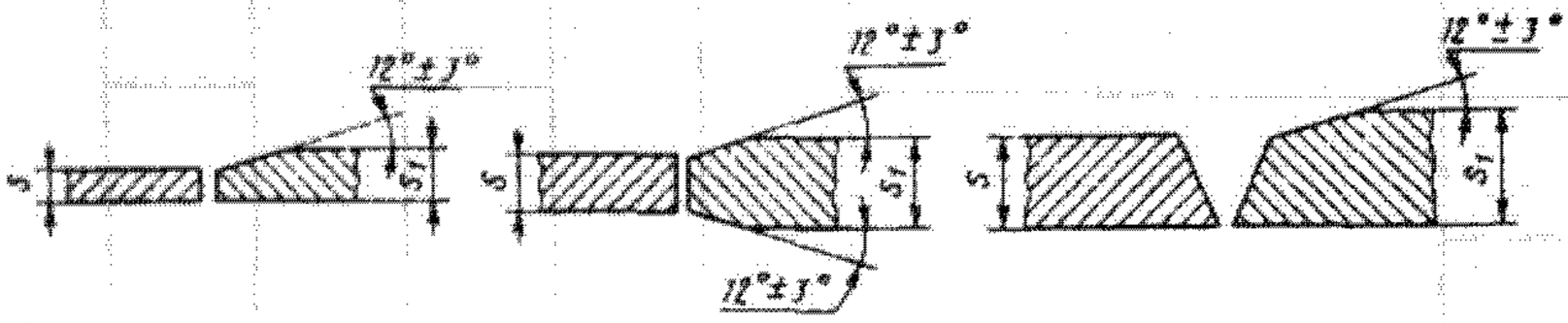
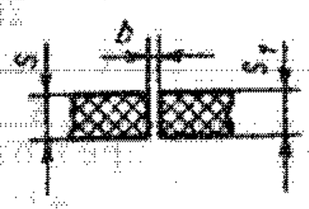
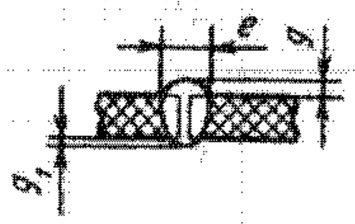
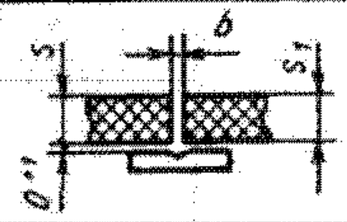
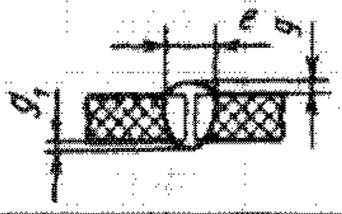
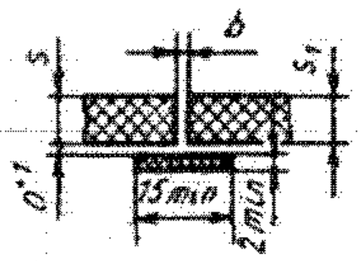
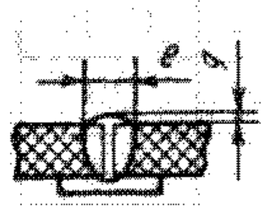
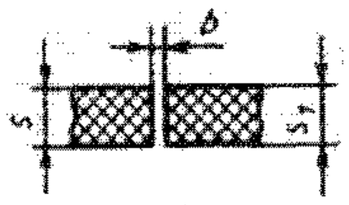
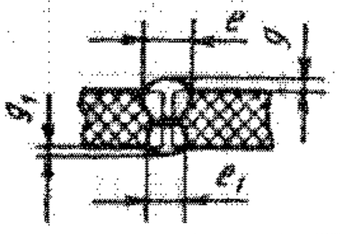
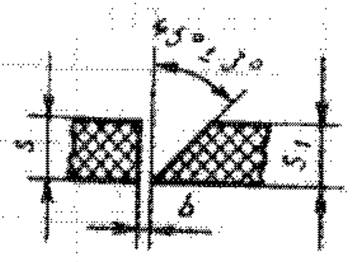
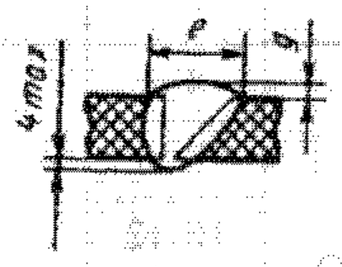
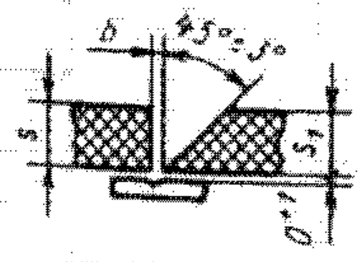
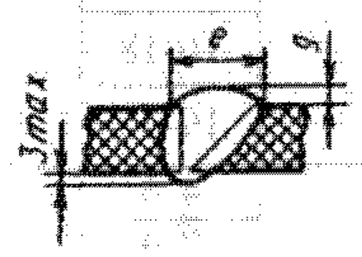
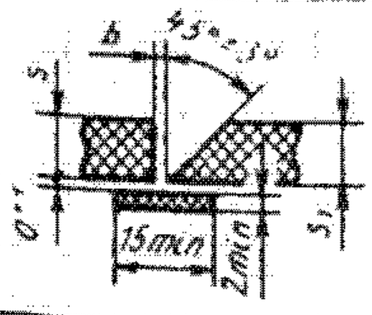
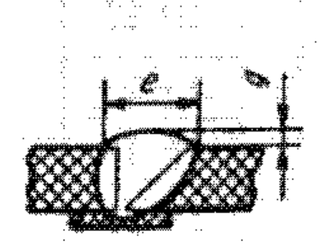


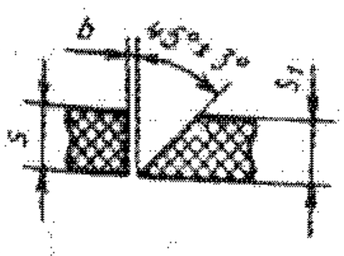
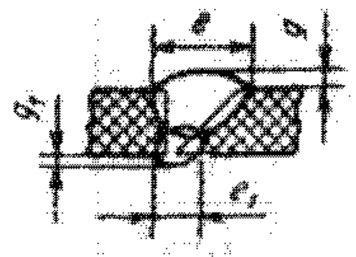
Рис. 8.22

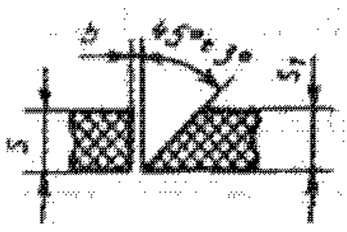
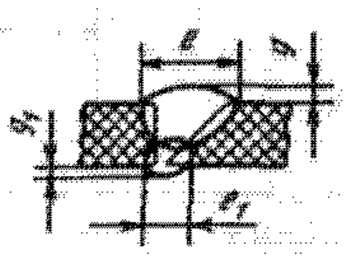
8.1.16. Сварные соединения из винипласта и полиэтилена

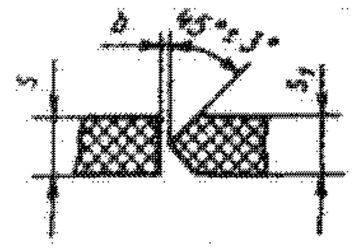
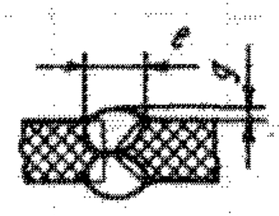
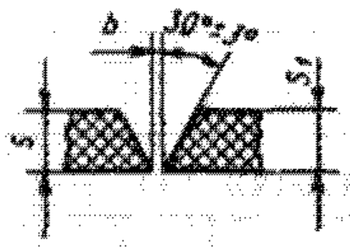
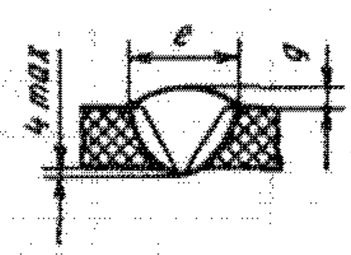
Конструктивные элементы подготовленных кромок деталей и швов соединений из полиэтилена, полипропилена и винипласта (ГОСТ 16310—80)

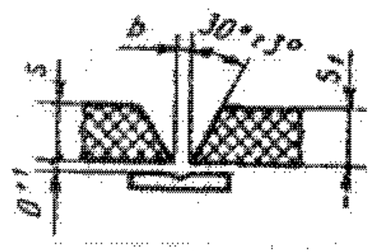
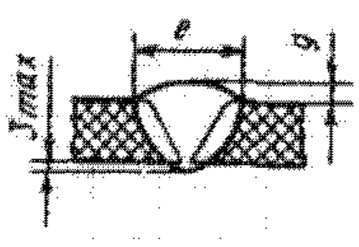
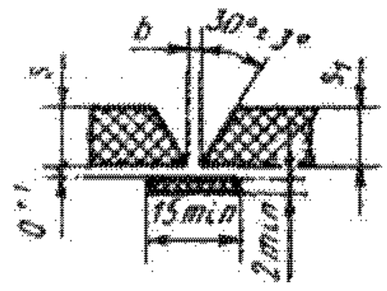
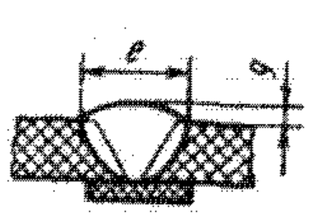
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b	g	g_1	e, не более
					(пред. откл. ±1)			
Стыковые соединения								
С1			Г	2-4	0,5	2	1	6
С2			Г	2-6	3	2	1	8
			Э					10
С3			Г	$s = s_1$	b (пред. откл. ±1)	g		e, не более
				2-6	2	2		8
			Э					10
С4			Г	$s = s_1$	b	g	g_1	e (не более)	e_1
				2-4	0,5	2	2	8	3

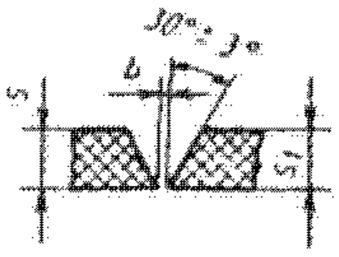
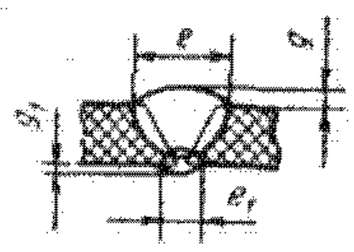
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b	g	e, не более
					(пред. откл. ±1)		
С5			Г; Э	4-6	0,5	2	10
				7-9			16
				10-12		3	18
				13-15			20
				16-18			24
				19-20			26
С6			Г; Э	4-6	2	2	10
				7-9			16
				10-12			18
				13-15		3	20
				16-18			24
				19-20			26
С7			Г; Э	4-6	2	2	10
				7-9			16
				10-12		3	18
				13-15			20
				16-18			24
				19-20			26

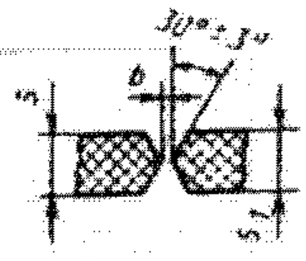
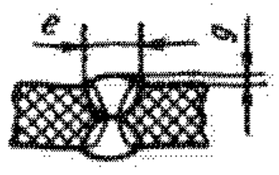
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b (пред. откл. +1)	$g = g_1$ (пред. откл. ±1)	e, не более	e_1 (пред. откл. ±1)
С8			Г; Э	4-6	0,5	2	10	6
				7-9			16	

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b (пред. откл. +1)	$g = g_1$ (пред. откл. ±1)	e, не более	e_1 (пред. откл. ±1)
С 8			Г; Э	10-12	0,5	3	18	6
				13-15			20	9
				16-18			24	
				19-20			26	

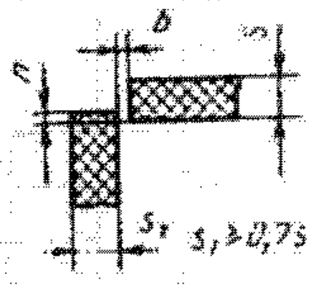
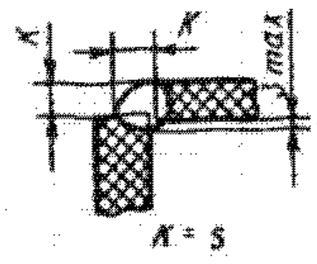
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b (пред. откл. +1)	g пред. откл. ±1)	e, не более
С 9			Г; Э	8-10	0,5	2	16
				11-13		3	18
				14-16			20
				17-19			24
				20			26
С 10			Г; Э	4-6	0,5	2	12
				7-9			16
				10-12		3	18
				13-15			23
				16-18			26
				19-20			29

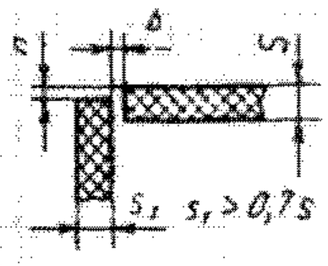
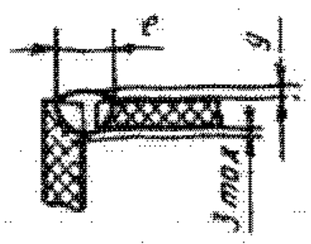
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b (пред. откл. +1)	g (пред. откл. ±1)	e, не более
С 11			Г; Э	4-6	0,5	2	12
				7-9			16
				10-12		3	18
				13-15			23
				16-18			26
				19-20			29
С 12			Г; Э	4-6	0,5	2	12
				7-9			16
				10-12		3	18
				13-15			23
				16-18			26
				19-20			29

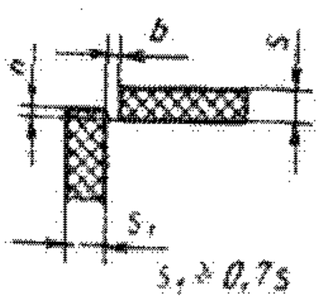
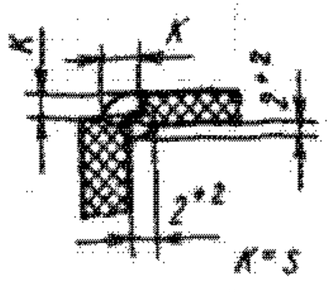
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b (пред. откл. +1)	$g = g_1$ (пред. откл. ±1)	e, не более	e_1, не более
С 13			Г; Э	4-6	0,5	2	12	6
				7-9			16	
				10-12		3	18	9
				13-15			23	
				16-18			26	
				19-20			29	

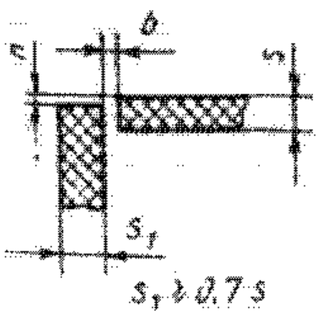
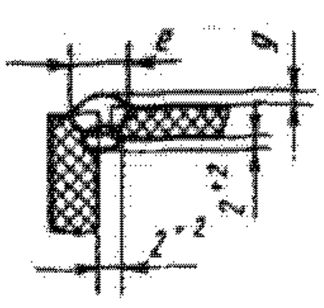
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	$s = s_1$	b (пред. откл. +1)	$g = g_1$ (пред. откл. ±1)	e, не более
С14			Г; Э	8-10	0,5	2	16
				11-13		3	23
				14-16			26
				17-19			29
				20			30

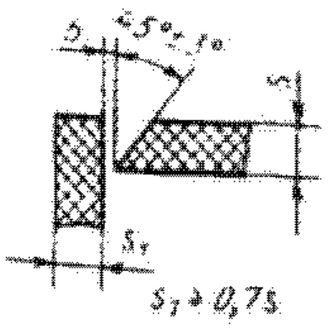
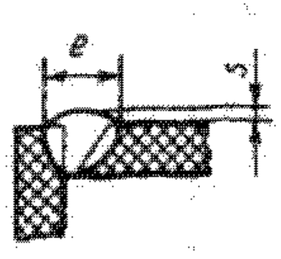
Угловые соединения

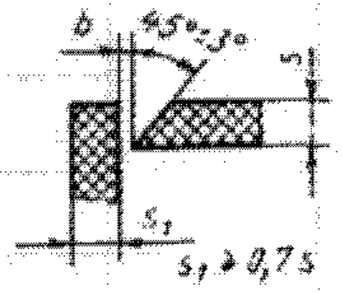
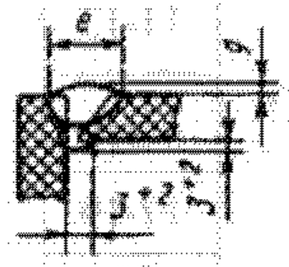
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)	n (пред. откл. +1)
У1			Г; Э	2-10	0,5	0

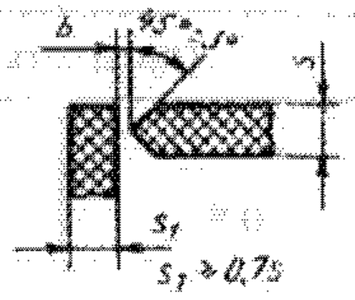
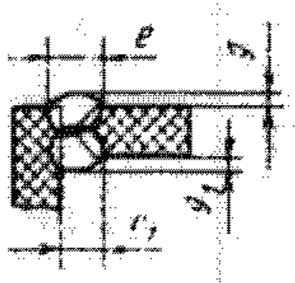
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)	g (пред. откл. ±1)	e, не более	n (пред. откл. +1)
У2			Г	2-4	2	3	6	0

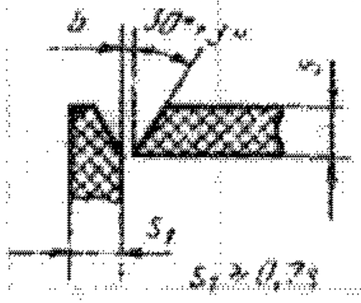
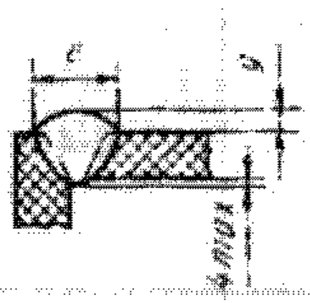
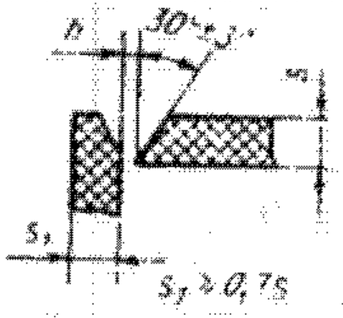
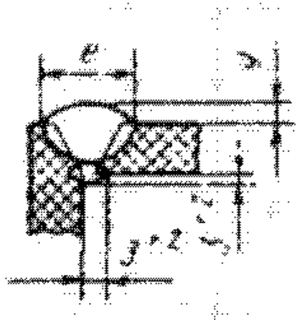
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)	n (пред. откл. +1)
У3			Г; Э	2-10	0	0

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)	g (пред. откл. ±1)	e, не более	n (пред. откл. +1)
У4			Г	2-4	0,5	3	6	0

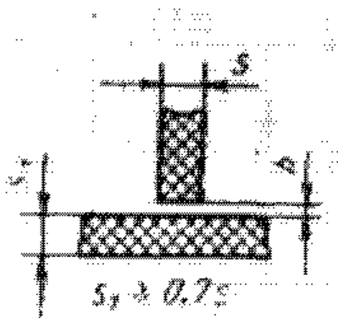
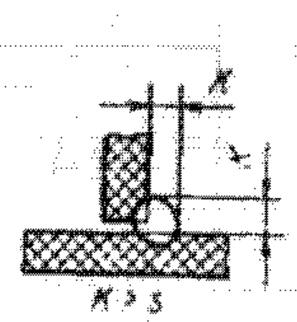
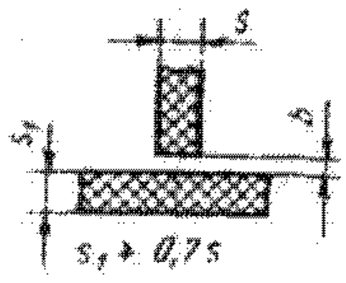
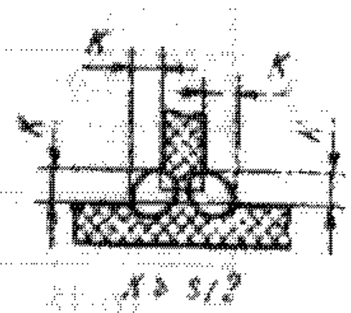
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)	g (пред. откл. ±1)	e
У5			Г; Э	4-6	0,5	2	12
				7-9			16
				10-12		3	18
				13-15			20
				16-18			24
				19-20			26

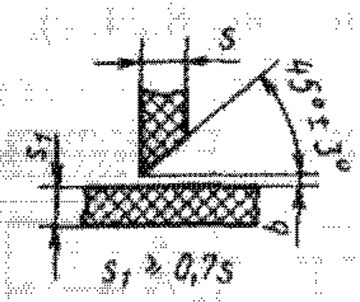
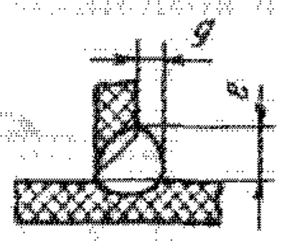
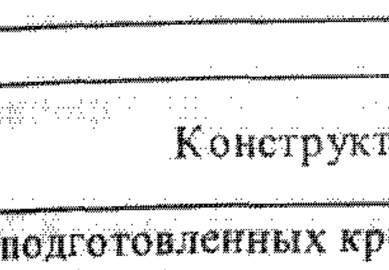
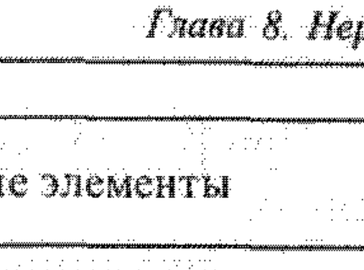
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)	g (пред. откл. ±1)	e
У6			Г; Э	4-6	0,5	2	12
				7-9			16
				10-12		3	18
				13-15			20
				16-18			24
				19-20			26

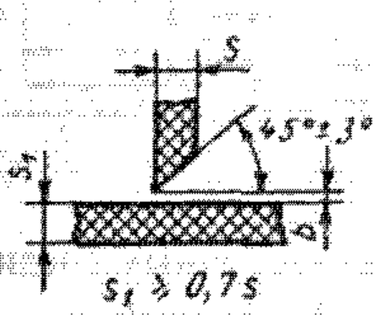
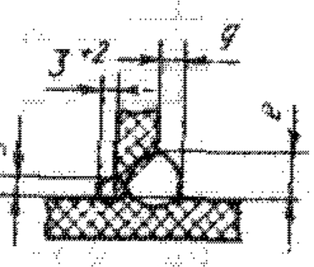
Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)	$g = g_1$ (пред. откл. ±1)	e	e_1
							не более	
У7			Г; Э	8-10	0,5	2	16	14
				11-13		3	18	16
				14-16			20	18
				17-19			24	22
				20			26	24

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)	g (пред. откл. ±1)	e, не более
У8			Г; Э	4-6	0,5	2	12
				7-9			16
				10-12		3	18
				13-15			23
				16-18			26
				19-20			29
У9			Г; Э	4-6	0,5	2	12
				7-9			16
				10-12		3	18
				13-15			23
				16-18			26
				19-20			29

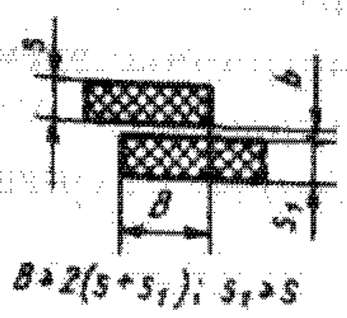
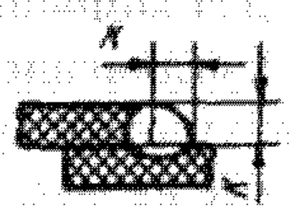
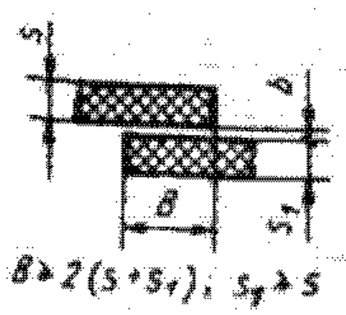
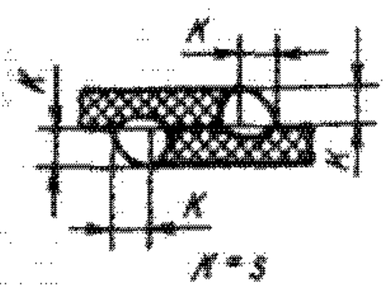
Тавровые соединения

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)
Т1			Г; Э	2-20	0
Т2					

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)	g (пред. откл. ±1)	e, не более
Т3			Г; Э	4-6	0,5	3	12
				7-9		5	16
				10-12		7	18
				13-15		9	20
				16-18		11	24
				19-20		13	26
Т4			Г; Э	4-6	0,5	3	12
				7-9		5	16
				10-12		7	18
				13-15		9	20
				16-18		11	24
				19-20		13	26

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)	g (пред. откл. +2)	e, не более
Т5			Г; Э	8-12	0,5	5	18
				13-15		7	20
				16-18		9	24
				19-20		11	26

Нахлесточные соединения

Условное обозначение сварного соединения	Конструктивные элементы: подготовленных кромок свариваемых деталей	Конструктивные элементы: сварного шва	Способ сварки	s	b (пред. откл. +1)
Н1			Г; Э	2-20	0
Н2					

Условные обозначения способов сварки: Г — сварка нагретым газом с присадочным прутком; Э — сварка экструзионная.

Технические требования. 1. При выполнении швов стыковых соединений деталей, разность толщин которых не превышает 1 мм, подготовка кромок под сварку производится так же, как и для деталей одинаковой толщины.

2. Если разность толщин свариваемых деталей превышает 1 мм, то на детали большей толщины должен быть сделан скос с одной или двух сторон до толщины более тонкой детали.

3. При выполнении двусторонних швов допускается удаление корня шва ранее уложенных проходов механическим путем.

4. Во всех случаях допускается удаление проплавов сварных швов механическим путем заподлицо с основным материалом; врезание в основной материал при этом не допускается.

5. Для расчетных сварных соединений катет углового шва K должен быть установлен при проектировании соединений.

Предельные отклонения катета углового шва K от номинального значения должны соответствовать: + 1,0 мм при $K \le 6$ мм; + 1,5 мм при $6 \le K \le 12$ мм; + 2,0 мм при $K > 12$ мм.

6. Допускается усиление углового шва до 2 мм или ослабление до 3 мм.

8.1.17. Расчет прочности сварных соединений

Стыковое соединение с прямым швом (рис. 8.23, *а*). Допускается усилие для соединения при растяжении $P_1 = [\sigma'_p]\, ls$, то же при сжатии $P_2 = [\sigma'_{сж}]\, ls$, где $[\sigma'_p]$ и $[\sigma'_{сж}]$ — допускаемые напряжения для сварного шва соответственно при растяжении и сжатии.

При расчете прочности все виды подготовки кромок в стыковых соединениях принимают равноценными.

Стыковое соединение с косым швом (рис. 8.23, *б*). Допускаемое усилие для соединения при растяжении

$$P_1 = \frac{[\sigma'_p]\, ls}{\sin\beta},$$

то же при сжатии

$$P_2 = \frac{[\sigma'_{сж}]\, ls}{\sin\beta}.$$

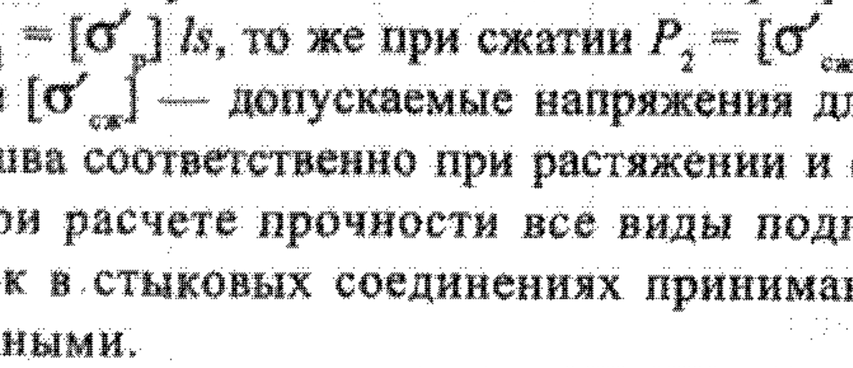


Рис. 8.23. Стыковое соединение:
а — с прямым швом; *б* — с косым швом

При $\beta = 45°$ соединение равнопрочно целому сечению.

Нахлесточное соединение (рис. 8.24). Соединения выполняют угловым швом. В зависимости от направления шва относительно направления действующих сил угловые швы называют лобовыми (рис. 8.24, *а*), фланговыми (рис. 8.24, *б*), косыми (рис. 8.24, *в*) и комбинированными (рис. 8.24, *г*).

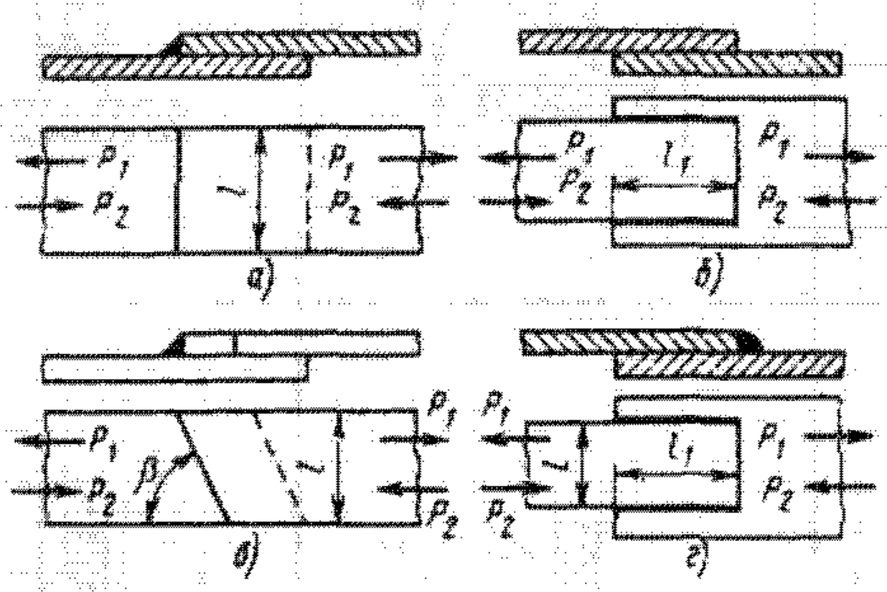


Рис. 8.24. Швы нахлесточных соединений:
а — лобовой; *б* — фланговый; *в* — косой;
г — комбинированный

Максимальную длину лобового и косого швов не ограничивают. Длину фланговых швов следует принимать не более $60K$, где K — длина катета шва. Минимальная длина углового шва 30 мм; при меньшей длине дефекты в начале и в конце шва значительно снижают его прочность. Минимальный катет углового шва K_{min} принимают равным 3 мм, если толщина металла $s \ge 3$ мм.

Допускаемое усилие для соединения $P_1 = P_2 = 0{,}7\,[\tau'_{ср}]\, KL$, где $[\tau'_{ср}]$ — допускаемое напряжение для сварного шва на срез; K — катет шва; L — весь периметр угловых швов;

для лобовых швов $L = l$;

для фланговых $L = 2l_1$;

для косых $L = \dfrac{l}{\sin\beta}$;

для комбинированных $L = 2l_1 + l$.

Соединение несимметричных элементов (например, угловых профилей, рис. 8.25). Усилия, передаваемые на швы *1* и *2*, находят из уравнений статики:

$$P_1 = P\frac{e_1}{e}; \quad P_2 = P\frac{e_2}{e}.$$

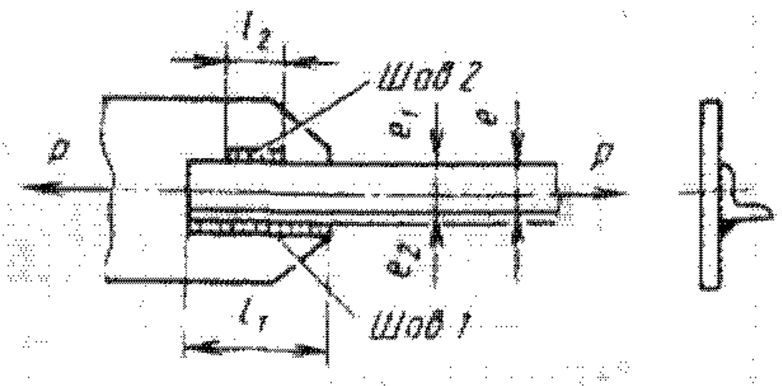


Рис. 8.25. Соединение несимметричных элементов

Необходимая длина швов

$$l_1 = \frac{P_1}{0{,}7[\tau'_{ср}]K}; \quad l_2 = \frac{P_2}{0{,}7[\tau'_{ср}]K},$$

где $[\tau'_{ср}]$ — допускаемое напряжение для сварного шва на срез; K — катет шва.

Примечание. Допускается увеличение l_2 до размера l_1.

Тавровое соединение: а) наиболее простое в технологическом отношении (рис. 8.26). Допускаемое усилие для растяжения

$$P = [\tau'_{ср}]0{,}7Kl,$$

где $[\tau'_{ср}]$ — допускаемое напряжение для сварного шва на срез; K — катет шва не должен превышать $1{,}2s$ (s — наименьшая толщина свариваемых элементов);

б) обеспечивающее лучшую передачу усилий (рис.8.27). Допускаемое усилие для растяжения

$$P_1 = [\sigma'_р]ls,$$

допускаемое усилие для сжатия

$$P_2 = [\sigma'_{сж}]ls,$$

где $[\sigma'_р]$ и $[\sigma'_{сж}]$ — допускаемые напряжения для сварного шва при растяжении и сжатии.

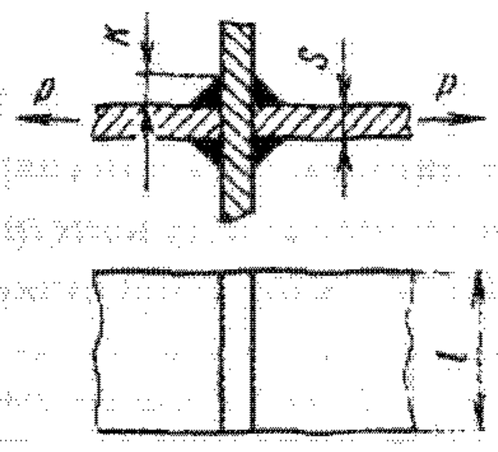


Рис. 8.26. Наиболее простое в технологическом отношении тавровое соединение

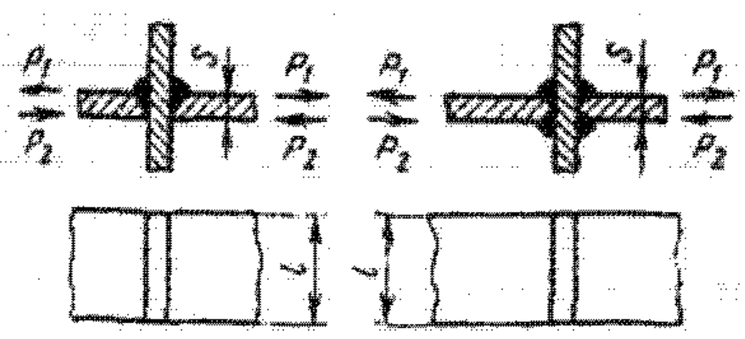


Рис. 8.27. Тавровое соединение, обеспечивающее лучшую передачу усилий

Соединение с накладками. Сечение накладок, обеспечивающее равнопрочность целого сечения (рис. 8.28):

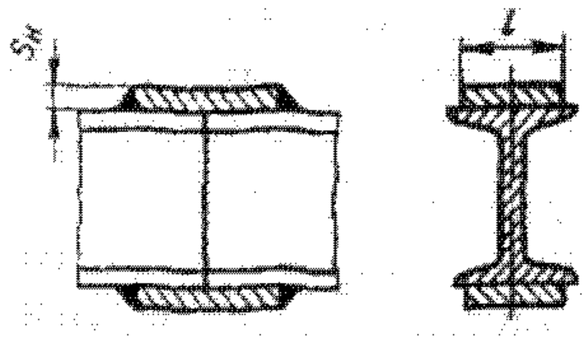


Рис. 8.28. Соединение с накладками

$$F_н = 2s_н l = \frac{F([\sigma_р] - [\sigma'_р])}{[\sigma'_р]},$$

где F — сечение основного металла; $[\sigma_р]$ — допускаемое напряжение при растяжении основного металла; $[\sigma'_р]$ — допускаемое напряжение для сварного шва при растяжении.

Сечение накладки, обеспечивающее равнопрочность целого сечения (рис. 8.29):

$$F_н = s_н l = \frac{F([\sigma_р] - [\tau'_{ср}])}{[\tau'_{ср}]},$$

где $[\tau'_{ср}]$ — допускаемое напряжение для сварного шва на срез.

Соединение с прорезями (рис. 8.30) применяют лишь в случаях, когда угловые швы недостаточны для скрепления. Рекомендуется $a = 2s$, $l = (10 — 25)s$.

Допускаемое усилие, действующее на прорезь,

$$P = 2[\tau'_{ср}]ls,$$

где $[\tau'_{ср}]$ — допускаемое напряжение для сварного шва на срез.

Соединение пробочное (рис. 8.31) применяют в изделиях, не несущих силовых нагрузок. Пробочную сварку можно применять для соединения листов толщиной ≥ 15 мм. Если побочные соединения подвергаются действию срезывающих сил, то напряжение

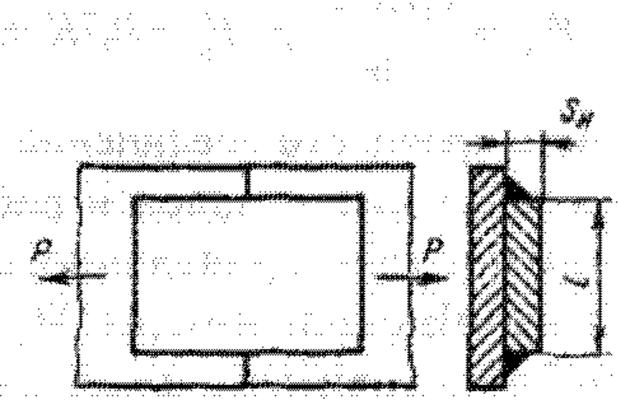


Рис. 8.29. Соединение с накладками

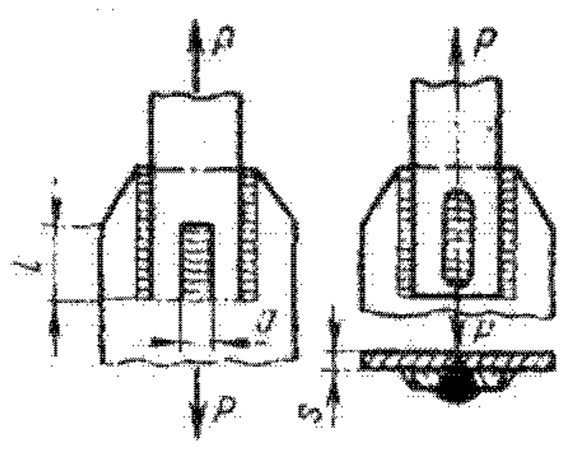


Рис. 8.30. Соединение с прорезями

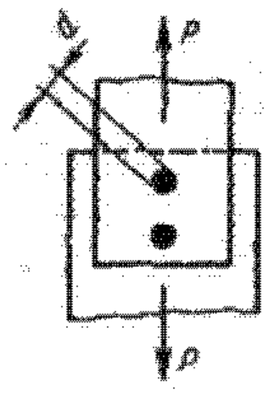


Рис. 8.31. Пробочное соединение

$$\tau_{ср} = \frac{P}{i\dfrac{\pi d^2}{4}} \le [\tau'_{ср}],$$

где d — диаметр пробки; i — число пробок в соединении.

Расчет прочности соединения, на которое действует изгибающий момент. При расчете прочности соединения (рис. 8.32), осуществленного стыковым швом, находящимся под действием изгибающего момента $M_и$ и продольной силы P, условие прочности

$$\sigma = \frac{M_и}{W} + \frac{P}{F} \le [\sigma'_р],$$

где

$$W = \frac{sh^2}{6} \quad и \quad F = hs.$$

При расчете прочности соединения (рис. 8.33, *а*), осуществленного угловым швом, находящимся под действием изгибающего момента $M_и$ и продольной силы P, расчетные касательные напряжения в шве

$$\tau = \frac{M_и}{W_с} + \frac{P}{F_с} \le [\tau'_{ср}],$$

где

$$W_с = \frac{0{,}7Kh^2}{6}; \quad F_с = 0{,}7Kh.$$

При расчете прочности соединений (рис. 8.33, *б*), состоящих из нескольких швов и работающих на изгиб, принимают (для приведенного графически случая), что изгибающий момент $M_и$ уравновешивается парой сил в горизонтальных швах и моментом защемления вертикального шва:

$$M_и = \tau 0{,}7Kl(h+K) + \frac{\tau 0{,}7Kh^2}{6},$$

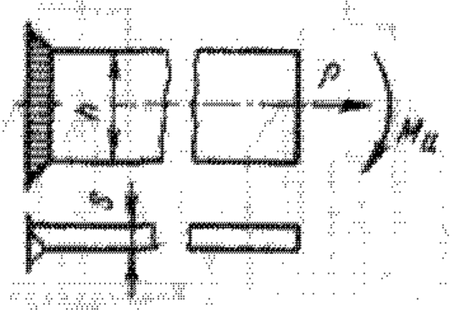


Рис. 8.32. Стыковое соединение под действием изгибающего момента

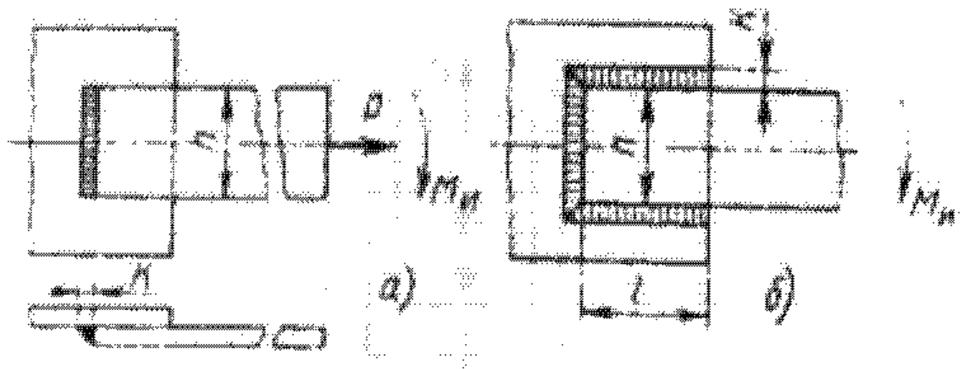


Рис. 8.33. Угловое соединение под действием изгибающего момента и продольной силы

откуда

$$\tau = \frac{M_и}{\tau 0{,}7Kl(h+K) + \dfrac{\tau 0{,}7Kh^2}{6}} \le [\tau'_{ср}].$$

Если момент $M_и$ и допускаемое напряжение τ заданы, то из полученного уравнения следует определить l и K, задавшись остальными геометрическими параметрами.

Допускаемые напряжения (табл. 8.87) для сварных швов принимают в зависимости:

а) от допускаемых напряжений, принятых для основного металла;

б) от характера действующих нагрузок.

В конструкциях, подвергающихся воздействию переменных или знакопеременных нагрузок, допускаемые напряжения для основного металла понижают, умножая на коэффициент:

$$\nu = \frac{0{,}8}{1{,}2 - 0{,}8\dfrac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}} \le 1,$$

где σ_{min} и σ_{max} — соответственно минимальное и максимальное напряжения, взятые каждое со своим знаком.

Таблица 8.87

Допускаемые напряжения для сварных швов в машиностроительных конструкциях при постоянной нагрузке

Сварка	Для стыковых соединений		При срезе $[\tau'_{ср}]$
	при растяжении $[\sigma'_р]$	при сжатии $[\sigma'_{сж}]$	
Ручная электродами: Э42..... Э42А.....	0,9 $[\sigma_р]$ $[\sigma_р]$	$[\sigma_р]$ $[\sigma_р]$	0,6 $[\sigma_р]$ 0,65 $[\sigma_р]$
$[\sigma_р]$ — допускаемое напряжение при растяжении для основного металла.			

8.2. Паяные соединения

8.2.1. Оловянно-свинцовые припои

Наиболее широкое применение во всех отраслях промышленности имеют оловянно-свинцовые припои, применяемые для лужения и пайки деталей.

Припои в чушках — по ГОСТ 21930—76, припои в изделиях — в виде круглой проволоки, ленты, трехгранных, круглых и квадратных прутков, круглых трубок, заполненных флюсом, порошка — по ГОСТ 21931—76.

В зависимости от химического состава оловянно-свинцовые припои изготовляют следующих марок:

бессурьмянистые — ПОС 90, ПОС 61, ПОС 40, ПОС 30, ПОС 10, ПОС 61М, ПОСК 50-18, ПОСК 2-18;

малосурьмянистые — ПОССу 61-0,5, ПОССу 50-0,5, ПОССу 40-0,5, ПОССу 35-0,5, ПОССу 30-0,5, ПОССу 25-0,5, ПОССу 18-0,5;

сурьмянистые — ПОССу 95-5, ПОССу 40-2, ПОССу 35-2, ПОССу 30-2, ПОССу 25-2, ПОССу 18-2, ПОССу 15-2, ПОССу 10-2, ПОССу 8-3, ПОССу 5-1, ПОССу 4-6, ПОССу 4-4.

Пример обозначения. Припой в чушках марки ПОС 40:

Припой Ч ПОС 40 ГОСТ 21930—76.

Пример условного обозначения. Припой в виде проволоки круглого сечения диаметром 2 мм марки ПОССу 61-0,5:

Припой Прв КР2 ПОССу 61-0,5 ГОСТ 21931—76.

Сортамент припоя в изделиях:

диаметр проволоки 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,0 мм;

прутки круглые: *8; 10; 12; 15* мм;

прутки трехгранные (размер сторон): 10; 12; 14; 16 мм;

прутки квадратные (размер сторон): 5; 7; 9; 11; 13; 15 мм (длина прутков 400 мм);

ленты толщиной 0,8 и 1,0 мм при ширине 8—10 мм; толщиной 1,5; 2,0; 2,5; 3; 4; 5 мм при ширине 5—10 и 15 мм;

трубки с наружным диаметром 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3; 4; 5 мм.

Длина проволоки и трубки — не менее 20 м, ленты — не менее 10 м.

Условное обозначение припоя содержит следующие сокращения:

наименования профильного сортамента: проволока — Прв; пруток — Пт; лента — Л; трубка — Т; порошок — Пор;

формы сечения: круглая — КР; квадратная — КВ; трехгранная — ТРГ.

Вместо отсутствующего показателя ставят знак «Х».

Таблица 8.88

Физико-механические свойства припоев

Марка припоя	Температура плавления, °С		Плотность, кг/м³ × 10³	Удельное сопротивление, Ом·мм²/м	Временное сопротивление разрыву, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринеллю, НВ
	Солидус	Ликвидус					
ПОС 90	183	220	7,6	0,120	49	40	15,4
ПОС 61	183	190	8,5	0,139	43	46	14,0
ПОС 40	183	238	9,3	0,159	38	52	12,5
ПОС 10	268	299	10,8	0,200	32	44	12,5
ПОС 61М	183	192	8,5	0,143	45	40	14,9
ПОСК 50-18	142	145	8,8	0,133	40	40	14,0
ПОССу 61-0,5	183	189	8,5	0,140	45	35	13,5
ПОССу 50-0,5	183	216	8,9	0,149	38	62	13,2
ПОССу 40-0,5	183	235	9,3	0,169	40	50	13,0
ПОССу 35-0,5	183	245	9,5	0,172	38	47	13,3
ПОССу 30-0,5	183	255	8,7	0,179	36	45	13,2
ПОССу 25-0,5	183	266	10,0	0,182	36	45	13,6
ПОССу 18-0,5	183	277	10,2	0,198	36	50	—
ПОССу 95-5	234	240	7,3	0,145	40	46	18,0
ПОССу 40-2	185	229	9,2	0,172	43	48	14,2
ПОССу 35-2	185	243	9,4	0,179	40	40	—
ПОССу 30-2	185	250	9,6	0,182	40	40	—
ПОССу 25-2	185	260	9,8	0,185	38	35	—
ПОССу 18-2	186	270	10,1	0,206	36	35	11,7
ПОССу 15-2	184	275	10,3	0,208	36	35	12,0
ПОССу 10-2	268	285	10,7	0,208	35	30	10,8
ПОССу 8-3	240	290	10,5	0,207	40	43	12,8
ПОССу 5-1	275	308	11,2	0,200	33	40	10,7
ПОССу 4-6	244	270	10,7	0,208	65	15	17,3

Таблица 8.89

Области преимущественного применения оловянно-свинцовых припоев

Марка припоя	Область применения
ПОС 90	Лужение и пайка внутренних швов пищевой посуды и медицинской аппаратуры.
ПОС 61	Лужение и пайка электро- и радиоаппаратуры точных приборов с высокогерметичными швами, где недопустим перегрев.
ПОС 40	Лужение и пайка электроаппаратуры, деталей из оцинкованного железа с герметичными швами.
ПОС 10	Лужение и пайка контактных поверхностей электрических аппаратов, приборов, реле, для заливки и лужения контрольных пробок топок паровозов.
ПОС 61М	Лужение и пайка электропаяльниками тонких (толщиной менее 0,2 мм) медных проволок, фольги, печатных проводников в кабельной, электро- и радиоэлектронной промышленности. Применение припоя при лужении и пайке в тиглях и ваннах на допускается.
ПОСК 50-18	Пайка деталей, чувствительных к перегреву, металлизированной керамики, для ступенчатой пайки конденсаторов.
ПОССу 61-0,5	Лужение и пайка электроаппаратуры, оцинкованных радиодеталей при жестких требованиях к температуре.
ПОССу 50-0,5	Лужение и пайка авиационных радиаторов, пайка пищевой посуды с последующим лужением пищевым оловом.
ПОССу 40-0,5	Лужение и пайка жести, пайка монтажных элементов, радиаторных трубок, оцинкованных деталей холодильных агрегатов.
ПОССу 35-0,5	Лужение и пайка свинцовых кабельных оболочек электротехнических изделий неответственного назначения, тонколистовой упаковки.
ПОССу 30-0,5	Лужение и пайка листового цинка, радиаторов.
ПОССу 25-0,5	Лужение и пайка радиаторов.
ПОССу 18-0,5	Лужение и пайка трубок теплообменников
ПОССу 95-5	Пайка в электропромышленности, пайка трубопроводов, работающих при повышенных температурах.
ПОССу 40-2	Лужение и пайка холодильных устройств, тонколистовой упаковки. Припой широкого назначения.
ПОССу 30-2	Для лужения и пайки в холодильном аппаратостроении, автомобилестроении, для абразивной пайки.
ПОССу 18-2	Пайка в автомобилестроении.
ПОССу 5-1	Лужение и пайка деталей, работающих при повышенных температурах.
ПОССу 4-6	Пайка белой жести, лужение и пайка деталей с закатанными и клепаными швами из латуни и меди.
ПОССу 4-4	Лужение и пайка в автомобилестроении.
ПОСК 2-18	Лужение и пайка металлизированных и керамических деталей.
Примечание. Малосурьмянистые припои рекомендуются для пайки цинковых и оцинкованных деталей.	

8.2.2. Серебряные припои

Таблица 8.90

Марки серебряных припоев и их назначение

Марка припоя	Примерное назначение
ПСр 72; ПСр 71; ПСр 62; ПСр 50Кд; ПСр 50; ПСр 45; ПСр 40; ПСр 37,5; ПСр 25; ПСр 15; ПСр 10; ПСр 2,5 ПСр 72; ПСр 62; ПСр 40; ПСр 25; ПСр 12М	Лужение и пайка меди, медных и медно-никелевых сплавов, никеля, ковара, нейзильбера, латуней и бронз. Пайка стали с медью, никелем, медными и медно-никелевыми сплавами.
ПСрМО 68-27-5; ПСр 70; ПСр 50	Пайка титана и титановых сплавов с нержавеющей сталью.
ПСр 37,5	Пайка меди и медных сплавов с жаропрочными сплавами и нержавеющими сталями.
ПСр 40	Пайка меди и латуни с коваром, никелем, с нержавеющими сталями и жаропрочными сплавами, пайка свинцово-оловянистых бронз.
ПСр 71; ПСр 25Ф; ПСр 15	Самофлюсующиеся припои для пайки меди с бронзой, меди с медью, бронзы с бронзой.
ПСр 3Кд	Пайка меди, медных сплавов и сталей по свежеванесенному медному гальваническому покрытию не менее 10 мкм.
ПСрМО 68-27-5; ПСрКдМ 50-34-6;ПСрМЦКд 45-15-16-24; ПСр 3; ПСр 2,5	Пайка и лужение цветных металлов и сталей.
ПСр 1	Пайка и лужение серебряных деталей.
Обозначения: П — припой; Ср — серебро; М — медь; О — олово. Числа означают соответственно процентное содержание этих элементов.	

Таблица 8.91

Температура плавления и плотность серебряных припоев

Марка припоя	Плотность, кг/м³ × 10³	Критическая точка температуры плавления, °С		Марка припоя	Плотность, кг/м³ × 10³	Критическая точка температуры плавления, °С	
		верхняя	нижняя			верхняя	нижняя
ПСр 72	10,0	779	779	ПСр 25	8,7	775	740
ПСр 71	9,8	795	654	ПСр 25Ф	8,3	725	645
ПСр 70	9,8	770	715	ПСр 15	8,5	810	640
ПСр 65	9,45	722	695	ПСр 12М	8,3	830	793
ПСр 62	9,6	723	650	ПСр 10	8,4	850	822
ПСр 50	9,3	860	770	ПСр 3	11,4	315	304
ПСр 50Кд	9,25	640	625	ПСр 3Кд	8,7	342	314
ПСр 45	9,1	730	665	ПСр 2,5	11,0	300	295
ПСр 40	9,25	610	590	ПСр 2,5С	11,3	306	304
ПСр 37,5	8,9	810	725	ПСр 1	9,4	235	225

Сортамент серебряных припоев. Проволоку круглую (по ГОСТ 19746—74) изготовляют следующих диаметров: 0,15; 0,20; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 3,6; 4,0; 5,0; 6,0 мм.

Пример обозначения проволоки из серебряного припоя марки ПСр 50 диаметром 0,25 мм:

Проволока ПСр 50 0,25
ГОСТ 19746—74

Полосы (по ГОСТ 19739—74) изготовляют: толщиной 0,10; 0,12; 0,15;0,20; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0 мм; шириной 50; 100; 150; 200 мм; длиной 100; 150; 200; 300; 400 мм.

Пример обозначения полосы из серебряного припоя марки ПСр 50 толщиной 0,8 мм, шириной 200 мм, длиной 400 мм:

Полоса ПСр 50 0,8×200×400
ГОСТ 19739—74

8.2.3. Медно-цинковые припои (ГОСТ 23137—78)

Таблица 8.92

Марки и химический состав[1] медно-цинковых припоев

Припой	Марка	Основные компоненты		Примерное назначение — пайка
		Медь	Цинк	
Медно-цинковый 36	ПМЦ 36	34—38	Остальное	Латуни, содержащей до 68 % меди.
Медно-цинковый 48	ПМЦ 48	46—50	»	Медных сплавов, содержащих меди свыше 68 %.
Медно-цинковый 54	ПМЦ 54	52—56	»	Меди, томпака, бронзы и стали.

Таблица 8.93

Механические и физические свойства медно-цинковых припоев

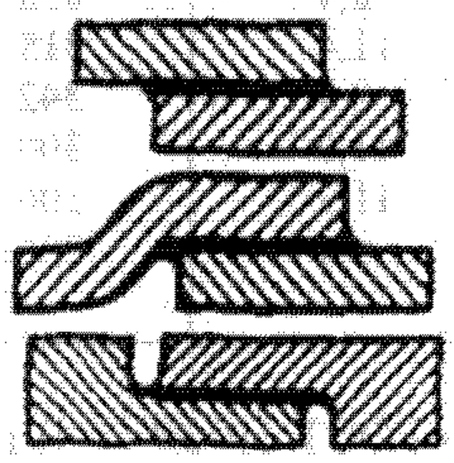
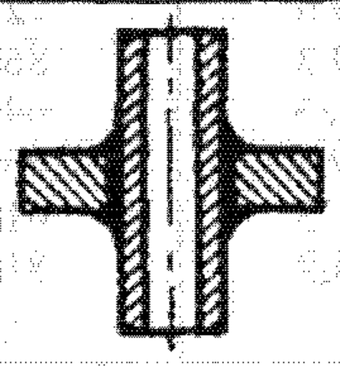
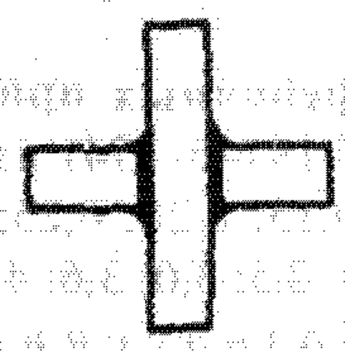
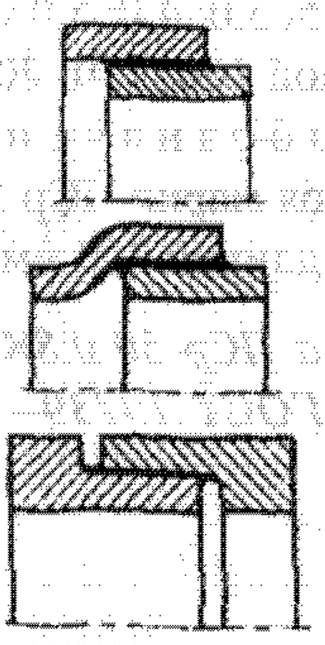
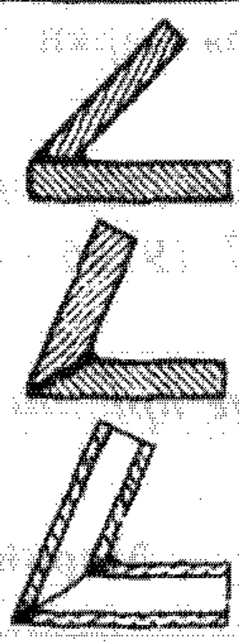
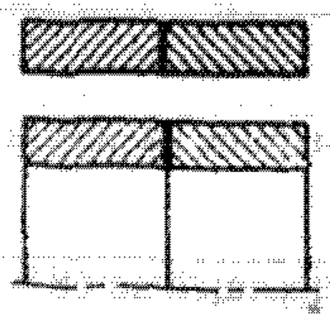
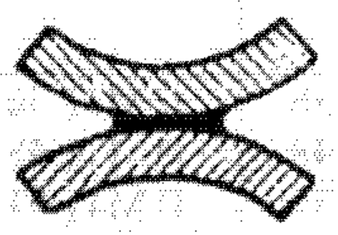
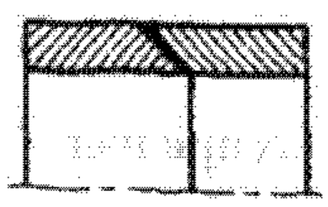
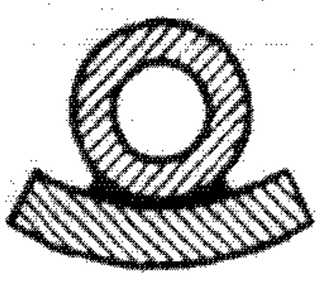
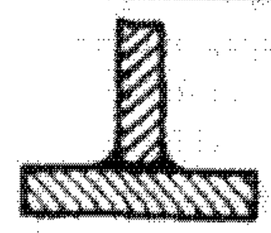
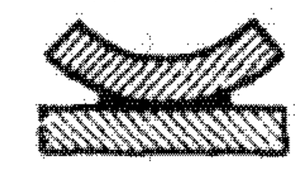
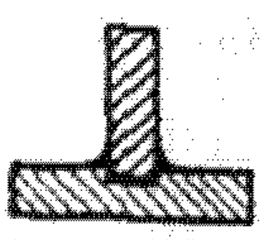
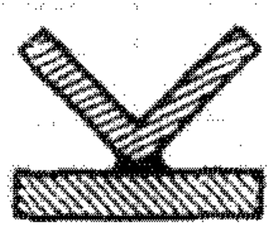
Марка	Температура плавления, °С		Плотность, кг/м³ × 10³	Коэффициент линейного расширения, $\alpha \cdot 10^6$ °С	Удельное сопротивление, Ом·мм²/м	Предел прочности при растяжении, МПа (кгс/мм²)	Относительное удлинение, %	Твердость, НВ
	Ликвидус	Солидус						
ПМЦ 36	825	800	7,7	22	10,3	Хрупкий	—	—
ПМЦ 48	865	850	8,2	21	4,5	205,8 (21)	3	130
ПМЦ 54	880	876	8,3	21	4,0	343 (35)	20	128

[1] Примеси, не более: 0,1 % Fe; 0,5 % Pb.

8.2.4. Основные типы и параметры паяных соединений

Таблица 8.94

Типы паяных соединений и их обозначения (ГОСТ 19249—73)

Тип паяного соединения	Форма поперечного сечения соединения	Условное обозначение соединения	Тип паяного соединения	Форма поперечного сечения соединения	Условное обозначение соединения
Нахлесточный		ПН-1 ПН-2 ПН-3	Тавровый		ПТ-3
					ПТ-4
Телескопический		ПН-4 ПН-5	Угловой		ПУ-1 ПУ-2 ПУ-3
		ПН-6			
Стыковой		ПВ-1 ПВ-2	Соприкасающийся		ПС-1
Косостыковой		ПВ-3 ПВ-4			ПС-2
Тавровый		ПТ-1 ПТ-2			ПС-3
					ПС-4

Примечание. Тип паяного соединения определяется взаимным расположением и формой паяемых деталей в месте соединения.

Таблица 8.95

Конструктивные элементы паяных швов и их обозначения

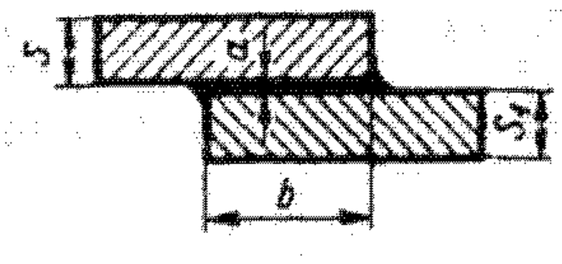
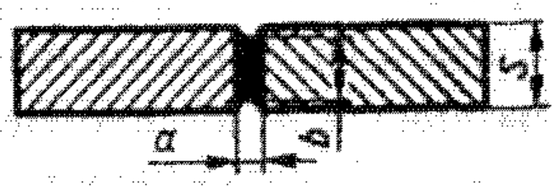
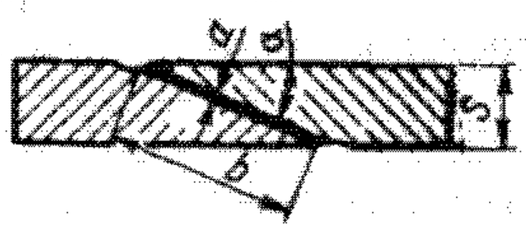
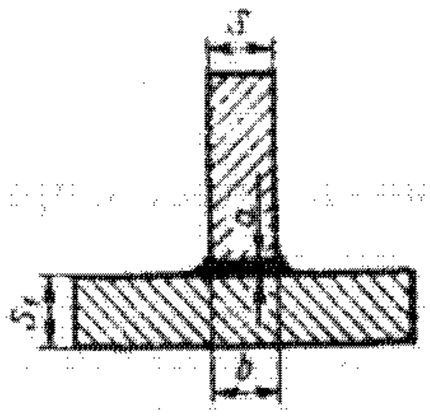
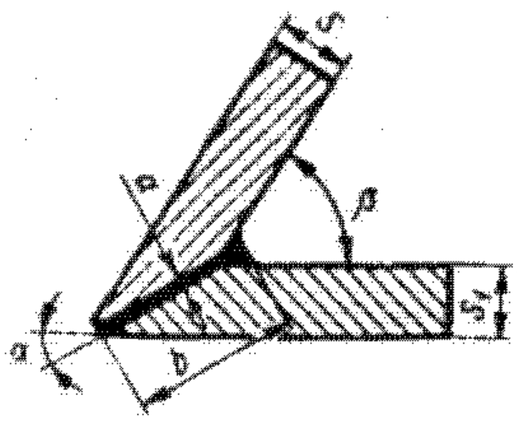
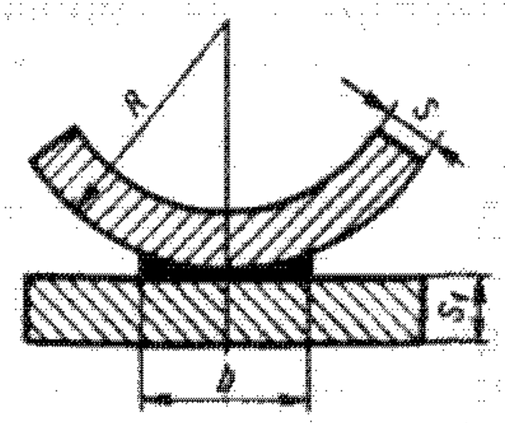
Тип соединения	Конструктивные элементы паяных швов	Наименование конструктивных элементов	Обозначение конструктивных элементов
Нахлесточный телескопический		Толщина основного материала Толщина шва Ширина шва	s a b
Стыковой		Толщина основного материала Толщина шва Ширина шва	s a b
Косостыковой		Толщина основного материала Толщина шва Ширина шва Угол скоса	s a b α
Тавровый		Толщина основного материала Толщина шва Ширина шва	s a b
Угловой		Толщина основного материала Толщина шва Ширина шва Угол соединения деталей Угол скоса	s a b β α
Соприкасающийся		Толщина основного материала Радиус кривизны паяемой детали Ширина шва	s R b

Таблица 8.96

Сборочные зазоры для наиболее распространенных сочетаний «паяемый материал — припой», мм

Припой	Паяемый материал				
	Медь	Медные сплавы	Сталь углеродистая и низколегированная	Сталь коррозионностойкая	Алюминий и алюминиевые сплавы
Оловянно-свинцовый	0,07—0,20	0,07—0,20	0,05—0,50	0,20—0,75	0,05—0,15
Медный	—	0,04—0,20	0,001—0,05	0,01—0,10	—
Медно-цинковый	0,04—0,20	0,04—0,20	0,05—0,25	0,02—0,12	—
Серебряный	0,04—0,25	0,04—0,25	0,02—0,15	0,05—0,10	—
Алюминиевый	—	—	—	—	0,12—0,25
Цинковый	—	—	—	—	0,10—0,25

Конструктивными элементами паяного шва являются: капиллярный участок шва и галтель (галтели).

Основными параметрами конструктивных элементов паяного шва являются толщина, ширина и длина капиллярного участка шва.

Толщина шва — расстояние между поверхностями соединенных деталей. Это расстояние эквивалентно величине паяльного зазора.

Ширина шва — протяженность капиллярного участка шва в сечении, характеризующем тип паяного соединения (характерном сечении). В соединениях внахлестку и телескопическом ширина шва равна величине нахлестки.

Длина шва — протяженность паяного шва вдоль его оси, перпендикулярной плоскости характерного сечения.

Толщина шва a определяется величиной сборочного зазора и физико-химическими свойствами паяемого материала и припоя. Величины сборочных зазоров для наиболее распространенных сочетаний «паяемый материал — припой» приведены в табл. 8.96.

Величина нахлестки определяется механическими свойствами паяемого материала, паяного шва и требованиями, предъявляемыми к конструкции.

Толщина паяемого материала s устанавливается при проектировании паяной конструкции.

8.2.5. Пределы прочности на срез паяных соединений

Примеры пределов прочности на срез паяных соединений металлов приведены в табл. 8.97 и 8.98.

Таблица 8.97

Значения предела прочности на срез соединений оловянно-свинцовым припоем ПОС 40

Основной металл	Пределы прочности в МПа при температуре, °С					
	– 196	– 183	– 96	– 60	+ 20	+85
Сталь 20	60	55	55	51	28	22
12Х18Н9Т	30	34	30	50	32	20
Медь М3	35	33	34	35	27	16
Латунь Л63	29	29	31	27	22	22

Таблица 8.98

Значения предела прочности на срез соединений серебряными припоями

Основной металл	Предел прочности, МПа		
	ПСр 40	ПСр 45	ПСр 25
12Х18Н9Т	240—290	180—260	190—240
40ХНМА	330—460	—	—
30ХГСА	350—460	350—410	350—430
Медь		250	

8.2.6. Допускаемые напряжения в паяных соединениях

Допускаемые напряжения в паяных соединениях зависят от многих факторов: свойств основного материала, припоев, технологического процесса, вида соединения, толщины шва, рода силовых нагрузок, температурного режима эксплуатации, среды работы конструкции. Надежным и приемлемым методом определения допускаемых напряжений в паяных соединениях является испытание образцов при параметрах и условиях, близких к производственным.

Для паяных соединений встык рекомендуется испытание до момента разрушения. В таком случае разрушающее напряжение

$$\sigma_p = \frac{P}{F},$$

где P — разрушающее усилие; F — площадь поперечного сечения испытуемого ибразца.

Допускаемое напряжение при пайке может быть определено в зависимости от величины разрушающего напряжения и коэффициента запаса прочности K, который рекомендуется брать равным 2,5—3,0 при статических напряжениях.

Для паяных соединений внахлестку испытания проводят на образцах, имеющих толщины, равные принятым в конструкциях при длине нахлестки $2,5s$. Разрушающее напряжение

$$\tau = \frac{P}{b \cdot 2,5s},$$

где b — ширина образца; s — толщина образца.

Коэффициент запаса прочности такой же, как при испытании соединения встык.

Для телескопических паяных соединений целесообразно производить испытание на образцах аналогичных конструкций. Разрушающее напряжение

$$\tau = \frac{P}{F},$$

где F —площадь шва в телескопическом соединении. Коэффициент запаса прочности принимать, как при испытании соединения встык.

8.3. Клеевые соединения

Склеивание применяют для соединения однородных и разнородных материалов, преимущественно для соединения слабонагруженных деталей, деталей из листового материала, гнутых профилей, труб и пр. Для большинства соединений необходимы нагрев и сжатие склеиваемых деталей.

Для склеивания деталей требуется их механическая и химическая подготовка. Механическую подготовку металлических деталей производят на металлорежущих станках или напильником, сложные поверхности подвергают пескоструйной обработке. При склеивании металлов следует избегать очень шероховатых поверхностей, чтобы исключить попадание воздушных пузырьков в углубления поверхностей, что может привести к возникновению внутренних напряжений. Резиновые детали зачищают наждачной шкуркой. Пластмассовые детали обрабатывают резанием или зачищают шкуркой. Детали из стекла, фарфора перед склеиванием не подвергают механической обработке.

Химическая подготовка заключается в обезжиривании склеиваемых поверхностей ацетоном, спиртом, бензином или бензолом.

Существенное значение имеет выбор толщины клеевого шва: 0,1—0,2 мм для клея ПЭФ-2/10; 0,05—0,25 мм для клея БФ-2 и БФ-4 при двустороннем двухслойном нанесении на металлическую поверхность и однослойном — на пластмассовую поверхность. С применением швов толщиной более 0,5 мм значительно снижается прочность соединения.

Наибольшее влияние на прочность соединения оказывает температура эксплуатационного режима (табл. 8.99). Клеи и их физико-механические свойства приведены в табл. 8.100.

Таблица 8.99

Предел прочности клеевого соединения при отрыве при кратковременном нагружении

Марка клея	$\sigma_{отр}$ в МПа при температуре, °С					
	– 60	20	60	100	200	300
БФ-4	7	15	9	5	1,5	—
ПЭФ-2/10	—	20	16	10	6	2,5

Клеи марок БФ-2, БФ-4, ПЭФ-2/10, ВС-10Т вибростойки.

Клей марки БФ-2 по сравнению с клеем марки БФ-4 соответственно обладает большей термостойкостью, но меньшей эластичностью.

Теплостойкий клей ВС-10Т работает без снижения прочности клеевого шва при 200 °С в течение 200 ч и при 300 °С — 5 ч с учетом термостойкости склеиваемых материалов.

Клей ПЭФ-2/10 устойчив к воздействию топлива и масел, допускает применение при вибрации или возвратно-поступательном перемещении одной поверхности относительно другой, употребляется для горячего и холодного склеивания.

Неконструкционные клеи применяют для соединения ненагруженных деталей, конструкционные — для прочностных соединений.

Таблица 8.100

Конструкционные и неконструкционные клеи

Показатели	БФ-2	БФ-4	БФ-2Н	БФ-6	ВС-10Т по ГОСТ 22345—77	ПЭФ-2/10 по ТУ 6-05-16-40—75	Циакриновый ЭПЗ-2
	по ГОСТ 12172—74						
Склеиваемые материалы	Цветные металлы, нержавеющие стали; эти металлы с неметаллами; пластмассой, деревом, фиброй, кожей, тканями		Черные металлы	Ткани, войлок, резина между собой и с металлами	Стали, дюралюминий, теплостойкие пенопласты, стеклотекстолиты между собой и в сочетании друг с другом. Фрикционные накладки к тормозным колодкам	Металлы с металлами, резиной, пластмассой, органическим стеклом, текстолитом, кожей	Металлы с металлами, дюралюминий с кожей и резиной, сталь с пробкой, резина с резиной, дерево с резиной и брезентом
Температура эксплуатации клея	От – 60 до + 80 °С	От – 60 до + 60 °С	От – 60 до + 80 °С	—	200 °С в течение 200 ч	—	От – 50 до + 50 °С
Предел прочности клеевого соединения при сдвиге, МПа, не менее: при 20 °С при 60 °С при 80 °С при 150—200 °С	19,6 — 9,8 —	19,6 9,8 — —	19,6 — 8,9 —	Не определяется	Стали 30ХГСА 18,5 при 20 °С 6,4 при 200 °С 4,5 при 300 °С	20 16 10 при 100 °С 6 при 200 °С 2,5 при 300 °С	9 — — —
Коррозионная активность на образцах: алюминиевых	Отсутствие		Не определяется		Отсутствие	—	Отсутствие
стальных	Не определяется		Отсутствие	Не определяется	Отсутствие	—	Отсутствие
Стойкость к воздействию агрессивных сред: масло, бензин, керосия, вода	Стоек			Стоек	Стоек		Стоек
спирт, ацетон	Ограниченно стоек		—	Ограниченно стоек	—	—	—
кислота	Стоек						Стоек
щелочь	Ограниченно стоек						Стоек
Внешний вид	Прозрачная или слегка мутная жидкость от светло-желтого до красноватого цвета						—

* При длительном воздействии воды прочность снижается на 45 %.

8.3.1. Конструктивные элементы склеиваемых деталей

В прочностных клеевых конструкциях наиболее распространены соединения внахлестку и встык. Примеры конструктивных элементов склеиваемых деталей приведены на рис. 8.34—8.36.

Клеевые соединения лучше выдерживают сдвиг и хуже — неравномерный отрыв. Когда клеевые соединения подвергаются неравномерному отрыву, отдиранию, для надежности, большей долговечности и увеличения силовой нагрузки следует предусматривать усилия, например, приклеивание накладок, приклепывание и точечную сварку.

Техника безопасности. Фенолополивинилацетальные клеи (БФ-2, БФ-4, БФ-2Н, БФ-6) — горючая невзрывоопасная жидкость. Из клеев этих марок возможно выделение фенола, формальдегида, аммиака, масляного альдегида.

Для предотвращения вредного воздействия веществ, выделяющихся при повышенной температуре из клеев, помещения необходимо оснастить приточно-вытяжной вентиляцией.

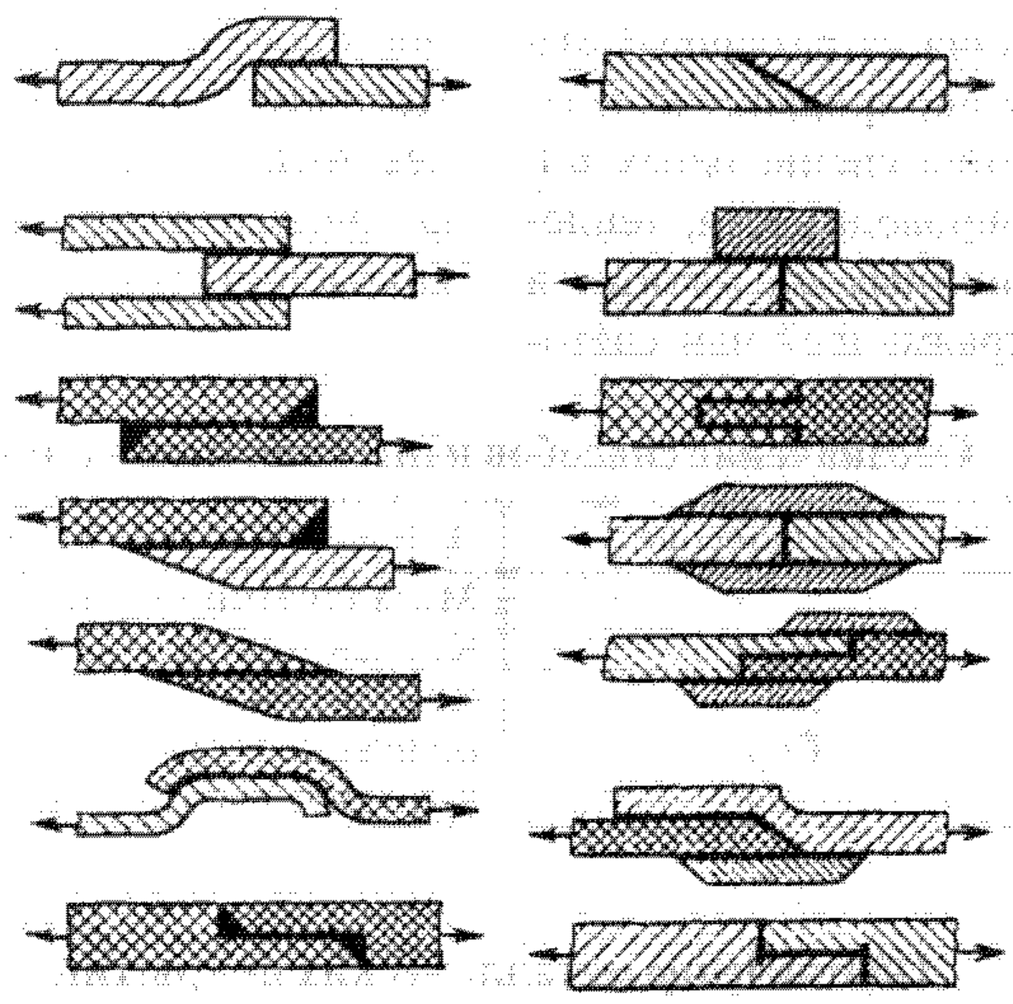
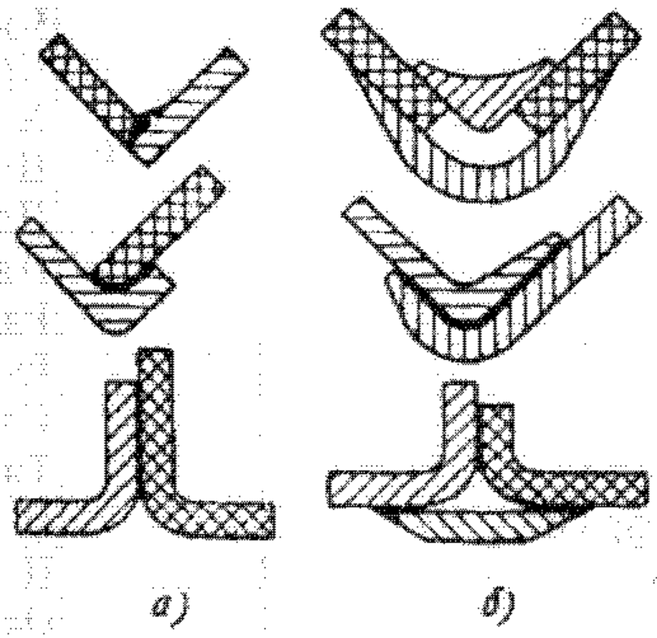
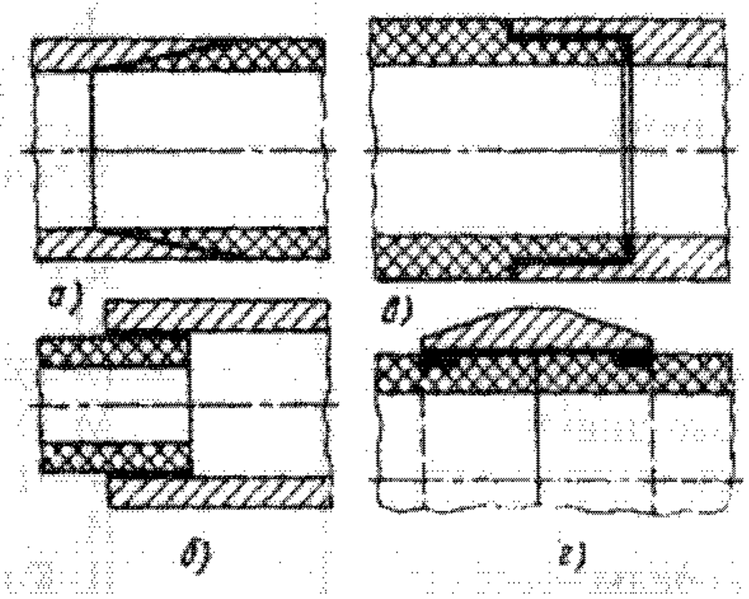


Рис. 8.34. Типы клеевых соединений



а) *б)*

Рис. 8.35. Клеевые угловые соединения прочностью:
а — неудовлетворительной; *б* — удовлетворительной



а) *б)* *в)* *г)*

Рис. 8.36. Клеевые соединения труб:
а — стыковое металлической и пластмассовой труб на ус; *б* — нахлесточное труб разного диаметра; *в* — стыковое ступенчатым клеевым швом; *г* — стыковое пластмассовых труб посредством металлической муфты

ГЛАВА 9

ПОКРЫТИЯ

Покрытия наносят на изделия из различных материалов для защиты от коррозии, придания изделиям декоративного вида, создания специальных поверхностных свойств (электропроводимости, теплопроводности, электроизоляционных магнитных и немагнитных свойств, светоотражающей или светопоглощающей способности, износостойкости и др.). Покрытия могут быть металлическими и неметаллическими неорганическими (оксидные, фосфатные, фторидные и др.), пластмассовыми, резиновыми, лакокрасочными.

Таблица 9.1

Обозначение способов нанесения покрытий

Способ получения покрытия	Обозначение	Способ получения покрытия	Обозначение
Катодное восстановление	—	Металлизационный	Мет
Химический	Хим	Конденсационный	Кон
Анодное окисление	Ан	Контактный	Кт
Горячий	Гор	Вжигание	Вж
Диффузионный	Диф	Катодное распыление	Кр

Таблица 9.2

Обозначение металлических покрытий

Материал покрытия	Обозначение*	Материал покрытия	Обозначение*
Железо	Ж	Серебро	Ср
Золото	Зл	Серебро–сурьма	Ср–Су
Золото–серебро	Зл–Ср	Серебро–палладий	Ср–Пд
Золото–сурьма	Зл–Су	Хром	Х
Индий	Идин	Цинк	Ц
Кадмий	Кд	Платина	Пл
Кобальт	Ко	Палладий	Пд
Медь	М	Родий	Рд
Медь–олово	М–О	Рутений	Ру
Медь–олово-цинк*	М–О–Ц	Свиней	С
Медь–цинк	М–Ц	Титан	Ти
Никель	Н	Никель–вольфрам	Н–В
Никель–кобальт–фосфор	Н–Ко–Ф	Цинк–никель	Ц–Н
Олово	О	Оксиды	Окс
Олово–висмут	О–Ви	Фосфаты	Фос
Олово–кобальт	О–Ко	Алюминий	А
Олово–свинец	О–С	Золото–платина	Зл–Пл
Олово–цинк	О–Ц	Алюминий–цинк	А–Ц
Олово–никель	О–Н	Рений	Ре

* В обозначение покрытий, состоящих из сплава, включается максимальное процентное содержание первого или первого и второго компонентов сплава (в случае трехкомпонентного сплава). Например, медно-оловянно-свинцовое покрытие с массовой долей меди 70–78 %; олова 10–18 % и свинца 4–20 % обозначают М–О–С (78; 18).

Таблица 9.3

Обозначение признаков, характеризующих физико-механические свойства покрытий

Признак покрытия	Обозначение
Твердое	тв
Электропроводное	э
Электроизоляционное	эиз

Таблица 9.4

Обозначение видов дополнительной обработки покрытий

Вид дополнительной обработки покрытия	Обозначение	Вид дополнительной обработки покрытия	Обозначение
Фосфатирование	фос	Гидрофобизирование	гфз
Хроматирование	хр	Пропитка маслом	прм
Оксидирование	окс	Наполнение в воде	нв
Оплавление	опл	Нанесение лакокрасочного покрытия	лкп
Пропитка	прп		

Таблица 9.5

Особенности контакта между металлами и неорганическими покрытиями в различных условиях эксплуатации

Соединяемые металлы и покрытия	Золото, платина, палладий, родий	Серебро	Хромоникелевые стали	Хром	Медь и ее сплавы	Никель	Олово и его сплавы	Свинец и его сплавы	Титан и его сплавы	Стали			Алюминий и его сплавы оксидированные	Цинк и цинковые покрытия		Магний и его сплавы оксидированные
										хромистые	углеродистые	кадмий		хроматированные	фосфатированные	
	Условия эксплуатации*															
	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож	л, с, ж, ож
Олово и его сплавы	0011	0011	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0222	0011	0011	0011	0000	2222
Свинец и его сплавы	0222	0222	0011	0011	0011	0011	0000	0000	0000	0011	0222	0011	0111	0011	0000	2222
Титан и его сплавы	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0000	0222	1122	1122	1122	0011	2222
Хромистые стали	0000	0000	0000	0000	0011	0000	0000	0000	0000	0000	0222	0222	0111	0111	0222	2222
Стали углеродистые низколегированные	1222	1222	0222	0222	0222	0222	0222	0222	0222	0222	0000	0222	0222	1222	0022	2222
Кадмий и кадмиевые покрытия хроматированные	2222	2222	0222	0222	1222	0222	0011	0011	1122	0222	0222	0000	0000	0000	0000	2222
Алюминий и его сплавы оксидированные	2222	2222	0222	0011	1222	0222	0011	0111	1122	0111	0222	0000	0000	0000	0000	2222
Цинк и цинковые покрытия:																
хроматированные	2222	2222	1222	0222	2222	0222	0011	0011	1122	0222	1222	0000	0000	0000	0000	2222
фосфатированные	2222	2222	1222	0122	0011	0011	0000	0000	0011	0222	0022	0000	0000	0000	0000	2222
Магний и его сплавы оксидированные	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	2222	0000

Обозначения: 0 — при соприкосновении коррозии не происходит; 1 — при соприкосновении возможна незначительная коррозия; 2 — при соприкосновении возникает сильная коррозия.

*Условия эксплуатации: л — легкие; с — средние; ж — жесткие; ож — очень жесткие.

Таблица 9.6

Свойства и назначение металлических покрытий

Покрытие	Способ получения	Свойства покрытий	Назначение
Цинковое	Диф, Мет, Гор, катодное восстановление	45–50НВ; интервал рабочих температур – 70–250 °С; обладают хорошим сцеплением с деталью; хорошо работают на изгиб; низкая износостойкость	Защита от коррозии стали, чугуна, меди и ее сплавов
Кадмиевое	Катодное восстановление	12–40 НВ; интервал рабочих температур ±60 °С; обладают высокой пластичностью, хорошо паяются, выдерживают изгиб, развальцовку, вытяжку, хорошо притираются, устойчивы в морской среде, щелочных растворах, неустойчивы в среде сернистых газов, масел, бензина	Защита от коррозии, в том числе в морских условиях; для обеспечения притирочных свойств деталям при сборке
Никелевое	Хим, катодное восстановление	150–600 НВ; легко полируются; коррозионно-стойкие при температурах до + 650 °С	Защита от коррозии пружин, корпусов и других деталей; декоративная отделка; придание поверхностной твердости, получение светоотражающей или светопоглощающей (черный никель) поверхности. Придание магнитных свойств (Н-Ко)
Хромовое	Диф, катодное восстановление	750–110 НВ; химически стойкие, за исключением среды соляной кислоты, галогеноводородных соединений, устойчивы в условиях тропического климата	Защита от коррозии, декоративная отделка, увеличение твердости деталей, работающих на трение; получение светопоглощающей (черной) или светоотражающей поверхности
Медное	Хим, Мет, Вж, катодное восстановление	60–150 НВ; электрическое сопротивление при 18 °С равно 1,682·10 $^{-6}$ Ом·см; обладают высокой прочностью сцепления, эластичностью, выдерживают глубокую вытяжку, развальцовку, хорошо паяются, полируются, быстро окисляются	Обеспечение способности к пайке, электропроводимости, экранирование от магнитного потока
Оловянное и его сплавами	Хим, Гор, Мет, катодное восстановление	15–20 НВ; эластичны; устойчивы к сероводороду, органическим кислотам, воздействию тропического климата; выдерживают изгибы, вытяжку, развальцовку	Защита при азотировании, гуммировании, защита от коррозии, обеспечение способности к пайке (О-Вп); декоративная отделка (О-Н)
Серебряное и его сплавами	Хим, Вж, катодное восстановление	50–150 НВ; электрическое сопротивление при 18 °С равно 1,5·10 $^{-6}$ Ом·см; отражательная способность свежего покрытия 90–95 %; хорошо паяются; износостойкость пониженная; у сплавов Ср-Су твердость до 22 НВ; тускнеют и темнеют в атмосфере серы, хлора, аммиака	Улучшение электропроводимости, износостойкости (Ср-Су, Ср-П); обеспечение отражательной способности
Золотом и его сплавами	Хим, катодное восстановление	40–100 НВ; электрическое сопротивление при 18 °С равно 2,213·10 $^{-6}$ Ом·см; обладают высокой теплопроводностью, хорошо обеспечивают сварку. Сплавы Зл-Ср, Зл-Н, Зл-К износостойки и обладают твердостью НВ до 200	Снижение переходного сопротивления контактов; повышение их износостойкости
Палладиевое	То же	200–350 НВ; электрическое сопротивление при 18 °С равно 10,8·10 $^{-6}$ Ом·см; в контакте с пластмассами на покрытии образуются темные пленки, увеличивающие переходное сопротивление	Обеспечение электропроводимости, снижение износостойкости контактов
Родиевое	»	400–800 НВ; отражательная способность 73–75 %; покрытия стойки к кислотам, щелочам	Повышение электропроводимости, износостойкости, отражательной способности

Таблица 9.7

Свойства и назначение неорганических неметаллических покрытий

Покрытие	Материал деталей	Свойства	Назначение
Оксидное	Сталь, медь и ее сплавы, магниевые сплавы	Защитные свойства невысокие, повышаются при обработке покрытий маслами, лаками, гидрофобизирующими жидкостями	Межоперационное хранение; декоративная отделка и защита от коррозии (медь, магний и их сплавы)
Окисно-фторидное; окисно-фосфатное	Алюминий и его сплавы	Обладают эластичностью, хорошей адгезией с металлом; окисно-фосфатное покрытие неэлектропроводно, является хорошим грунтом под окраску	Декоративная отделка и защита от коррозии
Хроматно-фторидное	То же	Обладают токопроводящими свойствами, стабильностью переходного сопротивления, являются хорошим грунтом под окраску, механически непрочны	Обеспечение стабильного переходного сопротивления
Фосфатное	Стали	Обладают высоким электрическим сопротивлением, термостойкостью до + 300 °С, не подвергаются пайке и сварке; защитные способности появляются после дополнительной обработки маслами, лаками	Защита от коррозии, создание непроводящего поверхностного слоя
Пассивное	Стали, медь и ее сплавы	Для повышения коррозионной стойкости применяют дополнительную пропитку маслами, лаками	Защита от коррозии
Оксидное анодизационное	Алюминий и его сплавы; медь и ее сплавы; магниевые сплавы; титан и его сплавы	Твердость покрытия на алюминии и его сплавах 28–44 НВ, электроизоляционные покрытия имеют пробивное напряжение до 600 В; электрическая прочность возрастает при пропитке покрытия лаками; эматалевые пленки на алюминии и окисные на титане обладают износостойкими свойствами	Защита от коррозии, придание электроизоляционных свойств; получение светопоглощающей поверхности (медь), защита от задиров при трении (титан), грунты под окраску

Таблица 9.8

Пластмассовые и резиновые покрытия

Материал	Толщина покрытия, мм	Материал детали				Грунт под покрытие	Температура нагрева, °С, в зависимости от метода нанесения покрытия			σ, %	Рабочая температура, °С	Покрытие стойко в среде					Поверхности детали			
		М	Д	Б	Т		Н	П	СВ			к	щ	о	б	с	в	н	д	т
Полиэтилен ВД	0,1–1	+	+		+	—	—	240	—	200	–50÷100	+	+	—	+	+	+	+	+	—
Полиэтилен НД	0,1–1	+	+	+		—	280	—	220	200	–50÷100	+	+	—	+	+	+	+	+	—
Полиизобутилен ПГС	0,5–2	+	+		+	Клей 88-Н	—	20	—	200	–40÷80	+	+	—	—	+	+	—	—	—
Полипропилен	0,1–1	+	+	+		—	250	—	—	200	–30÷150	+	+	—	+	+	+	+	+	+
Винипласт	0,3–1	+		+		ХГС	—	170	—	15	–30÷70	+	+	+	+	+	+	—	—	—
Поливинилхлоридная паста	0,1–1	+	+		+	—	—	—	160	100	–30÷70	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Фторопласт-4Д, 4ДП	0,05	+				—	—	—	370	75	–200÷250	+	+	+	+	+	+	+	—	+
Фторопласт-3, 3М	0,15	+				—	—	—	330	75	–100÷120	+	+	+	+	+	+	+	—	+
Масса на основе поливинилбутираля ПНФ-12, ТПФ-37	0,1–1	+				—	320	—	240	50	–40÷120	+	+	—	+	—	—	+	+	+
Капрон; полиамид П-68; полиамид П-АК-7	0,1–1	+				—	260–300	—	220	30	–40÷120	—	+	—	+	+	+	+	+	+
Эпоксидная смола со стекловолокном	0,5–2	+		+		—	20	—	—	10	–40÷100	+	+	—	+	+	+	+	—	—

Продолжение табл. 9.8

Материал	Толщина покрытия, мм	Материал детали				Грунт под покрытие	Температура нагрева, °С, в зависимости от метода нанесения покрытия			σ, %	Рабочая температура, °С	Покрытие стойко в среде					Поверхности детали			
		М	Д	Б	Т		Н	П	СВ			к	щ	о	б	с	в	н	д	т
Сырая резина на каучуках:																				
СКБ, СКС	0,5–2	+			+	Клей лейконат	—	—	150	200	–40÷90	+	+	—	—	+	+	+	—	+
СКН-40	0,5–2	+			+	То же	—	—	150	200	–40÷90	+	+	+	+	+	+	+	—	+
Жидкий найрит	0,5–2	+				—	20	—	—	200	–40÷90	+	+	+	+	+	+	+	—	—

Условные обозначения: 1. Знак «+» означает пригодность, знак «—» — непригодность покрытия для данных материалов и условий.

2. Материал детали: М — металл; Д — дерево; Б — бетон; Т — ткань.

3. Метод нанесения покрытия: Н — напыление; П — плакирование; СВ — спекание или вулканизация.

4. Среда: к — кислота; щ — щелочь; о — окислители; б — бензин; с — спирт.

5. Поверхности детали: в — внутренние; и — наружные; д — декоративные; т — трущиеся.

Таблица 9.9

Свойства и назначение грунтовок и шпатлевок

Наименование, марка (ГОСТ, ТУ)	Цвет*	Режим сушки		Свойства и назначение
		температура, °С	длительность	
Грунтовки				
Сополимеры винихлорида: ХС-010 (ГОСТ 9355—81)	К–К	18–23 60	1 ч 0,5 ч	Наносят на черные металлы, медь и ее сплавы, под перхлорвиниловые и сополимерные эмали в комплексе химически стойких, атмосферостойких, масло- и бензостойких покрытий. Подготовка поверхности — пескоструйная, дробеструйная обработка, фосфатирование
ХС-059 (ГОСТ 23494—79)	К-К	18–23	24 ч	Наносят на черные металлы, алюминий и его сплавы под сополимерные и перхлорвиниловые эмали в комплексе химически стойких и атмосферостойких покрытий
Глифталевая ГФ-0119 (ГОСТ 23343—78)	К-К	18–23 100–110	12 ч 35 мин	Наносят на черные металлы, медь и ее сплавы под различные эмали; обладают удовлетворительной противокоррозионной стойкостью, маслостойкостью
Фенольно-формальдегидные ФЛ-03К, ФЛ-03Ж (ГОСТ 9109—81)	К-К	10–23 100–110 175	12 ч 35мин 15 мин	Наносят под различные эмали; обладают повышенной противокоррозионной стойкостью; ФЛ-03К наносят на черные металлы, медь и ее сплавы, припои; ФЛ-03Ж наносят на коррозионностойкие стали, алюминий
Масляные: КФ-030 (МРТУ 10-698—67) ФЛ-086 (ГОСТ 16302—79)	 Ж Ж	 40 ч 4 ч 5 ч 2 ч		Наносят на алюминий и его сплавы в комплексе атмосферостойких покрытий; КФ-030 под масляные, глифталевые, пентафталевые, меламинные, мочевинные, фенольные, кремнийорганические покрытия; ЛФ-086 под перхлорвиниловые, нитроцеллюлозные, масляные, глифталевые, пентафталевые, меламинные мочевинные эмали
Алкидно-стирольная МС-015	К-К	18–23	2 ч	Наносят на черные металлы в комплексе с алкидно-стирольными эмалями для покрытий внутри помещений

Продолжение табл. 9.9

Наименование, марка (ГОСТ, ТУ)	Цвет*	Режим сушки		Свойства и назначение
		температура, °С	длительность	
Акриловая АК-070	Ж	18–23	1 ч	Наносят на оксидированные алюминиевые и магниевые сплавы, на места паек припоями ПОС40; ПОС61 под сополимерные и перхлорвиниловые эмали
Поливинилбутиральные ВЛ-02; ВЛ-08	Ж	18–23	15 мин	Наносят на цветные металлы под перхлорвиниловые, масляные, глифталевые, пентафталевые, а при окраске черных металлов под алкидно-стирольные и поливинилбутиральные эмали в комплексе атмосферостойких и водостойких покрытий
Эпоксидная ЭП-09Т	Ж, К	150	1 ч	Наносят на черные и цветные металлы под эпоксидные, нитроэпоксидные эмали в комплексе атмосферостойких покрытий без воздействия солнечной радиации
Шпатлевки (ГОСТ 10277—76)				
Перхлорвиниловые:				Наносят под сополимерные и перхлорвиниловые эмали. При применении других эмалей шпатлевки необходимо перекрыть грунтовкой; ХВ-005 применяют для сплошного и местного шпатлевания; ХВ-004 — только для местного
ХВ-005	С	18–23	2,5 ч	
		60	1 ч	
ХВ-004	З	18–23	2 ч	
Пентафталевая ПФ-002	К-К	18–23	24 ч	Применяют для сплошного и местного шпатлевания под различные эмали (перед нанесением нитроцеллюлозных и перхлорвиниловых эмалей шпатлевку следует перекрыть грунтом)
		или		
		18–23	3 ч	
		затем		
		80	1 ч	
Масляная КФ-003	К, Защ	100	1 ч	Применяют для сплошного и жесткого шпатлевания под масляные и глифталевые и пентафталевые эмали для покрытий, стойких внутри помещения
Нитроцеллюлозная НЦ-007	К-К	18–23	1ч	Применяют для исправления незначительных дефектов под нитроцеллюлозные эмали
Алкидно-стирольная МС-006	Р	18–23	15 мин	Применяют для исправления незначительных дефектов под меламинные, мочевинные, глифталевые, пентафталевые алкидно-стирольные эмали
Эпоксидные:				
ЭП-0010	К-К	18–23	24 ч	Применяют как самостоятельное химически стойкое покрытие и с перекрытием эпоксидными эмалями, для выправки дефектов глубиной до 2 мм, а с наполнителем — до 5 мм
ЭП-0020	К	18–23	24 ч	Применяют для выправки углублений глубиной до 5 мм; в качестве грунтовки под эпоксидные эмали

* К — красный; К-К — красно-коричневый; Ж — желтый; С — серый; З — зеленый; Р — розовый; Защ — защитный; Ч — черный.

Таблица 9.10

Условные обозначения групп лакокрасочных материалов по назначению (ГОСТ 9825–73)

Группа	Обозначение	Группа	Обозначение
Атмосферостойкие	1	Маслобензостойкие	6
Ограниченно атмосферостойкие (под навесом и внутри помещений)	2	Химически стойкие	7
		Термостойкие	8
Водостойкие	4	Электроизоляционные	9
Специальные	5	Консервационные	3

Таблица 9.11

Классификация лакокрасочных материалов по составу пленкообразователя (ГОСТ 9825–73)

Наименование смол, эфиров, целлюлозы, масел	Обозначение	Наименование смол, эфиров, целлюлозы, масел	Обозначение
Канифольные	КФ	Меламинные	МЛ
Битумные	БТ	Мочевинные	МЧ
Глифталевые	ГФ	Фенолалкидные	ФА
Фенольные	ФЛ	Эпоксидные	ЭП
Полиэфирные ненасыщенные	ПЭ	Эпоксиэфирные	ЭФ
Алкидно- и масляностирольные	МС	Дивинилацетиленовые	ВН
Полиуретановые	УР	Поливинилацетиленовые	ВЛ
Полиакриловые	АК	Масляные	МА
Сополимерно-акриловые	АС	Кремнийорганические	КО
Нитроцеллюлозные	НЦ	Полиамидные	АД
Этилцеллюлозные	ЭЦ	Пентафталевые	ПФ
Перхлорвиниловые	МВ	Фторопластовые	ФП
Сополимерно-винилхлоридные	ХС		

Таблица 9.12

Свойства и назначение лакокрасочных материалов

Способ нанесения покрытий	Условия сушки, характеристика покрытий
	Пентафталевые ПФ
Кистью, распылением, обливанием, окунанием, в электростатическом поле (по глифталевым и фенольным грунтовкам)	Высыхают при 18–23 °С за 24–28 ч; при 100–110 °С — за 3–4 ч. Покрытия эластичны, устойчивы к механическим воздействиям, атмосферостойки. Имеют хороший глянец. Применяют для окраски приборов и других изделей.
	Глифталевые ГФ
То же	Высыхают при 18–23 °С за 24–36 ч; при 80–100 °С — за 1,5 ч. Характеристики близки к характеристикам пентафталевых, но атмосферостойкость ниже. Применяют для защитной и декоративной окраски приборов и машин.
	Меламиноалкидные МЛ
Распылением пневматическим и в электростатическом поле (по глифталевым и фенольным грунтовкам)	Высыхают при 110–140 °С за 1–1,5 ч. Обладают высокой твердостью, эластичностью, хорошим глянцем, высокой атмосферостойкостью. Применяют для декоративной окраски приборов и машин.
	Мочевинные МЧ
То же, что и для пентафталевых	На древесине высыхают в естественных условиях при добавлении отвердителя (соляная кислота, контакт Петрова); на металлах высыхают при 120–140 °С. Обладают высокой твердостью, зеркальным блеском, бензомаслостойкостью. Применяют для окраски металлических и деревянных изделий.
	Фенольные смолы ФП
Распылением, окунанием, кистью (по фенольным грунтовкам)	Высыхают при 18–23 °С за 24–30 ч; при 180 °С — за 30 мин. Эластичны с высокой твердостью, атмосферостойки (содержат растительные масла). Применяют для окраски металлических изделий.
	Эпоксидные смолы ЭП
Распылением, кистью (по эпоксидным, фенольным, поливинилацетатным грунтовкам и эпоксидным, перхлорвиниловым шпатлевкам)	Для высыхания добавляют отвердитель (№ 1, АЭ-4). Сушат при 18–23 °С 25 ч или при 120–180 °С в течение 1–2 ч. Обладают высокой твердостью, атмосферостойкостью, бензостойкостью, водостойкостью, стойкостью к воздействию щелочей, длительной теплостойкостью при 200 °С, стойкостью к температурным перепадам –60 — +200 °С, высокими электроизоляционными свойствами. Применяют для окраски металлических изделий.
	Полиэфиры ненасыщенные ПЭ
Распылением, поливом (по порозаполнителю, шпатлевке и без них)	Сушка ступенчатая: 18–23 °С 20 мин, затем 60 °С 30 мин. Обладают стойкостью к действию воды и растворителей, нагреву и охлаждению. Применяют для высококачественной окраски деревянных корпусов.

Продолжение табл. 9.12

Способ нанесения покрытий	Условия сушки, характеристика покрытий
Полиуретановые УР	
Распылением, окунанием, кистью (по грунтовке УР-01 или по металлу)	Высыхают при 18–23 °С за 9 ч или при 120 °С за 1,5 ч. Обладают газонепроницаемостью, твердостью, бензостойкостью, эластичностью, стойкостью к истиранию. Применяют для окраски изделий из черных и цветных металлов, анодированного дуралюмина.
Нитроцеллюлозные НЦ	
Распылением (по глифталевым и фенольным грунтовкам)	Высыхают при 18–23 °С за 30 мин. Стойки к минеральным маслам, бензину, слабым щелочам. Пожаро- и взрывоопасны. Применяют для окраски изделий из металла и древесины.
Перхлорвиниловые ХВ	
Распылением (по глифталевым, фенольным и перхлорвиниловым грунтовкам)	Высыхают при 18–23 °С за 1–3 ч или при 60 °С за 0,5–1 ч. Для окончательного отверждения необходима выдержка при 18–23 °С не менее 7 суток. Обладают атмосферостойкостью, химической стойкостью, бензо- и маслостойкостью, невысокой светостойкостью и термостойкостью. Применяют для окраски изделий из металла и древесины, в том числе подвергающихся кратковременному воздействию морской и пресной воды.
Сополимеры винилхлорида ХС	
Распылением (по глифталевым и перхлорвиниловым грунтовкам)	Высыхают при 18–23 °С за 1–3 ч или при 60 °С за 0,5–1 ч. Обладают большей адгезией, химической стойкостью и морозостойкостью, чем перхлорвиниловые. Применяют для окраски оптических приборов.
Алкидно-стирольные МС	
Распылением пневматическим в электрическом поле, кистью	Высыхают при 18–23 °С за 1,5–2 ч. Обладают твердостью, стойкостью к повышенной влажности, солевым растворам, маслам, бензину, щелочным эмульсиям. Применяют для исправления дефектов в процессе окраски молотковыми эмалями (МП)
Каучуки КЧ	
Пневматическим распылением	Высыхают при 150–180 °С за 1 ч; обладают твердостью, эластичностью, атмосферостойкостью, бензо- и маслостойкостью. Применяют для окраски оптико-механических приборов.
Кремнийорганические КО	
Распылением, кистью	Высыхают при 18–23 °С за 24 ч или при 150–170 °С за 2 ч. Обладают повышенной термостойкостью (250–500 °С), атмосферостойкостью, водо-, бензо- и маслостойкостью. Применяют для окрашивания изделий из фосфатированных сталей и анодированных алюминиевых сплавов, работающих при повышенных температурах.
Полиакриловые АК, АС	
Распылением (по эпоксидным, фенольным и полиакриловым грунтовкам)	Высыхают при 18–23 °С за 24 ч или при 100 °С за 2 ч. Покрытие атмосферостойко к смазкам и спиртам, маслостойко. Применяют для окраски шкал приборов, стеклотекстолита, деталей приборов и машин.
Поливинилацетальные ВЛ	
Распылением, окунанием, кистью	Высыхают при 18–23 °С за 24 ч или при 120 °С за 1–4 ч. Покрытие водостойкое, масло- и бензостойкое. Применяют для окраски изделий из сталей, алюминиевых и магниевых сплавов, работающих при повышенной температуре в среде бензина и минеральных масел.
Битумы БТ	
То же	Высыхают при 18–23 °С за 20–24 ч. Покрытия влагостойкие и химически стойкие. Применяют в электроаппаратостроении.
Масляно-лаковые (канифольные) КФ	
Распылением, окунанием, кистью, в электрическом поле (без грунтовки по металлу и дереву)	Высыхают при 18–23 °С за 24–30 ч или при 60–65 °С за 4 ч. Покрытия атмосферостойки, эластичны. Применяют для окраски деталей, приборов и машин, декоративной окраски металлических и деревянных поверхностей.

Таблица 9.13

Возможные сочетания грунтовок с эмалями (лаками) и материалами окрашиваемых поверхностей

Материалы окрашиваемых поверхностей	Грунтовка	Эмали и лаки						
		ПФ, ГФ	МЛ	МЧ	ФЛ	ЭП	МС	НЦ
Черные металлы	ГФ-020; ФЛ-03К; ФЛ-03Ж	+	+	+	+	+ ЭП-ОТ	+*2	+
Алюминий и его сплавы	ФЛ-03Ж; ГФ-031	+; КФ-030	+; КФ-030	+; КФ-030	+; КФ-030	—; ЭП-09Т	*2	+
Медь, латунь, бронза	ФЛ-03К; ФЛ-03КК	+	+	—	+	—; ЭП-09Т	*3	+
Магниевые сплавы	ФЛ-03Ж; ГФ-031	+	+	—	+	—; ЭП-09Т	—	+
Цинк	ФЛ-03Ж; ГФ-031	+	+	+	+	—; ЭП-09Т	—	+
Сталь кадмированная	ФЛ-03Ж; ФЛ-03К; ФЛ-03КК; ГФ-031	+	+	+	+	—; ЭП-09Т	—	+
		Эмали и лаки						
		ХВ	ХС	К, КО*1	АС, АК	ВЛ	БТ	КФ
Черные металлы	ФЛ-03К; ГФ-020; ФЛ-03Ж	+; ХС-010	+; ХС-010	+*2	+; ЭП-09Т	*3	+*3	+
Алюминий и его сплавы	ФЛ-03Ж; ГФ-031	+; ХС-010	+	ФЛ-03Ж; КФ-030	*2 ФЛ-03Ж; ЭП-09Т	*3	—	+
Медь, латунь, бронза	ФЛ-03К; ФЛ-03КК	+; ХС-010	+; ХС-010	—	+; ЭП-09Т	*3	—	*3
Магниевые сплавы	ФЛ-03Ж; ГФ-031	+	+	—	ФЛ-03Ж; ЭП-09Т	*3	—	+
Цинк	ФЛ-03Ж; ГФ-031	+	+	—	ФЛ-03Ж; ЭП-09Т	—	—	+
Сталь кадмированная	ФЛ-03Ж; ФЛ-03К; ФЛ-03КК; ГФ-031	+	+	—	+; ЭП-09Т	*3	—	+

Примечания. 1. Обозначения эмалей и лаков: ПФ иГФ — алкидные; МЛ — меламинные; МЧ — мочевинные; ФЛ — фенольные; ЭП — эпоксидные; МС — алкидно-стирольные; НЦ — нитроцеллюлозные; ХВ — перхлорвиниловые; ХС — на основе сополимеров винилхлорида; К, КО — кремнийорганические; АС, АК — полиакриловые; ВЛ — поливинилацетальные; БТ — битумные; КФ — масляные эмали.

2. Знак «+» означает пригодность, знак «—» непригодность для данных эмалей (лаков); марки грунтовок рядом со знаком являются дополнительно применимыми.

*1 Для эксплуатации при высоких температурах.

*2 Эмали (лаки) можно наносить без грунтовок.

*3 Эмали (лаки) наносят без грунтовок.

9.1. Клеи и другие вспомогательные материалы

Клеи предназначены для неразъемного соединения металлов и неметаллических материалов.

Таблица 9.14

Рекомендуемые марки клея для склеивания различных материалов и минимальная рабочая температура, °С

Марка	Материалы												
	Пластмассы порошковые	Винипласты	Полиэтилен	Фторопласт-4	Полипропилен	Оргстекло	Целлулоид	Древесные материалы	Полистирол блочный	Текстолит	Стеклотекстолиты	Пенопласты	Теплоизоляционные материалы
АМК	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	150
БФ-2 *	60	—	—	60	—	—	—	—	—	60	60	—	—
БФ-4 *	—	—	—	—	—	—	—	60	—	—	—	—	—
В-107										—			
ВИАМ-19	80	—	—	—	—	—	—	60	—	80	—	80	80

Продолжение табл. 9.14

Марка	Материалы												
	Пластмассы порошковые	Винипласты	Полиэтилен	Фторопласт-4	Полипропилен	Оргстекло	Целлулоид	Древесные материалы	Полистирол блочный	Текстолит	Стеклотекстолиты	Пенопласты	Теплоизоляционные материалы
В-31-Ф9	80	—	60	—	80	150	—	60	—	80	—	100	100
ВК-32-2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	200
ВК-32-200	200	—	—	200	—	—	—	—	—	100	200	—	—
ВК-32-ЭМ *	80	—	—	—	—	—	—	—	—	80	80	80	—
ВКТ-2													
ВКТ-3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400
ВС-10М *	150	—	—	—	—	—	—	—	—	100	150	—	—
ВС-107 *	150	—	—	150	—	—	—	—	—	150	150	—	—
БС-350 *	250	—	—	250	—	—	—	—	—	100	300	—	—
Карбонильные *	60	—	—	20	—	—	—	—	—	60	—	—	—
К-17 *	—	—	—	—	—	—	—	60	—	—	—	—	—
К-32-70 *	—	—	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—	—
К-153 *	80	—	—	80	—	—	80	60	—	80	80	120	80
Л-4 *	80	—	—	—	—	—	—	60	—	80	80	80	—
ПВ-16	—	—	—	—	—	60	—	—	—	—	—	—	—
ПК-5 *	60	—	—	60	—	—	—	—	—	60	—	—	—
ПУ-2 *	80	60	60	80	80	150	80	60	60	80	80	120	—
ПУ-2М *	80	60	60	80	60	—	80	60	60	80	—	80	100
№ 88	—	—	20	—	20	—	—	—	—	—	—	—	80

Примечание. Склеивание полиэтилена, полипропилена, фторопласта-4 возможно только по обработанной химическим или другим способом поверхности материала.

* Клеи пригодны для склеивания металлов с указанными в таблице материалами, если температурный режим склеивания не превышает рабочую температуру материала.

Таблица 9.15

Типовые режимы склеивания различных материалов синтетическими клеями

Марка клея	Температура, °С	Давление, МПа	Выдержка до отверждения, ч
Для металлов			
К-153	25	0,1–1,5	16–20
БФ-2, БФ-4	140–150	1,0–2,0	1
ВС-10Т	180	0,05–0,2	1–2
ВК-32-ЭМ	150	0,05–0,3	
ВС-10М	180	0,3–1,0	2–3
ВК-32-200	180	1,0–2,0	1–2
П-4	120	0,01–0,073	4
ПК-5	80	0,05–0,3	6
ПУ-2М	105	0,05–0,3	4
ВС-350	200	0,1–0,2	2
Карбонильный	20	0,03–0,05	24–30
Для неметаллических материалов			
МАС-1	150	0,2–0,3	0,5
КТ-15	200	0,2–0,3	2
К-17	15	0,05–0,3	6–8
№ 88	15	Без добавления	3
АМК	105	То же	4
АК-20	18	»	8
ВК-32-2	20	»	10
К-32-70	65	0,1–0,15	4
В-31-ф	20	0,1–0,3	10–12
ПВ-16	20	0,1–0,15	4
В-107	15	0,5–0,3	10–12
ВИАМ-Б3	16	0,05–0,5	10–12
ВИАМ-К-12	16	0,05–0,5	8–10
ВИАМ-Ф	18	0,05–0,5	12–15

Таблица 9.16

Свойства и назначение синтетических клеев

Марка	Прочность при 20 °С		Склеиваемые материалы, свойства клея
	на сдвиг, МПа	на отдирание, Н/м	
Фенольные			
БФ–2, БФ–4	30	280	Металлы, текстолит, аминопласты, стекло, древесина, фибра, фарфор, кожа; вибростоек.
БФ–6	—	—	Ткани, резина, войлок между собой и для приклеивания его к металлам.
ВК–32–200	15	320	Дуралюмин, стали, текстолиты, пенопласты.
ВС–350	18	—	
ВС–10Т	18	320	
БС–10М	20	320	Металлы, стеклотекстолиты и текстолиты.
КР–4	—	—	Пластмассы, древесина, текстильные материалы.
КБ–3	—	—	
Бакелитовые			
СБС–2	—	—	Пластмассы, тонкие древесные, бумажные и текстильные материалы.
Эпоксидные			
ЭД–5, ЭД–6	—	—	Металлы, винипласт, оргстекло, фарфор, керамика, древесина, пластмассы, приклеивание вулканизированной древесины к металлам.
ВК–32–ЭМ	25	200	Стали, дуралюмин между собой и с пенопластами. Стоек в различных кинематических условиях.
ВК–7	7,5	—	Стали, алюминиевые и титановые сплавы, работающие при температуре от –60 до +250 °С.
Л–4	4,0	—	Металлы между собой и со стеклопластиками в узлах несилового назначения.
Полиамидные			
ПФЭ–2/10	6,0	600	Металлы, текстолит, древесина, капроновое волокно, полиамидные пленки, кожи.
ПК–5	15	—	Полиамидная пленка.
МПФ–1	17	600	Металлы и неметаллические материалы. Эластичен; обладает длительной прочностью.
Карбомидные			
КМ–3	—	—	Пластмассы, древесина, бумага, текстильные материалы; вибростоек.
К–17	14	—	
КМ–12	—	—	
Полиуретановые			
ПУ–2	14	—	Стали, алюминиевые сплавы между собой и с неметаллическими материалами. Обладает длительной прочностью и выносливостью, стоек в различных климатических условиях.
ВК–5	7,5	—	Стали, алюминиевые и титановые сплавы между собой и с неметаллическими материалами, работающие при ±60 °С в течение 1000 ч; вибростоек.
Перхлорвиниловые			
Д–10; М–10	—	—	Поливиниловые пластики между собой и с металлами.
«Лейкопат»	—	400	Невулканизированная резина с металлами.
Б–10			
ХВК–2а	—	—	Винипласт, ткани и пластики с металлами.
Глифталевые			
АМК	—	750	Стекло, теплоизоляция с металлами.
ИП–9	—	—	Силиконовые резины с металлами.
Металлические			
Мелкадин	—	—	Металлы, керамика, органические полимеры и др.; электропроводен, выдерживает нагрев до 700–800 °С.

Продолжение табл. 9.16

Марка	Прочность при 20 °С		Склеиваемые материалы, свойства клея
	на сдвиг, МПа	на отдирание, Н/м	
Фосфатные			
Алюмофосфатный клей	—	—	Стекло, ситалл, керамика, металлы (никель, молибден, вольфрам, титан, тантал, ковар, констант), работающие при –60 — +1400 °С.
Цианакриловые			
Циакрин	14	—	Различные материалы.
Эпоксидно-фурфурольно-ацетатные			
БОВ-1 БОВ-2 БОВ-3	—	—	Металлы и пластмассы, химически стойкие, теплостойкие.

9.2. Кислотоупорные замазки, цементы и герметики

Таблица 9.17

Рекомендуемые склеивающие и герметизирующие материалы для химической аппаратуры

Материалы		Плотность ρ, кг/м³	Краткая характеристика материала	Примерное назначение	Предел прочности, МПа, не менее	
Наименование, марка	ТУ				при растяжении	при сжатии
Арзамит 1	М-522–54	1150	Замазки типа арзамит приготовляются на основе фенолформальдегидной резольной смолы с порошкообразным наполнителем и кислым отвердителем. Замазки водонепроницаемы и затвердевают на холоде. Замазки устойчивы к действию растворов неорганических кислот и солей, к солициловой, малеиновой, бензойной кислотам, бензину, хлорбензолу. Замазка арзамит 1 — кислотостойкая, арзамит 2 — кислотощелочестойкая, арзамит 4 и арзамит 5 — кислотощелочестойкие теплопроводные, арзамит 6 — химически- и теплостойкая до температуры 250 °С, арзамит 7 — кислотощелочестойкая, не дающая усадки при схватывании.	Применяется при футеровке емкостной аппаратуры кислотоупорным кирпичом и керамическими плитками, а также для склеивания деталей аппаратуры из фаолита	3	30
Арзамит 2						
Арзамит 4	ТУ 6-16-1133–67				5	60
Арзамит 5	СТУ 58-009–59	1200		Применяется при футеровке емкостной аппаратуры плитками из антегмита АТМ-1, АТМ-1Г, АТМ-10, а также для склеивания деталей аппаратуры из углеграфитовых материалов	4,5	45
Арзамит 6	—	—			—	—
Арзамит 7						
Цемент гдетоглицериновый		2900	—	Применяется для склеивания деталей из керамики и кварцевого стекла	2,4	—
У-30М	—	1400	Тиоколовый герметик, самовулканизирующийся при температуре 70 °С через 2–3 ч, при 50 °С — через 3–4 ч, при 18–20 °С — через 24–48 ч. Допустимая температура эксплуатации герметика на воздухе от –40 до +70 °С и в жидком топливе от –60 до +130 °С. Герметик не обладает адгезией к металлу, поэтому его наносят на поделой из клея 88-Н или эпоксидно-тиоколового клея К-50	Применяется для поверхностной герметизации металлических изделий, имеющих резьбовые, сварные или заклепочные соединения и нуждающиеся в уплотнении. Герметик наносится на изделие при помощи шпателя или шприца	2,0 (на отрыв)	—

ГЛАВА 10

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОКЛАДОК И НАБИВОК

В табл. 10.1 и 10.2 приведены рекомендуемые неметаллические и металлические прокладочные материалы для фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов химических производств, а в табл. 10.3 — прокладочные материалы для резьбовых соединений трубопроводов.

В табл. 10.4 представлены рекомендуемые пропиточные составы и обмазки для прокладок из паронита и картона, в табл. 10.5 — рекомендуемые материалы для набивок сальников аппаратуры, в табл. 10.6 — рекомендуемый сортамент неметаллических материалов для прокладок фланцевых соединений и набивок сальников аппаратуры.

В табл. 10.7 приведены некоторые физико-механические свойства прокладочных резин.

Таблица 10.1

Рекомендуемые неметаллические прокладочные материалы для фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов технологических производств по ОСТ 26-373–78

Материал	Допустимая рабочая среда	Предельно допустимые рабочие параметры	
		p, МПа	t, °С
Резина листовая техническая по ГОСТ 7338—81*	Вода	До 0,6	До 100
	Аммиак жидкий; щелочи 50 %-ной концентрации (едкие натр и кали)		От –30 до +80
	Хлор (сухой газ), сероводород; двуокись углерода; кислоты любой концентрации: соляная, борная, сернистая, винная, мышьяковая; кислоты ограниченной концентрации: серная 50 %-ная, фосфорная 85 %-ная, фтористоводородная 50 %-ная, ацетон; ненасыщенные растворы солей: алюминия азотнокислого, сернокислого, хромистокислого, бария сернокислого, железа сернокислого (закисного и окисного), калия двухромовокислого, сернокислого и сернистокислого, бисульфата калия, кальция сернистокислого, хлористого, хлорноватокислого, меди сернокислой, хлористой, цианистой, натрия кислого сернистокислого, цианистого, никеля уксуснокислого, серебра азотнокислого; растворы солей любой концентрации: анилина солянокислого, магния хлористого и сернокислого, натрия азотнокислого, сернистого, углекислого и хлористого, олова хлористого; растворы хлористого цинка 50%-ной концентрации		От –30 до +65
Картон асбестовый по ГОСТ 2850—80*	Ацетон; бутан (жидкий); диэтиленгликоль; метиловый спирт; триэтаноламин; четыреххлористый углерод; этиленгликоль	До 2,0	До +400
	Углеводороды жидкие; растворы солей любой концентрации: алюминия азотнокислого, сернокислого, хлористого и хромистокислого, бария сернокислого, железа сернокислого (закисного и окисного), калия двухромовокислого, сернокислого и сернистокислого, бисульфата калия, кальция кислого сернистокислого, хлористого и хлорноватистокислого, магния сернокислого и хлористого, меди сернокислой, хлористой и цианистой, натрия азотнокислого, сернистокислого, сернистого, углекислого, хлористого и цианистого, никеля азотнокислого и уксуснокислого, олова хлористого, серебра азотнокислого, цинка хлористого; сера (жидкая); сернистый ангидрид; триэтаноламин; фенол	До 0,6	
	Агрессивные газы (хлор, окислы азота, кислород, сернистый газ), кислоты 98 %-ной концентрации: азотная, борная, сернистая, соляная, фосфорная, уксусная, хлоруксусная		До +300
Паронит по ГОСТ 481—80*	Водяной пар; воздух	До 6,4	До +400
	Инертные газы (азот, водород и др.); углеводородные газы (бутан и др.); промышленные газы (коксовый, конвертированный, крекинг-газ); агрессивные газы (хлор сухой, окислы азота, сернистый газ, нитрогазы); нефтепродукты (бензин, керосин и др.)	До 2,5	
	Вода	До 6,4	До +300
	Едкий натр 50 %-ный; едкое кали 50 %-ное; аммиак жидкий	До 2,5	До +150
	Кислоты: азотная 100 %-ная, серная 50 %-ная, уксусная 97 %-ная, никель азотнокислый 50 %-ный; фенол 50 %-ный; триэтаноламин 50 %-ный; хладоны любых марок (газообразные)		До +100

Продолжение табл. 10.1

Материал	Допустимая рабочая среда	Предельно допустимые рабочие параметры	
		p, МПа	t, °С
Фторопласт-4 по ГОСТ 10007—80* Е	Все агрессивные среды любой концентрации, за исключением элементарного фтора при повышенной и высокой температурах	До 40 *	От –254 до +250
Асбест в металлической оболочке из алюминия, меди, латуни, стали (гофрированные прокладки)	Хладоны всех марок любой концентрации	До 6,4	От –100 до +500
	Хлор (сухой газ); сернистый газ; окислы азота; промышленные газы (коксовый, конвертированный, крекинг-газ); кислород; озон; двуокись углерода; щелочи любой концентрации (едкий натр, едкое кали); аммиак жидкий	До 4,0	До +300
	Вода; водяной пар	До 2,5	

* Для прокладок, помещаемых «в замок», например, для уплотнительных поверхностей типа шип – паз. Плоские прокладки из фторопласта-4 на открытых фланцах можно применять только при удельном давлении на прокладку не свыше 3 МПа и при температуре среды около 20 °С.

Таблица 10.2

Рекомендуемые металлические прокладочные материалы для фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов технологических производств

Материал	Конструкция прокладки	Предельно допустимые рабочие параметры	
		p, МПа	t, °С
Алюминий марок А95, А85, А8, А7, А6, А5, А0, А по ГОСТ 11069—74*; медь марок М1, М2 по ГОСТ 859—78*; сталь марок 12Х18Н9, 12Х18Н9Т по ГОСТ 5632—72*	Плоская для уплотнения шип – паз	≤2,5	От –200 до +300
Никель марок Н1, Н2 по ГОСТ 492—73*		≥2,5	≤760
Монель-металл НМЖМц28-2,5-1,5 по ГОСТ 492—73*			≤815
Сталь 08Х18Н10Т по ГОСТ 5632—72* с техническими требованиями по виду испытаний по ГОСТ 7350—77	Восьмиугольного сечения	≥6,4	От –200 до +550

Таблица 10.3

Рекомендуемые прокладочные материалы для резьбовых соединений трубопроводов технологических производств

Материал (ГОСТ, ТУ)	Допустимые рабочие среды	Допускаемая температура среды, °С	Допускаемое избыточное давление среды, МПа	
			при температуре до 30 °С	при максимальной допускаемой температуре
Алюминий марок А95, А85, А8, А7, А6, А5, А0 (ГОСТ 11069—74)	Нефть, масло и другие нефтепродукты	От +300 до +400	Зависит от конструктивной прочности соединения	6
	Воздух; водяной пар	300		2

Продолжение табл. 10.3

Материал (ГОСТ, ТУ)	Допустимые рабочие среды	Допускаемая температура среды, °С	Допускаемое избыточное давление среды, МПа	
			при температуре до 30 °С	при максимальной допускаемой температуре
Медь марок М1 и М3 (ГОСТ 859—78)	Воздух; фреоны любой марки; горячие газы; двуокись углерода; нефтяное топливо; смазочное масло	200	Зависит от конструктивной прочности соединения	20
	Пар насыщенный и перегретый	250		3,5
Паронит (ГОСТ 481—80)	Пар насыщенный и перегретый; газы инертные; газы дымовые	400	Зависит от конструктивной прочности соединения	5
	Вода морская и пресная (кроме питьевой) при давлении свыше 0,6 МПа; воздух	250		
	Кислород жидкий и газообразный	От –182 до –62	—	0,25
Картон прокладочный марки А (ГОСТ 9347—74)	Бензин, керосин	30	1	1
Картон прокладочный марки Б (ГОСТ 9347—74)	Нефть; мазут; газойль; масло нефтяное; воздух; вентиляционные газы; вода питьевая	90		0,6
Фибра ФТ (ГОСТ 6910—72)	Нефтяное топливо; смазочное масло; кислород; двуокись углерода	От –30 до +100	80	8
Фибра ФЛАК (ГОСТ 3335—73)	Нефть; мазут; газойль; масло нефтяное	То –30 до +100	80	6,4
Резина листовая техническая (ГОСТ 7338—81)	Вода; слабые растворы кислот и щелочей (концентрации до 20 %); рассол; бензин; керосин; нефтяное масло	От –30 до +50	0,6	0,3

Таблица 10.4

Рекомендуемые пропиточные составы и обмазки для прокладок из паронита и картона

Пропитывающие составы и обмазки	Условия применения		Пропитывающие составы и обмазки	Условия применения	
	t_c, °С, не более	Среда		t_c, °С, не более	Среда
Парафин (расплавленный)	50	Кислоты: азотная (концентрации >55%), серная (концентрации <93%), соляная и др.; агрессивные газы: хлор, окислы азота, сернистый газ, нитрозные газы и др.	Стекло жидкое модуля 2,6–2,8 (3 масс. ч), разбавленное водой (1 масс. ч)	300	Минеральные кислоты всех концентраций (за исключением плавиковой)
Смесь парафина (20%), графита серебристого (7%) с маслом вискозин, нигрол или авиамаслом					
Битум БН-III (расплавленный)	70			400	Агрессивные газы: аммиак, окислы азота, сернистый газ, хлор, хлористый водород и др.
Смесь нефтяного гудрона (50%), каменноугольной смолы (40%) и парафина (10%)					
Пек, каменноугольная смола или кузбасслак	130				
Сурик свинцовый или железный на олифе	180	Органические кислоты; глицерин; щелочи; водяной пар	Смесь мыла ядрового (60%) с глицерином техническим (40%)	40	Легкие нефтепродукты
Смесь белил свинцовых (65%) с суриком свинцовым (35%) на олифе			Графит молотый (25%) с маслом вапор (75%)	>180	Водяной пар

Таблица 10.5

Рекомендуемые материалы для набивок сальников химической аппаратуры (по данным НИИХИММАШа)

Материал (ГОСТ, ТУ)	Смазка или пропиточный состав	Условия применения		Среда
		t_c, °С	p_p, МПа	
Фторопластовый уплотнительный материал ФУМ (МРТУ 6-05-870—66)	Вазелин (для ФУМ-В); фтороуглерод (для ФУМ-Ф); кремнийорганика (для ФУМ-К)	От –60 до +150	6,4	Все агрессивные среды любой концентрации за исключением элементарного фтора при повышенной и высокой температуре
Шнур асбестовый с медной проволокой	Сало	400	4,5	Пар водяной
		120	4,0	Нефтепродукты тяжелые
Шнур асбестовый (ГОСТ 1779—83)	Стекло жидкое	400	2,5	Газы и пары окисляющие
	Графит	300		
	Графит; сало			Пар водяной
	Сало	150	1,0	Вода; нейтральные растворы солей
	Графит		0,6	Концентрированные минеральные кислоты (азотная, серная и др.); сильно окисляющие растворы солей; органические растворители; углеводороды; масла
	Полихлорвинил	60		Концентрированные минеральные кислоты (азотная, серная и др.); разбавленные растворы кислот и солей; газы и пары окисляющие; сильно окисляющие растворы солей
	Парафин	40		Концентрированные минеральные кислоты (азотная, серная и др.); сильно окисляющие растворы солей
	Без смазки и пропитки	400		Газы и пары инертные
		200		Растворы щелочей (едкий натр, едкое кали, аммиак и др.)
Шнур пеньковый	Сало	60	4,0	Вода; нейтральные растворы солей
	Парафин		0,6	Разбавленные растворы кислот и щелочей
	Без смазки и пропитки	85		Органические растворители; углеводороды; масла
Шнур хлопчатобумажный; шнур пеньковый	Сало	60	3,0	Газы и пары инертные
	Без смазки и пропитки		0,6	Растворы щелочей (едкий натр, едкое кали, аммиак и др.)
	Сало	40		Нефтепродукты тяжелые
	Мыло ядровое (60 масс. ч); глицерин технический (40 масс. ч)			Нефтепродукты легкие
Шнур прорезиненный	Без смазки и пропитки	60	4,0	Вода; нейтральные растворы солей
			1,6	Разбавленные растворы кислот и щелочей

Таблица 10.6

Рекомендуемый сортамент неметаллических материалов для прокладок фланцевых соединений и набивок сальников химической аппаратуры (по данным НИИХИММАШа)

Материал	ГОСТ, ТУ	Плотность ρ, кг/ м³	Вид полуфабриката	Сортамент	
				Толщина, диаметр, мм	Размеры листов, длина шнуров, мм
Картон прокладочный марки А (пропитанный)	ГОСТ 9347–74	800–850	Листы	0,5; 0,8; 1,0; 1,5	По соглашению сторон
Картон прокладочный марки Б (непропитанный)				0,5; 0,8; 1,0; 1,5; 2; 2,5	
Картон асбестовый	ГОСТ 2850–72	1000–1300		2; 2,5; 3; 3,5; 4; 6; 8; 10	900×900; 900×1000; 1000×1000
Паронит	ГОСТ 481–80	1500–2000		1; 1,5; 2; 3; 4	Ширина 300–1200; длина 400–1700
Фибра марки ФПК	ГОСТ 6910–72	1100		От 0,6 до 12	Ширина 550–700 и 1100–1400; длина 850–1500 и 1700–2300
Асботекстолит	МРТУ 6-05-898–63	1800	Плиты	4	Ширина 600–900; длина 900–1400
Текстолит марки МА	ТУ МХП 488–50 (с изм. № 2)	1300–1600	Листы	0,5; 0,8; 1; 1,6; 2; 2,5; 3	250×250 и больших размеров
Винипласт	ГОСТ 14332–78	1450		1; 2; 3; 4	550×1350
Полиэтилен высокого давления	ГОСТ 16337–85	960	Пленка	До 1	По соглашению сторон
			Листы	От 2 до 10	
Фторопласт-3	ГОСТ 13744–80	2090		От 1 до 4	
Фторопласт-4	ГОСТ 10007–80	2100–2300	Пластины	От 2 до 30	200×200
				От 2 до 60	По соглашению сторон
			Лента	0,1; 0,2	Ширина 40–120; длина ≥40 000
			Пластины холоднотянутые закаленные (ХТЗ)	От 0,8 до 2	Ширина 25–120; длина 25–450
			Пластины холоднотянутые незакаленные (ХТЗ)	От 1,6 до 20	Ширина 25–600; длина 25–600
Фторопластовый уплотнительный материал (ФУМ): ФУМ-В; ФУМ-Ф; ФУМ-К	МРТУ 6-05-870–66	2500	Шнур круглый	От 1 до 5	Длина ≥1000
			Шнур квадратный	От 3×3 до 8×8	
			Шнур прямоугольный	От 2×4 до 2×8	
Асбест	ГОСТ 1779–83	2500	Шнур круглый	От 3 до 25	По соглашению сторон

Продолжение табл. 10.6

Материал	ГОСТ, ТУ	Плотность ρ, кг/ м^3	Вид полуфабриката	Сортамент	
				Толщина, диаметр, мм	Размеры листов, длина шнуров, мм
Резина техническая кислотощелочестойкая, теплостойкая, маслобензостойкая, морозостойкая	ГОСТ 7338–78	1500	Пластина	От 0,5 до 50	Ширина 200–1750; длина 500–10 000
Резина теплостойкая марок 14р-2; 5р-129; 14р-6; 14р-15	МРТУ 38-5-6074–67			От 1 до 8	100×100; 250×250; 500×500
Резина марки ИРП-1225	МРТУ 6-07-6031–64		Шнур круглый	До 20	По соглашению сторон
Резина марки ИРП-1256	ВТР № 20416		Пластина	До 10	250×250; 300×300; 500×500
Резина марки ИРП-1257	ВТР № 20417	1340		До 5	150×150
Резина марки ИРП-1258	ВТР № 20418	1430			
Резина марки ИРП-1259	ВТР № 20419	1500			
Резина марки ИРП-1287	МРТУ 38-5-6056–65		Шнур круглый	До 20	По соглашению сторон
			Пластина	До 8	250×250; 300×300; 500×500
Резиноподобный материал марки ИРП-1285	ВТУ ИРП 6-5-15–62		Шнур круглый	До 20	По соглашению сторон
			Пластина	До 8	250×250; 300×300; 500×500

Таблица 10.7

Физико-механические свойства резин

Тип и марка	ГОСТ, ТУ или ТР	$\sigma_в$, МПа, не менее	Твердость по			Температура, °С	
			ТШМ-2	ТИР	Шору	максимальная при эксплуатации	хрупкости
Резина техническая кислотощелочестойкая	ГОСТ 7338–78	3,5	4–20	—	—	50	–30
Резина техническая теплостойкая		4,0	4,5–2,6			90	
Резина техническая маслобензостойкая		4,5	4–12			50	
Резина техническая, морозостойкая		4,0	4–20				–45

Продолжение табл. 10.7

Тип и марка	ГОСТ, ТУ или ТР	$\sigma_в$, МПа, не менее	Твердость по			Температура, °С	
			ТШМ-2	ТИР	Шору	максимальная при эксплуатации	хрупкости
Резина теплостойкая марки 14р-2	МРТУ 38-5-6074–67	2,2	—	—	—	250	–60
Резина теплостойкая марки 5р-129		2,5					
Резина теплостойкая марок 14р-6 и 14р-15						200	
Резина ИРП-1225	МРТУ 6-07-6031–64	14,0		80–90			От –22 до –35
Резина ИРП-1256	ВТР № 20416 НИИРП	15,0		—	64±2	110	—
Резина ИРП-1257	ВТР № 20417 НИИРП	11,0			54–58		
Резина ИРП-1258	ВТР № 20418 НИИРП	10,0			70±2		
Резина ИРП-1259	ВТР № 20419 НИИРП	9,0			80±2		
Резина ИРП-1287	МРТУ 38-5-6056–65	12,7		65–80	—	200	–20
Резиноподобный материал марки ИРП-1285	ВТУ ПРП 6-5-15–62	4,0		70–80		250	–74

ГЛАВА 11

СЕТКИ И ТКАНИ ФИЛЬТРОВАЛЬНЫЕ

11.1. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками нормальной точности (ГОСТ 6613—86)

Сетки предназначены для фильтрации и других целей.

Сетки изготовляют из мягкой отожженной проволоки. Для сеток № 004–016 применяют бронзу марки БрОФ6,5-0,4 по ГОСТ 5017—74 или никель марки НП2 по ГОСТ 492–73; для сеток № 0071–2,5 — полутомпак марки Л80 по ГОСТ 15527—70.

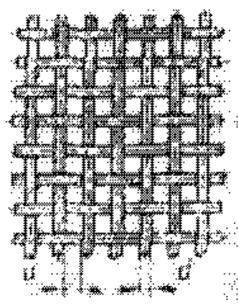
Ширина сеток:
1000 мм для сеток № 004–0063;
1000; 1300; 1500 мм для сеток № 0071–014;
1000; 1500 мм для сектоk № 016–2,5.

Минимальная длина отрезка сетки не менее 1 м — для № 004–056 и не менее 1,5 м — для № 063–2,5.

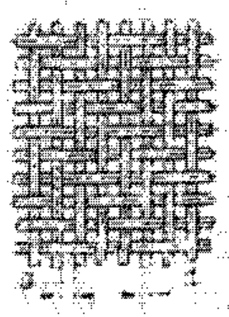
Таблица 11.1

Основные параметры и размеры сеток

Полотняное переплетение



Саржевое переплетение



Номер сетки	Размер стороны ячейки в свету, мм	Диаметр проволоки, мм	Масса 1 м² сеток, кг: полутомпаковых	бронзовых	никелевых	Номер сетки	Размер стороны ячейки в свету, мм	Диаметр проволоки, мм	Масса 1 м² сеток, кг: полутомпаковых	бронзовых	никелевых
004	0,040	0,030	—	0,18	0,18	0,315	0,315	0,160	0,75	—	—
0045	0,045	0,036	—	0,23	0,23	0,355	0,355	0,160	0,68	—	—
005	0,050	0,036	—	0,21	0,21	04	0,400	0,160	0,63	—	—
0056	0,056	0,040	—	0,23	0,24	045	0,450	0,200	0,85	—	—
0063	0,063	0,040	—	0,22	0,22	05	0,500	0,250	1,15	—	—
0071	0,071	0,050	0,28	0,29	0,29	056	0,560	0,250	1,06	—	—
008	0,080	0,055	0,26	0,27	0,27	063	0,630	0,300	1,33	—	—
009	0,090	0,060	0,33	0,34	0,34	07	0,700	0,300	1,24	—	—
01	0,100	0,060	0,31	0,32	0,32	08	0,800	0,300	1,13	—	—
0112	0,112	0,080	0,47	0,47	0,47	09	0,900	0,400	1,70	—	—
0125	0,125	0,080	0,43	0,44	0,44	1	1,000	0,400	1,58	—	—
014	0,140	0,090	0,49	0,49	0,50	1,25	1,250	0,400	1,35	—	—
016	0,160	0,100	0,53	0,54	0,55	1,6	1,600	0,500	1,64	—	—
018	0,180	0,120	0,66	—	—	2,0	2,000	0,500	1,38	—	—
02	0,200	0,120	0,62	—	—	2,5	2,500	0,500	1,15	—	—
0224	0,224	0,120	0,58	—	—						
025	0,250	0,120	0,54	—	—						
028	0,280	0,140	0,64	—	—						

11.2. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками контрольные и высокой точности (ГОСТ 6613–86)

Проволочные тканые сетки с квадратными ячейками изготовляют контрольные (К), высокой точности (В) и нормальной точности (Н) с размером стороны ячейки в свету от 0,04 до 2,5 мм.

Контрольные сетки предназначены для контроля различных материалов по размеру частиц при дроблении, измельчении и обогащении; сетки высокой точности — для разделения по размеру зерен дробленых материалов и других целей.

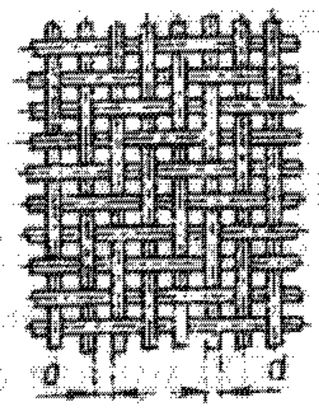
Сетки изготовляют из мягкой отожженной проволоки.

Для изготовления сеток № 004–016 применяют бронзу марки БрОФ6,5-0,4 по ГОСТ 5017—74, для сеток № 0071–2,5 — полутомпак марки Л80 по ГОСТ 15527—70.

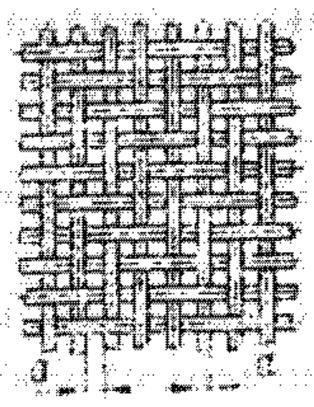
Таблица 11.2

Основные параметры и размеры сеток

Полотняное переплетение



Саржевое переплетение



Номер сетки	Размер стороны ячейки в свету, мм	Диаметр проволоки, мм	Количество ячеек на 1 см², шт.	Живое сечение сетки, %	Масса 1 м² сеток, кг: бронзовых	Масса 1 м² сеток, кг: никелевых	Номер сетки	Размер стороны ячейки в свету, мм	Диаметр проволоки, мм	Количество ячеек на 1 см², шт.	Живое сечение сетки, %	Масса 1 м² сеток, кг: бронзовых	Масса 1 м² сеток, кг: никелевых
004	0,040	0,030	20 420,0	32,7	—	0,18	009	0,090	0,06	4 435,0	36,0	0,33	0,34
0045	0,045	0,036	15 252,0	30,9	—	0,23	01	0,100	0,06	3 906,0	39,1	0,31	0,32
005	0,050	0,036	13 526,0	33,8	—	0,21	0112	0,112	0,08	2 714,0	34,0	0,47	0,47
0056	0,056	0,04	10 858,0	34,0	—	0,23	0125	0,125	0,08	2 381,0	37,2	0,43	0,44
0063	0,063	0,04	9 428,0	37,4	—	0,22	014	0,140	0,09	1 829,0	37,0	0,49	0,49
0071	0,071	0,05	6 823,0	34,4	0,28	0,29	016	0,160	0,10	1 482,0	37,9	0,53	0,54
008	0,080	0,05	5 914,0	37,9	0,26	0,27	018	0,180	0,12	1 109,0	36,0	0,66	—
02	0,200	0,12	980,0	39,1	0,62	—	063	0,630	0,30	116,0	45,9	1,33	—
0224	0,224	0,12	847,0	42,4	0,58	—	07	0,700	0,30	100,0	49,0	1,24	—
025	0,250	0,12	729,0	45,6	0,54	—	08	0,800	0,30	83,0	53,0	1,13	—
028	0,280	0,14	566,0	44,4	0,64	—	09	0,900	0,40	59,1	47,9	1,70	—
0315	0,315	0,16	445,0	44,0	0,75	—	1	1,000	0,40	51,0	51,0	1,58	—
0355	0,355	0,16	376,0	47,0	0,68	—	1,25	1,250	0,40	37,2	57,3	1,35	—
04	0,400	0,16	320,0	51,0	0,63	—	1,6	1,600	0,50	22,6	58,0	1,64	—
045	0,450	0,20	237,0	47,9	0,85	—	2,0	2,000	0,50	16,0	64,0	1,38	—
05	0,500	0,25	177,0	44,4	1,15	—	2,5	2,500	0,50	11,2	70,0	1,15	—
056	0,560	0,25	151,0	47,8	1,06	—							

Ширина сеток 1000 мм.

Длина сеток не менее: 1 м для № 004–009; 1,5 м для № 01–056; 3 м для № 063–2,5.

Примеры обозначений.

Сетка полутомпаковая контрольная № 05:

Сетка полутомпаковая 05 К ГОСТ 6613–86.

То же высокой точности № 05:

Сетка полутомпаковая 05 В ГОСТ 6613–86.

11.3 Ткани фильтровальные

Таблица 11.3

Характерные свойства текстильных волокон

Вид волокна	Исходный полимер или сырье	Термостойкость, °С	Химическая стойкость: Кислоты	Химическая стойкость: Щелочи	Химическая стойкость: Окислители	Химическая стойкость: Растворители	Горючесть	Стойкость к абразивному износу	Потеря прочности при увлажнении, %	Стойкость к гниению
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Хлопок	Целлюлоза	80	ОП	Х	У	Х	Г	У	0	П
Шерсть	Протеины	100	У	ОП	У	Х	Г	У	7	У
Капрон	Полиамид	100	У	У	У	Х	Г	ОХ	12–16	Х
Лавсан	Полиэфир	130	Х	У–П	Х	Х	Г	ОХ	0–2	Х
Нитрон	Полиакрилнитрил	130	У–Х	У	Х	Х	Г	У	0–13	ОХ
Полипропилен	Полиолефин	100	ОХ	ОХ	Х	Х	Г	Х	0	Х
Хлорин, ацетохлорин, ПВХ	Поливинилхлорид	70	ОХ	ОХ	ОХ	У–Х	Г	У–П	0–10	Х

Продолжение табл. 11.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тефлон, полифен	Политетрафторэтилен	230	ОХ	ОХ	ОХ	ОХ	НГ	У	0	Х
Сульфон	Ароматический полиамид	260	П	Х	—	—	Г	У	—	Х
Фенилон	Полиамид	220	У	У	У	Х	—	Х	—	Х
Оксалон	Полиоксидиазол	220	У–Х	Х	Х	Х	—	Х	0	Х
Стеклянное волокно	Стеклянное волокно	300	Х	У–П	ОХ	ОХ	НГ	ОП	15	ОХ

Условные обозначения: ОХ — очень хорошая; Х — хорошая; У — удовлетворительная; П — плохая; ОП — очень плохая; Г — горючи; НГ — негорючи.

Таблица 11.4

Основные прочностные и фильтрующие свойства серийных фильтровальных материалов

Фильтровальный материал	Разрывная нагрузка полоски 50×100 мм, Н		Изгибоустойчивость, тыс. циклов		Воздухопроницаемость при 50 Па, дм³/(м²·с)	Степень очистки от частиц, %		Показатель регенерируемости, %
	Основа	Уток	Основа	Уток		кварцевого песка (d_{50}= =5 мкм)	бихромата калия (d_{50}= =075 мкм)	
Сукно фильтровальное № 2 арт. 20	580	600	38	108	152	99,7	39	56
Ткань ЦМ арт. 83	790	580	83	67	244	99,9	20	20
Сукно меланжевое с вискозным волокном арт. 3695	440	1240	16	33	103	99,8	42	30
Ткань полушерстяная РЦЛ арт. 115	1220	850	162	105	46	99,9	60	52
Вельветон арт. 3601	540	1250	2	9	58	99,9	46	35
Ткань лавсановая арт. Л-3 и Л-4	1760	2010	43	16	166	99,5	42	25
Ткань лавсановая арт. 86013	2610	1410	32	33	136	99,8	37	10
Ткань лавсановая арт. 86033	2440	1360	19	17	180	99,6	32	12
Ткань лавсановая (двойная) арт. 86031	6220	5780	34	31	69	99,7	67	47
Ткань нитроновая арт. 133	1510	1150	3	3	105	99,9	41	68
Ткань стеклянаная ТСФ (Б)-7С ТСФР (Б)-7С ГОСТ 10146–74	1110	730	—	—	190	76,8	37	19
Ткань стеклянная ТСФТ-2-СГФ ТУ 6-11-375–76	3280	2090	0,01	0,02	244	99,7	36	7
Ткань хлориновая арт. 86006	1200	450	7	8	244	99,3	31	51
Ткань оксалоновая ТТО-3 и ТТО-4 арт. В-903 и В-904	3260	3120	5	5	110	92,3	12	10
Войлок иглопробивной лавсановый ТУ 17 ЭССР-413–82: арт. 934561 арт. 934569	1000 700	400 500	—	—	150 250	—	—	—
Полотно нетканое холстопрошивное лавсановое арт. 931505, 931507	870	2300	35	23	348	98,9	23	38
Полотно нетканое холстопрошивное лавсановое арт. 931506	380	1730	22	26	611	98,9	21	25
Полотно иглопробивное антистатическое арт. 931521	660	1490	200	139	231	99,8	27	40

Таблица 11.5

Техническая характеристика серийных фильтровальных материалов

Фильтровальный материал	Удельная масса, г/м²	Толщина, мм	Число нитей на 10 см длины		Толщина нити, текс		Вид переплетения	Вид поставки	Относительная стоимость 1 м² материала по отношению к лавсану арт. 217
			Основа	Уток	Основа	Уток			
Сукно фильтровальное № 2 арт. 20 ГОСТ 6986–69 (шерсть+хлопок)	341	1,5	228	147	25х2	140	Саржа 2/2	Развернутая	0,33
Ткань ЦМ арт. 83 ТУ 17 РСФСР 42-4791–76 (шерсть+капрон)	500	2,0	106	100	200	200	То же	Рукав бесшовный	1,05
Ткань лавсановая Л-3 арт. 216, Л-4 арт. 217 ТУ 17 РСФСР 8174–75	424	1,0	220	161	84	125	»	Л-3 – шовный рукав, Л-4 – развернутая	1
Ткань лавсановая арт. 86013 ОСТ 17-452–74	310	1,0	389	190	25х2	25х2	»	Развернутая	0,9
Ткань лавсановая арт. 86033 ТУ 17 УССР 3238–78	316	1,0	326	159	34х2	34х2	»	»	1,1
Ткань лавсановая арт. 86031 ТУ 17 РСФСР 8053–75	940	2,8	184	154	84х3	84х3	Двухслойная саржа 2/2	»	1,8
Ткань нитроновая Н арт. 133 ТУ 17 РСФСР 5509–72	426	1,6	104	98	100х2	100х2	Саржа 2/2	Развернутая и в виде шовного рукава	0,94
Ткань нитроновая НМЦ РТУ Каз. ССР 144–73 и РСТ Каз. ССР 331–78	420	1,7	88–90	98–104	50х4	200	Саржа 2/2	Рукав шовный и бесшовный	—
Ткань стеклянная ТСФ (Б)-7С, ТСФР (Б)-7С ГОСТ 10146–74	426	1,6	104	98	100х2	100х2	То же	ТСФ (Б)-7С развернутая, ТСФР (Б)-7С – в виде бесшовного рукава	0,2
Ткань стеклянная ТСФТ-2-СГФ ТУ 6-11-375–76	610	0,55	200	110	34х4	285	Саржа 3/1	Развернутая	0,42
Ткань хлориновая арт. 86006 ГОСТ 20714–75	500	1,3	208	90	50х2	50х2	Саржа 2/2	»	—
Сукно меланжевое с вискозным волокном арт. 3695 ГОСТ 12239–76	305	1,0	384	398	25	50	Усиленный атлас	»	0,25
Ткань оксалоновая ТТО-3 и ТТО-4 арт. В-903 и В-904 ТУ 6-06-31-124–76	500	0,85	120	100	100х2	100х2	Саржа 2/2	»	1,4
Вельветон арт. 3601 ГОСТ 21790–76	412	1,3	230	420	38	60	То же	»	0,33
Ткань полушерстяная РЦЛ арт. 115 ТУ РСФСР 42-4641–76 (шерсть+полиамидное волокно)	1444	4,1	133	269	250	200	Трехслойная	В виде шовного рукава	1,53
Нетканый иглопробивной антистатический лавсан арт. 931521 ТУ 17-14-43–77	600	3,5	—	—	—	Нить каркаса 29,4	Каркас-сетка «малимо»	Рукав шовный	2,3

Продолжение табл. 11.5

Фильтровальный материал	Удельная масса, г/м^2	Толщина, мм	Число нитей на 10 см длины		Толщина нити, текс		Вид переплетения	Вид поставки	Относительная стоимость 1 м^2 материала по отношению к лавсану арт. 217
			Основа	Уток	Основа	Уток			
Нетканый холстопрошивной лавсан арт. 931506 ТУ 17 РСФСР 6804–74	400	1,85	—	—	—	Прошивочная нить 27,7	Каркас-сукно-цепочка	Развернутая	1,17
Нетканый холстопрошивной лавсан арт. 931505 и арт. 931507 ТУ 17 РСФСР 5910–72	500	2,3	—	—	—	Прошивочная нить 93,4	То же	Арт. 931505 рукав шовный, арт. 931507 развернутая	0,8
Войлок иглопробивной лавсановый ТУ 17 ЭССР 413-82									
арт. 934 561	550	2,0	—	—	—	—	—	Развернутая	0,47
арт. 934 569	330	1,3	—	—	—	—	—		

Примечание. В виде произведения обозначается крученая нить (толщина одинарной нити в текстах на количество нитей).

ЧАСТЬ III

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ГЛАВА 12

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

12.1. Назначение и характеристика технологических аппаратов

Технологические аппараты предназначаются для осуществления в них химических, физических или физико-химических процессов (химическая реакция, теплообмен без изменения агрегатного состояния, испарение, конденсация, кристаллизация, растворение, выпарка, ректификация, абсорбция, адсорбция, сепарация, фильтрация и т.п.), а также для хранения или перемещения в них различных веществ.

В зависимости от назначения, чаще всего по протекающему технологическому процессу, химические аппараты называются: реактор, теплообменник, испаритель, конденсатор и т.д.

Содержащиеся и перерабатываемые вещества в аппаратах бывают в разном агрегатном состоянии (чаще всего в жидком и газообразном, реже в твердом), различной химической активности (по отношению к конструкционным материалам) — от инертных до весьма агрессивных, для обслуживающего персонала — от безвредных до огневзрывоопасных.

Различные химико-технологические процессы в аппаратах осуществляются при различных, свойственных каждому процессу, давлениях — от глубокого вакуума до избыточного в несколько сот тысяч килопаскалей и самых разнообразных температурах — от –250 до +900°С.

Характер работы аппаратов бывает непрерывный и периодический, а установка их может быть стационарной (в помещении или на открытой площадке) и нестационарной (предусматривающей или допускающей перемещение аппарата).

Стальные сварные аппараты, в зависимости от содержащейся в них среды и ее рабочих параметров, с целью определения методов и объема контрольных операций для сварных соединений подразделяются на пять групп согласно табл. 12.1 (ОСТ 26-291—94).

Все технологические аппараты, в зависимости от предъявляемых к ним технических требований, разделяются на подведомственные и не подведомственные Госгортехнадзору РФ.

Подведомственными Госгортехнадзору РФ являются аппараты, работающие при избыточном давлении свыше 0,07 МПа (без учета гидростатического давления), а также аппараты, работающие без избыточного давления, но при эксплуатации в которых возможно повышение давления свыше 0,07 МПа.

Не подведомственные Госгортехнадзору РФ все остальные аппараты: аппараты вместимостью 0,025 м^3, у которых произведение избыточного давления в МПа на вместимость в м^3 не превышает 0,02; аппараты, работающие под вакуумом.

В справочнике рассматриваются аппараты преимущественно цилиндрической формы, имеющие наибольшее применение в аппаратостроении.

Все аппараты наряду с наличием у них своих специфических устройств, как правило, состоят из следующих основных элементов и узлов: цилиндрического корпуса (из одной или нескольких обечаек), днища, крышки, штуцеров (для присоединения трубной арматуры, трубопроводов), устройств для присоединения контрольно-измерительных приборов, люков, опоры, сварных и фланцевых соединений, строповых устройств.

Указанные элементы и узлы являются обычно общими для всех аппаратов. Конструкция и расчет их на прочность рассматриваются в III части справочника.

Собственно аппараты разделены по наиболее удобному для конструирования и расчета их на прочность признаку на три характерных вида: емкостные, теплообменные и колонные.

Отличительным признаком емкостных аппаратов являются все горизонтальные и вертикальные (при соотношении $H/D \leq 5$) аппараты, в которых могут быть различные специальные внутренние устройства, а также наружные обогревающие или охлаждающие рубашки.

Отличительным признаком теплообменных (преимущественно кожухотрубчатых) аппаратов, имеющих наибольшее применение, является наличие у них теплообменной поверхности независимо от положения аппарата (горизонтального или вертикального).

Отличительным признаком колонных аппаратов является их вертикальное положение (при соотношении $H/D > 5$), в которых имеются различные внутренние устройства в виде тарелок или насадки (в сорбционных и ректификационных колоннах).

К ним относятся также комбинированные или агрегатированные аппараты, представляющие собой расположенные друг над другом различные по конструкции и назначению несколько аппаратов, жестко соединенных между собой.

Типовые конструкции перечисленных видов аппаратов рассматриваются во втором томе справочника.

Таблица 12.1

Классификация технологических аппаратов

Группы аппаратов	Расчетное давление, МПа (кгс/см^2)	Расчетная температура, °С	Характер рабочей среды
1	Выше 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывоопасная или пожароопасная или 1,2-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007—76
2	Выше 0,07 (0,7) до 2,5 (25)	Выше +400	Любая, за исключением указанной для 1-й группы сосудов
	Выше 2,5 (25) до 5 (50)	Выше +200	
	Выше 4 (40) до 5 (50)	Ниже –40	
	Выше 5 (50)	Независимо	
3	Выше 0,07 (0,7) до 1,6 (16)	Ниже –20 Выше +200 до +400	
	Выше 1,6 (16) до 2,5 (25)	До +400	
	Выше 2,5 (25) до 4 (40)	До +200	
	Выше 4 (40) до 5 (50)	От –40 до +200	
4	Выше 0,07 (0,7) до1,6 (16)	От –20 до +200	
5а	До 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывоопасная или пожароопасная или 1, 2, 3-го классов опасности по ГОСТ 12.1.007—76
5б	До 0,07 (0,7)	Независимо	Взрывобезопасная, пожаробезопасная, 4-го класса опасности по ГОСТ 12.1.007—76

12.2. Основные расчетные параметры и другие данные

Основными расчетными параметрами для выбора конструкционного материала и расчета элементов аппарата на прочность являются температура и давление рабочего процесса.

Температура. Различают рабочую и расчетную температуры.

Рабочая температура t — это температура содержащейся или перерабатываемой среды в аппарате при нормальном протекании в нем технологического процесса.

Расчетная температура t_R — это температура стенки для определения физико-механических характеристик конструкционного материала и допускаемых напряжений. Она определяется на основании выполнении теплового расчета или результатов испытаний. В случае невозможности выполнения теплового расчета, а также если при эксплуатации температура элемента аппарата может повыситься до температуры соприкасающейся с ним среды, расчетная температура принимается равной рабочей, но не менее 20°С. При обогревании элемента открытым пламенем, горячими газами с температурой свыше 250°С или окрытыми электронагревателями расчетная температура принимается равной температуре

среды плюс 50°С. При наличии у аппарата тепловой изоляции расчетная температура его стенок принимается равной температуре поверхности изоляции, соприкасающейся со стенкой, плюс 20°С. При отрицательной рабочей температуре элемента за расчетную (для определения допускаемых напряжений) принимается температура, равная 20°С.

Давление. Различают рабочее, расчетное, условное (номинальное) и пробное давления.

Рабочее давление p — максимальное внутреннее избыточное или наружное давление среды в аппарате при нормальном протекании технологического процесса без учета гидростатического давления и допускаемого кратковременного повышения давления во время действия предохранительного устройства (клапана и др.). Если технологический процесс в аппарате протекает при разрежении, то рабочим давлением является вакуум.

Расчетное давление p_R — максимальное допускаемое рабочее давление, на которое производится расчет на прочность и устойчивость элементов аппарата при максимальной их температуре. Как правило, расчетное давление принимают равным рабочему давлению или выше.

Расчетное давление может быть выше рабочего в следующих случаях: если во время действия предохранительных устройств давление в аппарате может повыситься более чем на 10% от рабочего, то расчетное давление должно быть равно 90% давления в аппарате при полном открытии предохранительного устройства; если на элемент действует гидростатическое давление от столба жидкости в аппарате, значение которого свыше 5% расчетного, то расчетное давление для этого элемента соответственно повышается на значение гидростатического давления.

Рекомендуются следующие расчетные давления для аппаратов:

с рабочим избыточным давлением $p \geq 0{,}07$ МПа, снабженных предохранительными клапанами, $p_R = 1{,}1\ p$, но не менее $p + 0{,}2$ МПа для огневзрывоопасных или токсичных сред и не менее $p + 0{,}1$ МПа для остальных сред;

с рабочим избыточным давлением $p > 0{,}07$ МПа, снабженных предохранительными мембранами, $p_R = 1{,}2\ p$;

с рабочим избыточным давлением $p \leq 0{,}07$ МПа, независимо от типа предохранительных устройств и для любых сред, кроме углеводородных фракций и других сжиженных газов: при $p = 0{,}05$—$0{,}07$ МПа — $p_R = 0{,}1$ МПа; при $p < 0{,}05$ МПа — $p_R = 0{,}06$ МПа;

с углеродными фракциями и другими сжиженными газами во всех случаях принимать: для фракций C_2 $p_R = 2{,}0$ МПа, для фракций C_3 на всасывающей линии $p_R = 1{,}6$ МПа, на нагнетательной линии $p_R = 2{,}0$ МПа, для фракций C_4 $p_R = 0{,}6$ МПа, для фракций C_5 $p_R = 0{,}3$ МПа, для аммиака $p_R = 1{,}6$ МПа, для фреона 12 $p_R = 1{,}0$ МПа, для сернистого ангидрида $p_R = 0{,}8$ МПа, для хлористого метила $p_R = 0{,}9$ МПа, для углекислого газа $p_R = 7{,}6$ МПа;

работающих без избыточного давления при вместимости аппарата менее 30 м^3 $p_R = 0{,}01$ МПа, при вместимости свыше 30 м^3 $p_R = 0{,}005$ МПа;

работающих под вакуумом с остаточным давлением до 0,05 МПа, расчетное наружное давление $p_R = 0{,}1$ МПа.

Для элементов аппарата с раздельными пространствами, имеющими разные давления, за расчетное давление принимается каждое из них (без учета других). Допускается производить расчет на разность давлений, если при эксплуатации в любом случае обеспечивается наличие давлений во всех пространствах.

Расчетным давлением при испытаниях аппарата является *пробное давление*.

Условное (номинальное) давление p_y — избыточное рабочее давление при температуре элементов аппарата 20°С (без учета гидростатического давления).

Для более высоких температур элементов аппарата условное давление снижается соответственно уменьшению прочности конструкционного материала.

Условные давления применяются при стандартизации аппаратов и их узлов.

Согласно ГОСТ 356—68, применительно к рассматриваемым аппаратам рекомендуется следующий ряд условных давлений, МПа: 0,1; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,4; 10; 16; 20.

Пробное давление $p_{пр}$ — избыточное давление, на которое аппарат испытывается на прочность и плотность после его изготовления и периодически при эксплуатации. Значения пробного давления в зависимости от рабочего давления приведены в табл. 12.2.

12.3. Расчет на механическую прочность

Расчету на механическую прочность от внутреннего избыточного или наружного давления и внешних нагрузок (силы тяжести, ветровых, сейсмических и др.) должны подвергаться все основные элементы аппарата (обечайки, днища, крышки и другие несущие нагрузку детали).

Стандартные узлы и детали при применении их в конструируемом аппарате выбираются на ближайшее большее p_y для рабочей температуры и, как правило, на прочность не рассчитываются.

Обычно аппараты работают при однократной статической нагрузке, на которую и производятся все расчеты на прочность элементов, узлов и аппарата в целом.

Для многократных статических нагрузок, если число циклов нагружения (от давления, стесненности температурных деформаций или других воздей-

Таблица 12.2

Пробные давления в сварных химических аппаратах (СТ СЭВ 800—77, ОСТ 26-29194), МПа

$p_ж$, $p_{вк}$	$p_{оп}$
Вакуум	max {1,5 $p_{вк}$ $[\sigma]_{20}$ / $[\sigma]$; 0,2}
Св. 0 до 0,07	0,2
» 0,07 до 0,5	max {1,5 $p_{вк}$ $[\sigma]_{20}$ / $[\sigma]$; 0,2}*
» 0,5	max {1,25 $p_{вк}$ $[\sigma]_{20}$ / $[\sigma]$; $p_к$ + 0,3} *
» 0,07 (для литых изделий)	max {1,5 $p_к$ $[\sigma]_{20}$ / $[\sigma]$; 0,3}
Отсутствует	Налив воды

Примечания: 1. Значение пробного гидравлического давления для аппаратов, работающих при минусовых температурах, принимается таким же, как при t = 20 °С. 2. Отношение $[\sigma]_{20}$ / $[\sigma]$ принимается для материала, применяемого в аппарате, для которого оно является наименьшим (обечайки, днища, аппаратные фланцы и их крепежные детали, патрубки и др.).

* При наружном давлении, если указанные значения требуют утолщения стенки, допускается $p_{пр} = 1{,}25 p_к E_{20}/E$.

ствий) будет $N > 10^3$ за весь срок эксплуатации, то рассчитываемые элементы подлежат проверке на усталостную прочность.

При определении числа циклов нагружения не учитываются колебания нагрузки в пределах 15 % расчетной.

Если сосуды и аппараты работают при многократных статических нагрузках, но количество циклов нагружения от давления, стесненности температурных деформаций или других воздействий не превышает 10^3, то такая нагрузка в расчетах на прочность условно считается однократной.

Расчет элементов стальных сварных аппаратов производится по предельным нагрузкам, допускающим в отдельных напряженных местах рассчитываемой детали, наряду с упругими, наличие пластических деформаций.

Допускаемое напряжение $[\sigma]$ при расчете по предельным нагрузкам аппаратов, работающих при статических однократных нагрузках, определяют в соответствии с ГОСТ 14249—89 (СТ СЭВ 596—86):

для углеродистых и низкоуглеродистых сталей

$$[\sigma] = \eta \min\left(\frac{\sigma_т \text{ или } \sigma_{т0,2}}{n_т};\ \frac{\sigma_в}{n_в};\ \frac{\sigma_{д10^5}}{n_д};\ \frac{\sigma_{п1,0/10^5}}{n_п} \right), \quad (12.1)$$

для аустенитных сталей

$$[\sigma] = \eta \min\left(\frac{\sigma_{т1,0}}{n_т};\ \frac{\sigma_в}{n_в};\ \frac{\sigma_{д10^5}}{n_д};\ \frac{\sigma_{п1,0/10^5}}{n_п} \right). \quad (12.2)$$

Для условий испытания аппаратов из углеродистых и низколегированных сталей допускаемые напряжения определяют по формуле:

$$[\sigma] = \eta \frac{\sigma_т^{20} \text{ или } \sigma_{т0,2}^{20}}{n_т} \quad (12.3)$$

для аппаратов из аустенитных сталей

$$[\sigma] = \eta \frac{\sigma_{п0,2}^{20} \text{ или } \sigma_{п1,0}^{20}}{n_т}. \quad (12.4)$$

В зависимостях (12.1—12.4) напряжения при расчетной температуре имеют следующие значения:

$\sigma_т$ — минимальное значение предела текучести;

$\sigma_{т0,2}$ — минимальное значение условного предела текучести, при котором остаточное удлинение составляет 0,2 %;

$\sigma_т^{20}$ — минимальное значение предела текучести при температуре 20 °С;

$\sigma_{т0,2}^{20}$, $\sigma_{т1,0}^{20}$ — минимальные значения предела текучести и условного предела текучести при температуре 20°С, при которых остаточные удлинения составляет соответственно 0,2 и 1,0%;

$\sigma_в$ — минимальное значение временного сопротивления (предела прочности);

$\sigma_{д10^5}$ — среднее значение предела длительной прочности за 10^5 ч;

$\sigma_{п1,0/10^5}$ — среднее значение 1%-го предела ползучести за 10^5 ч.

Коэффициенты запаса прочности должны соответствовать значениям, приведенным в табл. 12.3. Для сосудов и аппаратов групп 3, 4 в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» Госгортехнадзора РФ коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению $n_в$ допускается принимать равным 2,2.

В случае, если допускаемое напряжение для аустенитных сталей определяют по формуле (12.1), коэффициент запаса прочности $n_т$ по условному пределу текучести $s_{т0,2}$ для рабочих условий принимается равным 1,3.

Для сосудов и аппаратов, работающих в условиях ползучести при расчетном сроке эксплуатации от 10^4 до $2 \cdot 10^5$ ч, коэффициент запаса прочности $n_д$ равен 1,5. При расчетном сроке эксплуатации $2 \cdot 10^5$ ч допускается коэффициент запаса прочности $n_д$ принимать равным 1,25, если выполняют контроль жаропрочности и длительной пластичности материала в эксплуатации, а отклонение в меньшую сторону длительной прочности и ползучести от среднего значения не превышает 20%.

Расчет на прочность цилиндрических обечаек и конических элементов, выпуклых и плоских днищ для условий испытания проводить не требуется, если расчетное давление в условиях испытания будет меньше, чем расчетное давление в рабочих условиях,

умноженное на $1{,}35 \frac{[\sigma]_{20}}{[\sigma]}$.

Поправочный коэффициент к допускаемым напря-

жениям (η) должен быть равен единице, за исключением стальных отливок, для которых коэффициент η имеет следующие значения:

0,8—для отливок, подвергающихся индивидуальному контролю неразрушающими методами;

0,7—для остальных отливок.

Таблица 12.3

Условие нагружения	Коэффициент запаса прочности			
	$n_т$	$n_в$	$n_д$	$n_в$
Рабочие условия	1,5	2,4	1,5	1,0
Условия испытания:	1,1	—	—	—
гидравлические испытания	1,2	—	—	—
пневматические испытания	1,1	—	—	—
Условия монтажа				

Для элементов сосудов и аппаратов, работающих в условиях ползучести при разных за весь период эксплуатации расчетных температурах, в качестве допускаемого напряжения разрешается принимать эквивалентное допускаемое напряжение $[\sigma]_{экв}$, рассчитываемое по формуле:

$$[\sigma]_{экв} = \frac{[\sigma]_1}{\left[\sum_1^n \frac{T_i}{T_0}\left(\frac{[\sigma]_1}{[\sigma]_i}\right)^m\right]^{1/m}}, \quad (12.5)$$

где $[\delta]_1 = [\delta]_1; [\delta]_2; \ldots [\delta]_n$ — допускаемое напряжение для расчетного срока эксплуатации при температурах t_i (i=1, 2, ...);

T_i — длительность этапов эксплуатации элементов с температурой стенки соответственно t_i (i=1, 2, ...), ч;

$T_0 = \sum_1^n T_i$ — общий рассчетный срок эксплуатации, ч;

m — показатель степени в уравнениях длительной прочности стали (для легированных жаропрочных сталей рекомендуется принимать m = 8).

Этапы эксплуатации: при разной температуре стенки рекомендуется принимать по ступеням температуры 5 и 10°С.

Коэффициент запаса устойчивости при расчете элементов аппаратов на устойчивость по нижним критическим напряжениям в пределах упругости принимается: для рабочих условий $n_в = 2{,}4$; для условий испытаний и монтажа $n_в = 1{,}8$.

Значения нормативных допускаемых напряжений для наиболее употребительных марок сталей в зависимости от температуры приведены в табл. 12.4—12.8.

Механические характеристики основных конструкционных сталей приведены в табл. 12.9—12.19.

Расчетные значения продольного модуля упругости E и коэффициента линейного расширения α в зависимости от температуры приведены в табл. 12.20 и 12.21.

При расчете на прочность и устойчивость сварных элементов аппаратов в расчетные формулы вводятся коэффициенты прочности сварных швов, значения которых в зависимости от конструкции шва и условий сварки принимаются согласно табл. 12.22.

Исполнительные или принимаемые при конструировании размеры рассчитываемых элементов, как правило, должны быть больше расчетных на значение прибавки:

$$s \geq s_R + c; \quad (12.6)$$

Общее значение прибавки

$$c = c_1 + c_2 + c_3. \quad (12.7)$$

Каждая из составляющих прибавок должна обосновываться в технической документации.

Прибавка на коррозию и эрозию c_1 при проницаемости $П \leq 0{,}05$ мм/год принимается равной 1 мм. При большей проницаемости, а также при двусторонней коррозии c_1 соответственно увеличивается.

Для материалов, стойких в заданной среде, при отсутствии данных о проницаемости рекомендуется принимать c_1 = 2мм. Прибавка на минусовое значение предельного отклонения по толщине листа c_2, из которого изготовляется элемент аппарата, принимается по соответствующему стандарту на сортамент.

Технологическая прибавка c_3 (при вытяжке, штамповке, гибке и т.д.) учитывается в зависимости от принятой технологии изготовления и не включает в себя округление расчетной толщины элемента до номинальной толщины по стандарту.

Прибавки c_2 и c_3 учитываются только в тех случаях, когда сумма их превышает 5% от расчетной толщины элемента.

Нормы расчета сосудов и аппаратов из цветных металлов регламентированы ГОСТ 26156—87 (СТ СЭВ 4007—83).

При наличии данных о пределе длительной прочности при расчетной температуре допускаемое напряжение для цветных металлов, за исключением алюминиевых литейных сплавов, допускается определить по формуле:

$$[\sigma] = \min\left\{\frac{\sigma_{t,0}}{n_т};\quad \frac{\sigma_в}{n_т};\quad \frac{\sigma_{дτ}}{n_д}\right\}, \qquad (12.8)$$

где $\sigma_{t,0}$ — минимальное значение условного предела текучести при 1%-ном остаточном удлинении при расчетной температуре, МПа;

$n_т$ — коэффициент запаса прочности по условному пределу текучести;

$n_в$ — коэффициент запаса прочности по временному сопротивлению при наличии данных о пределе длительной прочности;

$\sigma_{д,τ}$ — среднее значение предела длительной прочности за время τ часов при расчетной температуре, МПа;

$n_д$ — коэффициент запаса прочности по пределу длительной прочности.

При отсутствии данных об условном пределе текучести при 1%-ном остаточном удлинении используют значение условного предела текучести при 0,2%-ном остаточном удлинении.

Коэффициент запаса прочности для цветных материалов, используемые при расчетах в зависимости от условий нагружения, должны соответствовать приведенным в табл. 12.23.

Нормативные допускаемые напряжения для различных цветных металлов приведены в табл. 12.24 — 12.26.

Расчетные значения модулей продольной упругости приведены в табл. 12.27 — 12.28, а значения коэффициентов прочности сварных швов — в табл. 12.29 — 12.31.

Таблица 12.4

Допускаемые напряжения для углеродистых и низколегированных сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа (кгс/см²), для сталей марок							
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20, 20К	10	10Г2, 09 Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	Толщина, мм							
	до 20	свыше 20	до 32	свыше 32	до 160			
20	154(1540)	140(1400)	196(1960)	183(1830)	147(1470)	130(1300)	180(1800)	183(1830)
100	149(1490)	134(1340)	177(1770)	160(1600)	142(1420)	125(1250)	160(1600)	160(1600)
150	145(1450)	131(1310)	171(1710)	154(1540)	139(1390)	122(1220)	154(1540)	154(1540)
200	142(1420)	126(1260)	165(1650)	148(1480)	136(1360)	118(1180)	148(1480)	148(1480)
250	131(1310)	120(1200)	162(1620)	145(1450)	132(1320)	112(1120)	145(1450)	145(1450)
300	115(1150)	108(1080)	151(1510)	134(1340)	119(1190)	100(1000)	134(1340)	134(1340)
350	105(1050)	98(980)	140(1400)	123(1230)	106(1060)	88(880)	123(1230)	123(1230)
375	93(930)	93(930)	133(1330)	116(1160)	98(980)	82(820)	108(1080)	116(1160)
400	85(850)	85 (850)	122(1220)	105(1050)	92(920)	77(770)	92(920)	105(1050)
410	81(810)	81(810)	104(1040)	104(1040)	86(860)	75(750)	86(860)	104(1040)
420	75(750)	75(750)	92(920)	92 (920)	80(800)	72(720)	80(800)	92(920)
430	71*(710)	71*(710)	86(860)	86(860)	75(750)	68(680)	75(750)	86(860)
440	—	—	78(780)	78(780)	67 (670)	60(600)	67(670)	78(780)
450	—	—	71(710)	71(710)	61(610)	53(530)	61(610)	71(710)
460	—	—	64(640)	64(640)	55(550)	47(470)	55(550)	64(640)
470	—	—	56(560)	56 (560)	49(490)	42(420)	49(490)	56(560)
480	—	—	53(530)	53(530)	46* (460)	37(370)	46** (460)	53(530)

*Для расчетной температуры стенки 425 °С.
** Для расчетной температуры стенки 475 °С.

Примечания.

1. При расчетных температурах ниже 20 °С допускаемые напряжения принимают такими же, как при 20 °С, при условии допустимого применения материала при данной температуре.
2. Для промежуточных расчетных температур стенки допускаемое напряжение определяют линейной интерполяцией с округлением результатов до 0,5 МПа (5 кгс/см²) в сторону меньшего значения.
3. Для стали марки 20 при $\sigma_т^{20}$ <220 МПа (2200 кгс/см²) допускаемые напряжения, указанные в таблице, умножают на отношение $\sigma_т^{20}/220$ ($\sigma_т^{20}/2200$).
4. Для стали марки 10Г2 при $\sigma_{т0,2}^{20}$ <270 МПа (2700 кгс/см²) допускаемые напряжения, указанные в таблице, умножают на отношение $\sigma_{т0,2}^{20}/270$ ($\sigma_{т0,2}^{20}/2700$).

Таблица 12.5

Допускаемые напряжения для теплоустойчивых хромистых сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа (кгс/см^2), для сталей марок				
	12ХМ	12МХ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	147(1470)	147(1470)	155(1550)	146(1460)	240(2400)
100	146,5(1465)	146,5(1465)	153(1530)	141(1410)	235(2350)
150	146(1460)	146(1460)	152,5(1525)	138(1380)	230(2300)
200	145(1450)	145(1450)	152(1520)	134(1340)	225(2250)
250	145(1450)	145(1450)	152(1520)	127(1270)	220(2200)
300	141(1410)	141(1410)	147(1470)	120 (1200)	210(2100)
350	137(1370)	137(1370)	142(1420)	114(1140)	200(2000)
375	135(1350)	135(1350)	140(1400)	110(1100)	180(1800)
400	132(1320)	132(1320)	137(1370)	105(1050)	170(1700)
410	130(1300)	130(1300)	136(1360)	103(1030)	160(1600)
420	129(1290)	129(1290)	135(1350)	101(1010)	150(1500)
430	127(1270)	127(1270)	134(1340)	99(990)	140(1400)
440	126(1260)	126(1260)	132(1320)	96(960)	135(1350)
450	124(1240)	124(1240)	131(1310)	94(940)	130(1300)
460	122(1220)	122(1220)	127(1270)	91(910)	126(1260)
470	117(1170)	117(1170)	122(1220)	89(890)	122(1220)
480	114(1140)	114(1140)	117(1170)	86(860)	118(1180)
490	105(1050)	105(1050)	107(1070)	83(830)	114(1140)
500	96(960)	96(960)	99(990)	79(790)	108 (1080)
510	82(820)	82(820)	84(840)	72(720)	97 (970)
520	69(690)	69(690)	74(740)	66(660)	85(850)
530	60(600)	57(570)	67(670)	60(600)	72(720)
540	50(500)	47(470)	57(570)	54(540)	58(580)
550	41(410)	—	49(490)	47(470)	52(520)
560	33(330)	—	41(410)	40(400)	45 (450)
570	—	—	—	35(350)	40(400)
580	—	—	—	30(300)	34(340)
590	—	—	—	28(280)	30(300)
600	—	—	—	25(250)	25(250)

Примечания.

1. При расчетных температурах ниже 20 °С допускаемые напряжения принимают такими же, как при 20°С, при условии допустимого применения материала при данной температуре.
2. Для промежуточных расчетных температур стенки допускаемое напря жение определяют линейной интерполяцией с округлением результатов до 0,5 МПа (5 кгс/см^2) в сторону меньшего значения.
3. При расчетных температурах ниже 200°С сталь марок 12МХ, 12ХМ, .15ХМ применять не рекомендуется.

Таблица 12.6

Допускаемые напряжения для жаропрочных, жаростойких и коррозионностойких сталей аустенитного класса

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа (кгс/см^2), для сталей марок				
	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х17Н14М3	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т
20	180(1800)	160 (1600)	153(1530)	168(1680)	184(1840)
100	173(1730)	133 (1330)	140(1400)	156(1560)	174(1740)
150	171(1710)	125 (1250)	130(1300)	148(1480)	168(1080)
200	171(1710)	120 (1200)	120(1200)	140(1400)	160(1600)
250	167(1670)	115 (1150)	113(1130)	132(1320)	154(1540)
300	149(1490)	112 (1120)	103(1030)	123(1230)	148(1480)

Продолжение табл. 12.7

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа (кгс/см²), для сталей марок				
	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х17Н14М3	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т
350	143(1430)	108 (1080)	101(1010)	113(1130)	144(1440)
375	141(1410)	107 (1070)	90(900)	108(1080)	140(1400)
400	140(1400)	107 (1070)	87(870)	103(1030)	137(1370)
410	—	107 (1070)	83(830)	102(1020)	136(1360)
420	—	107 (1070)	82(820)	101(1010)	135(1350)
430	—	107 (1070)	81(810)	100,5(1005)	134(1340)
440	—	107 (1070)	81(810)	100(1000)	133(1330)
450	—	107 (1070)	80(800)	99(990)	132(1320)
460	—	—	—	98 (980)	131(1310)
470	—	—	—	97,5(975)	130(1300)
480	—	—	—	97(970)	129(1290)
490	—	—	—	96(960)	128(1280)
500	—	—	—	95(950)	127(1270)
510	—	—	—	94(940)	126(1260)
520	—	—	—	79(790)	125(1250)
530	—	—	—	79(790)	124(1240)
540	—	—	—	78(780)	111(1110)
550	—	—	—	76(760)	111(1110)
560	—	—	—	73(730)	101(1010)
570	—	—	—	69(690)	97(970)
580	—	—	—	65(650)	90(900)
590	—	—	—	61(610)	81(810)
600	—	—	—	57(570)	74(740)
610	—	—	—	—	68(680)
620	—	—	—	—	62(620)
630	—	—	—	—	57(570)
640	—	—	—	—	52(520)
650	—	—	—	—	48(480)
660	—	—	—	—	45(450)
670	—	—	—	—	42(420)
680	—	—	—	—	38(380)
690	—	—	—	—	34(340)
700	—	—	—	—	30(300)

Примечания.

1. При расчетных температурах ниже 20 °С допускаемые напряжения при нимают такими же, как и при 20 °С, при условии допустимого применения материала при данной температуре.
2. Для промежуточных расчетных температур стенки допускаемое напряжение определяют интерполяцией двух ближайших значений, указанных в таблице, с округлением результатов до 0,5 МПа (5 кгс/см ^{2}) в сторону меньшего значения.
3. Для поковок из сталей марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т д опускаемые напряжения, приведенные в табл. 7 при температурах до 550 °С, умножают на 0,83.
4. Для сортового проката из стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т допускаемые напряжения, приведенные в таблице при температурах до 550 °С, умножают на отношение

$$\frac{\sigma_{т\,0,2}}{240}\left(\frac{\sigma_{т\,0,2}}{2400}\right),$$

где $\sigma_{т\,0,2}$ — предел текучести материала сортового проката определен по ГОСТ 5949; для сортового проката из стали марки 03Х18Н11 допускаемые напряжения умножаются на 0,8.

5. Для поковок и сортового проката из стали марки 08Х18Н10Т допускаемые напряжения, приведенные в таблице при температурах до 550 °С, умножают на 0,95.
6. Для поковок из стали марки 03Х17Н14М3 допускаемые напряжения, приведенные в таблице, умножают на 0,9.
7. Для поковок из стали марки 03Х18Н11 допускаемые напряжения, приведенные в таблице, умножают на 0,9; для сортового проката из стали марки 03Х18Н11 допускаемые напряжения умножают на 0,8.
8. Для труб из стали марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗИ-35) допускаемые напряжения, приведенные в таблице, умножают на 0,88.
9. Для поковок из стали марки 03Х21Н21М4ГБ (ЗИ-35) допускаемые напряжения, приведенные в таблице, умножают на отношение

$$\frac{\sigma_{т0,2}}{250}\left(\frac{\sigma_{т0,2}}{2500}\right),$$

где $\sigma_{т0,2}$ — предел текучести материала поковок, определен по ГОСТ 25054 (по согласованию).

Таблица 12.8

Допускаемые напряжения для жаропрочных, жаростойких и коррозионностойких сталей аустенитного и аустенито-ферритного класса

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Допускаемое напряжение [σ], МПа (кгс/см^2), для сталей марок					
	08Х18Г8Н2Т (КО-3)	07Х13АГ20 (ЧС-46)	02Х8Н22С6 (ЭП-794)	15Х18Н12С4ТЮ (ЭИ-654)	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ	08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т
20	230(2300)	233(2330)	133(1330)	233(2330)	147(1470)	233(2330)
100	206(2060)	173(1730)	106,5(1065)	220(2200)	138(1380)	200(2000)
150	190(1900)	153(1530)	100(1000)	206,5(2065)	130(1300)	193(1930)
200	175(1750)	133(1330)	90(900)	200(2000)	124(1240)	188,5(1885)
250	160(1600)	127(1270)	83(830)	186,5(1865)	117(1170)	166,5(1665)
300	144(1440)	120(1200)	76,5(765)	180(1800)	110(1100)	160(1600)
350	—	113(1130)	—	—	107(1070)	
375	—	110(1100)	—	—	105(1050)	
400	—	107(1070)	—	—	103(1030)	

Примечания.
1. При расчетных температурах ниже 20 °С допускаемые напряжения принимают такими же, как и при 20°С, при условии допустимого применения материала при данной температуре.
2. Для промежуточных расчетных температур стенки допускаемое напря жение определяют интерполяцией двух ближайших значений, указанных в таблице, с округлением до 0,5 МПа (5 кгс/см^2) в сторону меньшего значения.

Таблица 12.9

Расчетные значения предела текучести для углеродистых и низколегированных сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $\sigma_т$, МПа (кгс/см^2). для сталей марок							
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20 и 20К	10	10Г2, 09 Г2	17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	Толщина, мм							
	до 20	свыше 20	до 32	свыше 32	до 160			
20	250(2500)	210(2100)	300(3000)	280(2800)	220(2200)	195(1950)	270(2700)	280(2800)
100	230(2300)	201(2010)	265,5(2655)	240(2400)	213(2130)	188(1880)	240(2400)	240(2400)
150	224(2240)	197(1970)	256,5(2565)	231(2310)	209(2090)	183(1830)	231(2310)	231(2310)
200	223(2230)	189(1890)	247,5(2475)	222(2220)	204 (2040)	177(1770)	222(2220)	222(2220)
250	197(1970)	180(1800)	243(2430)	218(2180)	198(1980)	168(1030!	218(2180)	218(2180)
300	173(1730)	162(1620)	226,5(2265)	201(2010)	179(1790)	150(1500)	201(2010)	201 (2010)
350	167(1670)	147(1470)	210(2100)	185(1850)	159(1590)	132(1320)	185(1850)	185(1850)
375	164(1640)	140(1400)	199,5(1995)	174(1740)	147(1470)	123(1230)	162(1620)	174(1740)
400	—	—	183(1830)	158(1580)	—	—	—	158(1580)
410	—	—	—	156(1560)	—	—	—	156(1560)
420	—	—	—	138(1380)	—	—	—	138(1380)

Таблица 12.10

Расчетные значения предела прочности для углеродистых и низколегированных сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела прочности $\sigma_в$, МПа (кгс/см^2), для сталей марок						
	Ст3		09Г2С, 16ГС		20 и 20К	10	10Г2, 09Г2 17ГС, 17Г1С, 10Г2С1
	Толщина, мм						
	до 20	свыше 20	до 32	свыше 32	до 160		
20	460(4600)	380(3800)	470(4700)	440(4400)	410(4100)	340(3400)	440(4400)
100	435 (4350)	360(3600)	425(4250)	385(3850)	380(3800)	310(3100)	385(3850)
150	460(4600)	390(3900)	430(4300)	430(4300)	425(4250)	340(3400)	430(4300)
200	505(5050)	420(4200)	439(4390)	439(4390)	460(4600)	382(3820)	439(4390)
250	510(5100)	435(4350)	444(4440)	444(4440)	460(4600)	400(4000)	444(4440)
300	520(5200)	440(4400)	445(4450)	445(4450)	460(4600)	374(3740)	445(4450)
350	480(4800)	420(4200)	441(4410)	441(4410)	430(4300)	360(3600)	441(4410)
375	450(4500)	402(4020)	425(4250)	425(4250)	410(4100)	330(3300)	425(4250)

Таблица 12.11

Расчетные значения предела текучести $\sigma_{т0,2}$ для теплоустойчивых и коррозионностойких хромистых сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $\sigma_{т0,2}$, МПа (кгс/см^2), для сталей марок				
	12МХ	12ХМ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	220(2200)	220(2200)	233(2330)	220(2200)	400(4000)
100	219(2190)	219(2190)	230(2300)	210(2100)	352,5(3525)
150	218(2180)	218(2180)	229(2290)	207(2070)	345(3450)
200	217,5(2175)	217,5(2175)	228(2280)	201(2010)	337,5(3375)
250	217,5(2175)	217,5(2175)	228(2280)	190(1900)	330(3300)
300	212(2120)	212(2120)	220(2200)	180(1800)	315(3150)
350	206(2060)	206(2060)	213(2130)	171(1710)	300(3000)
375	202(2020)	202(2020)	210(2100)	164(1640)	270(2700)
400	198(1980)	198(1980)	205(2050)	158(1580)	255(2550)
410	195(1950)	195(1950)	204 (2040)	155(1550)	240(2400)
420	194(1940)	194(1940)	202(2020)	152(1520)	225(2250)

Таблица 12.12

Расчетные значения предела прочности для теплоустойчивых и коррозионностойких хромистых сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение временного сопротивления $\sigma_в$, МПа (кгс/см^2), для сталей марок				
	12МХ	12ХМ	15ХМ	15Х5М	15Х5М-У
20	450(4500)	450(4500)	450(4500)	400(4000)	600(6000)
100	440(4400)	440(4400)	440(4400)	380(3800)	572(5720)
150	434(4340)	434(4340)	434(4340)	355(3550)	555(5550)
200	430(4300)	430(4300)	430(4300)	330(3300)	535(5350)
250	440(4400)	437(4370)	437(4370)	320(3200)	520(5200)
300	454(4540)	445(4450)	445(4450)	318(3180)	503(5030)
350	437(4370)	442(4420)	442(4420)	314(3140)	492(4920)
375	427(4270)	436(4360)	436(4360)	312(3120)	484(4840)
400	415(4150)	426(4260)	426(4260)	310(3100)	472(4720)
410	413(4130)	424(4240)	424(4240)	306(3060)	468(4680)
420	410(4100)	421(4210)	421(4210)	300(3000)	462(4620)

Таблица 12.13

Расчетные значения предела текучести $\sigma_{т0,2}$ для жаростойких сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $\sigma_{т0,2}$, МПа (кгс/см^2), для сталей марок					
	08Х18Г8Н2Т (КО-3)	07Х13АГ20 (ЧС-46)	02Х8Н22С6 (ЭП-794)	15Х18Н12С4ТЮ (ЭИ-654)	08Х22 Н6Т, 08Х21Н6М2Т	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ
20	350(3500)	350(3500)	200(2000)	350(3500)	350(3500)	220(2200)
100	328(3280)	260(2600)	160(1600)	330(3300)	300(3000)	207(2070)
150	314(3140)	230(2300)	150(1500)	310(3100)	290(2900)	195(1950)
200	300(3000)	200(2000)	135(1350)	300(3000)	283(2830)	186(1860)
250	287(2870)	190(1900)	125(1250)	280(2800)	250(2500)	175(1750)
300	274(2740)	180(1800)	115(1150)	270(2700)	240(2400)	165(1650)
350	—	170(1700)	—	—	—	160(1600)
375	—	165(1650)	—	—	—	157,5(1575)
400	—	160(1600)	—	—	—	155(1550)

Таблица 12.14

Расчетные значения предела прочности для жаростойких сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение временного сопротивления $\sigma_в$, МПа (кгс/см^2), для сталей марок				
	08Х18Г8Н2Т (КО-3)	07Х13АГ20 (ЧС-46)	02Х8Н22С6 (ЭП-794)	15Х18Н12СЧТЮ (ЭИ-654)	06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ
20	600(6000)	670(6700)	550(5500)	700(7000)	550(5500)
100	535(5350)	550(5500)	500(5000)	640(6400)	527,5(5275)
150	495(4950)	520(5200)	480(4800)	610(6100)	512,5(5125)
200	455(4550)	490(4900)	468(4680)	580(5800)	500(5000)
250	415(4150)	485(4850)	450 (4500)	570(5700)	490(4900)
300	375 (3750)	480(4800)	440(4400)	570(5700)	482,5(4825)
350	—	465(4650)	—	—	478(4780)
375	—	458(4580)	—	—	474(4740)
400	—	450(4500)	—	—	470(4700)

Таблица 12.15

Расчетные значения предела текучести $\sigma_{т1,0}$ для коррозионностойких сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $\sigma_{т1,0}$, МПа (кгс/см^2), для сталей марок				
	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х17Н14М3
20	276(2760)	252(2520)	270(2700)	240 (2400)	230(2300)
100	261(2610)	234(2340)	260(2600)	200 (2000)	210(2100)
150	252(2520)	222(2220)	257(2570)	187,5 (1875)	195(1950)
200	240(2400)	210(2100)	257(2570)	180 (1800)	180(1800)
250	231(2310)	198(1980)	250(2500)	173 (1730)	170(1700)
300	222(2220)	184,5(1845)	223(2230)	168 (1680)	155(1550)
350	216(2160)	169,5(1695)	215(2150)	162 (1620)	152(1520)
375	210(2100)	162(1620)	212(2120)	160 (1600)	135(1350)
400	205,5(2055)	154,5(1545)	210(2100)	160 (1600)	130(1300)
410	204(2040)	153(1530)	—	160 (1600)	125(1250)
420	202,5 (2025)	151,5(1515)	—	160 (1600)	123(1230)
430	201(2010)	150,75(1508)	—	160 (1600)	122(1220)
440	199,5(1995)	150(1500)	—	160 (1600)	121(1210)
450	198(1980)	148,5(1485)	—	160 (1600)	120(1200)
460	196,5(1965)	147(1470)	—	—	—
470	195(1950)	146(1460)	—	—	—
480	193,5(1935)	145,5(1455)	—	—	—
490	192(1920)	144(1440)	—	—	—
500	190,5(1905)	142,5(1425)	—	—	—
510	189(1890)	141(1410)	—	—	—
520	187,5(1875)	139,5(1395)	—	—	—
530	186(1860)	138 (1380)	—	—	—

Примечание. Предел текучести для поковок, сортового проката и труб при 20 °С следует принимать:

$\frac{\sigma^{20}_{т1,0}\ (листа)}{1,2}$;

для поковок и сортового проката из стали марки 08Х18Н10Т

$\frac{\sigma^{20}_{т1,0}\ (листа)}{1,05}$;

для сортового проката из сталей марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т — 1,15 $\sigma^{20}_{т0,2}$ (сорта);

Продолжение табл. 12.16

для поковок из стали марок 03Х17Н14М3, 03Х18Н11 — $\frac{\sigma^{20}_{т1,0}\ (листа)}{1,11}$;

для сортового проката из стали марки 03Х18Н11 $\frac{\sigma^{20}_{т1,0}\ (листа)}{1,25}$;

для труб из стали марки 03Х21Н21М4ГБ (ЭИ-35) — $\frac{\sigma^{20}_{т1,0}\ (листа)}{1,14}$;

для поковок из стали марки 03Х21Н21М4ГБ (ЭИ-35) — 1,08 $\sigma^{20}_{т0,2}$ (поковки),

где $\sigma^{20}_{т0,2}$ — предел текучести материала поковок определен по ГОСТ 25054 (по согласованию).

Таблица 12.17

Расчетные значения предела текучести $\sigma_{т0,2}$, для коррозионностойких сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение предела текучести $\sigma_{т0,2}$, МПа (кгс/см^2), для сталей марок				
	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	03Х21Н21М4ГБ	03Х18Н11	03Х17Н14М3
20	240(2400)	210*(2100)	250(2500)	200(2000)	200(2000)
100	228(2280)	195(1950)	240(2400)	160(1600)	180(1800)
150	219(2190)	180(1800)	235(2350)	150(1500)	165(1650)
200	210(2100)	173(1730)	235(2350)	140(1400)	150(1500)
250	204(2040)	165(1650)	232(2320)	135(1350)	140(1400)
300	195(1950)	150(1500)	205(2050)	130(1300)	126(1260)
350	190(1900)	137(1370)	199(1990)	127(1270)	115(1150)
375	186(1860)	133(1330)	195(1950)	125(1250)	108(10«0)
400	181(1810)	129(1290)	191(1910)	122,5(1225)	100(1000)
410	180(1800)	128(1280)	—	121,5(1215)	98(980)
420	180(1800)	128(1280)	—	121(1210)	97,5(975)
430	179(1790)	127(1270)	—	120,5(1205)	97(970)
440	177(1770)	126(1260)	—	120(1200)	96(960)
450	176(1760)	125(1250)	—	120(1200)	95(950)
460	174(1740)	125(1250)	—	—	—
470	173(1730)	124(1240)	—	—	—
480	173(1730)	123(1230)	—	—	—
490	171(1710)	122(1220)	—	—	—
500	170(1700)	122(1220)	—	—	—
510	168(1680)	120(1200)	—	—	—
520	168(1680)	119(1190)	—	—	—
530	167(1670)	119(1190)	—	—	—

*Для сталей 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т предел текучести при 20 °С равен 200(2000) МПа (кгс/см^2).

Примечания.

1. Для поковок из сталей марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т пределы текучести, приведенные в таблице, умножают на 0,83.
2. Для сортового проката из стали марок 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т пределы текучести, приведенные в таблице, умножают на отношение.

$$\frac{\sigma^{*}_{т0,2}}{240}\left(\frac{\sigma^{*}_{т0,2}}{2400}\right),$$

где $\sigma^{*}_{т0,2}$ — предел текучести материала сортового проката определен по ГОСТ 5949.

3. Для поковок и сортового проката из стали марки 08Х18Н10Т пределы текучести, приведенные в таблице, умножают на 0,95.
4. Для поковок из стали марки 03Х17Н14М3 пределы текучести, приведенные в таблице, умножают на 0,9.
5. Для поковок из стали марки 03Х18Н11 пределы текучести, приведенные в таблице, умножают на 0,9; для сортового проката из стали марки 03Х18Н11 пределы текучести умножают на 0,8.
6. Для труб из стали марки 03Х21Н21М4ГБ (ЭИ-35) пределы текучести, приведенные в таблице, умножают на 0,88.

Продолжение табл. 12.18

7. Для поковок из стали марки 03Х21Н21М4ГБ (ЭИ-35) пределы текучести, приведенные в таблице, умножают на отношение

$$\frac{\sigma^*_{т0,2}}{250}\left(\frac{\sigma^*_{т0,2}}{2500}\right),$$

где $\sigma^*_{т0,2}$ — предел текучести материала поковок определен по ГОСТ 25054 (по согласованию).

Таблица 12.19

Расчетные значения предела прочности для жаропрочных сталей

Расчетная температура стенки сосуда или аппарата, °С	Расчетное значение временного сопротивления $\sigma_в$, МПа (кгс/см^2), для сталей марок					
	03Х21Н21М4ГБ	08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	03Х17Н14М3	03Х18Н11	08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т
20	550(5500)	600(6000)	500(5000)	520(5200)	520(5200)	540(5400)
100	540(5400)	583(5830)	474(4740)	450(4500)	480(4800)	500(5000)
150	535(5350)	550(5500)	453(4530)	433(4330)	455(4550)	475(4750)
200	535(5350)	515(5150)	432(4320)	415(4150)	430(4300)	450(4500)
250	534(5340)	503(5030)	412(4120)	405(4050)	424(4240)	443(4430)
300	520(5200)	500(5000)	392(3920)	397(3970)	417(4170)	440(4400)
350	518(5180)	—	376(3760)	394(3940)	408(4080)	438(4380)
375	517(5170)	—	368(3680)	392(3920)	405(4050)	437(4370)
400	516(5160)	—	360(3600)	390(3900)	402(4020)	436(4360)
410	—	—	358(3580)	388(3880)	400(4000)	434(4340)
420	—	—	356(3560)	386(3860)	398(3980)	432(4320)
430	—	—	354(3540)	384(3840)	396(3960)	431(4310)
440	—	—	352(3520)	382(3820)	394 (3940)	430(4300)
450	—	—	350(3500)	380(3800)	392(3920)	428(4280)
460	—	—	—	—	390(3900)	426(4260)
470	—	—	—	—	388(3880)	424(4240)
480	—	—	—	—	386(3860)	422(4220)
490	—	—	—	—	385(3850)	421(4210)
500	—	—	—	—	383(3830)	420(4200)
510	—	—	—	—	381(3810)	418(4180)
520	—	—	—	—	380(3800)	416(4160)
530	—	—	—	—	374*(3740)	412*(4120)

* Для расчетной температуры стенки 550 °С.

Таблица 12.20

Расчетные значения модуля продольной упругости E, 10^{-5} МПа

t_R, °С	Стали		
	углеродистые и низколегированные	жаропрочные и жаростойкие аустенитные	теплоустойчивые и коррозионностойкие хромистые
20	1,99	2,00	2,15
100	1,91	2,00	2,15
150	1,86	1,99	2,05
200	1,81	1,97	1,98
250	1,76	1,94	1,95
300	1,71	1,90	1,90
350	1,64	1,85	1,84
400	1,55	1,80	1,78
450	1,40	1,74	1,71
500	—	1,67	1,63
550		1,60	1,54
600		1,52	1,40
650		1,43	
700		1,32	—

Таблица 12.21

Коэффициент линейного расширения

Марка стали	Расчетное значение коэффициента . 10^6, $°C^{-1}$, при температуре, °С				
	20—100	20—200	20—300	20—400	20—500
Ст3, 20, 20К	11,6	12,6	13,1	13,6	14,1
09Г2С, 16ГС, 17ГС, 17Г1С, 10Г2С1, 10Г2	13,0	14,0	15,3	16,1	10,2
12ХМ, 12МХ, 15ХМ, 15Х5М, 15Х5М-У	11,9	12,6	13,2	13,7	14,0
08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т	9,6	13,8	16,0	16,0	16,5
12Х18Н10Т, 12Х18Н12Т, 03Х17Н14М3, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т, 03Х18Н11, 08Х17Н13М2Т, 08Х17Н15М3Т	16,6	17,0	18,0	18,0	18,0
03Х21Н21М4ГБ	14,9	15,7	16,6	17,3	17,5
06ХН28МДТ, 03ХН28МДТ	15,3	15,9	16,5	16,9	17,3
08Х18Г8Н2Т	12,3	13,1	14,4	14,4	15,3

Таблица 12.22

Коэффициенты прочности сварных швов

Вид сварного шва	Значение коэффициентов прочности сварных швов	
	Длина контролируемых швов от общей длины составляет 100%*	Длина контролируемых швов от общей длины составляет от 10 до 50%*
Стыковой или тавровый с двусторонним сплошным проваром, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой	1,0	0,9
Стыковой с подваркой корня шва или тавровый с двусторонним сплошным проваром, выполняемый вручную	1,0	0,9
Стыковой, доступный сварке только с одной стороны и имеющий в процессе сварки металлическую подкладку со стороны корня шва, прилегающую по всей длине шва к основному металлу	0,9	0,8
Втавр, с конструктивным зазором свариваемых деталей	0,8	0,65
Стыковой, выполняемый автоматической и полуавтоматической сваркой с одной стороны с флюсовой или керамической подкладкой	0,9	0,8
Стыковой, выполняемый вручную с одной стороны	0,9	0,65

*Объем контроля определяется техническими требованиями на изготовление и правилами Госгортехнадзора РФ.

Таблица 12.23

Значения коэффициентов запаса прочности

Материал	Условия нагружения	Коэффициент запаса прочности				
		$n_{вN}$	$n_в$	$n_т$	$n_д$ для τ	
					10^4 ч	10^5 ч
Алюминиевые литейные сплавы	Рабочие условия	7,0	—	—	—	—
	Гидравлические испытания	3,5	—	—	—	—
Алюминий, медь и их сплавы	Рабочие условия	3,5	2,4	1,5	1,7	1,5
	Гидравлические испытания	—	—	1,1	—	—
	Пневматические испытания	—	—	1,2	—	—

Таблица 12.24

Нормативное допускаемое напряжение σ* (МПа) для алюминиевых сплавов

Расчетная температура стенки t, °С	Марка алюминиевого сплава					Расчетная температура стенки t, °С	Марка алюминиевого сплава				
	А85М; А8М*	АД00М; АД0М; АД1М	АМцСМ	АМг2М; АМг3М	АМг5М; АМг6М		А85М; А8М*	АД00М; АД0М; АД1М	АМцСМ	АМг2М; АМг3М	АМг5М; АМг6М
20	17	17,0	34,0	48,5	74,0	90	14	14,5	28,5	45,6	67,0
30	17	16,7	33,4	48,5	73,9	100	13	14,0	27,0	44,0	64,0
40	16	16,2	32,7	48,5	73,6	110	13	13,5	25,3	42,1	60,4
50	16	16,0	32,0	48,5	73,0	120	13	12,9	23,3	39,8	56,2
60	15	15,6	31,3	48,1	72,1	130	12	12,3	21,1	37,2	51,4
70	15	15,3	30,5	47,6	70,9	140	11	11,7	18,7	34,3	46,0
80	14	14,9	29,7	46,8	69,4	150	11	11,0	16,0	31,0	40,0

* Для толщин не более 30 мм

Таблица 12.25

Нормативное допускаемое напряжение σ* (МПа) для титана и его сплавов при толщине стенки до 60 мм

Марка титана	Расчетная температура t, °С						
	20	100	200	250	300	350	400
ВТ1-0	141	129	107	95	86	—	—
ОТ4-0	184	159	128	115	98	95	93
АТ3	230	202	171	164	159	145	—

Примечание. Для прутков и поковок нормативное допускаемое напряжение уменьшается в 1,15 раза.

Таблица 12.26

Нормативное допускаемое напряжение σ* (МПа) для титана и его сплавов при толщине стенки от 3 до 10 мм

Расчетная температура стенки t, °С	Марка меди и сплава					
	М2	М3	М3р	ЛО62-1	Л63; ЛС59-1	ЛЖМц 59-1-1
20	51,5	53,8	54,3	108	70,0	136,0
30	50,8	52,0	53,3	108	69,5	135,5
40	50,1	50,4	52,2	107	69,0	133,7
50	49,3	49,0	51,2	106	68,3	132,0
60	48,7	47,8	50,2	105	67,5	130,2
70	47,9	46,8	49,2	104	66,8	128,5
80	47,3	45,9	48,3	103	66,1	126,9
90	46,6	45,2	47,3	102	65,4	125,5
100	45,9	44,5	46,4	100,5	64,7	124,0
110	45,3	44,0	45,5	99,7	63,9	122,5
120	44,7	43,5	44,6	98,7	63,2	121,9
130	44,0	43,0	43,7	97,5	62,4	121,0
140	43,4	42,5	42,9	96,5	61,5	120,6
150	42,8	42,1	42,1	95,5	60,0	119,7
160	42,2	41,6	41,3	94,4	58,0	118,8
170	41,6	41,1	40,4	93,4	56,0	117,0
180	41,0	40,5	39,7	93,3	54,0	114,4
190	40,4	39,8	38,9	92,5	52,0	111,0
200	39,8	39,0	38,1	90,0	50,0	105,8
210	—	38,0	36,9	80,0	46,0	96,6
220	—	36,9	35,8	70,0	42,0	85,2
230	—	35,7	34,7	60,0	38,0	69,0
240	—	34,2	33,6	50,0	34,0	51,0
250	—	32,5	32,5	40,0	30,0	30,0

Таблица 12.27

Расчетные значения модулей упругости для алюминия и его сплавов

Расчетная температура, °С	Расчетное значение модуля продольной упругости 10^{-5}Е, МПа, для алюминия и его сплавов марок		
	А85М, А8М, АД00М, АД0М, АД1М	АМг2М, АМг3М, АМг5М, АМг6М	АМцСМ
20	0,72	0,73	0,74
50	0,71	0,72	0,73
100	0,69	0,70	0,72
150	0,67	0,68	0,70

Таблица 12.28

Расчетные значения модулей продольной упругости для меди и ее сплавов

Расчетная температура, °С	Расчетное значение модуля продольной упругости 10^{-5}Е, МПа, для меди и его сплавов марок					
	М2, М3	М3р	Л63	ЛС 59—1	ЛО 62—1	ЛЖМц 59—1—1
20	1,24	1,27	1,09	1,05	1,12	1,06
50	1,22	1,26	1,08	1,04	1,11	1,05
100	1,21	1,24	1,06	1,02	1,09	1,03
150	1,19	1,22	1,04	1,00	1,08	1,01
200	1,17	1,20	1,02	0,98	1,06	0,99
250	1,15	1,18	1,01	0,97	1,04	0,97

Таблица 12.29

Коэффициент прочности φ сварных швов алюминиевых аппаратов

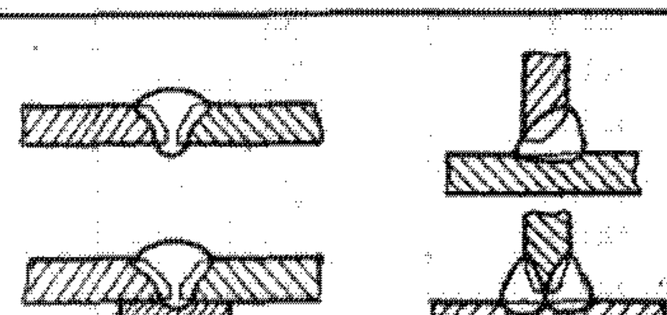
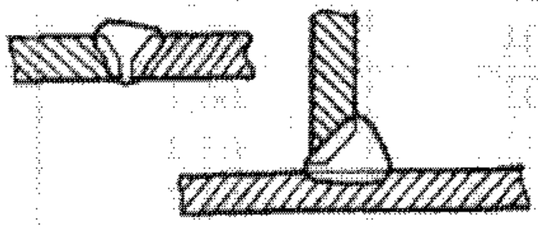
Конструкция шва	Способ сварки	Коэффициент φ
	Сварка в среде защитных газов Плазменная сварка	0,9
	Сварка в среде защитных газов	0,85
	Ручная дуговая электросварка	0,8
	Сварка, отличная от указанных выше	0,75

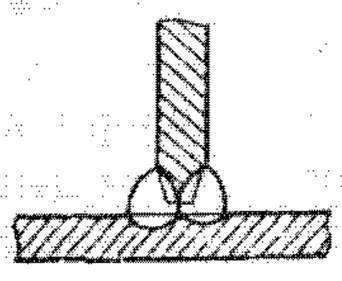
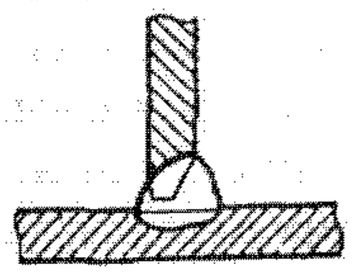
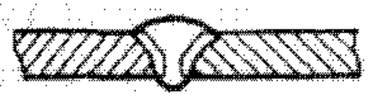
Таблица 12.30

Коэффициент прочности φ сварных и паяных соединений аппаратов из меди и ее сплавов

Марка материала	Способ сварки и пайки	Марка присадочной проволоки и припоя	Коэффициент φ	Примечание
М3р	Ручная сварка неплавящимся электродом в среде аргона	БрКМц3-1; МНЖКТ5-1-0,2-0,2	0,90	До толщины 10 мм
	Полуавтоматическая сварка открытой дугой	МР3КМцТ0,3-0,3-1-0,3	0,90	
	Полуавтоматическая сварка в среде аргона и азота	МНЖКТ5-1-0,2-0,2	0,90	
	Автоматическая сварка неплавящимся электродом в среде аргона	БрКМц3-1; МНЖКТ5-1-0,2-0,2	0,92	Для толщины 3—6 мм
	Автоматическая сварка неплавящимся электродом в среде азота	МНЖКТ5-1-0,2-0,2	0,93	
ЛО62-1	Ручная сварка неплавящимся электродом в среде аргона	БрОЦ4-3; МНЖКТ5-1-0,2-0,2; БрКМц3-1	0,83 0,83 0,90	Для толщины 3—6 мм
Л63		БрКМц3-1; МНЖКТ5-1-0,2-0,2; БрОЦ4-3	0,93	Только для толщины 3 мм
М2, М3, М3р	Пайка пламенем газовой горелки	ЛОК62-0,5; ЛОК59-1-0,3	0,85	—

Таблица 12.31

Коэффициент прочности φ сварных швов аппаратов из титана

Конструкция шва	Способ сварки	Коэффициент φ
	Автоматическая под флюсом Автоматическая и ручная в защитной среде аргона или гелия	0,95
	Автоматическая и ручная в защитной среде аргона или гелия	0,9
	Ручная дуговая электросварка	0,8
	Сварка в среде аргона или гелия и обеспечение защиты с обратной стороны	0,7

12.4. Требования, предъявляемые к сварным технологическим аппаратам

12.4.1. Общие требования

Современное технологическое производство со специфическими условиями работы оборудования, характеризуемыми часто высокими рабочими параметрами (температурой и давлением), особенно при агрессивности, токсичности и огне- и взрывоопасности перерабатываемой среды и в основном большой производительности, требует создания аппаратов только высокого качества.

Высокое качество аппаратов характеризуется: высокой эффективностью, зависящей от эффективности технологического процесса, осуществляемого в аппарате, и его производительности; долговечностью (сроком службы не менее 15 лет); экономичностью (минимальной стоимостью проектирования, конструкционных материалов, изготовления, а также эксплуатационных расходов); надежностью, безопасностью, удобством и простотой обслуживания в эксплуатации, зависящих как от качества конструкции, так и от качества изготовления; формой аппарата, удовлетворяющей требованиям технической эстетики (округлая форма, отсутствие острых выступающих частей и т.д.).

Технические требования к конструированию, изготовлению, приемке и поставке стальных сварных аппаратов (подведомственных и неподведомственных Госгортехнадзору) установлены СТ СЭВ 800—77 и ОСТ 26-291—94.

12.4.2. Требования к конструированию

Для стальных цилиндрических аппаратов, корпусы (обечайки) которых выполняются из листового проката, за базовый принимается внутренний диаметр, мм, выбираемый из следующего ряда (ГОСТ 9617—76): 400, 450*, 500, 550*, 600, 650*, 700, 800, 900, 1000, 1100*, 1200, 1300*, 1400, 1500*, 1600, 1700*, 1800, 1900*, 2000, 2200, 2400, 2500, 2600, 2800, 3000, 3200, 3400, 3600, 3800, 4000, 4500, 5000, 5600, 6300, 7000, 7500, 8000. 8500, 9000, 9500, 10 000, 11 000, 12 000, 14 000, 16 000, 18 000, 20 000.

Примечания. 1. Диаметры со знаком* предназначены только для рубашек аппарата. 2. Допускается стальные эмалированные аппараты, а также аппараты из высоколегированных никельсодержащих сталей изготовлять диаметрами 250; 300 и 350 мм.

Для стальных аппаратов, корпусы которых выполняются из готовых труб, за базовый принимается наружный диаметр, мм, выбираемый из следующего ряда (ГОСТ 9617—76): 133, 159, 168, 219, 273, 325, 377, 426, 480, 530, 630, 720, 820, 920, 1020, 1120, 1220, 1320, 1420.

Конструкция аппаратов должна предусматривать возможность внутреннего осмотра, очистки, промывки и продувки. Внутренние устройства, пре-

пятствующие осмотру, должны быть съемными. Рубашки (для наружного обогрева или охлаждения) допускается выполнять приварными.

Аппараты должны иметь круглые люки-лазы для внутреннего осмотра, расположенные в удобных для обслуживания местах (табл. 12.32). Допускаются овальные лазы с размерами по большей оси не менее 400 мм и по меньшей оси не менее 325 мм.

При наличии у аппарата съемных крышек или днищ и фланцевых штуцеров, обеспечивающих возможность внутреннего осмотра, устройство лазов и люков в аппаратах необязательно.

Крышки лазов и люков должны быть съемными (на аппаратах с вакуумной изоляцией допускаются приварные). При массе съемных крышек более 20 кг должны предусматриваться соответствующие подъемные приспособления.

Кожухотрубные теплообменники (за исключением горизонтальных испарителей с паровым пространством), а также аппараты с рубашкой для криогенных жидкостей допускается выполнять без лазов.

Шарнирно-откидные или вставные болты, хомуты и зажимные приспособления крышек, лазов и фланцевых соединений должны быть предохранены от сдвига или ослабления.

Таблица 12.32

Размеры люков-лазов в зависимости от местонахождения аппарата, мм

Внутренний диаметр аппарата D	Диаметр лаза, люка	Местонахождение аппарата
Более 800	400	В отапливаемом помещении
» 800	450	На открытом воздухе или в неотапливаемом помещении
≤ 800	Не менее 80	—

Опрокидывающиеся аппараты должны иметь приспособления, предотвращающие самоопрокидывание.

Для возможности проведения гидроиспытаний аппарат должен иметь для наполнения и слива воды, а также для поступления и удаления воздуха соответствующие штуцера (могут быть использованы технологические). На вертикальных аппаратах эти штуцера должны быть расположены с учетом возможности проведения гидроиспытаний в горизонтальном положении аппарата.

Для подъема и установки аппарата на нем должны быть предусмотрены строповые устройства. Допускается использовать для этих целей имеющиеся на аппарате элементы (горловины и технологические штуцера, уступы и др.), если прочность их при этом не вызывает сомнений, что должно быть проверено расчетом.

Все основные сварные соединения в аппаратах, как правило, должны быть стыковыми двусторонними или с подваркой, быть доступными для осмотра и контроля.

В горизонтальных аппаратах, нижняя часть которых недоступна для осмотра, продольные сварные швы на корпусе не должны быть в пределах 140° нижней его части.

В местах присоединения опор к аппарату наличие сварных швов, как правило, не допускается. Если это не может быть выполнено, необходимо предусмотреть возможность контроля шва под опорой.

При сварке отдельных элементов аппарата расстояние между краями смежных швов должно быть не менее большей толщины соединяемой стенки.

Расположение отверстий для лазов, люков и штуцеров, как правило, должно быть вне сварных швов. Допускается как исключение устройство отверстий на швах при условии двустороннего провара швов и укрепления отверстий.

12.4.3. Требования к изготовлению

Аппараты, их узлы и детали должны изготовляться на предприятиях, располагающих техническими средствами, обеспечивающими качественное их изготовление в соответствии с требованиями проекта, ГОСТов, ОСТов, ТУ и другой технической документации.

Проект аппарата и ТУ на его изготовление должны быть согласованы и утверждены в порядке, установленном министерством, в подчинении которого находится проектная организация или завод-изготовитель аппарата.

Изготовление аппаратов должно производиться по заранее разработанной технологии завода-изготовителя.

Резка листов, труб и других полуфабрикатов допускается любым способом, обеспечивающим требуемые форму и размеры обрабатываемых кромок под сварку или исключающим образование трещин или других пороков, ухудшающих их качество.

При изготовлении допускаются все виды освоенных промышленностью сварок.

Обечайки и днища могут изготовляться бесшовными из поковок или сварными из листов. Вальцовка и штамповка их должны производиться машинным способом.

Изготовление аппаратов, их узлов и деталей должно производиться с соблюдением предельных отклонений размеров, указанных в чертежах и ТУ на изготовление аппарата.

Предельные отклонения свободных размеров должны выполняться: механически обрабатываемых мест — отверстия по H 14, валы по h 14, остальные $\pm \frac{JT\ 14}{2}$, механически необрабатываемых мест — отверстия H16, валы по h16, остальные $\frac{JT\ 16}{2}$ (СТ СЭВ 144—75 — СТ СЭВ 145—75).

Оси резьбовых отверстий в аппаратах должны быть перпендикулярны к опорным поверхностям. Допускаемая неперпендикулярность менее 0,8 мм на 100 мм, если в чертежах не предъявляются более жесткие требования.

Сварка аппаратов и их элементов должна производиться согласно ТУ и производственным инструкциям завода-изготовителя, соответствующим ОСТ 26-291—94.

Аппараты, в стенках которых в процессе изготовления (при вальцовке, штамповке, сварке и т.п.) возможно появление недопустимых напряжений, подлежат термообработке. Необходимость и режим термообработки устанавливаются ТУ.

Завод-изготовитель обязан осуществлять контроль качества сварных соединений (внешним осмотром, ультразвуковой дефектоскопией, просвечиванием рентгеновскими или гамма-лучами, механическими испытаниями, металлографическими исследованиями, гидравлическими испытаниями др.) согласно ОСТ 26-291-94.

При сборке отдельных деталей и узлов аппарата не допускается подгонка, которая вызывала бы появление дополнительных напряжений в металле или повреждений соединяемых частей.

Методы разметки заготовки деталей из сталей аустенитного класса не должны допускать повреждения рабочей поверхности деталей.

На рабочей поверхности обечаек и днищ не допускаются риски, забоины, царапины и другие дефекты, по глубине превышающие минусовые значения предельных отклонений по толщине листа, предусмотренные соответствующими стандартами и ТУ.

Заусенцы во всех деталях должны быть удалены, а острые кромки в них притуплены.

Внутренние защитные покрытия (эмалью, свинцом, лаком и др.) и подготовка поверхностей под покрытие должны выполняться по специальным ТУ и инструкциям.

12.4.4. Требования к испытаниям

Все сварные аппараты после изготовления подлежат гидравлическому испытанию на прочность и герметичность пробным давлением, значение которого в зависимости от расчетного давления указано в табл. 12.2.

12.4.5. Требования к эксплуатации

Для управления работой и обеспечения нормальных условий эксплуатации аппараты, подведомственные Госгортехнадзору, должны быть снабжены: приборами для измерения давления и температуры среды; предохранительными устройствами от превышения допустимого давления; запорной трубной арматурой на подводящих и отводящих трубопроводах; указателями уровня жидкости, если в аппарате имеется или может быть жидкость.

Предохранительные устройства на аппарате устанавливаются для того, чтобы в нем не могло повыситься давление выше допустимого.

Допустимое давление не должно превышать расчетное более чем на 10% (при $p_R > 0{,}5$ МПа) и не более чем на 0,05 МПа (при $p_R \leq 0{,}5$ МПа). Пропускная способность предохранительного устройства принимается равной 90% среднего значения его фактической пропускной способности.

Предохранительные устройства должны устанавливаться на штуцерах или присоединительных трубопроводах в непосредственной близости к аппарату, в месте, удобном для его осмотра.

12.4.6. Общие указания и рекомендации

Аппарат должен состоять преимущественно из стандартных и унифицированных элементов и узлов, отработанных и проверенных в изготовлении и хорошо зарекомендовавших себя в эксплуатации.

Отдельные детали, узлы и аппарат в целом должны быть технологичными в изготовлении, иметь минимальную металлоемкость (без ущерба для прочности и жесткости), удобными в сборке, разборке и в эксплуатации, также, по возможности, ремонтоспособными.

Применения фланцевых, резьбовых и других разъемных соединений в аппаратах, если это возможно, следует избегать, поскольку такие соединения по сравнению с неразъемными (сварными) сложнее и дороже в изготовлении и менее надежны в эксплуатации.

Крышки, люки и другие узлы с разъемными соединениями должны предусматриваться в аппаратах только в обоснованных случаях: когда это связано с технологическим процессом (например, периодическая загрузка и выгрузка продукта и др.), при необходимости частого осмотра или чистки внутренних поверхностей и устройств и т.д. Поэтому аппараты предпочтительно выполнять цельносварными. Присоединение трубопроводов к аппаратам также в ряде случаев целесообразно производить на сварке вместо широко распространенных фланцевых соединений, особенно при стационарной установке аппаратов и блочной их компоновке в кожухе, заполненном тепловой изоляцией.

При наличии горизонтальных фланцевых соединений в аппарате с уплотнением в выступ-впадине и шип-паз фланцы с впадиной и пазом в целях удобства сборки и разборки следует размещать снизу.

Резьбовые соединения допускается применять для номинального диаметра резьбы до 50 мм и при рабочей температуре до 300°С.

Расчет элементов и узлов аппарата на механическую прочность и устойчивость следует производить на самые неблагоприятные условия, возможные при эксплуатации (при работе, пуске, остановке, различных испытаниях и т.д.). Поэтому, в частности, значение расчетного давления $p_к$ должно быть равным максимальной разности давлений между внутренней и наружной сторонами рассчитываемого элемента, возможной в эксплуатации. На том же основании расчетная разность температур D $t_к$ между отдельными элементами в аппарате или расчетная температура $t_к$ элемента его должны приниматься максимально возможными в эксплуатации, являющимися наихудшими для прочности или устойчивости рассчитываемого элемента.

В случае применения противокоррозионных покрытий (плакированный слой в двухслойной стали, металлические и неметаллические покрытия и т.д.) наличие последних при расчете элементов на прочность не учитывается.

12.4.7. Техническое задание

Для выполнения прочностных расчетов необходимо иметь техническое задание, составленное согласно технологическому расчету, в котором должны быть указаны: 1) географическое положение и сейсмичность района установки аппарата; 2) назначение и положение аппарата в технологической схеме установки; 3) место установки аппарата (в отапливаемом или неотапливаемом помещении, на открытом воздухе); 4) характеристика работы аппарата; 5) состав и характеристика рабочей среды; 6) рабочие давление и температура (минимальная отрицательная и максимальная плюсовая); 7) рекомендуемые марки конструкционного материала с указанием их проницаемости в заданной среде в рабочих условиях; 8) тип, форма, основные размеры, принципиальная конструкционная схема и эскиз аппарата; 9) номинальные (условные) диаметры и положение присоединяемых к аппарату трубопроводов, трубной арматуры, КИП и др.; 10) характеристика внутренних устройств (размер и количество труб в теплообменнике, тип и число тарелок в ректификационных колоннах и т.д.); 11) наличие, характеристика и толщина тепловой изоляции; 12) степень автоматизации и другие специальные сведения.

Конструирование и расчет аппарата на механическую прочность следует производить только согласно техническому заданию с учетом имеющихся аналогичных конструкций аппаратов и данных по их эксплуатации, а также соответствующих патентных материалов.

12.4.8. Паспорт аппарата

Все аппараты, подведомственные Госгортехнадзору, должны иметь паспорт установленной формы, в котором приводятся: регистрационный номер; разрешение на его изготовление; удостоверение о качестве изготовления; сведения об основных частях аппарата; данные о штуцерах, фланцах, крышках и крепежных деталях, об основной трубной арматуре, контрольно-измерительных приборах и приборах безопасности, о проведенных гидравлических и пневматических испытаниях; сведения о местонахождении аппарата; указывается лицо, ответственное за исправное состояние и за безопасное его действие, и другие данные об установке аппарата (коррозионной среде, противокоррозионном покрытии, тепловой изоляции, футеровке, схеме включения аппарата); сведения о замене и ремонте основных элементов аппарата; результаты периодического переосвидетельствования и регистрация аппарата.

12.5. Технология изготовления стальных сварных технологических аппаратов

12.5.1. Хранение и подготовка конструкционных материалов

Все конструкционные материалы в виде полуфабрикатов из листового, сортового и фасонного проката и труб, поступающие партиями с металлургических предприятий на завод-изготовитель аппаратов, сопровождаются паспортом с указанием номера плавки, марки стали, размеров, химического состава, механических свойств, термической обработки, качества обработки и состояния поверхности и подлежат строгому учету и хранению на материальном складе на специальных деревянных стеллажах для каждого вида сорта, марки и размеров материала, во избежание ошибок при передаче его на изготовление. Стеллажи для материалов могут находиться в помещении или на открытом воздухе при условии предохранения материалов от повреждений, попадания на них грязи и атмосферных осадков. Особенно это относится к высоколегированным коррозионностойким сталям, наличие на поверхности которых царапин, ссадин, забоин и других дефектов может явиться причиной коррозии, значительно снижающей качество поверхности металла. Хранение материалов из углеродистых, низколегированных и высоколегированных сталей осуществляется раздельно. Листовой прокат должен храниться в вертикальном положении, рассортированным по маркам стали, толщинам и размерам листов.

Требуемый для изготовления детали материал по виду, марке и размерам получается с материального склада в виде заготовок, размеры которых с учетом припусков на обработку должны соответствовать чистовым размерам детали.

Резка заготовок из листового, сортового и фасонного проката и труб из углеродистых и низколегированных сталей производится автогеном или механическим способом (на гильотинных или пресс-ножницах, дисковыми пилами трения и др.), резка же заготовок из высоколегированных сталей — преимущественно механическим способом.

При наличии неплоскостностей и неровностей в листах последние правятся на правильных вальцах и правильно-гибочных прессах, отдельные выпуклости правятся вручную.

Разметка и раскрой разверток из листового проката производится в горизонтальном положении: углеродистых и низколегированных сталей на полу цеха, а высоколегированных сталей — на специальных плазах или столах, покрытых деревянными настилами.

Процесс разметки разверток осуществляется чертилками с кернением по линии реза.

Вырезка чистовых заготовок производится большей частью механическим способом, особенно высоколегированных и двухслойных сталей, а также электродуговым, электрокислородным и ацетилено-кислородно-флюсовым способами.

Рекомендуются следующие припуски на обработку листов после предварительной их обрезки в зависимости от толщины листа:

Толщина листа s, мм	До 8	9—12	13—20	Св. 20
Припуск, мм	6	8	10	12

12.5.2. Вальцовка, штамповка, отбортовка и гнутье деталей

Подготовка кромок под сварку производится в основном механическим способом: в заготовках — листах для цилиндрических обечаек и конических переходов (днищ) для продольных швов — до вальцовки, а для поперечных (кольцевых) швов — в обечайках и переходах после их вальцовки и правки, в отбортованных днищах после их штамповки. Кромки под продольные швы обрабатываются на кромкострогальных или фрезерных станках, а под поперечные швы в обечайках и днищах — на расточных и токарных станках. При небольшом объеме работ и при местной зачистке кромок применяется пневмозубило.

Вальцовка цилиндрических обечаек и конических днищ и переходов производится обычно в холодном состоянии на трех- или четырехвалковом вальцовочном станке с предварительной подгибкой одной кромки.

Гнутье заготовок из листового, сортового и фасонного проката производится при большой кривизне и угле загиба свыше 150° — в холодном состоянии, а при малых кривизне и углах загиба — в горячем состоянии.

Минимальные радиусы кривизны по нейтральной линии при гнутье проката в холодном состоянии, мм: листовой и сортовой прокат — 25 s, швеллер, двутавр в плоскости большой оси — 25 H, малой оси — 45 b; уголь-ник равнобокий в плоскости полки — 50(b — 0,95s); угольник неравнобокий в плоскости большой полки — 50 (B — 0,8s), малой полки — 50 (b — 1,17s), где s — толщина листа, полосы, квадрата, круга, полки угольника; H — высота швеллера, двутавра; b — ширина полок швеллера, двутавра равнобокого угольника; B — ширина большой полки неравнобокого угольника.

При гнутье в горячем состоянии заготовка нагревается до 1000—1200°С в газовых, угольных или муфельных печах. Гнутье производится при температуре не ниже 700—800°С.

Гнутье труб при радиусе гиба до3,5 $d_т$ производится в холодном состоянии, при меньших радиусах — в горячем состоянии с набивкой труб песком.

Отбортовка конических переходов (днищ), плоских днищ, специальных воротников (торовых вставок), мест присоединения встык штуцеров в обечайках и днищах, а также труб производится с помощью приспособлений большей частью в горячем состоянии.

Размер высоты цилиндрического борта зависит от толщины отбортовываемого элемента (т.е. толщины листа s), мм:

Высота цилиндрического борта	15	$2s + 5$	$s + 15$	$0{,}5s + 25$
Толщина отбортовываемого элемента	До 4	5—9	10—20	Св. 20

Наружный диаметр отбортовки трубы должен быть до 1,3 d, где d — внутренний диаметр трубы. Диаметр отверстия в заготовке воротника должен быть равен 0,6 d.

Штамповкой в горячем состоянии изготовляются отбортованные эллиптические днища и ряд других деталей, особенно тогда, когда этих деталей требуется большое количество и, следовательно, изготовление оснастки является экономически целесообразным.

12.5.3. Сварка

Сварка является основной технологией изготовления стальной сварной технологической аппаратуры, когда требуется неразъемно соединить между собой различные ее детали.

Из существующих многих видов сварки в производстве стальных аппаратов применяется главным образом электродуговая сварка разными способами (ручным, автоматическим и полуавтоматическим под флюсом, в защитных газах), реже — другие виды сварки (электрошлаковая, газовая, контактная).

Наибольшее применение имеет автоматическая сварка под флюсом, которой соединяются листы различных толщин обечаек, днищ, корпусов и других деталей аппаратов, имеющих значительную протяженность сварных швов. Данная сварка характеризуется большой производительностью, высоким качеством, механизацией процесса и низкой стоимостью.

Сварка корпусов и приварка к ним деталей аппаратов и сосудов 1, 2, 3, 4-й групп, а также сварка внутренних устройств, если они относятся к указанным группам, должна проводиться сварщиками, сдавшими экзамены в соответствии с Правилами аттестации сварщиков, утвержденными Госгортехнадзором России, и имеющими удостоверение установленной формы.

Аппараты в зависимости от конструкции и размеров могут быть изготовлены с применением всех видов промышленной сварки, за исключением газовой сварки. Использование газовой сварки допускается только для труб змеевиков условным диаметром до 80 мм с толщиной стенки не более 4 мм.

Сварка аппаратов (сборочных единиц, деталей) должна производиться в соответствии с требованиями технических условий на изготовление или технологической документации.

Технологическая документация должна содержать указания по:

технологии сварки материалов, принятых для изготовления сосудов (сборочных единиц, деталей);

применению присадочных материалов;

видам и объему контроля;

предварительному и сопутствующему подогреву;

термической обработке.

Прихватка свариваемых сборочных узлов и деталей производится с применением сварочных материалов, рекомендованных ОСТ 26-291—94.

Для предотвращения холодных трещин все сварочные работы при изготовлении аппаратов (сборочных единиц и деталей) должны производиться при положительных температурах в закрытых отапливаемых помещениях.

Сварку аппаратов (сборочных единиц и деталей) из хромистых, хромомолибденовых и хромованадиевовольфрамовых сталей следует производить с подогревом, режим которого определяется технологическим процессом.

При выполнении сварочных работ на открытой площадке сварщик и место сварки должны быть защищены от непосредственного воздействия дождя, ветра и снега. Температура окружающего воздуха должна быть не ниже указанной в табл. 12.33.

Форма подготовки кромок должна соответствовать требованиям стандартов, нормативно-технической документации и проекта.

Кромки подготовленных под сварку элементов аппаратов должны быть зачищены на ширину не менее 20 мм, а для электрошлаковой сварки — на ширину не менее 50 мм. Кромки не должны иметь следов ржавчины, окалины, масла и прочих загрязнений. Кромки должны проходить визуальный осмотр для выявления пороков металла. Не допускаются расслоения, закаты, трещины, а для двухслойной стали — также и отслоения коррозионностойкого слоя.

При толщине листового проката более 36 мм зона, прилегающая к кромкам, дополнительно должна контролироваться ультразвуковым методом на ширине не менее 50 мм для выявления трещин, расслоений и т. д.

Таблица 12.33

Температура окружающего воздуха при сварке сосудов (ОСТ 26-291 — 94)

Материалы	Температура окружающего воздуха при сварке металла толщиной	
	не более 16 мм	более 16 мм
Углеродистая сталь с содержанием углерода менее 0,24%, низколегированные марганцовистые и марганцевокремнистые стали и основной слой из этих сталей в двухслойной стали	Ниже 0°С до —20° С сварка без подогрева При температуре ниже —20° С сварка с подогревом до 100—200° С	Ниже 0 до —20° С* сварка с подогревом до 100—200°С
Углеродистая сталь с содержанием углерода от 0,24 до 0,28%	Ниже 0°С до —10° С* сварка без подогрева	Ниже 0° С до —10° С* сварка с подогревом до 100 —200° С
Низколегированные хромомолибденовые стали марок 12МХ, 12ХМ, 15ХМ) и основной слой из этих сталей в двухслойной стали	Ниже 0°С до —10° С* сварка с подогревом до 250—350° С	
Стали марок 15Х5, 15Х5М, 15Х5ВФ, Х8, Х9М, 12Х8ВФ и т. п.	Не ниже 0° С	
Высоколегированные, хромоникельмолибденовые и хромоникелевые стали аустенитного класса и коррозионностойкого слоя из этих сталей в двухслойной стали	Ниже 0°С до — 20° С* сварка без подогрева	

* При температуре ниже указанной сварка не допускается.

Не допускаются дефекты площадью более 1000 мм² при чувствительности контроля Д5Э по ГОСТ 22727—88.

На одном метре длины контролируемой кромки допускается не более трех зафиксированных дефектов при минимальном расстоянии между ними 100 мм.

В случае обнаружения недопустимых дефектов исправления производятся в соответствии с Инструкцией на исправление методом дуговой сварки строчечных дефектов, выявляемых в процессе изготовления толстостенной нефтехимической аппаратуры.

Все сварные швы подлежат клеймению, позволяющему установить сварщика, выполнявшего эти швы.

Клеймо наносится на расстоянии 20—50 мм от кромки сварного шва с наружной стороны. Если шов с наружной и внутренней сторон заваривается разными сварщиками, клейма ставятся только с наружной стороны через дробь: в числителе клеймо сварщика с наружной стороны шва, в знаменателе — с внутренней стороны. Если сварные соединения аппарата выполняются одним сварщиком, то допускается клеймо ставить около таблички или на другом открытом участке.

У продольных швов клеймо должно находиться в начале и в конце шва на расстоянии 100 мм от кольцевого шва. На обечайке с продольным швом длиной менее 400 мм допускается ставить одно клеймо. Для кольцевого шва клеймо должно выбиваться в месте пересечения кольцевого шва с продольным и далее через каждые 2 м, но при этом должно быть не менее двух клейм на каждом шве. На кольцевой шов аппарата диаметром не более 700 мм допускается ставить одно клеймо. Клеймение продольных и кольцевых швов аппаратов толщиной стенки менее 4 мм допускается производить электрографом или несмываемой краской.

Место клеймения заключается в хорошо видимую рамку, выполняемую несмываемой краской.

Примечание. Допускается вместо клеймения сварных швов прилагать к паспорту аппарата схему расположения швов с указанием фамилий сварщиков с их росписью.

Устранение дефектов в сварных швах должно производиться в соответствии с инструкцией или стандартом предприятия на сварку сосуда (сборочной единицы и детали) из данной марки стали.

При сварке обечаек и труб, приварке днищ к обечайкам должны применяться стыковые швы с полным проплавлением.

Допускается применять угловые и тавровые швы при приварке штуцеров, люков, труб, трубных решеток, плоских днищ и фланцев.

Допускается применять нахлесточные сварные швы для приварки укрепляющих колец и опорных элементов.

Не допускается применение угловых и тавровых швов для приварки штуцеров, люков, бобышек и других деталей к корпусу с неполным проплавлением (конструктивным зазором):

в аппаратах 1, 2, 3-й групп при диаметре отверстия более 120 мм, в сосудах 4-й и 5а групп при диаметре отверстия более 275 мм;

в аппаратах 1, 2, 3, 4-й и 5а групп из низколегированных марганцовистых и марганцевокремнистых сталей с температурой стенки ниже —30° С без термообработки и ниже —40° С с термообработкой;

в аппаратах всех групп, предназначенных для работы в средах, вызывающих коррозионное растрескивание, независимо от диаметра патрубка.

Не допускается применение конструктивного зазора в соединениях фланцев с патрубками аппаратов, работающих под давлением более 2,5 МПа (25 кгс/см²) и при температуре более 300°С, и фланцев с обечайками и днищами аппаратов, работающих под давлением более 1,6 МПа (16 кгс/см²) и при температуре более 300° С.

Сварные швы аппаратов должны быть расположены так, чтобы обеспечить возможность их визуального осмотра и контроля качества неразрушающим методом (ультразвуковым, радиографическим и др.), а также устранения в них дефектов.

Допускается в аппаратах 1, 2, 3, 4-й и 5а групп не более одного, в аппаратах 5б группы не более четырех, в теплообменниках не более двух стыковых швов, доступных для визуального осмотра только с одной стороны. Швы должны выполняться способами, обеспечивающими провар по всей толщине свариваемого металла (например, с применением аргоно-дуговой сварки корня шва, подкладного кольца, замкового соединения). Возможность применения остающегося подкладного кольца и замкового соединения в аппаратах 1-й группы должна быть согласована с разработчиком аппарата специализированной научно-исследовательской организацией.

Продольные сварные швы горизонтально устанавливаемых аппаратов должны быть расположены вне центрального угла 140° нижней части корпуса, если нижняя часть недоступна для визуального осмотра, о чем должно быть сказано в проекте.

Сварные швы аппаратов не должны перекрываться опорами. Допускается в горизонтальных аппаратах на седловых опорах и подвесных вертикальных аппаратах местное перекрытие опорами кольцевых (поперечных) сварных швов на общей длине не более $0{,}35\pi D_н$ ($D_н$ — наружный диаметр аппарата), а при наличии подкладного листа — на общей длине не более $0{,}5\pi D_н$ при условии, что перекрываемые участки швов по всей длине проконтролированы радиографическим или ультразвуковым методом.

Перекрытие мест пересечения швов не допускается.

Допускается пересечение стыковых швов корпуса угловыми швами приварки внутренних и внешних устройств (опорных элементов, тарелок, рубашек, перегородок и т. п.) при условии контроля перекрываемого участка шва корпуса радиографическим или ультразвуковым методом.

При приварке колец жесткости к обечайке общая длина сварного шва с каждой стороны кольца должна быть не менее половины длины окружности.

Сварные швы подлежат контролю качества соединения (внешним осмотром и измерением, механическими испытаниями, металлографическим исследованием, стилоскопированием, ультразвуковой дефектоскопией, просвечиванием рентгено- или γ-лучами, замером твердости, в ряде случаев испытанием на межкристаллитную коррозию и гидравлическим или пневматическим испытанием в соответствии с ОСТ 26-291—94.

12.5.4. Сборка

Сборка встык двух и более цилиндрических обечаек производится на сборочных роликах с помощью временно приваренных к одной из соединяемых обечаек изнутри нескольких планок-коротышей, являющихся направляющими для соблюдения соосности обечаек. Аналогичным способом производится и сборка отбортованных эллиптических и конических днищ с обечайкой под сварку. В дальнейшем планки-коротыши срубаются. Сборка обечаек диаметром до 1500 мм и присоединение к ним отбортованных днищ производится также при помощи специальных сборочных колец с прорезями для контроля зазора между кромками и прихваток перед сваркой.

Все сборочные операции деталей из высоколегированных сталей производятся преимущественно в приспособлениях без применения ударных инструментов. Последние используются лишь в крайних случаях и только в виде деревянных молотков или металлических с наплавленными рабочими поверхностями из меди.

Аппараты крупных габаритов (по диаметру или длине), нетранспортабельные в полностью собранном виде, проходят на заводе-изготовителе контрольную сборку и транспортируются частями с окончательной сборкой (сваркой) их на монтажной площадке.

12.5.5. Термообработка

Термообработка производится для снятия внутренних напряжений в металле изделия, остающихся после горячей или холодной обработки и сварки, и бывает двух видов: основная, состоящая из нормализации с отпуском, закалки, закалки с отпуском, или многоступенчатая, включающая нагрев до температуры нормализации, и дополнительная в виде отпуска.

Термообработке подвергаются:

1. Аппараты (сборочные единицы, детали) из углеродистых и низколегированных сталей (за исключением сталей, перечисленных в п.3), изготовленные с применением сварки, штамповки или вальцовки, подлежат обязательной термической обработке, если:

а) толщина стенки цилиндрического или конического элемента, днища, фланца или патрубка аппарата в месте их сварного соединения более 36 мм для углеродистых сталей и более 30 мм для низколегированных марганцовистых и марганцевокремнистых сталей (марок 16ГС, 09Г2С, 17Г1С, 10Г2 и др.);

б) номинальная толщина стенки в цилиндрических или конических элементов аппарата (патрубка), изготовленных из листовой стали вальцовкой (штамповкой), превышает величину, вычисленную по формуле:

$$s=0{,}009\,(D+1200),$$

где D — минимальный внутренний диаметр элемента, мм;

в) отношение номинальной толщины к номинальному внутреннему радиусу обечайки или к наименьшему радиусу кривизны днища превышает 0,02.

Данное требование не распространяется на отбортованные рубашки;

г) аппараты (сборочные единицы, детали) предназначены для эксплуатации в средах, вызывающих коррозионное растрескивание (жидкий аммиак, аммиачная вода, растворы едкого натрия и калия, азотнокислого натрия, калия, аммония, кальция, этаноламина, азотной кислоты и др.), и об этом есть указание в проекте;

д) днища аппаратов и их элементов независимо от толщины изготовлены холодной штамповкой или холодным фланжированием;

е) необходимость термической обработки обусловлена условиями изготовления и эксплуатации аппарата оговаривается в проекте.

Примечание. Для снятия остаточных напряжений в соответствии с требованиями подпунктов а, б, в допускается вместо термической обработки применять другие методы, предусмотренные нормативно-технической документацией, согласованной с Госгортехнадзором России (например, метод пластического деформирования).

2. Сварные соединения из углеродистых, низколегированных марганцовистых, марганцевокремнистых и хромомолибденовых сталей, выполненные электрошлаковой сваркой, подлежат нормализации и высокому отпуску, за исключением случаев, оговоренных в ОСТ 26-291—94.

При электрошлаковой сварке заготовок штампуемых и вальцуемых элементов из сталей марок 16ГС, 09Г2С и 10Г2С1, предназначенных для работы при температуре не ниже –40° С, нормализация может быть совмещена с нагревом под штамповку с окончанием штамповки при температуре не ниже 700° С.

3. Аппараты (сборочные единицы, детали) из сталей марок 12МХ, 12ХМ, 15ХМ, 12Х1МФ, 10Х2М1А-А, 10Х2ГНМ, 15Х2МФА-А, 1Х2М1, 15Х5, Х8, 15Х5М, 15Х5ВФ, 12Х8ВФ, Х9М и из двухслойных сталей с основным слоем из сталей марок 12МХ, 12ХМ, 20Х2М должны быть термообработаны независимо от диаметра и толщины стенки.

4. Аппараты (сборочные единицы, детали) из сталей марок 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Б и других аустенитных сталей, стабилизированных титаном или ниобием, предназначенные для работы в средах, вызывающих коррозионное растрескивание, а также при температурах выше 350° С в средах, вызывающих межкристаллитную коррозию, должны подвергаться термической обработ-

ке по требованию, оговоренному в проекте. Режим термической обработки должен быть согласован со специализированной научно-исследовательской организацией.

5. Для днищ и деталей из углеродистых и низколегированных марганцевокремнистых сталей, штампуемых (вальцуемых) вгорячую с окончанием штамповки (вальцовки) при температуре не ниже 700° С, и для днищ и деталей из аустенитных хромоникелевых сталей, штампуемых (вальцуемых) при температуре не ниже 850° С, термическая обработка не требуется, если для указанных материалов нет других требований.

Днища и другие элементы из низколегированных сталей марок 12ХМ и 12МХ, штампуемых (вальцуемых) вгорячую с окончанием штамповки (вальцовки) при температуре не ниже 800° С, допускается подвергать только отпуску (без нормализации).

Днища и другие штампуемые (вальцуемые) вгорячую элементы, изготовляемые из сталей марок 09Г2С, 10Г2С1, работающие при температуре от — 41 до —70° С, должны подвергаться термической обработке— нормализации или закалке и высокому отпуску.

Технология изготовления днищ и других штампуемых элементов должна обеспечивать необходимые механические свойства, а при наличии требования в проекте и стойкость против межкристаллитной коррозии.

Примечания.

1. Возможность совмещения нормализации с нагревом под горячую штамповку днищ из сталей, работающих при температуре от —41 до —70° С, определяется в каждом конкретном случае по согласованию со специализированной научно-исследовательской организацией.

2. Допускается не подвергать термической обработке горячештампованные днища из аустенитных сталей с отношением внутреннего диаметра к толщине стенки более 28, если они не предназначены для работы в средах, вызывающих коррозионное растрескивание.

6. Гнутые участки труб из углеродистых и низколегированных сталей подлежат термообработке, если отношение среднего радиуса гиба к номинальному наружному диаметру трубы составляет менее 3,5, а отношение номинальной толщины стенки трубы к ее номинальному диаметру превышает 0,05.

7. Днища аппаратов и их элементов, выполненные из коррозионностойких сталей аустенитного класса методом холодной штамповки или холодным фланжированием, должны подвергаться термической обработке (аустенизации или стабилизирующему отжигу), если они предназначены для работы в средах, вызывающих коррозионное растрескивание. В остальных случаях термообработку допускается не проводить, если относительное удлинение при растяжении в исходном состоянии металла не менее 30% при степени деформации в холодном состоянии не более 15%.

8. Приварка внутренних и наружных устройств к аппаратам, подвергаемым термической обработке, должна проводиться до термической обработки аппарата.

Допускается приварка внутренних и наружных устройств без последующей термической обработки к термообработанным в соответствии с требованиями п. 1 (а, б) аппаратам при условии, что величина катета сварного шва не более 8 мм.

Допускается приварка наружных устройств на монтажной площадке к специальным накладкам, приваренным к корпусу аппарата и прошедшим вместе с ним термическую обработку на предприятии-изготовителе, без последующей термической обработки монтажных сварных швов.

9. Допускается местная термическая обработка сварных соединений аппаратов, при проведении которой должны обеспечиваться равномерный нагрев и охлаждение по всей длине шва и прилегающих к нему зон основного металла. Ширина зоны нагрева определяется по РТМ 26-44.

10. Объемная термическая обработка производится в печах или путем нагрева аппарата (сборочной единицы, детали) вводом во внутреннюю полость среды (теплоносителя).

При этом должны быть проведены мероприятия, предохраняющие аппарат (сборочную единицу, деталь) от деформаций, вызванных местным перегревом, неправильной установкой аппарата, действием собственного веса.

11. Свойства металла обечаек, днищ, патрубков, решеток после всех циклов термической обработки должны соответствовать требованиям ОСТ 26-291—94.

Контроль механических свойств основного металла можно не проводить в том случае, если температура отпуска металла не превышает:

650° С для сталей марок Ст3, 20К, 16ГС, 09Г2С;

710° С для сталей марок 12ХМ, 12МХ.

Если элементы сосудов из углеродистых и низколегированных сталей подвергаются нормализации или нормализации и последующему отпуску, или закалке и последующему отпуску, то проводится только испытание на ударную вязкость при рабочей температуре аппарата ниже 0° С.

12.5.6. Консервация, окраска, упаковка, транспортировка и хранение

Аппараты после их испытания, принятые ОТК, подлежат консервации и окраске.

Консервация металлических неокрашенных поверхностей аппаратов, поставляемых в полностью собранном виде, а также негабаритных поставочных частей, комплектующих деталей и сборочных единиц, входящих в объем поставки, должна проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ 9.014 и обеспечивать защиту от коррозии при транспортировании, хранении и монтаже в течение не менее 24 месяцев со дня отгрузки с предприятия-изготовителя.

Консервация аппаратов должна проводиться по технологии предприятия-изготовителя с учетом условий транспортирования и хранения по ГОСТ 9.014—80.

Методы консервации и применяемые для этого

материалы должны обеспечивать возможность расконсервации аппаратов в сборе и транспортируемых блоков (узлов) без их разборки.

Марки консервационных материалов выбираются в каждом отдельном случае в зависимости от условий эксплуатации аппаратов и должны отвечать требованиям РТМ 26-02-52, РТМ 26-02-66, ГОСТ 9.014—80.

Примечание. Если по условиям эксплуатации требуется обезжиривание, которое невозможно выполнить без разборки сборочных единиц, то требование о безразборной расконсервации на эти аппараты не распространяется.

Свидетельство о консервации должно включать следующие сведения:

дату консервации;
марку консервационного материала;
вариант внутренней упаковки;
условия хранения;
срок защиты без переконсервации;
срок консервации;
способы расконсервации.

Свидетельство прикладывается к паспорту аппарата, подвергнутого консервации. При этом должны применяться обозначения в соответствии с ГОСТ 9.014—80.

Поверхность аппарата (сборочной единицы) перед окраской должна быть подготовлена по документации предприятия-изготовителя и технологическим инструкциям специализированной научно-исследовательской организации с учетом требований ГОСТ 9.402—80.

Выбор системы покрытий и лакокрасочных материалов для защиты аппаратов (сборочных единиц) проводится в зависимости от условий эксплуатации, категории размещения, транспортирования, хранения, монтажа, габаритов и других условий согласно РТМ 26-02-59.

Цвет покрытия выбирается в зависимости от условий эксплуатации по ГОСТ 12.4.026 и технических условий на аппарат (сборочную единицу).

На период транспортирования, монтажа и хранения цвет покрытия не нормируется.

Примечание. Кромки, подлежащие сварке на монтажной площадке, и прилегающие к ним поверхности шириной 50—60 мм должны защищаться консистентной смазкой или другими материалами. Окраска кромок не допускается.

Упаковка аппаратов должна производиться по техническим условиям на конкретный аппарат.

При необходимости внутренние устройства и вращающиеся механизмы должны быть закреплены для предохранения от деформации под влиянием собственной массы и динамических нагрузок при транспортировании.

Все отверстия, штуцера, муфты должны быть закрыты пробками или заглушками для защиты от загрязнений и повреждений уплотнительных поверхностей.

Отдельно отправляемые сборочные единицы, детали, запасные части должны быть упакованы в ящики или собраны в пакеты (стопы).

Вид упаковки выбирается предприятием-изготовителем, если нет других указаний в технической документации.

Ящики и способы крепления должны соответствовать ГОСТ 2991, ГОСТ 5959, ГОСТ 10198, ГОСТ 21650, ГОСТ 26014.

Ящики для запасных частей аппаратов, предназначенных на экспорт, должны соответствовать ГОСТ 24634 или требованиям заказа-наряда.

Крепежные детали при отправке их в ящиках должны быть законсервированы согласно инструкции предприятия-изготовителя, а шпильки (болты) фланцевых соединений дополнительно упакованы в оберточную или парафинированную бумагу.

Техническая и товаросопроводительная документация, прилагаемая к аппаратам, должна быть завернута в водонепроницаемую бумагу или бумагу с полиэтиленовым покрытием и вложена в пакет, изготовленный из полиэтиленовой пленки толщиной не менее 150 мк. Швы пакета свариваются (заклеиваются).

Для дополнительной защиты от механических повреждений пакет должен быть обернут водонепроницаемой бумагой или полиэтиленовой пленкой. Края бумаги или пленки должны быть склеены синтетическим клеем.

Если аппарат поставляется в виде нескольких грузовых мест, техническая документация должна упаковываться в грузовое место № 1.

При отгрузке аппарата без тары техническая документация должна крепиться внутри аппарата или на аппарате. При этом на аппарате делается надпись: «Документация находится здесь».

Каждое грузовое место должно иметь свой упаковочный лист, который вкладывается в пакет из водонепроницаемой бумаги или бумаги с полиэтиленовым покрытием. Пакет дополнительно завертывается в водонепроницаемую бумагу и размещается в специальном кармане, изготовленном в соответствии с документацией, применяемой на предприятии-изготовителе. Карман крепится около маркировки груза.

К ярлыку грузов, отправляемых в пакетах и связках, должен крепиться футляр для упаковочного листа в соответствии с документацией, используемой на предприятии-изготовителе.

Второй экземпляр упаковочного листа или комплектовочной ведомости вместе с технической документацией упаковывается в грузовое место № 1.

Техническую документацию и второй экземпляр упаковочного листа допускается отправлять почтой. Отправка технической документации должна быть произведена в течение одного месяца после отгрузки аппарата.

Аппараты должны транспортироваться железнодорожным транспортом в соответствии с требованиями Министерства путей сообщения.

Допускается транспортирование автомобильным и водным транспортом.

Крепление аппаратов следует производить по документации предприятия-изготовителя.

Транспортирование и погрузочно-разгрузочные работы должны проводиться без резких толчков и ударов в целях обеспечения сохранности оборудования и его упаковки.

Условия транспоргирования и хранения аппаратов на предприятии-изготовителе и монтажной площадке должны обеспечивать сохранность качества аппаратов, предохранять их от коррозии, эрозии, загрязнения, механических повреждений и деформации.

Категорию и условия транспортирования и хранения аппаратов в части воздействия климатических факторов внешней среды по ГОСТ 15150—79 следует указывать в технических условиях на конкретные аппараты. При назначении категории и условий хранения должна быть учтена сохраняемость комплектующих деталей.

К перевозке по железной дороге в РФ допускаются аппараты, имеющие значения массы m, диаметра D и длины L, не превышающие указанных в таблице.

При значениях m, D и L, соответствующих категориям III—V, возможность перевозки аппаратов по железной дороге требует специального согласования с МПС РФ.

В случае, если значения m, D или L будут бо́льшими, чем это указано в таблице, аппарат должен транспортироваться по железной дороге соответствующими частями с соединением (сваркой или на фланцах) их на монтажной площадке.

В ряде случаев транспортировка крупногабаритных аппаратов возможна водным путем (на плаву или барже) либо автотранспортом. В частности, к перевозке речным транспортом по магистральным водным путям РФ (реки Волга, Кама, Ока, Белая, канал им. Москвы, Волго-Донской канал, Дон от Калача до Ростова) при согласовании с Министерством речного флота РФ допускается транспортировка на судах аппаратов, имеющих $D \le 8$ м и $L \le 55$ м, а буксировкой на плаву — герметизованных аппаратов, имеющих $D \le 10$ м и $L \le 100$ м.

Значение массы и габаритов аппаратов, допускаемых к перевозке по железной дороге в РФ

Категория	m, кг	D, мм	L, м
I	120 000	3200	48
II	120 000	3800	37
III	120 000	4000	21
IV	240 000	3900	22
V	400 000	4380	11

12.6. Испытание аппаратов

12.6.1. Контроль качества конструкционного материала и сварных соединений

Применяемые марки конструкционных материалов, конструкция и размеры (в пределах установленных допусков) деталей и узлов, а также аппарата в целом должны соответствовать чертежам и ТУ, что проверяется пооперационным контролем в процессе изготовления аппарата.

Особое внимание должно уделяться контролю качества сварных соединений, являющихся наиболее уязвимыми местами в сварных аппаратах в части их прочности и коррозионной стойкости.

Контроль качества сварных соединений производится как непосредственно, так и контрольных образцов этих соединений, выполненных одним и тем же сварщиком одновременно с изготовлением контролируемых изделий, с применением тех же исходных материалов, разделки кромок, способов и режимов сварки и термообработки по СТ СЭВ 800—77 и ОСТ 26-291—94.

Указанный контроль сварных соединений осуществляется следующими методами: внешним осмотром и измерением швов; механическими испытаниями; металлографическим исследованием; стилоскопированием; ультразвуковой дефектоскопией; просвечиванием (рентгено- или гаммаграфированием); замером твердости металла шва; испытанием на межкристаллитную коррозию; гидравлическим или пневматическим испытанием и другими методами (магнитографией, цветной дефектоскопией и т.д.), если они предусмотрены в чертежах и ТУ.

Порядок проведения и объем объективного контроля качества сварных соединений должен соответствовать требованиям ОСТ 26-291—94.

Механические свойства сварных соединений должны быть не ниже норм, указанных в табл. 12.34.

Таблица 12.34

Минимальные нормы механических свойств сварных соединений (ОСТ 26-291—94)

Механические свойства	Для углеродистых сталей	Для низколегированных марганцовистых и марганцевокремнистых сталей	Для хромистых, хромомолибденовых и хромованадиевовольфрамовых сталей	Для аустенитно-ферритных сталей	Для аустенитных сталей
Временное сопротивление разрыву при температуре +20°С	Не ниже нижнего значения временного сопротивления разрыву основного металла по стандарту или техническим условиям для данной марки стали				
Минимальное значение ударной вязкости, KCU, Дж/см^2 (кгс.м/ см^2): при температуре + 20°С; при температуре ниже —20°С	50 (5) 30 (3)	50 (5) 30 (3)	50 (5) —	40 (4) 30 (3)	70 (7) —
Минимальное значение угла изгиба град.: при толщине не более 20 мм; при толщине более 20 мм	100 100	80 60	50 40	80 60	100 100
Твердость металла шва сварных соединений НВ, не более	—	—	240	220	200
Просвет между сжимаемыми поверхностями при сплющивании стыковых соединений труб	Не ниже норм, установленных нормативно-технической документацией на трубы				

Примечания.

1. Твердость металла шва в коррозионностойком слое сварных соединений аппаратов из двухслойных сталей не должна превышать НВ 220.

2. Показатели механических свойств сварных соединений по временному сопротивлению разрыву и углу изгиба определяются как среднеарифметическое от результатов испытаний отдельных образцов. Общий результат считается неудовлетворительным, если хотя бы один из образцов показал значение временного сопротивления разрыву более чем на 7% и угла изгиба более чем на 10% ниже норм, указанных в табл. 12.34. При испытании на ударный изгиб результат считается неудовлетворительным, если хотя бы один из образцов показал значение ниже норм, указанных в табл. 12.34. Допускается на одном образце при температурах —40° С и ниже получение значения ударной вязкости не менее 25 Дж/см^2 (2,5 кгс.м/см^2).

3. Виды испытаний и гарантированные нормы механических свойств по временному сопротивлению разрыву и ударной вязкости стыковых сварных соединений типа «лист+поковка», «лист+литье», «поковка+поковка», «поковка+труба», «поковка+сортовой прокат» должны соответствовать требованиям, предъявляемым к материалу с более низкими показателями механических свойств.

Контроль механических свойств, а также металлографическое исследование или испытание на стойкость против межкристаллитной коррозии образцов этих соединений предусматриваются разработчиком технической документации.

Для сварных соединений типа «лист+поковка», <лист+литье», «поковка+поковка», «поковка+труба», «поковка+сортовой прокат» значение угла изгиба должно быть не менее:

70° для углеродистых сталей и сталей аустенитного класса;

50° для низколегированных марганцовистых и марганцевокремнистых сталей, высоколегированных сталей аустенитно-ферритного класса;

30° для низколегированных и среднелегированных (хромистых и хромомолибденовых) сталей и высоколегированных сталей ферритного класса.

4. Твердость металла шва сварных соединений из стали марки 12ХМ, выполненных ручной электродуговой сваркой ванадийсодержащими электродами, должна быть не более 260 НВ при условии, что относительное удлинение металла шва будет не менее 18%.

Твердость металла шва сварных соединений из стали марки 15Х5МУ должна быть не более 270 НВ.

Твердость переходного слоя в сварных соединениях двухслойных сталей должна быть не более 220 НВ при измерении на контрольных образцах.

Коррозионная стойкость сварных соединений должна соответствовать требованиям проекта или технических условий на аппарат (сборочную единицу, детали).

В сварных соединениях не допускаются следующие наружные дефекты:

трещины всех видов и направлений;

свищи и пористость наружной поверхности шва;

подрезы;

наплывы, прожоги и незаплавленные кратеры;

смещение и совместный увод кромок свариваемых элементов свыше норм, предусмотренных настоящим стандартом;

несоответствие формы и размеров требованиям стандартов, технических условий или проекта;

чешуйчатость поверхности и глубина впадин между валиками шва, превышающие допуск на усиление шва по высоте.

Допускаются местные подрезы в аппаратах 3, 4 и 5-й групп, предназначенных для работы при температуре выше 0° С. При этом их глубина не должна превышать 5% толщины стенки, но не более 0,5 мм, а протяженность — 10% длины шва.

Допускаются в сварных соединениях из сталей марок 03Х21 Н21М4ГБ, 03ХН28МДТ, 06Х28МДТ отдельные микронадрывы протяженностью не более 2 мм (по согласованию со специализированной научно-исследовательской организацией).

Допускается местный внутренний непровар, расположенный в области смыкания корневых швов, глубиной не более 10% от толщины стенки корпуса, но не более 2 мм, и суммарной протяженностью не более 5% длины шва:

в двусторонних угловых и тавровых сварных соединениях с полным проплавлением патрубков внутренним диаметром не более 250 мм;

в сварных швах сосудов 2, 3, 4, 5-й групп, предназначенных для работы в средах, не вызывающих водородную и сероводородную коррозию.

Допускается непровар в корне шва глубиной (высотой) не более 10% от номинальной толщины свариваемых элементов, но не более 2 мм, и суммарной протяженностью не более 20% от длины шва:

в кольцевых стыковых сварных соединениях, доступных для сварки только с одной стороны и выполненных без подкладного кольца, сосудов 4-й и 5б групп, предназначенных для работы при температуре выше 0° С, а также в змеевиках;

в угловых сварных соединениях сосудов 4-й и 5б групп, предназначенных для работы при температуре выше 0° С.

Для механических и коррозионных испытаний, а также металлографических исследований должна производиться вырезка образцов из контрольных сварных соединений.

В сварных соединениях не допускаются следующие внутренние дефекты:

трещины всех видов и направлений, в том числе микротрещины, выявленные при микроисследовании;

свищи;

смещение основного и плакирующего слоев в сварных соединениях двухслойных сталей выше норм, предусмотренных настоящим стандартом;

непровары (несплавления), расположенные в сечении сварного соединения;

усиление t переходного шва (рис. 12.1) в сварных

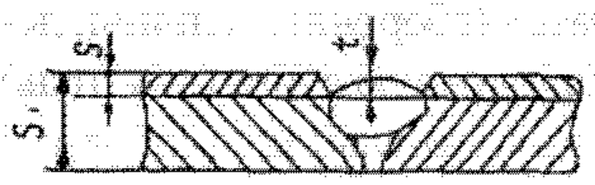


Рис. 12.1. Усиление переходного слоя в сварных соединениях двухслойных сталей

соединениях двухслойных сталей выше линии раздела слоев на величину более 0,3 s (s — толщина плакирующего слоя, s_1 — толщина листа);

поры, шлаковые и вольфрамовые включения, выявленные радиографическим методом, выходящие за пределы норм, установленных допустимым классом дефектности сварного соединения по ГОСТ 23055 в соответствии с табл. 12.35, или выявленные ультразвуковым методом по ОСТ 26-2044.

Таблица 12.35

Классы дефектности сварного соединения

Вид сварного соединения	Группы аппаратов			
	1, 2, 3	4	5а	5б
	классы дефектности по ГОСТ 23055			
Стыковые	3	4	5	6
Угловые, тавровые	4	5	5	6
Нахлесточные	5	6	6	7

Примечание. Оценку единичных дефектов (пор и включений) по ширине (диаметру) при толщине свариваемых элементов до 45 мм, а также цепочек независимо от толщины свариваемых элементов допускается производить по нормам класса 4 вместо класса 3, класса 5 вместо класса 4, класса 6 вместо класса 5, класса 7 вместо класса 6. Оценку единичных пор и включений для кольцевых сварных соединений толщиной не более 10 мм, выполняемых ручной электродуговой сваркой, допускается производить по классу 5.

Контрольное сварное соединение должно воспроизводить одно из стыковых сварных соединений аппарата (сборочной единицы, детали), определяющих его прочность, и выполняться одновременно с контролируемым аппаратом (сборочной единицей, деталью) с применением одинаковых исходных материалов, формы разделки кромок, сборочных размеров, методов и режимов сварки, режима термообработки.

Примечание. К стыковым соединениям, определяющим прочность аппарата, следуст относить продольные швы обечаек и патрубков, хордовые и меридиональные швы выпуклых днищ.

При автоматической, полуавтоматической или электрошлаковой сварке аппаратов (сборочных единиц, деталей) на каждый аппарат (сборочную единицу, деталь) необходимо сваривать одно контрольное сварное соединение (на каждый вид применяемого процесса) с использованием одинаковых присадочных материалов и режима термообработки.

Контрольные сварные соединения для проверки качества продольных швов аппаратов (сборочных единиц, деталей) следует изготавливать таким образом, чтобы их швы являлись продолжением производственного продольного шва.

После сварки контрольное сварное соединение должно быть отделено от аппарата (сборочной единицы, детали) любым методом, за исключением отламывания.

При ручной сварке аппарата (сборочной единицы, детали) несколькими сварщиками каждый из сварщиков должен выполнить отдельное контрольное сварное соединение.

Если многопроходной шов выполняется несколькими сварщиками, то на данный шов должно свариваться одно контрольное сварное соединение. При этом проходы следует выполнять теми же сварщиками и в аналогичном порядке. В противном случае каждый из сварщиков должен выполнить отдельное контрольное сварное соединение.

При изготовлении однотипных аппаратов допускается на каждый вид сварки выполнять по одному контрольному сварному соединению на всю партию аппаратов (сборочных единиц, деталей) при условии контроля стыковых сварных соединений, определяющих прочность аппарата, радиографическим или ультразвуковым методом в объеме 100%. В одну партию аппаратов (сборочных единиц, деталей) следует объединять аппараты (сборочные единицы, детали) одного вида, из листового материала одного класса сталей, имеющие одинаковые формы разделки кромок, выполненные по единому (типовому) технологическому процессу и подлежащие термообработке по одному режиму, если цикл их изготовления по сборочно-сварочным работам, термообработке и контрольным операциям не превышает 3 месяцев.

Для контроля качества сварных соединений в трубчатых элементах аппаратов необходимо выполнить контрольные сварные соединения. Эти контрольные сварные соединения должны быть идентичны производственным контролируемым сварным соединениям по марке стали, размерам труб, конструкции и виду соединения, форме разделки кромок, сборочным размерам, пространственному положению сварки и технологическому процессу.

Количество контрольных сварных соединений труб должно составлять 1 % от общего числа сваренных каждым сварщиком однотипных сварных соединений труб данного аппарата, но не менее одного контрольного сварного соединения.

При невозможности изготовить плоские образцы из сварного стыка трубчатого элемента допускается производить испытание образцов, вырезанных из контрольных сварных соединений, сваренных по указанию отдела технического контроля в наиболее трудном для сварки положении.

Термообработка контрольных сварных соединений должна выполняться одновременно с аппаратом (сборочной единицей, деталью). Допускается термообработку контрольных сварных соединений производить отдельно от аппарата(сборочной единицы, детали) при условии применения одинаковых метода и режима термообработки.

Размеры контрольных сварных соединений должны быть выбраны так, чтобы из них возможно было вырезать необходимое количество образцов для металлографических исследований, для всех видов механических испытаний и испытаний на стойкость против межкристаллитной коррозии, включая повторные.

Предусмотренный ОСТ 26-291—94 объем механических испытаний и металлографического исследования сварных соединений может быть изменен по согласованию с местными органами Госгортехнадзора в случае серийного изготовления предприятием однотипных аппаратов при неизменном технологическом процессе, специализации сварщиков на определенных видах работ и высоком качестве сварных соединений, подтвержденном результатами контроля за период не менее 6 месяцев.

Допускается по решению главного инженера предприятия-изготовителя уменьшать количество контрольных сварных соединений аппаратов, не регистрируемых в органах Госгортехнадзора.

Контрольные сварные соединения должны подвергаться радиографическому или ультразвуковому контролю по всей длине сварных соединений.

Если в контрольном сварном соединении будут обнаружены недопустимые дефекты, все производственные сварные соединения, представленные данным соединением и не подвергнутые ранее радиографическому или ультразвуковому контролю, подлежат проверке тем же методом неразрушающего контроля по всей длине.

Контрольным сварным соединениям и вырезаемым из них образцам следует присваивать регистрационные номера согласно учетной документации предприятия-изготовителя, в которой должны отражаться необходимые сведения по изготавливаемому производственному сварному соединению.

12.6.2. *Испытания аппаратов на прочность и герметичность*

Гидравлическому испытанию подлежат аппараты после их изготовления, оно должно проводиться на предприятии-изготовителе.

Гидравлическое испытание аппаратов, транспортируемых частями и собираемых на месте монтажа, допускается проводить после их изготовления на месте установки.

Испытание аппаратов должно проводиться с крепежом и прокладками, предусмотренными в технической документации.

Значения пробного давления в зависимости от расчетного давления приведены в табл. 12.2.

Гидравлическое испытание аппаратов, устанавливаемых вертикально, допускается проводить в горизонтальном положении при условии обеспечения прочности корпуса аппарата. При этом разработчик аппарата должен выполнить расчет на прочность с учетом принятого способа опирания для проведения гидравлического испытания.

Пробное давление следует принимать с учетом гидростатического давления, действующего на аппарат в процессе его эксплуатации.

Для гидравлического испытания аппарата должна использоваться вода. Допускается по согласованию с разработчиком аппарата использование другой жидкости.

Содержание хлоридов в воде при испытании аппаратов из аустенитных сталей не должно превышать 30 р. р. т.

Температура воды должна приниматься не ниже критической температуры хрупкости материала аппарата и указываться разработчиком аппарата в технической документации. При отсутствии указаний температура воды должна быть в пределах от +5 до +40° С.

Разность температур стенки аппарата и окружающего воздуха во время испытания не должна вызывать конденсацию влаги на поверхности стенки сосуда.

При заполнении аппарата водой должен быть удален воздух из внутренних полостей. Давление следует поднимать равномерно до достижения пробного. Скорость подъема давления не должна превышать 0,5 МПа (5 кгс/см^2) в минуту, если нет других указаний разработчика аппарата в технической документации.

Время выдержки под пробным давлением должно быть не менее значений, указанных в табл. 12.36.

После выдержки под пробным давлением давление снижают до расчетного, при котором производят визуальный осмотр наружной поверхности, разъемных и сварных соединений. Не допускается обстукивание сосуда во время испытаний.

Таблица 12.36

Время выдержки аппарата под пробным давлением при гидравлическом испытании

Толщина стенки, мм	Время выдержки, ч (мин)
До 50	0,15(10)
Свыше 50 до 100	0,35(20)
Свыше 100	0,5(30)
Примечание. Визуальный осмотр аппаратов, работающих под вакуумом, производится при пробном давлении.	

Пробное давление при гидравлическом испытании должно контролироваться двумя манометрами. Манометры выбираются одного типа, предела измерения, класса точности, одинаковой цены давления. Манометры должны иметь класс точности не ниже 2,5.

После проведения гидравлического испытания вода должна быть полностью удалена.

Гидравлическое испытание допускается по согласованию с разработчиком аппарата на месте монтажа заменять пневматическим (сжатым воздухом, инертным газом или смесью воздуха с инертным газом), если проведение гидравлического испытания невозможно вследствие следующих причин: большие напряжения от массы воды в аппарате или фундаменте, трудно удалить из изделия воду, возможно нарушение внутренних покрытий аппарата, температура окружающего воздуха ниже 0° С, несущие конструкции и фундаменты испытательных стендов могут не выдержать нагрузки, создаваемой при заполнении аппарата водой и др.

Перед проведением пневматического испытания аппарат должен быть подвергнут внутреннему и наружному осмотру, а сварные швы проконтролированы радиографическим или ультразвуковым методом в объеме 100%. Для обеспечения безопасности во время проведения пневматического испытания должен проводиться контроль методом акустической эмиссии.

Пробное давление следует определять по табл. 12.2.

Время выдержки аппарата под пробным давлением должно быть не менее 0,08 ч (5 мин) и указываться в технической документации.

После выдержки под пробным давлением давление снижают до расчетного, при котором производят визуальный осмотр наружной поверхности и проверку герметичности сварных и разъемных соединений мыльным раствором или другим способом.

Результаты испытаний считаются удовлетворительными, если во время их проведения отсутствуют:

падение давления по манометру;

пропуски испытательной среды (течь, потение, пузырьки воздуха или газа) в сварных соединениях и на основном металле;

признаки разрыва;

течи в разъемных соединениях;

остаточные деформации.

Примечание. Допускается не считать течью пропуски испытательной среды через неплотности арматуры, если они не мешают сохранению пробного давления.

Испытание аппаратов, работающих без давления (под налив), проводится смачиванием сварных швов керосином или наливом воды до верхней кромки аппарата.

Время выдержки аппарата при испытании наливом воды должно быть не менее 4 ч, а при испытании смачиванием керосином не менее указанного в табл. 12.37.

Таблица 12.37

Время выдержки аппарата и сварных швов при испытании смачиванием керосином

Толщина шва, мм	Время выдержки, ч (мин)	
	в нижнем положении шва	в потолочном вертикальном положении шва
До 4	0,35(20)	0,50 (30)
Свыше 4 до 10	0,45(25)	0,60 (35)
Свыше 10	0,50(30)	0,70 (40)

Значение пробного давления и результаты испытания должны быть занесены в паспорт.

Необходимость контроля на герметичность, степень герметичности и выбор методов и способов испытаний должны быть оговорены в технической документации.

Контроль на герметичность следует проводить согласно требованиям ОСТ 26-11-14.

Контроль на герметичность способами гидравлическим с люминесцентным индикаторным покрытием или люминесцентно-гидравлическим допускается совмещать с гидравлическим испытанием.

Контроль на герметичность крепления труб для трубных систем, соединений типа труба — решетка, где не допускается смешение сред (перетек жидкости), следует проводить гелиевым (галогенным) течеискателем или люминесцентно-гидравлическим методом.

Контроль сварных швов на герметичность допускается проводить капиллярным методом: смачиванием керосином. При этом поверхность контролируемого шва с наружной стороны следует покрыть мылом, а с внутренней — обильно смачивать керосином в течение всего периода испытания.

Время выдержки сварных швов при испытании смачиванием керосином должно быть не менее указанного в табл. 12.37.

Контроль на герметичность швов приварки укрепляющих колец и сварных соединений облицовки патрубков и фланцев следует проводить пневматическим испытанием.

Пробное давление пневматического испытания должно быть:

0,4—0,6 МПа (4—6 кгс/см^2), но не более расчетного давления сосуда для швов приварки укрепляющих колец;

0,05 МПа (0,5 кгс/см^2) для сварных соединений облицовки.

Контроль необходимо осуществлять обмазкой мыльной эмульсией.

Качество сварного соединения следует считать удовлетворительным, если в результате применения любого соответствующего заданному классу герметичности метода не будет обнаружено течи (утечек).

ГЛАВА 13

ОБЕЧАЙКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ

13.1. Конструкции

Цилиндрические обечайки являются одним из основных элементов технологических аппаратов. Из одной или нескольких обечаек образуется цилиндрический корпус аппарата. Они входят составной частью в различные внутренние и наружные устройства аппаратов.

Обечайки большей частью изготовляются вальцовкой из листового проката, реже из сварных труб большого диаметра или поковок.

Исполнительную (принятую) толщину стенки вальцованных обечаек следует применять в пределах 6—42 мм.

Кромки обечаек, образующие корпус аппарата, соединяются между собой преимущественно встык.

Вальцованные обечайки должны иметь возможно меньше сварных швов, особенно продольных. Поэтому листы для изготовления обечаек желательно выбирать больших размеров, сообразуясь с рациональным раскроем (малыми отходами). Обечайки могут вальцеваться как по длинной, так и по короткой стороне листа.

Обечайки диаметром до 1000 мм должны изготовляться не более чем с двумя продольными швами, а диаметром свыше 1000 мм допускается изготовлять из нескольких листов максимально возможной длины. Вставки допускаются шириной не менее 400 мм для аппаратов 1,2,3,4-й групп (табл. 12.1) и не менее 200 мм для аппаратов 5-й группы.

Допускается изготовлять обечайки путем вальцовки карт, сваренных встык в плоском состоянии из небольших листов. В этом случае ширина листов в карте должна быть не менее 800 мм.

Продольные швы в листах смежных обечаек должны быть смещены по отношению друг друга на значение не менее трехкратной толщины стенки обечайки, но не менее чем на 100 мм между осями швов. В обечайках, выполняемых из карт, допускаются перекрещивающиеся швы в листах толщиной до 30 мм (при автоматической или электрошлаковой сварке и 100%-ном просвечивании швов) для корпусов аппаратов, работающих под избыточным давлением до 1,6 МПа и при температуре до 400°С. Допускается изготовление корпусов аппаратов из полуобечаек.

Отклонение в длине развертки окружности взаимостыкуемых обечаек должно обеспечивать нормируемую величину смещения кромок В листов (рис. 13.1), измеряемое по среденной поверхности, в стыковых соединениях, определяющих прочность аппарата. Величина смещения не должна превышать $B = 0{,}1\,s$, но не более 3 мм, где s – наименьшая толщина свариваемых листов.

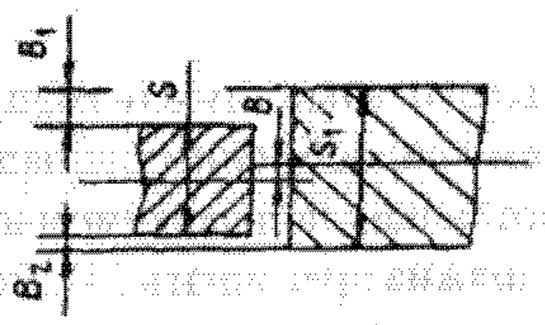


Рис. 13.1. Смещение кромок

Рекомендуемые допускаемые отклонения в длине окружности развертки обечаек приведены в табл.13.1.

Местное утонение толщины стенки обечайки в любом случае допускается не более чем до ее расчетного размера.

Неперпендикулярность торцов обечайки к ее образующей допускается в пределах 1 мм на 1 м диаметра, но не более 3 мм при диаметре до 3 м.

Корпуса аппаратов, сваренные из отдельных обечаек, должны удовлетворять следующим требованиям:

Таблица 13.1

Рекомендуемые допускаемые отклонения в длине окружности развертки обечаек, мм

Толщина стенки обечайки	Обечайки из стали			
	углеродистой и легированной	высоколегированной	двухслойной при диаметре, мм	
			до 2000	св. 2000
До 14	±3	±3	±3	±5
16—18	±5	±3	±3	±5
20	±7	±3	±3	±5
22—24	±7	±5	±4	±5
26—28	±9	±5	±4	±5
30—34	±11	±6	±6	±6
36—38	±13	±6	±6	±6
40 и более	±15	±8	±8	±8

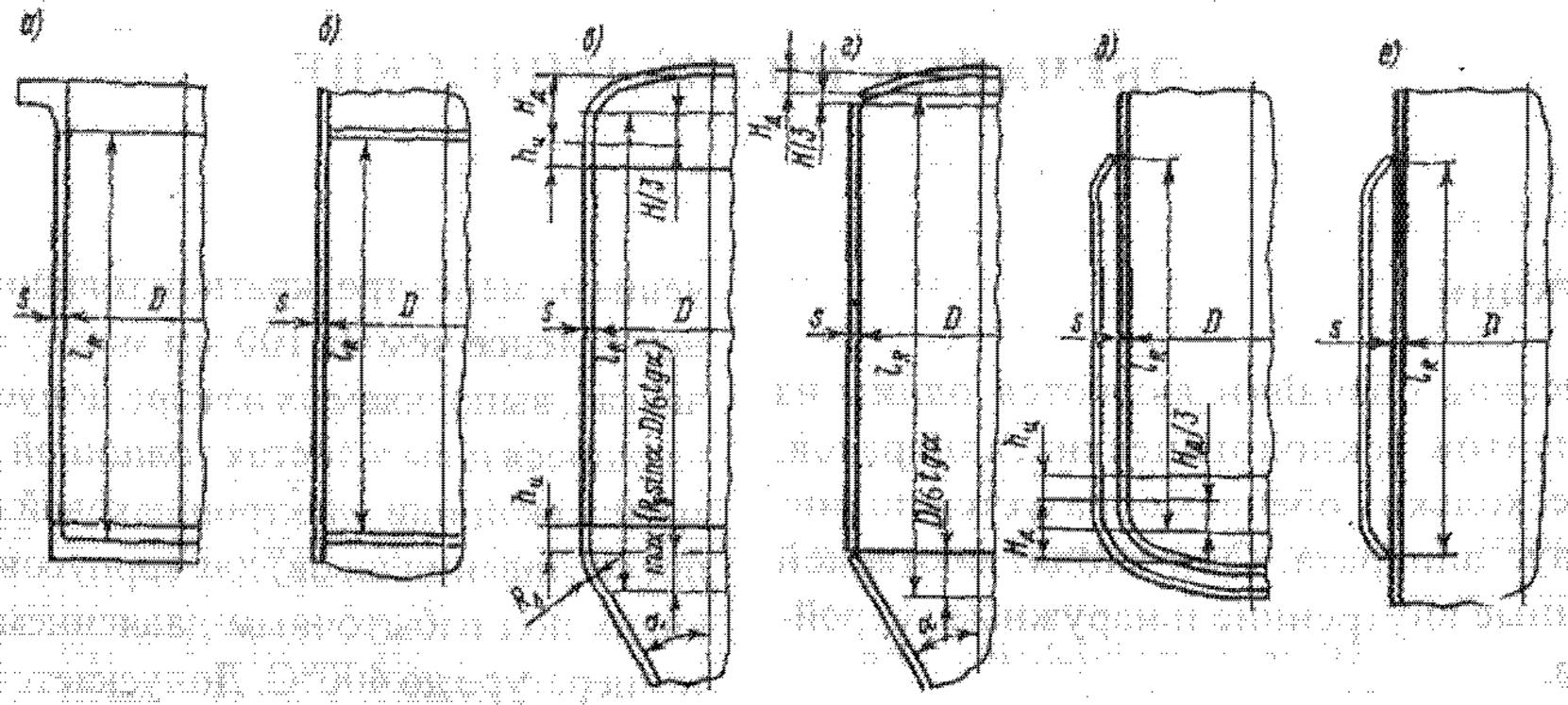


Рис.13.2. Конструкции гладких цилиндрических обечаек (корпусов) аппаратов: *а* — с фланцем и плоским днищем; *б* — с жесткими внутренними перегородками; *в* — с отбортованными эллиптическими и коническими днищами; *г* — с неотбортованными сферическими и коническими днищами; *д* — с рубашкой на нижней части аппарата; *е* — с рубашкой на средней части аппарата

Отклонение внутреннего (наружного) диаметра корпуса аппаратов, за исключением теплообменных аппаратов, допускается не более ±1% номинального диаметра.

Относительная овальность «а» корпуса аппаратов (за исключением теплообменных аппаратов, а также аппаратов, работающих под вакуумом или наружным давлением) не должна превышать 1%. Величина относительной овальности определяется:

в местах, где не установлены штуцера и люки, по формуле

$$a = \frac{2(D_{max} - D_{min})}{D_{max} + D_{min}} \cdot 100\%,$$

в местах установки штуцеров и люков по формуле

$$a = \frac{2(D_{max} - D_{min} \quad 0{,}02d)}{D_{max} + D_{min}} \cdot 100\%,$$

где D_{max}, D_{min} — соответственно наибольший и наименьший внутренние диаметры корпуса, измеренные в одном поперечном сечении, d — внутренний диаметр штуцера или люка.

Значение «а» допускается увеличивать до 1,5% для аппаратов при отношении толщины корпуса к внутреннему диаметру не более 0,01.

Значение «а» для аппаратов, работающих под вакуумом или наружным давлением, должно быть не более 0,5%.

Значение «а» для аппаратов без давления (под налив) должно быть не более 2%.

У аппаратов с внутренними устройствами, устанавливаемыми в корпус в собранном виде, непрямолинейность допускается в пределах номинального зазора между внутренним диаметром корпуса и наружным диаметром устройства. У таких аппаратов усиления кольцевых и продольных сварных швов на внутренней поверхности корпуса должны быть защищены заподлицо с основным металлом в местах, мешающих установке устройства.

При изготовлении аппаратов из двухслойных сталей усиление желательно не снимать, а у деталей внутренних устройств в месте усиления шва — предусматривать местную выемку. В тех случаях, когда снятие усиления является все же необходимым, должна быть обеспечена коррозионная стойкость корпуса в месте снятого усиления.

Типовые конструкции гладких цилиндрических обечаек (корпусов) аппаратов приведены на рис. 13.2, а конструкция цилиндрической обечайки (корпуса), подкрепленной кольцами жесткости, — на рис. 13.3. Последние применяются преимущественно в аппаратах, работающих под вакуумом или под наружным давлением.

Кольца жесткости в зависимости от конструктивных возможностей могут располагаться как внутри, так и снаружи корпуса. Форма поперечного сечения колец может быть произвольной. В качестве примера (рис. 13.3) показаны наружные (прямоугольного сечения) и внутренние (таврового сечения) кольца; x — x — ось, проходящая через центр тяжести сечения кольца. Поперечное сечение кольца жесткости чаще всего бывает прямоугольным, но может быть в виде фасонного профиля (угольника, швеллера, двутавра и т.д.).

13.2. Расчет цилиндрических обечаек

Расчет цилиндрических обечаек проводится по ГОСТ 14249—89, СТ СЭВ 597—77.

Гладкие цилиндрические обечайки (см. рис. 13.2). Формулы расчета применимы при условии $(s - c)/D \le 0{,}1$ для обечаек и труб при $D \ge 200$ мм; $(s - c)/D \le 0{,}3$ для труб при $D < 200$ мм.

На обечайки могут действовать нагрузки от внутреннего или наружного давления и сосредоточенные (боковые, осевые).

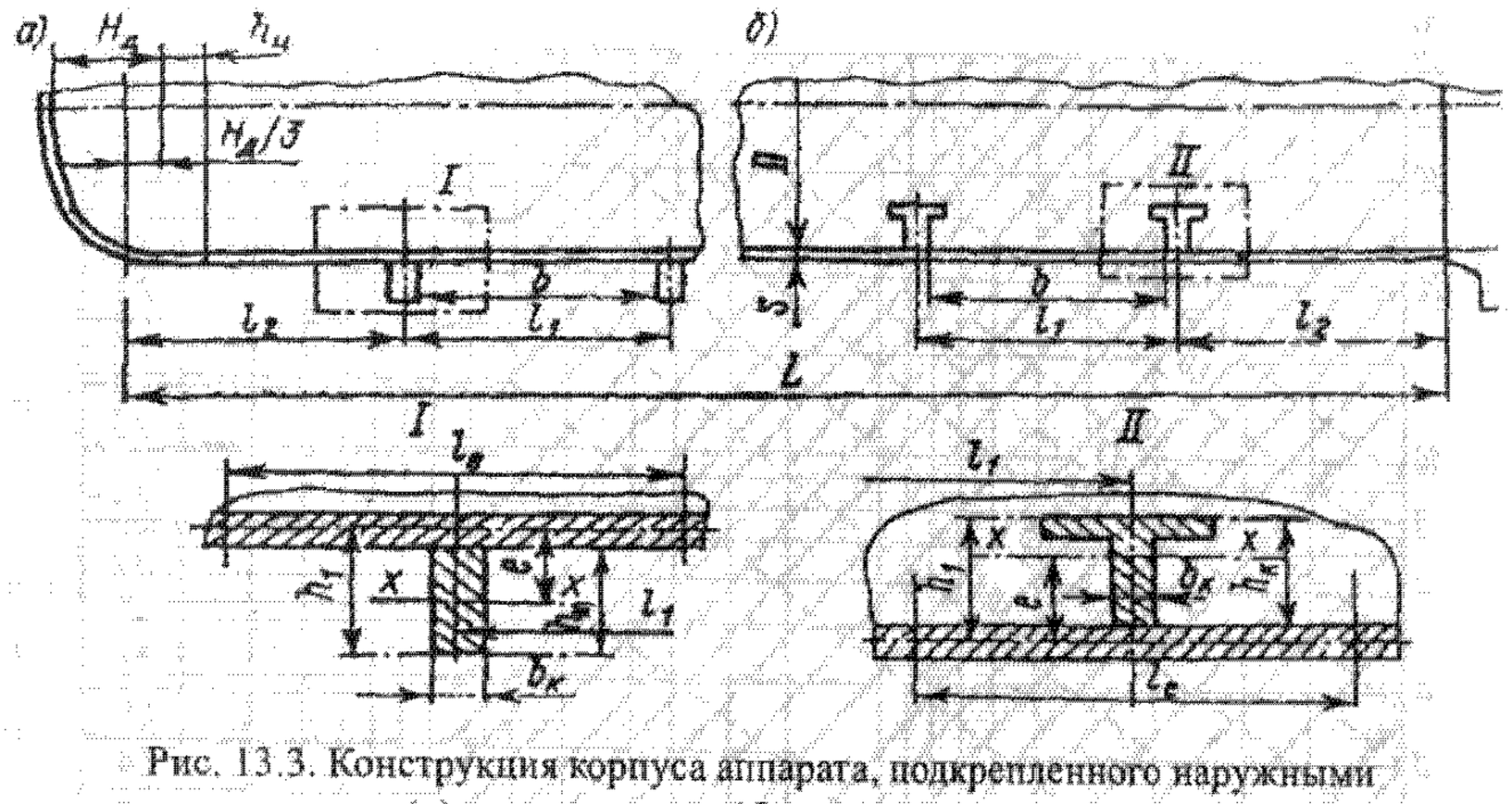


Рис. 13.3. Конструкция корпуса аппарата, подкрепленного наружными (*а*) и внутренними (*б*) кольцами жесткости

13.2.1. Расчет обечаек, нагруженных внутренним избыточным давлением

Толщина стенки определяется по формулам:

$$s_R = \frac{p_R D}{2[\sigma]\varphi_p - p_R}; \qquad (13.1)$$

$$s \geqslant s_R + c. \qquad (13.2)$$

Допускаемое избыточное давление определяется по формуле:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p (s-c)}{D + (s-c)}. \qquad (13.3)$$

Производить расчет на прочность для условий испытания не требуется, если расчетное давление в условиях испытания будет меньше, чем расчетное давление в рабочих условиях, умноженное на $1{,}35[\sigma]_{20}/[\sigma]$.

13.2.2. Расчет обечаек, нагруженных наружным давлением

Толщина стенки приближенно определяется по формулам:

$$s_R = \max\{K_3 D \cdot 10^{-2};\ 1{,}1 p_R D/2[\sigma]\}; \qquad (13.4)$$

$$s \geqslant s_R + c. \qquad (13.5)$$

Коэффициент $K_2 = f(K_1; K_3)$ определяется по рис. 13.4 в зависимости от значений коэффициентов K_1 и K_3:

$$K_1 = \frac{n_u p_R}{2{,}4 \cdot 10^{-6} E}; \quad K_2 = \frac{100(s-c)}{D}; \quad K_3 = \frac{l_R}{D}.$$

Допускаемое наружное давление определяется по формуле:

$$[p] = \frac{[p]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[p]_p}{[p]_E}\right)^2}}, \qquad (13.6)$$

где допускаемое давление из условия прочности определяется по формуле:

$$[p]_p = \frac{2[\sigma](s-c)}{D + (s-c)}, \qquad (13.7)$$

а допускаемое давление из условий устойчивости в пределах упругости определяется по формуле:

$$[p]_E = \frac{20{,}8 \cdot 10^{-6} E}{n_u B_1} \frac{D}{l_R}\left[\frac{100(s-c)}{D}\right]^2 \sqrt{\frac{100(s-c)}{D}}, \qquad (13.8)$$

где

$$B_1 = \min\left\{1{,}0;\ 9{,}45\frac{D}{l_R}\sqrt{\frac{D}{100(s-c)}}\right\}. \qquad (13.9)$$

Расчетная длина обечайки l_R принимается в зависимости от ее конфигурации (см. рис. 13.2).

С помощью расчетной номограммы на рис. 13.4 можно определять s_R, $[p]$ и l без расчета по правилу, показанному на рис. 13.5, где приводится вариант *I* для определения s_R из равенства $K_2 = f(K_1; K_3)$, вариант *II* — для $[p]$ из $K_1 = f(K_2; K_3)$ и вариант *III* — для l из $K_3 = f(K_1; K_2)$.

Если на рис. 13.4 коэффициент K_1 будет лежать ниже соответствующей штрихпунктирной линии, то значение можно определять по формуле:

$$[p] = 2{,}4\frac{K_1 \cdot 10^{-6} E}{n_u}. \qquad (13.10)$$

Полученное значение толщины стенки по (13.4) и (13.5) должно быть проверено по формуле (13.6).

13.2.3. Расчет обечаек, нагруженных осевой растягивающей силой P и внутренним избыточным давлением p_R

Толщина стенки определяется по формулам:

$$s_R = \frac{P + 0{,}25\pi p_R D^2}{\pi D[\sigma]\varphi_T}; \qquad (13.11)$$

$$s \geqslant s_R + c. \qquad (13.12)$$

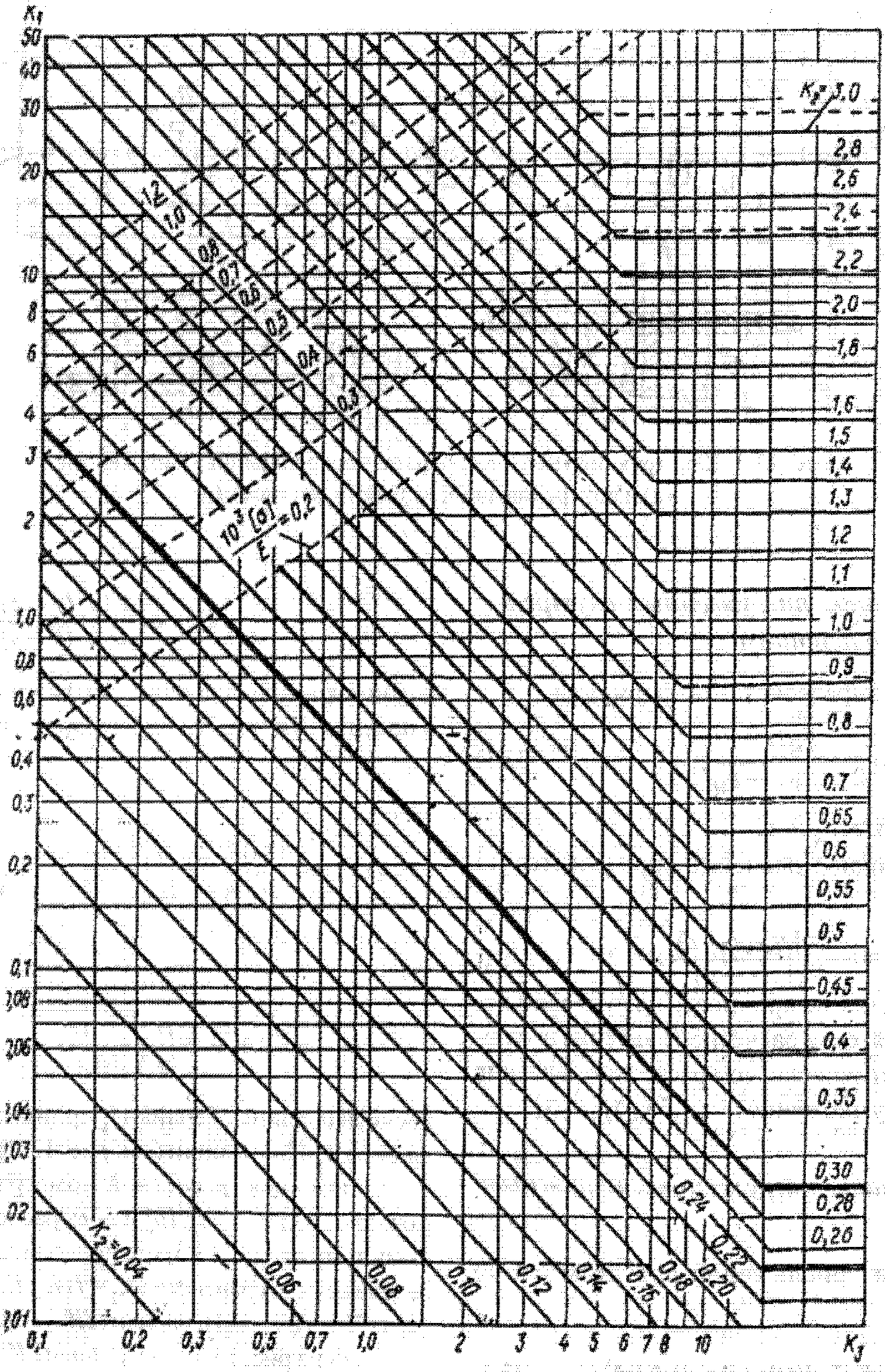


Рис. 13.4. Номограмма определения толщины цилиндрических стальных обечаек, работающих под наружным давлением

Допускаемая осевая растягивающая сила определяется по формуле:

$$[P] = \pi (D + s - c)(s - c)[\sigma]\varphi_T. \qquad (13.13)$$

13.2.4. Расчет обечаек, нагруженных внешней осевой сжимающей силой

Приводимые ниже формулы расчета применимы при условии, что $l_R / D \geq 1{,}0$.

Допускаемая осевая сжимающая сила определяется по формуле:

$$[P_1] = \frac{[P_1]_p}{\sqrt{1 + \left(\frac{[P_1]_p}{[P_1]_E}\right)^2}}, \qquad (13.14)$$

где допускаемая осевая сжимающая сила из условия прочности

$$[P_1]_p = \pi (D + s - c)(s - c)[\sigma], \qquad (13.15)$$

а допускаемая осевая сжимающая сила из условия устойчивости в пределах упругости определяется по формуле:

$$[P_1]_E = \min\{[P_1]_{E_1}; [P_1]_{E_2}\}, \qquad (13.16)$$

где допускаемая осевая сжимающая сила $[P_1]_{E_2}$ определяется из условия местной устойчивости в пределах упругости по формуле:

$$[P_1]_{E_1} = \frac{310 \cdot 10^{-6} E}{n_u} D^2 \left[\frac{100\,(s-c)}{D}\right]^2 \sqrt{\frac{100\,(s-c)}{D}}, \quad (13.17)$$

а допускаемая осевая сжимающая сила $[P_1]_{E_2}$ — из условия общей устойчивости в пределах упругости по формуле:

$$[P_1]_{E_2} = \frac{\pi\,(D+s-c)\,(s-c)\,E}{n_u}\left(\frac{\pi}{\lambda_{пр}}\right)^2. \quad (13.18)$$

Гибкость $\lambda_{пр}$ определяется по формуле:

$$\lambda_{пр} = 2{,}83 l_{пр}/(D+s-c). \quad (13.19)$$

Приведенная длина обечайки $l_{пр}$ определяется по табл. 13.2.

При $l/D < 10$ формула (13.16) принимает вид

$$[P_1]_E = [P_1]_{E_1}.$$

Для рабочих условий ($n_u = 2{,}4$) допускаемую сжимающую силу можно определить по формуле:

$$[P_1] = \pi\,(D+s-c)\,(s-c)\,[\sigma]\min\{\varphi_1;\ \varphi_2\}. \quad (13.20)$$

Коэффициенты $\varphi_1 = f[(D/(s-c);\ [\sigma]/E]$ и $\varphi_2 = f(\lambda_{пр})$ определяются по рис. 13.6, *а* и 13.6, *б* соответственно.

Для обечаек, у которых $l_к/D < 1$, при отсутствии более точных расчетов допускается пользоваться формулой (13.17).

13.2.5. Расчет обечаек, нагруженных внешним изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент определяется по формуле:

$$[M] = \frac{[M]_p}{\sqrt{1+\left(\dfrac{[M]_p}{[M]_E}\right)^2}}, \quad (13.21)$$

где допускаемый изгибающий момент из условия прочности рассчитывается по формуле:

$$[M]_p = 0{,}25\pi D\,(D+s-c)\times (s-c)\,[\sigma] = 0{,}25 D\,[P_1]_p. \quad (13.22)$$

а допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости — по формуле:

$$[M]_E = \frac{89 \cdot 10^{-6} E}{n_u} D^3 \left[\frac{100\,(s-c)}{D}\right]^2 \times \sqrt{\frac{100\,(s-c)}{D}} = \frac{D}{3{,}5}[P_1]_{E_1} \quad (13.23)$$

Для рабочих условий ($n_u = 2{,}4$) допускаемый изгибающий момент можно определить по формуле:

$$[M] = 0{,}25\pi D(D+s-c)(s-c)[\sigma]\varphi_3 \quad (13.24)$$

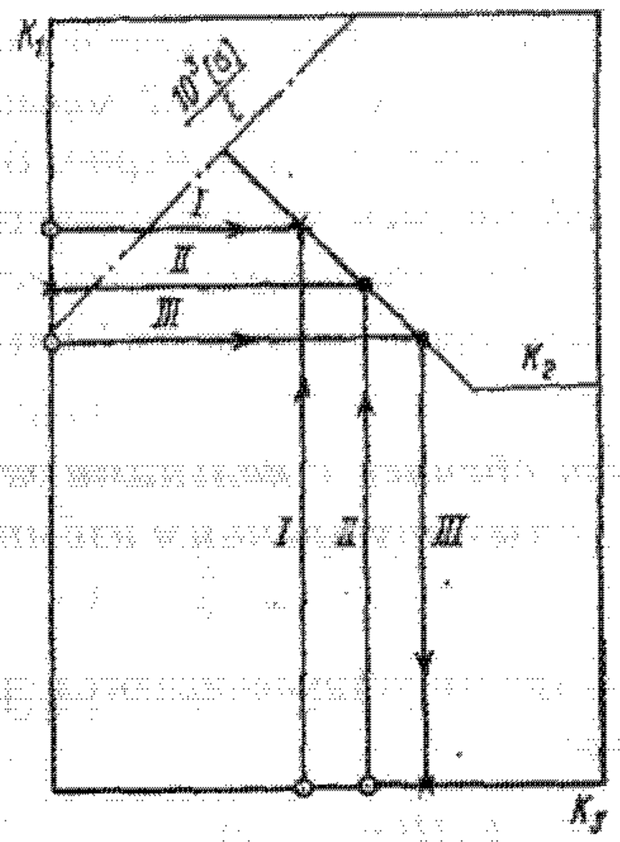


Рис. 13.5. Порядок выполнения расчета по графику на рис. 13.3

Коэффициент $\varphi_3 = f[(D/(s-c);\ [\sigma]/E]$ определяется по рис 13.6.

13.2.6. Расчет обечаек, нагруженных внешней поперечной силой

Допускаемая поперечная сила определяется по формуле:

$$[Q] = \frac{[Q]_p}{\sqrt{1+\left(\dfrac{[Q]_p}{[Q]_E}\right)^2}}, \quad (13.25)$$

где допускаемая поперечная сила из условия прочности

$$[Q]_p = 0{,}25\pi D\,(s-c)\,[\sigma], \quad (13.26)$$

а допускаемая поперечная сила из условия устойчивости в пределах упругости

$$[Q]_E = \frac{2{,}4E\,(s-c)^2}{n_u}\left[0{,}18 + 3{,}3\,\frac{D\,(s-c)}{l^3}\right]. \quad (13.27)$$

13.2.7. Расчет обечаек, работающих под совместным действием наружного давления, внешней осевой сжимающей силы и внешнего изгибающего момента

Обечайки, работающие под совместным действием нагрузок $p_н$, P_1, Q и M, проверяют на устойчивость по формуле:

$$\frac{p_н}{[p]} + \frac{P_1}{[P_1]} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 + \frac{M}{[M]} \leqslant 1{,}0, \quad (13.28)$$

где $[p]$ по п.13.2.2, $[P_1]$ — по п. 13.2.4, $[Q]$ — по п. 13.2.6. и $[M]$ — по п. 13.2.5.

Цилиндрические обечайки, подкрепленные кольцами жесткости (см. рис. 13.3). Приводимые ниже формулы расчета применимы при выполнении следующих

ограничений: отношение высоты сечения кольца жесткости к диаметру обечайки $h_к/D \le 0{,}2$; кольца жесткости расположены на обечайке равномерно. В случае неравномерного расположения колец жесткости значения b и l_1 в формулах расчета необходимо подставлять для того участка, на котором значения b и l_1 максимальные.

13.2.8. Расчет обечаек с кольцами жесткости, нагруженных внутренним избыточным давлением

Кольца жесткости устанавливаются при условии, если коэффициент

$$K_4 = \frac{p_R (D + s - c)}{2\varphi_p [\sigma] (s - c)} - 1 > 0. \qquad (13.29)$$

Если $K_4 \le 0$, то укрепления кольцами жесткости не требуется.

В диапазоне $0 < K_4 < 2\frac{\varphi_т}{\varphi_р} - 1$ расстояние между двумя смежными кольцами жесткости определяется по формуле:

$$b \leqslant \sqrt{D(s-c)\left[\frac{2}{K_4} - \frac{\varphi_p}{\varphi_т}\left(1 + \frac{1}{K_4}\right)\right]}. \qquad (13.30)$$

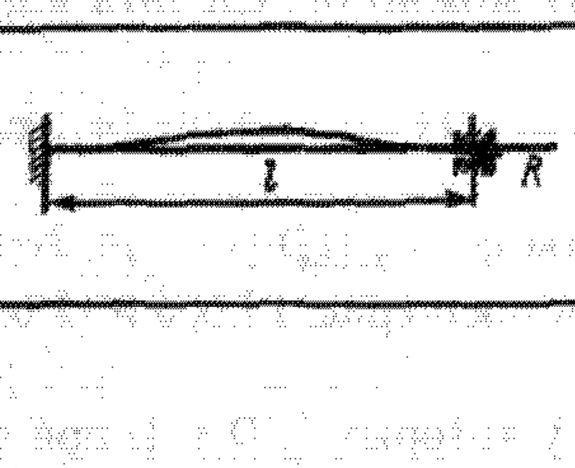
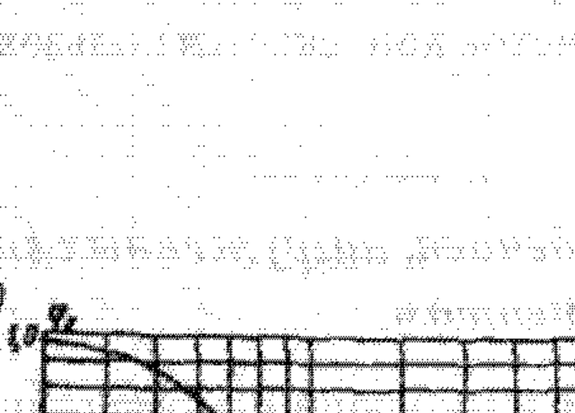
Площадь поперечного сечения кольца

$$F_к \geqslant l_1 (s - c) \frac{[\sigma]\varphi_p}{[\sigma]_к \varphi_к} K_4. \qquad (13.31)$$

Если $K_4 \ge 2\frac{\varphi_т}{\varphi_р} - 1$, то толщину стенки обечайки необходимо увеличить до такого размера, чтобы

Таблица 13.2

Приведенная расчетная длина обечайки

Расчетная схема	$l_{пр}$
	l
	$2l$
	$0{,}7l$
	$0{,}5l$

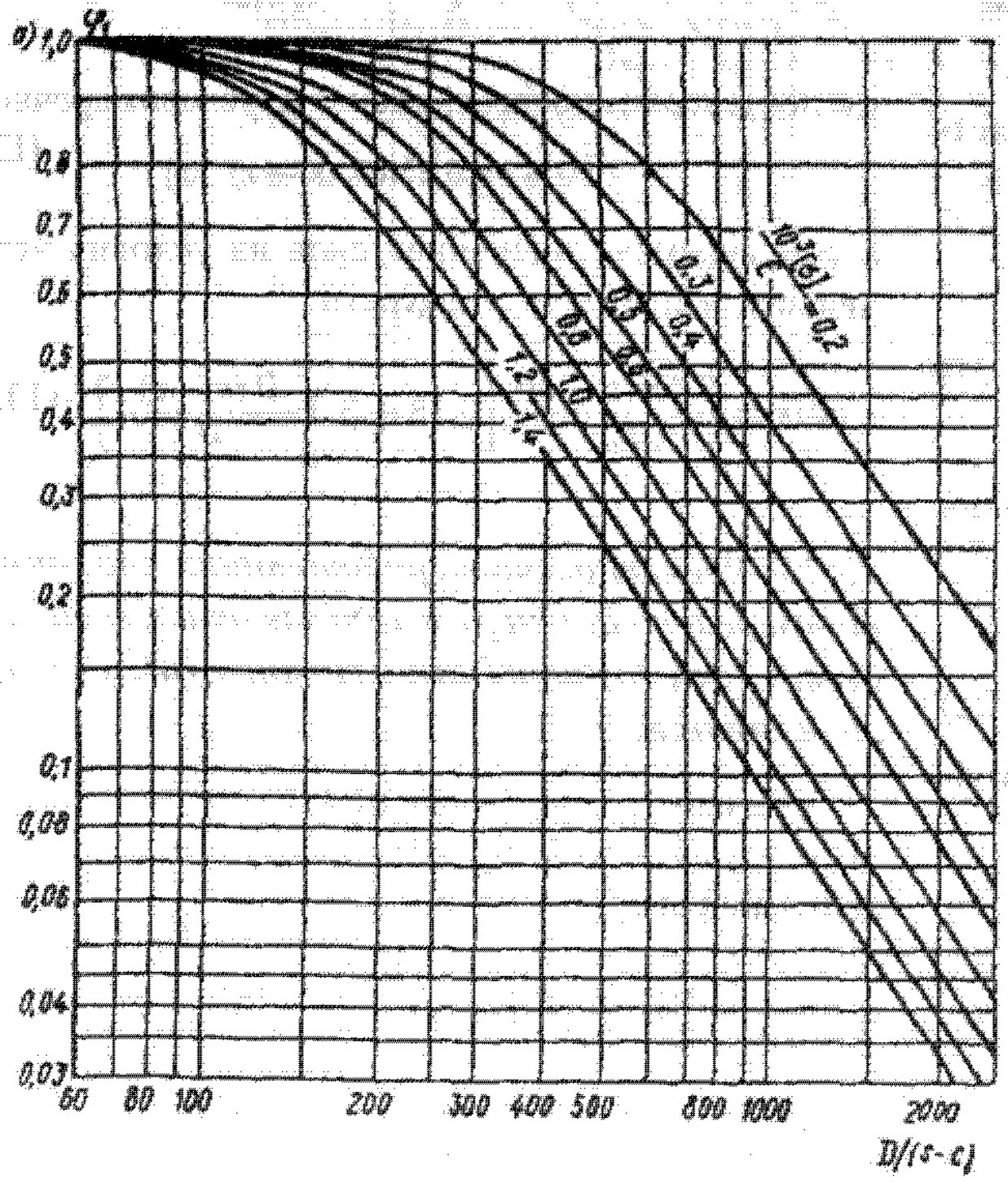


Рис. 13.6. График определения коэффициента снижения допускаемых напряжений φ_1 (*а*) и φ_2 (*б*)

выполнялось следующее условие:

$$0 < K_4 < 2\frac{\varphi_т}{\varphi_p} - 1, \qquad (13.32)$$

где $\varphi_т$ — коэффициент прочности кольцевого сварного шва

При определении площади поперечного сечения кольца жесткости $F_к$ необходимо учитывать прибавку c_1 для компенсации коррозии.

Допускаемое внутреннее избыточное давление определяется из условия

$$[p] = \min\{[p]_1; [p]_2\}, \qquad (13.33)$$

где допускаемое внутреннее избыточное давление, определяемое из условий прочности всей обечайки, рассчитывается по формуле:

$$[p]_1 = \frac{2[\sigma]\varphi_p(s-c) + 2\frac{F_к}{l_R}[\sigma]_к\varphi_т}{D + (s-c)}. \qquad (13.34)$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление, определяемое из условий прочности обечайки между двумя соседними кольцами жесткости, определяется по формуле:

$$[p]_2 = \frac{2[\sigma]\varphi_т(s-c)}{D+(s-c)} \cdot \frac{2+\lambda_n^2}{1+\frac{\varphi_т}{\varphi_p}\lambda_n^2}, \qquad (13.35)$$

где

$$\lambda_n^2 = \frac{b^2}{D(s-c)} \qquad (13.36)$$

и

$$l_R = \max\{l_1; \quad l_2\}. \qquad (13.37)$$

13.2.9. Расчет обечаек с кольцами жесткости, нагруженных наружным давлением

Допускаемое наружное давление определяется из условия

$$[p] = \min\{[p]_1; \quad [p]_2\}, \qquad (13.38)$$

где допускаемое наружное давление, определяемое из условий устойчивости всей обечайки, рассчитывается по формуле:

$$[p_1] = \frac{[p]_{1p}}{\sqrt{1+\left(\frac{[p]_{1p}}{[p]_{1E}}\right)^2}}, \qquad (13.39)$$

Здесь $[p]_{1P}$ соответствует $[p]_1$, определенной по формуле (13.34) при значениях $\varphi_p = 1{,}0$ и $\varphi_т = 1{,}0$; допускаемое наружное давление из условий устойчивости в пределах упругости рассчитывается по формуле:

$$[p]_E = \frac{20{,}8\cdot10^{-6}E}{KB_2n_u}\frac{D}{L}\left[\frac{100K(s-c)}{D}\right]^2\sqrt{\frac{100K(s-c)}{D}}, \qquad (13.40)$$

где

$$B_1 = \min\left\{1{,}0;\ 9{,}45\frac{D}{L}\sqrt{\frac{D}{100K(s-c)}}\right\}. \qquad (13.41)$$

Коэффициент жесткости обечайки, подкрепленной кольцами жесткости,

$$K = \sqrt{\frac{10{,}9J}{l_1(s-c)^3}}. \qquad (13.42)$$

Здесь эффективный момент инерции расчетного поперечного сечения кольца жесткости определяется по формуле:

$$J = J_к + \frac{l_1(s-c)^3}{10{,}9} + e^2\frac{F_к le(s-c)}{F_к + le(s-c)}, \qquad (13.43)$$

где эффективная длина стенки обечайки, учитываемая при определении эффективного момента инерции, определяется из условия:

$$le = \min\{l_1;\ l_2;\ [b_к + 1{,}1\sqrt{D(s-c)}]\}. \qquad (13.44)$$

Здесь $b_к$ — ширина поперечного сечения кольца жесткости в месте его приварки к обечайке; e — расстояние между центром тяжести поперечного сечения кольца жесткости и срединной поверхностью обечайки. Допускаемое наружное давление, определяемое из условий устойчивости обечайки между кольцами жесткости $[p]_2$, соответствует давлению $[p]$ в формуле (13.6) при $l_R = \max\left\{b;\ l_2 - \frac{t}{2}\right\}$ в равенствах (13.8) и (13.9). Вместо $[p]_p$ по формуле (13.7) допускается принимать $[p]_2$ по формуле (13.34) при $\varphi_т = 1{,}0$.

После определения размеров кольца жесткости и обечайки по конструктивным соображениям необходимо произвести проверку в соответствии с условием (13.37).

Толщина стенки s или расстояние между кольцами жесткости $l = b$ для заданного расчетного давления p определяется с помощью графиков рис. 13.4.

Расчетный эффективный момент инерции кольца жесткости рассчитывается по формуле:

$$J_R = \frac{0{,}1p_RD^3l_R}{E}\frac{n_u}{2{,}4}K_5, \qquad (13.45)$$

где $l_R = \max\{l_1; l_2\}$ (см. рис. 13.3); коэффициент $K_5 = f(L/D;\ n_u p_R/E;\ D/(s-c))$ определяется по графику рис. 13.8.

Профиль кольца жесткости выбирается из условия, что

$$J \geqslant J_R, \qquad (13.46)$$

где J определяется по формуле (13.42).

Допускаемые нагрузки на обечайки с кольцами

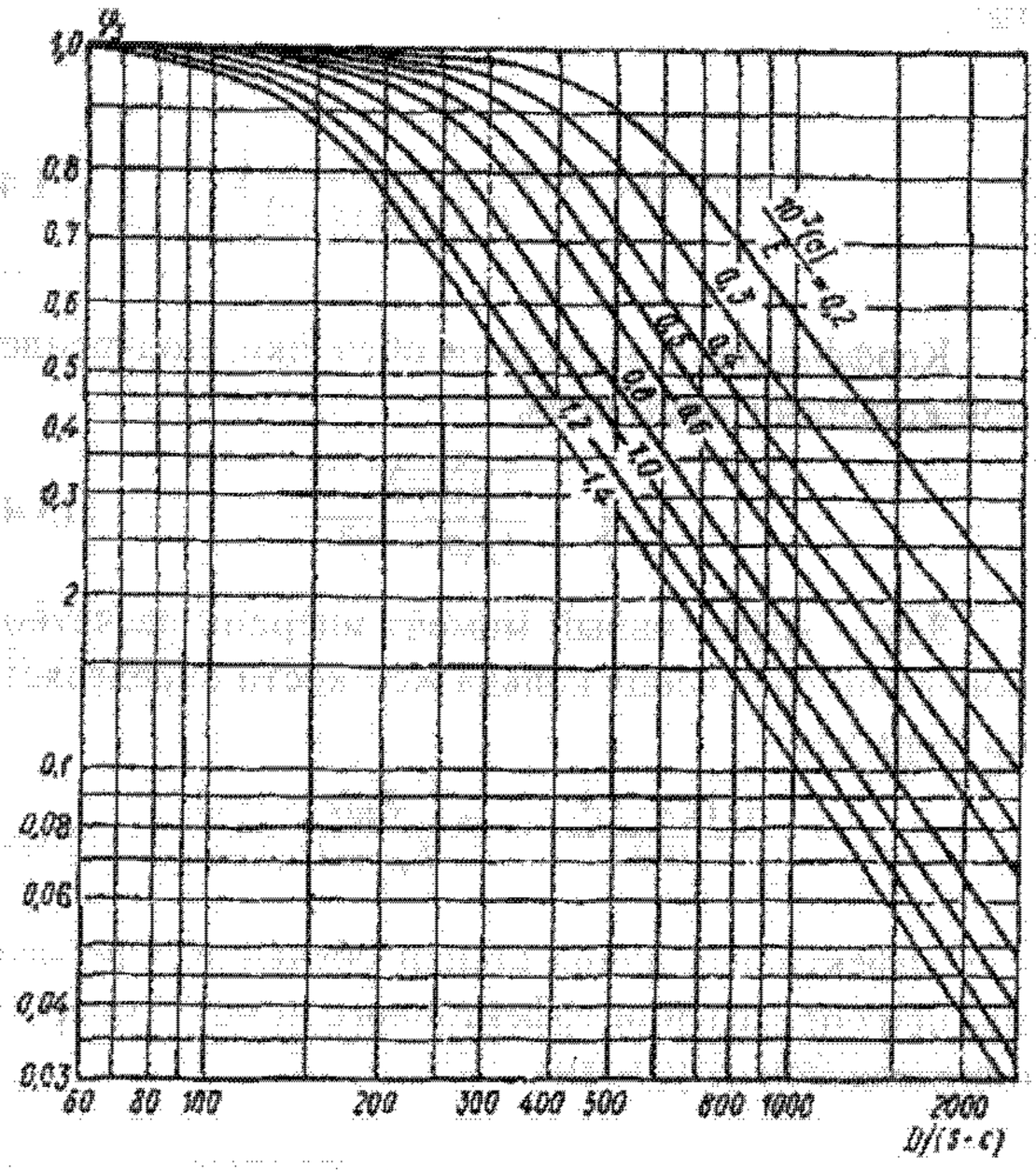


Рис. 13.7. График определения коэффициента снижения допускаемых напряжений

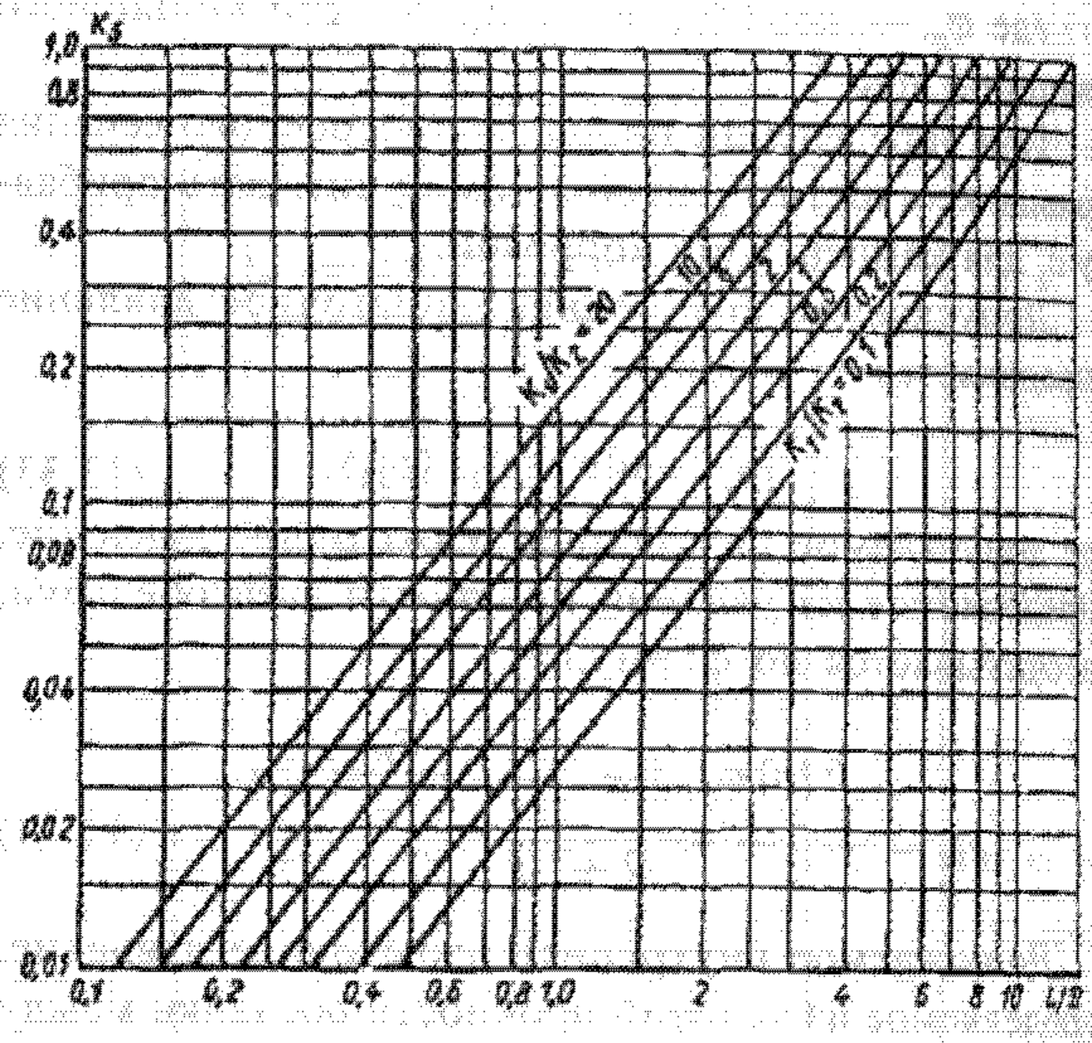


Рис. 13.8. График определения коэффициента K_s

жесткости, работающими при воздействии на них осевых растягивающих или сжимающих сил, поперечных сил или изгибающего момента, рассчитываются, как и для гладких цилиндрических обечаек, по формулам пп. 13.2.3 — 13.2.6 при $l_R = b$. При определении приведенной расчетной длины $l_{пр}$ по табл. 13.2 вместо l следует принимать общую длину L обечайки.

13.2.10. Расчет обечаек с кольцами жесткости, нагруженными совместно действующими нагрузками $p_н$, P_1, Q и M

Расчет следует производить аналогично расчету по п. 13.2.7, при этом допускаемое наружное давление определяется по условию (13.37).

Формулы расчета, приведенные в пп. 13.2.2; 13.2.4 — 13.2.7 и 13.2.9, применимы при условии, что расчетные температуры не превышают значений, при которых возникает ползучесть материалов, т.е. при таких температурах, когда допускаемое напряжение определяется только по пределу текучести или временному сопротивлению (пределу прочности). Если нет точных данных, то формулы допускается применять при условии, что расчетная температура стенки обечайки из углеродистой стали не превышает 380°С, из низколегированной— 420°С и из аустенитной — 525°С.

Для обечаек, подкрепленных кольцами жесткости, дополнительно к указанным выше условиям применимости формул расчета должно также выполняться следующее ограничение:

$$p_{пр} \leqslant 1{,}35 \frac{[\sigma]_{пр}}{[\sigma]} p_R. \qquad (13.47)$$

Приведенные выше зависимости применимы для сталей, алюминиевых и медных сплавов при $(s - c)/D \leq 0{,}1$; для титановых сплавов — при $(s - c)/D \leq 0{,}25$.

Для расчета аппаратов, выполненных из композиционных и полимерных материалов, также применимы вышеприведенные зависимости при соответствующих допускаемых напряжениях.

Расчет на прочность и устойчивость элементов аппаратов, выполненных из двухслойных сталей, проводят по ГОСТ 14249—89 (РД 26-11-05—85) при этом допускаемое напряжение определяется по формуле:

$$[\sigma] = \frac{[\sigma]_1(s_1 - c_1) + [\sigma]_2(s_2 - c_2)}{(s_1 - c_1) + (s_2 - c_2)}, \qquad (13.48)$$

где $[\sigma]_1$, $[\sigma]_2$ — допускаемые напряжения соответственно основного и плакирующего слоев при рас-

четной температуре, определяемые в соответствии с ГОСТ 14249—89; c_1 — прибавка для компенсации коррозии и эрозии; s_1, s_2 — толщины основного и плакирующего слоев.

При определении допускаемого напряжения по формуле (13.48) толщина коррозионностойкого слоя принимается минимальной при $[\sigma]_1 < [\sigma]_2$. Если $[\sigma]_1 > [\sigma]_2$, то при определении допускаемого напряжения по формуле (13.48) толщина коррозионностойкого слоя принимается максимальной.

При изготовлении сосудов и аппаратов из двухслойной стали с плакирующим слоем из аустенитной стали типа 12Х18Н10Т в расчете на устойчивость учитывается только основной слой. При изготовлении сосудов и аппаратов из двухслойной стали с плакирующим слоем из ферритной стали типа 08Х13 в расчете учитывается суммарная толщина листа.

В случае, когда в расчете учитывается толщина только основного слоя, при определении исполнительной толщины стенки в качестве прибавки на коррозию принимается толщина плакирующего слоя.

Примеры

13.2.1. Определить толщину стенки цилиндрической обечайки вулканизационного котла (рис.13.9, а).

Исходные данные. Длина обечайки L = =3000 мм; внутренний диаметр D = 1500 мм; рабочее давление p = 1,25 МПа; температура среды в котле t_c = 170°С; материал котла — листовой прокат из стали Ст3пс (ГОСТ 380—94); скорость коррозии $П$ = = 0,1 мм/год; срок эксплуатации $\tau_в$ = 15 лет. Массу воды в котле при гидравлическом испытании условно не учитывать.

Решение. Расчетная температура стенки котла $t = t_c$ = 170°С, так как температура среды положительна.

Допускаемое напряжение:

в рабочем состоянии $[\sigma] = \eta\sigma^* = 1 \cdot 144 =$ 144 МПа, где σ^* = 144 МПа — для стали Ст3пс при температуре t = 170°С (см. табл.12.4); η = 1, так как аппарат изготавливается из листового проката;

при гидравлических испытаниях $[\sigma]_и = \sigma_{т20}/1,1$ = = 250/1,1 = 227 МПа, где $\sigma_{т20}$ = 250 МПа — для стали Ст3пс при +20°С.

Расчетное значение внутреннего избыточного давления $p_R = p$ = 1,25 МПа, так как в котле рабочая среда — газовая (рис.13.9, *б*).

Пробное давление при гидравлическом испытании (см. табл. 12.2):

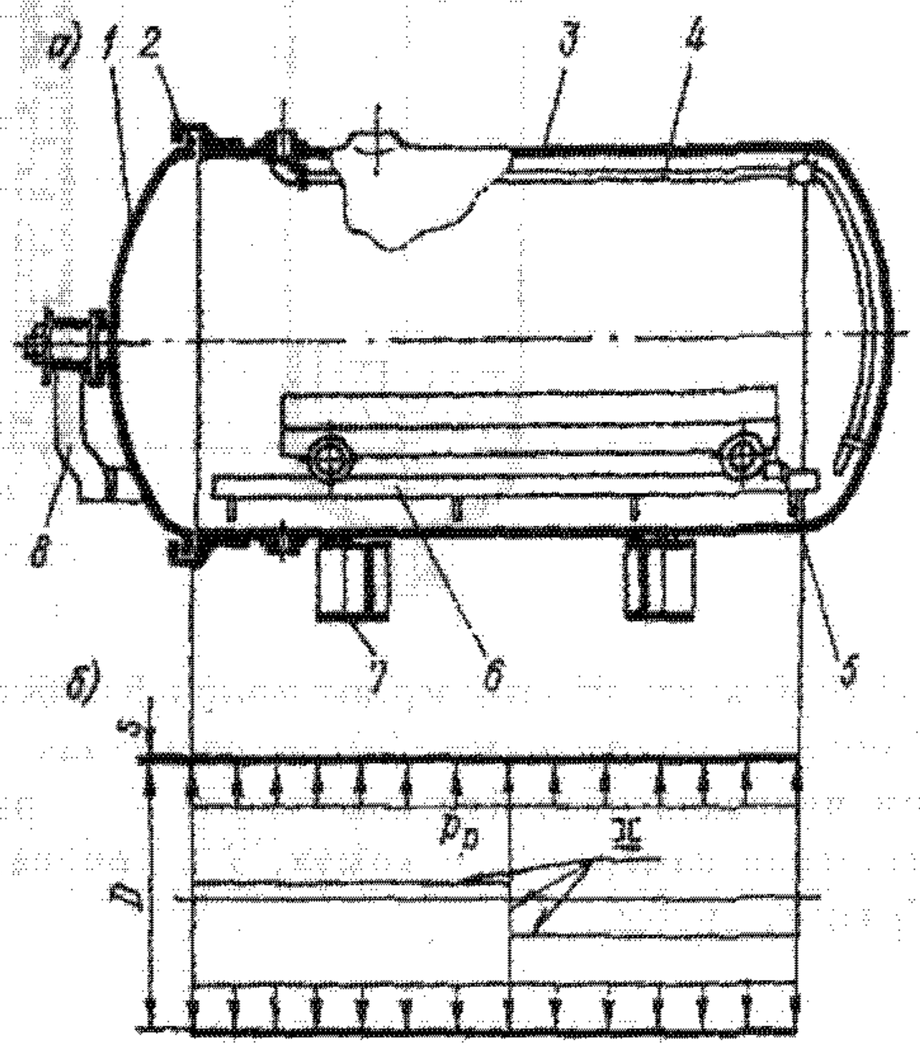


Рис. 13.9. Вулканизационный котел (*а*) и расчетная схема его цилиндрической обечайки (*б*): *1* — крышка; *2* — байонетное соединение (затвор); *3* — корпус; *4* — парораспределительный коллектор; *5* — тележка; *6* — рельсовый путь; *7* — опора; *8* — кронштейн

$$p_п = \max\begin{Bmatrix} 1,25p[\sigma]_{b0}/[\sigma] = 1,25 \cdot 1,25 \cdot 154/144 = 1,67 \text{ МПа} \\ p + 0,3 = 1,25 + 0,3 = 1,55 \text{ МПа} \end{Bmatrix} = 1,67 \text{ МПа},$$

где $[\sigma]_{20} = \eta\sigma^*_{20}$ = 154 МПа — при температуре +20°С.

Коэффициент прочности продольных сварных швов обечайки φ = 1, так как принято, что швы с двухсторонним сплошным проваром выполняются автоматической сваркой (см. табл. 12.22).

Прибавки к расчетной толщине стенки: для компенсации коррозии $c_к = П\tau_в = 0,1 \cdot 15 = 1,5$ мм, эрозии $c_э$ = = 0. Принимая $c_2 = 0$ и $c_3 = 0$, получим $c = c_1 = c_к = 1,5$ мм.

Расчетная и исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки:

$$s_R = \max\begin{Bmatrix} pD/(2\varphi[\sigma] - p) = 1,25 \cdot 1,5/(2 \cdot 1 \cdot 144 - 1,25) = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ p_и D/(2\varphi[\sigma]_и - p_и) = 1,67 \cdot 1,5/(2 \cdot 1 \cdot 227 - 1,67) = 5,5 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{Bmatrix} = 6,5 \text{ мм};$$

$$s = s_R + c + c_0 = 6,5 + 1,5 + 1 = 9 \text{ мм},$$

где c_0 = 1 мм из условия округления толщины стенки до ближайшей большей стандартной толщины (ГОСТ 19903—74).

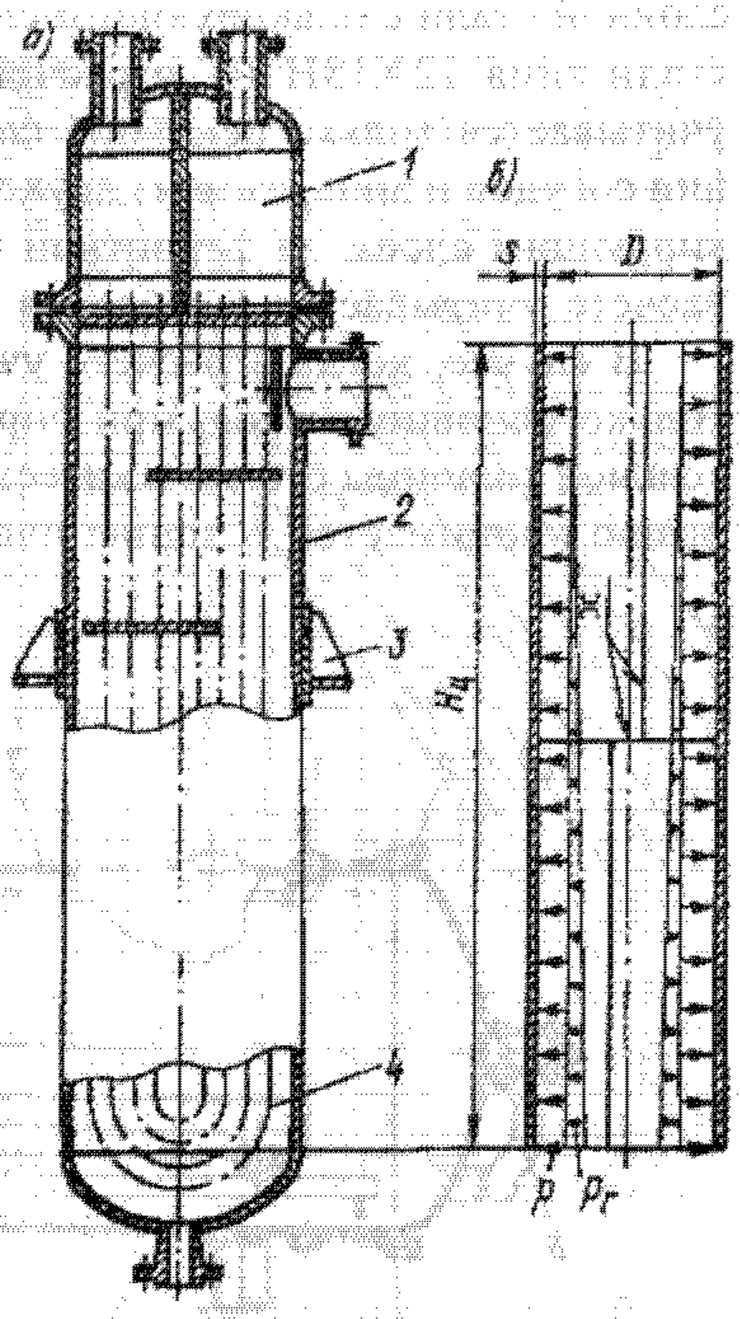


Рис. 13.10. Кожухотрубчатый вертикальный теплообмен- ник с U-образными трубами (*а*) и расчетная схема цилиндрической обечайки кожуха (*б*): *1* — распределительная камера; *2* — кожух; *3* — опора; *4* — U-образные трубы

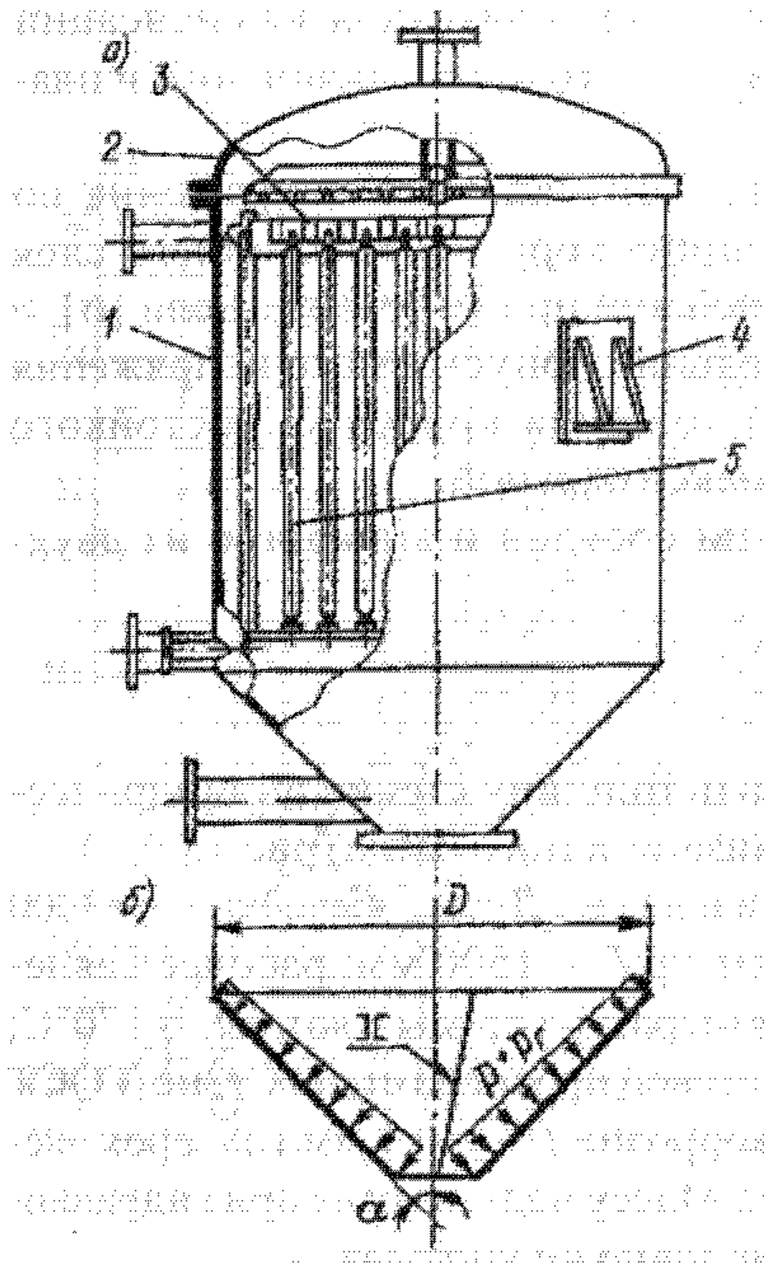


Рис.13.11. Листовой вертикальный фильтр (*а*) и расчетная схема его конического днища (*б*): *1* — корпус; *2* — крышка; *3* — коллектор; *4* — опора; *5* — фильтрующий элемент

Так как $(s - c)/D = (9 - 1{,}5)\ 10^{-3}/\ 1{,}5 = 0{,}005 < 0{,}1$, условие применимости формул выполняется. Таким образом, при толщине стенки $s = 9$ мм обеспечивается прочность цилиндрической обечайки котла как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

13.2.2. Определить допускаемое внутреннее давление для цилиндрической обечайки кожуха вертикального кожухотрубчатого теплообменника с U-образными трубами (рис. 13.10, *а*).

Исходные данные. Высота обечайки $H_ц = 9500$ мм, внутренний диаметр $D = 800$ мм, толщина стенки $s = 8$ мм. В межтрубном пространстве находится дитолилметан плотностью $\rho_c = 1200$ кг/м^3 с температурой $t_c = 250$°С при давлении $p = 1{,}6$ МПа. Материал кожуха — листовой прокат из стали 16 ГС. Прибавка к расчетной толщине стенки $c = 1{,}5$ мм. Швы — сварные с двусторонним сплошным проваром выполнены вручную.

Решение. Расчетная температура стенки $t = t_c = 250$°С.

Допускаемое напряжение:

в рабочем состоянии $[\sigma] = \eta\sigma^* = 1 \cdot 165 = 165$ МПа, где $\sigma^* = 165$ МПа — для стали 16ГС при температуре +250°С; $\eta = 1$ — для листового проката;

при гидравлических испытаниях $[\sigma]_и = \sigma_{т20}/1{,}1 = 300/\ 1{,}1 = 272{,}5$ МПа, где $\sigma_{т20} = 300$ МПа — предел текучести стали 16ГС при +20°С.

Расчетное давление (рис. 13.9, *б*) — $p_R = p + p_г = 1{,}6 + 0{,}11 = 1{,}71$ МПа, где $p_г = g\rho_c H_ц = 9{,}81 \cdot 1200 \cdot 9{,}5 = = 0{,}11$ МПа, что больше 5% p = 0,05 · 1,6 = 0,08 МПа.

Пробное давление при гидравлическом испытании ($p_г > 0{,}5$ МПа и $H_ц > 8$ м):

$$p_и = \max\begin{Bmatrix} 1{,}25p[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1{,}25 \cdot 1{,}71 \cdot 196/165 = 1{,}67 \text{ МПа} \\ p_R + 0{,}3 = 1{,}71 + 0{,}3 = 2{,}01 \text{ МПа} \end{Bmatrix} = 2{,}5 \text{ МПа}$$

где $[\sigma]_{20} = \sigma^*_{20} = 196$ МПа — допускаемое напряжение стали 16ГС при температуре +20°С ($\eta = 1$).

Коэффициент прочности сварных соединений обечайки для заданного типа швов $\varphi = 0{,}9$.

Допускаемое внутреннее давление:
в рабочем состоянии

$$[p]=2\varphi[\sigma]\cdot(s-c)/(D+s-c)=2\cdot0{,}9\cdot165(8-1{,}5)\cdot10^{-3}/[0{,}8+(8-1{,}5)\cdot10^{-3}]=2{,}4\ \text{МПа},$$

при гидравлических испытаниях

$$[p]_и = 2\varphi\ [\sigma]_и\ (s-c)/(D+s-c) = 2\cdot0{,}93\cdot254{,}5\times$$
$$\times\ (8-1{,}5)\ 10^{-3}/[0{,}8+(8-1{,}5)\ 10^{-3}] = 3{,}81\ \text{МПа}.$$

Условие применимости формул выполняется, так как $(s-c)/D = (8-1{,}5)\times10^{-3}/0{,}8 = 0{,}008 < 0{,}1$. Таким образом, $p_к < [p]$ (1,71 МПа < 2,4 МПа) и $p_и < [p]$ и (2,5 МПа < 3,81 МПа). Тем самым обеспечивается прочность обечайки теплообменника как в рабочем состоянии, так и при гидравлических испытаниях.

13.2.3. Определить толщину стенки конического днища листового фильтра (рис. 13.11, *а*).

Исходные данные. Внутреннее давление $p = 0{,}4$ МПа, высота фильтра $H_п = 3500$ мм, внутренний диаметр $D = 1600$ мм, угол при вершине конуса $2\alpha = 90°$, расчетная температура $t = 60°C$, материал днища — сталь 10. Допускаемые напряжения для рабочего состояния $[\sigma] = 127$ МПа, для гидравлических испытаний $[\sigma]_и = 147$ МПа, плотность обрабатываемой среды $\rho_c = 1300$ кг/м³, прибавка к расчетной толщине стенки $c = 2{,}54$ мм, коэффициент прочности сварного шва $\varphi = 0{,}9$.

Решение. Расчетное давление $p_R = p + p_г = 0{,}4 + 0{,}045 = 0{,}445$ МПа, где $p_г = g\rho_c H_п = 9{,}8\cdot1300\cdot3{,}5 = = 0{,}045$ МПа, что больше 5% $p = 0{,}05\cdot0{,}4 = 0{,}02$ МПа.

Пробное давление при гидравлическом испытании ($p_R < 0{,}5$ МПа) $p_и = 1{,}5p\times[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1{,}5\cdot0{,}4\cdot130//127 = 0{,}62$ МПа, что больше 0,2 МПа, где $[\sigma]_{20} = \sigma^*_{20} = 130$ МПа — для стали 10 при +20°С ($\eta = 1$).

Расчетная и исполнительная толщины днища соответственно равны (расчетные зависимости приведены в разделе 14.2.5).

$$s_{к.R} = \max\left\{\begin{array}{l} p_R D/[(2\varphi\ [\sigma] - p_R)\cos\alpha] = 0{,}445\cdot1{,}6/[(2\cdot0{,}9\cdot127 - \\ p_и D/[(2\varphi\ [\sigma]_и - p_и)\cos\alpha] = 0{,}62\cdot1{,}6/[(2\cdot0{,}9\cdot147 - \end{array}\right.$$
$$\left.\begin{array}{l} -0{,}445)\cos45°] = 4{,}41\cdot10^{-3}\ \text{м} \\ -0{,}62)\cos45°] = 4{,}84\cdot10^{-3}\ \text{м} \end{array}\right\} = 4{,}84\ \text{мм};$$

$$s_и = s_{к.R} + c + c_0 = 4{,}84 + 2{,}54 + 0{,}62 = 8\ \text{мм}.$$

Так как $(s_к - c)/D = (8-2{,}54)\ 10^{-3}/1{,}6 = 3{,}44\cdot10^{-3}$; $0{,}1/\cos\alpha = 0{,}1/\cos45° = 0{,}14$ и $3{,}44\cdot10^{-3} < 0{,}14$, условие применимости формул выполняется.

13.2.4. Рассчитать толщину стенки резервуара шарового типа (рис. 13.12).

Исходные данные. Внутренний диаметр $D_c = 10500$ мм, рабочее давление среды $p = 0{,}25$ МПа, плотность среды $\rho_c = 1100$ кг/м³, расчетная температура $t = 40°C$. Материал резервуара — двухслойная сталь (Ст3сп+10ХГСН1Д), скорость коррозии плакирующего слоя из стали 10ХГСН1Д $П = 0{,}053$ мм/год, срок службы $\tau_в =$ 20 лет, допускаемые напряжения для стали Ст3сп: $[\sigma] = 152{,}5$ МПа, $[\sigma]_{20} = 154$ МПа, $[\sigma]_и = 227$ МПа; коэффициент прочности сварных швов $\varphi = 0{,}9$.

Решение. Расчетное давление $p_R = p + p_г = 0{,}25 + 0{,}11 = 0{,}36$ МПа, так как $p_г = g\rho_c H_ж = 9{,}81\cdot1100\times\times10{,}5 = 0{,}11$ МПа, что больше 5% $p = 0{,}05\cdot0{,}25 = 0{,}0125$ МПа, где $H_ж = D_c = 10{,}5$ м — высота заполнения жидкостью шарового резервуара.

Пробное давление при гидравлическом испытании ($p_p < 0{,}5$ МПа и $H_ж > 8$ м):

$$p_и = 1{,}5\,p_R[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1{,}5\cdot0{,}36\cdot154/152{,}9 = 0{,}544\ \text{МПа},$$

что больше 0,36 МПа.

Расчетная и исполнительная толщины стенки основного конструкционного материала (сталь Ст3сп) без учета прибавки c, так как он защищен от воздействия среды плакирующим слоем, соответственно равны:

$$s_{c.R} = \max\left\{\begin{array}{l} p_R D_c/(4\varphi[\sigma] - p_R) = 0{,}36\cdot10{,}5/(4\cdot0{,}9\cdot152{,}9 - 0{,}36) = 6{,}9\cdot10^{-3}\ \text{м} \\ p_и D_c/(4\varphi[\sigma]_и - p_и) = 0{,}544\cdot10{,}5/(4\cdot0{,}9\cdot227 - 0{,}544) = 7{,}0\cdot10^{-3}\ \text{м} \end{array}\right\} = 7{,}0\ \text{мм};$$

$$s_C = s_{C.R} + c_0 = 7{,}0 + 1 = 8 \text{ мм},$$

где $c_0 = 1$ мм из условия округления толщины до ближайшего большего стандартного значения (ГОСТ 10885—85).

Так как $(s_c - c)/D_c = (8 - 0)\,10^{-3}/10{,}5 = 0{,}00076 < 0{,}1$, условие применимости формул выполняется.

Толщина стенки плакирующего слоя из стали 10ХГСН1Д

$$s_{пл} = \Pi\tau_u + c_a = 0{,}053 \cdot 20 + 0{,}94 = 2 \text{ мм},$$

где $c'_0 = 0{,}94$ мм из условия округления толщины слоя до ближайшего большего стандартного значения (ГОСТ 10885—85).

Исполнительная толщина стенки шарового резервуара из двухслойной стали $s = s_C + s_{пл} = 8 + 2 = 10$ мм.

13.2.5. Рассчитать толщину стенки цилиндрической обечайки секции испарителя, работающего под атмосферным давлением (рис. 13.13, *а*).

Исходные данные. Внутренний диаметр $D = 220$ мм, высота секции испарительной камеры $h_и = 920$ мм, материал корпуса — сталь 20 (листовой прокат), расчетная температура стенки $t = 150°C$, прибавка к расчетной толщине стенки $c = 1$ мм, давление в рубашке (расчетное) $p_{P.R} = 0{,}5$ МПа.

Решение. Расчетное наружное давление $p_{н.р} = p_{P.R} = 0{,}5$ МПа. Расчетная длина цилиндрической обечайки секции $l_р \approx h_и$, так как практически вся она находится под рубашкой ($l_р = 920$ мм).

Модуль упругости стали 20 при $t = +20°C$ и $t = 150°C$ соответственно $E_{20} = 1{,}99 \cdot 10^5$ МПа и $E = 1{,}86 \cdot 10^5$ МПа.

Допускаемое напряжение:

в рабочем состоянии $[\sigma] = \eta\sigma^* = 1 \cdot 139$ МПа;

при гидравлическом испытании $[\sigma]_и = \sigma_{т20}/1{,}1 = 220/1{,}1 = 200$ МПа, где $\eta = 1$, так как материал корпуса — листовой прокат; $\sigma^* = 139$ МПа — нормативно допускаемое напряжение для стали 20 при $t = 150°C$; $\sigma_{т20} = 220$ МПа — предел текучести стали 20 при $+20°C$.

Коэффициент запаса устойчивости: в рабочем состоянии $n_в = 2{,}4$; при испытании $n_и = 1{,}8$.

Расчетная и исполнительная толщина стенки секции испарительной камеры в первом приближении соответственно:

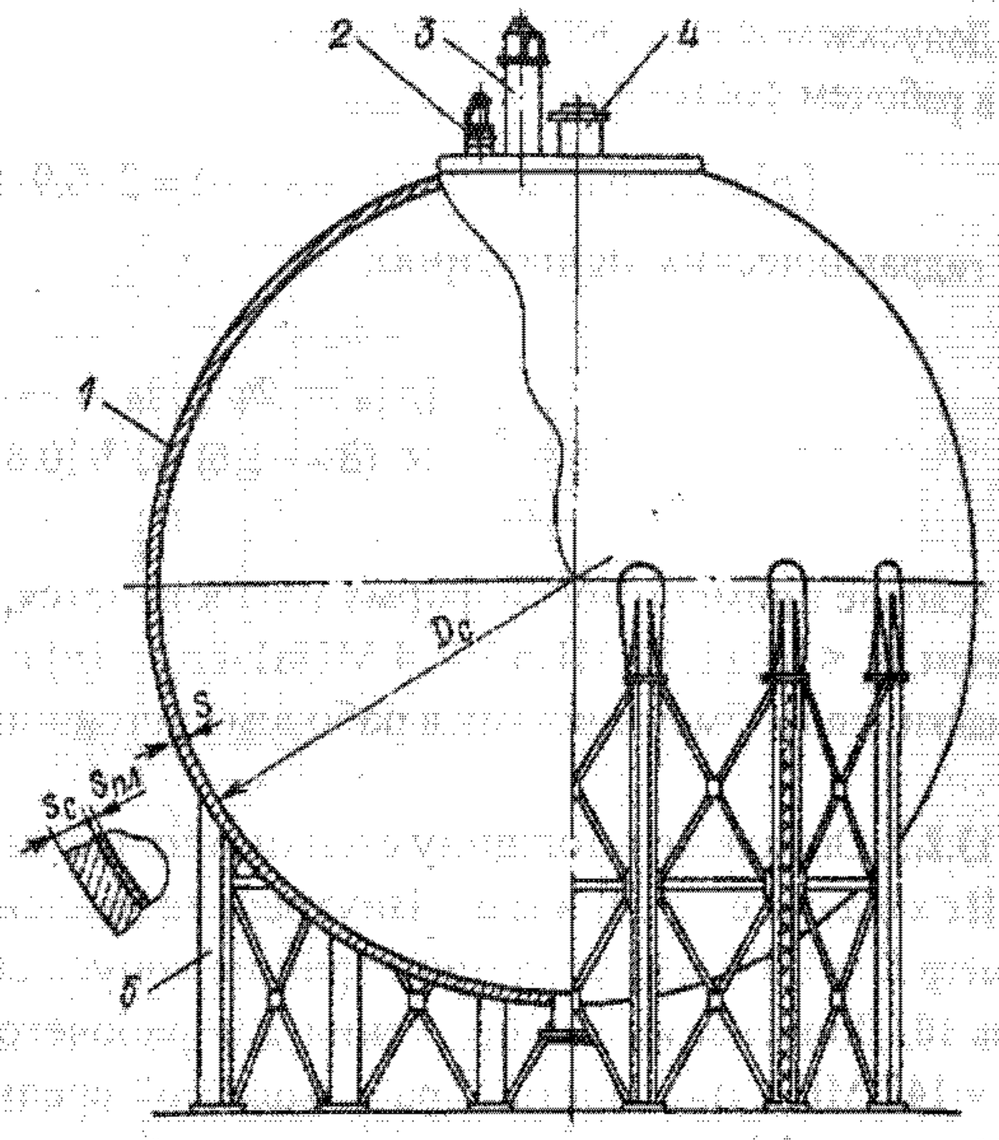


Рис. 13.12. Шаровой резервуар: *1* — корпус; *2* — предохранительный клапан; *3* — указатель уровня; *4* — шлюзовая камера; *5* — опора

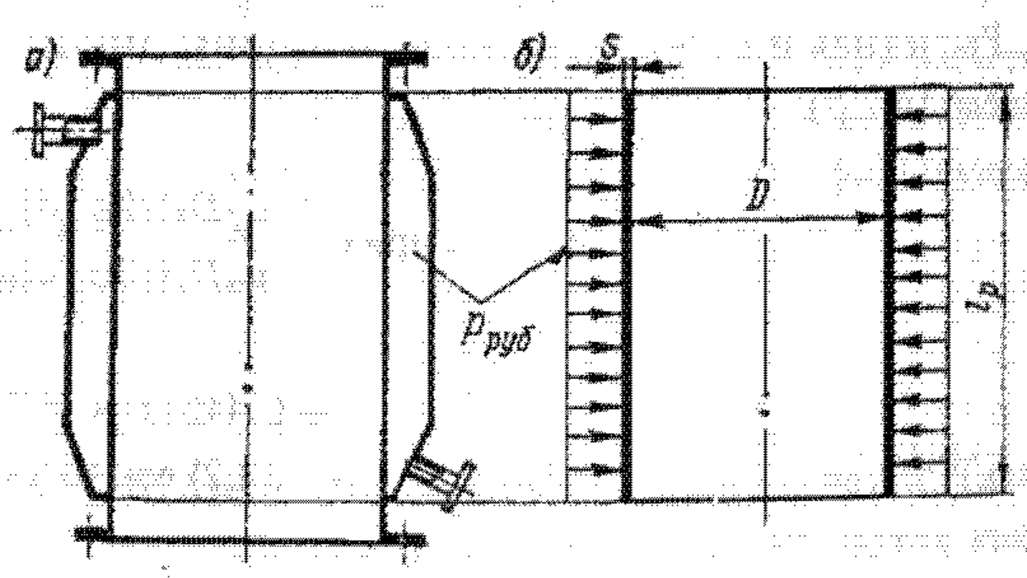


Рис. 13.13. Секция испарителя (*а*) и расчетная схема (*б*) ее цилиндрической обечайки, нагруженной наружным давлением

$$s_R = \max \left\{ \begin{array}{l} K_2 D \cdot 10^{-2} = 1{,}2 \cdot 0{,}22 \cdot 10^{-2} = 2{,}64 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ 1{,}1 p_{н.R} D/(2[\sigma]) = 1{,}1 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}22/(2 \cdot 139) = 0{,}44 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{array} \right\} = 2{,}64 \text{ мм};$$

$$s = s_R + c = 2{,}64 + 1 = 4 \text{ мм},$$

где $K_2 = 1{,}2$ — по номограмме (см. рис. 13.4) при:

$$K_1 = \frac{n_и p_{н.R}}{2{,}4 \cdot 10^{-6} E} = \frac{2{,}4 \cdot 0{,}5}{2{,}4 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}86 \cdot 10^5} = 2{,}7; \quad K_3 = \frac{l_р}{D} = \frac{920}{220} \approx 4{,}2 \text{ и}$$

$$\frac{10^3 [\sigma]}{E} = \frac{10^3 \cdot 139}{1{,}86 \cdot 10^5} = 0{,}75.$$

Допускаемое давление из условия прочности согласно формуле (13.7):
в рабочем состоянии

$$[p_н]_\sigma = 2\,[\sigma]\,(s-c)/(D+s-c) = 2\cdot 139\,(4-1)\,10^{-3}/[(220+4-1)\,10^{-3}] = 3{,}74\ \text{МПа};$$

при испытании

$$[p_н]_{\sigma н} = 2\,[\sigma]_н\,(s-c)/(D+s-c) = 2\cdot 200\,(4-1)\,10^{-3}/[(220+4-1)\,10^{-3}] = 5{,}38\ \text{МПа}.$$

Допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости при $l_р < l_0$ {$l_р = 920$ мм; $l_0 = 8{,}15D = \sqrt{D/[100(s-c)]} = 8{,}15\cdot 920\sqrt{920/[100(4-1)]} = 1535$ мм} в соответствии с формулой (13.40):
в рабочем состоянии

$$[p_н]_E = \frac{20{,}8\cdot 10^{-6}E}{n_и}\cdot\frac{D}{l_р}\left[\frac{100(s-c)}{D}\right]^2\sqrt{\frac{100(s-c)}{D}} =$$

$$= \frac{20{,}8\cdot 10^{-6}\cdot 1{,}86\cdot 10^5}{2{,}4}\,\frac{0{,}22}{0{,}92}\left[\frac{100(4-1)\cdot 10^{-3}}{0{,}22}\right]^2\sqrt{\frac{100(4-1)\cdot 10^{-3}}{0{,}22}} = 0{,}83\ \text{МПа};$$

при испытании

$$[p_н]_{Eи} = \frac{20{,}8\cdot 10^{-6}E_{20}}{n_и}\cdot\frac{D}{l_р}\left[\frac{100(s-c)}{D}\right]^2\sqrt{\frac{100(s-c)}{D}} =$$

$$= \frac{20{,}8\cdot 10^{-6}\cdot 1{,}99\cdot 10^5}{1{,}8}\,\frac{0{,}22}{0{,}92}\left[\frac{100(4-1)\cdot 10^{-3}}{0{,}22}\right]^2\sqrt{\frac{100(4-1)\cdot 10^{-3}}{0{,}22}} = 1{,}19\ \text{МПа}.$$

Допускаемое наружное давление с учетом обоих условий:
в рабочем состоянии

$$[p_н] = \frac{[p_н]_\sigma}{\sqrt{1+([p_н]_\sigma/[p_н]_E)^2}} = \frac{3{,}74}{\sqrt{1+(3{,}74/0{,}83)^2}} = 0{,}81\ \text{МПа};$$

при испытании

$$[p_н]_и = \frac{[p_н]_{\sigma и}}{\sqrt{1+([p_н]_{\sigma и}/[p_н]_{Eи})^2}} = \frac{5{,}38}{\sqrt{1+(5{,}38/1{,}19)^2}} = 1{,}16\ \text{МПа}.$$

Пробное давление при гидравлических испытаниях

$$p_и = 1{,}25p_{к.р}\,[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1{,}25\cdot 0{,}5\cdot 147/139 = 0{,}661\ \text{МПа},$$

где $[\sigma]_{20} = 147$ МПа — для стали 20 при +20°С.

Условие устойчивости цилиндрической обечайки секции испарителя толщиной $s = 4$ мм выполняется для рабочего состояния: $p_{н.к} < [p_н]$ (0,5 МПа < 0,81 МПа) и при испытании: $p_и < [p_н]_и$ (0,661 МПа < 1,16 МПа).

Таким образом, $s = 4$ мм следует считать исполнительной толщиной стенки.

13.2.6. Выполнить для рабочего состояния аппарата (рис.13.14, а), работающего под вакуумом, проверку на устойчивость конического днища.

Исходные данные. Внутренний диаметр аппарата $D = 1400$ мм, внутренний диаметр нижнего штуцера $D_0 = 100$ мм, угол при вершине конуса $2\alpha = 90°$, толщина стенки $s_к = 6$ мм, материал днища — листовой прокат из стали Ст3сп (ГОСТ 380—94), температура среды $t_с = 20$°С, прибавка к расчетной толщине стенки $c = 2$ мм, остаточное давление в аппарате $p_{ост} = 0{,}01$ МПа.

Решение. Расчетное наружное давление

$$p_{н.к} = p_а - p_{ост} = 0{,}1 - 0{,}01 = 0{,}09\ \text{МПа},$$

где $p_а$ — атмосферное давление ($p_а$ = 0,1 МПа).

Расчетная температура стенки $t = t_с = 20°C$.

Модуль упругости для стали Ст3сп при $t = 20°C$ — $E = 1{,}99 \cdot 10^5$ МПа.

Допускаемое напряжение для рабочего состояния $[\sigma] = \eta\sigma^* 1 \cdot 154 = 154$ МПа, где $\eta = 1$ — для листового проката, $\sigma^* = 154$ МПа — нормативное допускаемое напряжение стали Ст3сп при $t = 20°C$ (см. табл.12.4).

Коэффициент запаса устойчивости в рабочем состоянии $n_у = 2{,}4$.

Эффективная длина конической обечайки (рис.13.14, *б*)

$$l_E = (D - D_0)/(2 \sin \alpha) =$$

$$= (1400 - 100)/(2 \sin 45°) = 919 \text{ мм}.$$

Эффективный диаметр конической обечайки

$$D_E = \max \left\{ \begin{array}{l} (D + D_0)/(2 \cos \alpha) = (1400 + 100)/(2 \cos 45°) = 1061 \text{ мм} \\ \dfrac{D}{\cos \alpha} - 0{,}31 (D + D_0) \sqrt{\dfrac{D + D_0}{100 (s_к - c)}} \operatorname{tg} \alpha = \dfrac{1400}{\cos 45°} - \\ - 0{,}31 (1400 + 100) \sqrt{\dfrac{1400 + 100}{100 (6 - 2)}} \operatorname{tg} 45° = 1079 \text{ мм} \end{array} \right\} = 1079 \text{ мм}.$$

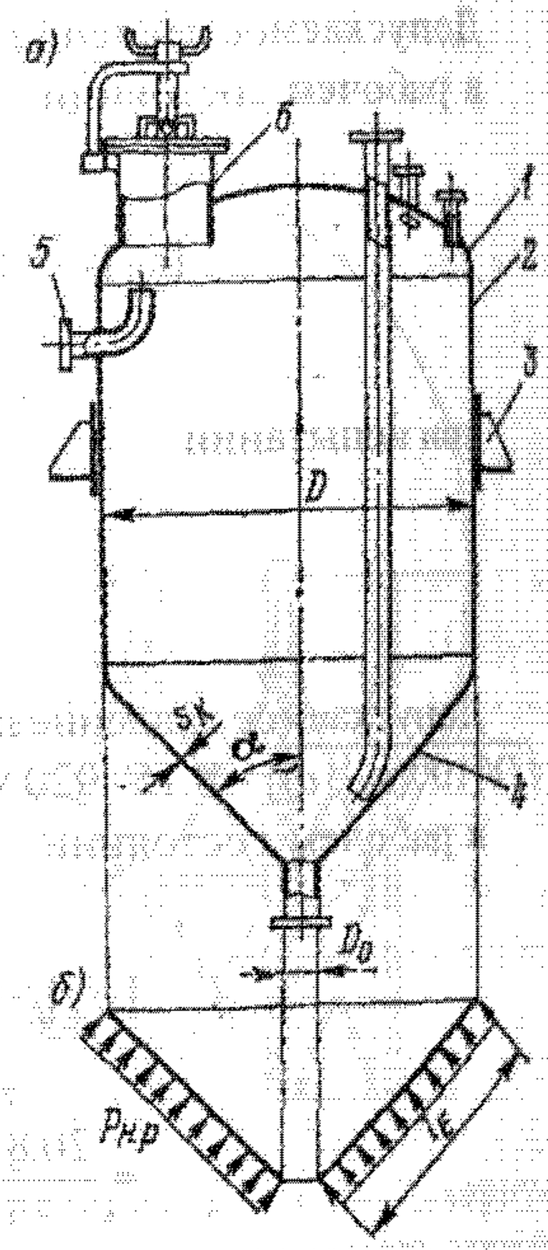


Рис. 13.14. Аппарат с коническим днищем (а) и расчетная схема (б) днища, нагруженного наружным давлением: 1 — крышка; 2 — обечайка; 3 — опора; 4 — днище; 5 — штуцер для перелива; 6 — люк-лаз

Допускаемое наружное давление:
из условия прочности

$$[p_н]_\sigma = \frac{2[\sigma](s_к - c)}{D/\cos\alpha + (s_к - c)} = \frac{2 \cdot 154(6-2) \cdot 10^{-3}}{1{,}4/\cos 45° + (6-2) \cdot 10^{-3}} = 0{,}62 \text{ МПа};$$

из условия устойчивости в пределах упругости при

$$l_E < 8{,}15 D_E \sqrt{D_E /[100(s_к - c)]} \qquad (l_E = 919 \text{ мм});$$

$$8{,}15 D_E \sqrt{D_E /[100(s_к - c)]} = 8{,}15 \cdot 1079 \sqrt{1079/[100(6-2)]} = 14\ 443 \text{ мм};$$

$$[p_н]_E = \frac{20{,}8 \cdot 10^{-6} E}{n_н} \frac{D_E}{l_E} \left[\frac{100(s_к - c)}{D_E}\right]^2 \sqrt{\frac{100(s_к - c)}{D_E}} =$$

$$= \frac{20{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}99 \cdot 10^5}{2{,}4} \frac{1{,}079}{0{,}919} \left[\frac{100(6-2) \cdot 10^{-3}}{1{,}079}\right]^2 \sqrt{\frac{100(6-2) \cdot 10^{-3}}{1{,}079}} = 0{,}17 \text{ МПа}.$$

Допускаемое наружное давление с учетом обоих условий

$$[p_н] = \frac{[p_н]_\sigma}{\sqrt{1 + ([p_н]_\sigma / [p_н]_E)^2}} = \frac{0{,}62}{\sqrt{1 + (0{,}62/0{,}17)^2}} = 0{,}164 \text{ МПа}.$$

Условие устойчивости для рабочего состояния выполняется: $p_{н.р} < [p_н]$ (0,09 МПа < 0,164 МПа).

13.2.7. Проверить на устойчивость в рабочем состоянии цилиндрическую оболочку горизонтального аппарата (рис. 13.15, а), работающего под вакуумом и расположенного на двух опорах.

Исходные данные. Объем аппарата $V = 6{,}3$ м^3, внутренний диаметр $D = 1600$ мм, длина цилиндрической обечайки $l = 2500$ мм, толщина $s = 10$ мм, расстояние между опорами $L_{оп} = 1600$ мм, коэффициент трения в опорах $f = 0{,}4$, масса аппарата $m_а = 1670$ кг. Материал — сталь 12Х18Н10Т (ГОСТ 5632—72), прибавка к расчетной толщине $c = 2$ мм; допускаемое напряжение и модуль продольной упругости при рабочей температуре $[\sigma] = 152$ МПа, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, плотность обрабатываемой среды $\rho_с = 1117$ кг/м^3, остаточное давление $p_{ост} = 0{,}01$ МПа.

Решение. Расчетное давление (наружное) $p_{н.р} = p_а - p_{ост} = 0{,}1 - 0{,}01 = 0{,}09$ МПа, где $p_а$ — атмосферное давление ($p_а = 0{,}1$ МПа).

Расчетный изгибающий момент (максимальный) при $L_{оп} = 0{,}58\ l_р$ равен $M = 0{,}0215\ GL_п$, где G — сила

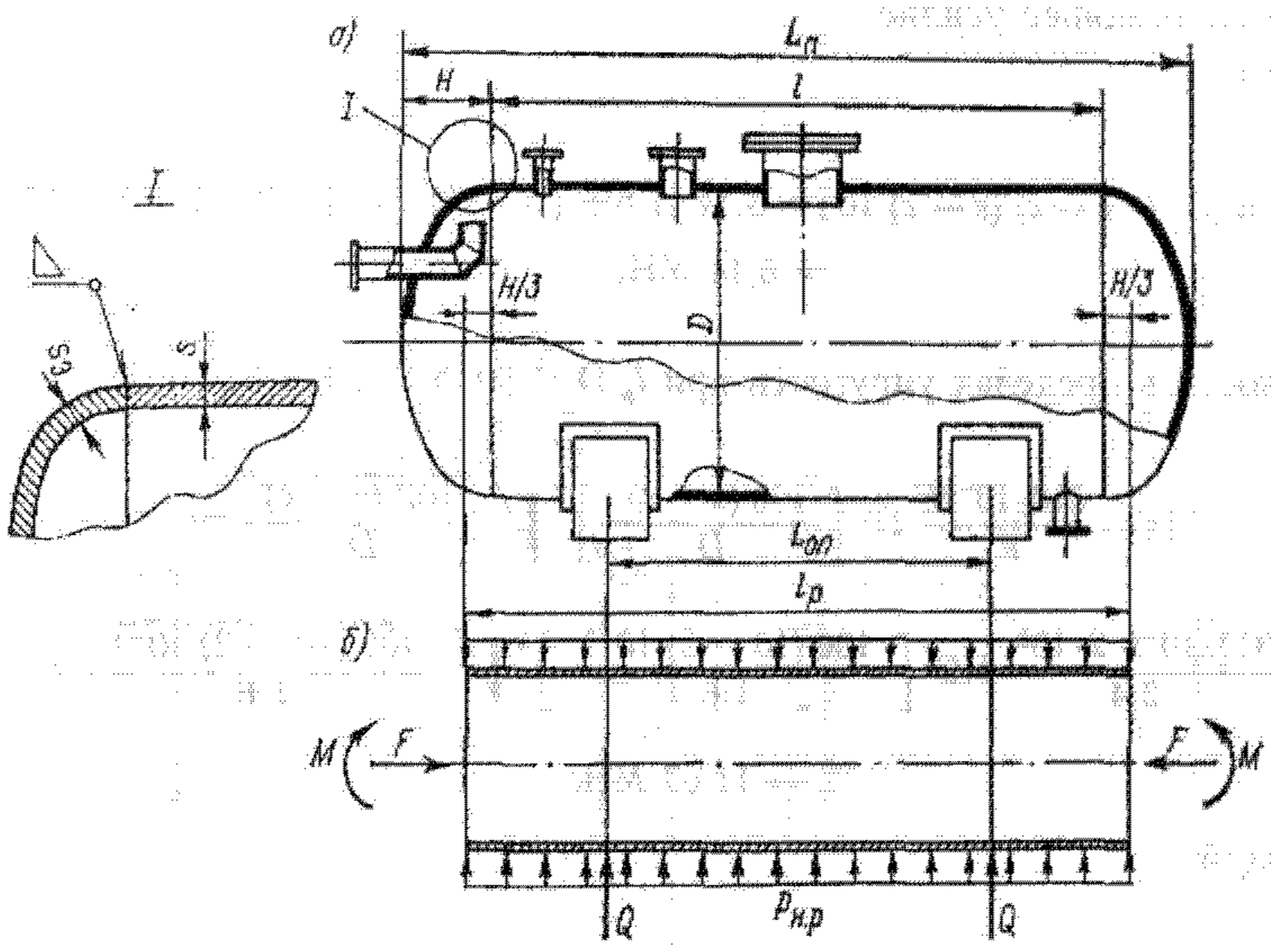


Рис. 13.15. Горизонтальный аппарат (*а*), работающий под вакуумом, и расчетная схема (*б*) его цилиндрической обечайки

тяжести аппарата, МН; $L_п$ — общая (полная) длина аппарата, м (см. рис. 13.15):

$$G = (m_а + V\rho_с)\,g = (1670 + 6{,}3 \cdot 1117)\,9{,}81 = 85 \cdot 10^3 \text{ Н} = 85 \cdot 10^{-3} \text{ МН};$$

$$L_п = l + 2H = l + 0{,}5D = 2{,}5 + 0{,}5 \cdot 1{,}6 = 3{,}3 \text{ м},$$

где $H = 0{,}25D$ — для стандартных эллиптических днищ.

Тогда $M = 0{,}0215 \cdot 85 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}3 = 6{,}03 \cdot 10^{-3}$ МН · м.

Расчетная сжимающая сила (максимальная)

$$F = fG/2 + p_{н.р}\,\pi D^2/4 = 0{,}4 \cdot 85 \cdot 10^{-3}/2 + 0{,}09 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}6^2/4 = 0{,}198 \text{ МН}.$$

Расчетное поперечное усилие (максимальное в местах расположения опор) $Q = G/2 = 85 \cdot 10^{-3}/2 = 42{,}5 \cdot 10^{-3}$ МН.

Расчетная длина обечайки

$$l_р = l + 2H/3 = l + 0{,}5D/3 = 2{,}5 + 0{,}5 \cdot 1{,}6/3 = 2{,}8 \text{ м}.$$

Допускаемое наружное давление:

из условия прочности

$$[p_н]_\sigma = 2\,[\sigma]\,(s - c)/(D + s - c) = 2 \cdot 152\,(10 - 2)\,10^{-3}/[1{,}6 + (10 - 2)\,10^{-3}] = 1{,}51 \text{ МПа};$$

из условия устойчивости в пределах упругости при $l_р < l_0$ ($l_р = 2{,}8$ м; $l_0 =$

$$= 8{,}15D\sqrt{D/[100(s-c)]} = 8{,}15 \cdot 1{,}6\sqrt{1{,}6/[100(10-2)\cdot 10^{-3}]} = 18{,}44 \text{ м};$$

$$[p_н]_E = \frac{20{,}8 \cdot 20^{-6} E}{n_у} \frac{D}{l_р}\left[\frac{100(s-c)}{D}\right]^2 \sqrt{\frac{100(s-c)}{D}} =$$

$$= \frac{20{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2{,}4} \frac{1{,}6}{2{,}8}\left[\frac{100(10-2)\cdot 10^{-3}}{1{,}6}\right]^2 \sqrt{\frac{100(10-2)\cdot 10^{-3}}{1{,}6}} = 0{,}173 \text{ МПа},$$

где $n_у$ — коэффициент запаса устойчивости в рабочих условиях, $n_у = 2{,}4$;

с учетом обоих условий

$$[p_н] = \frac{[p_н]_\sigma}{\sqrt{1 + ([p_н]_\sigma/[p_н]_E)^2}} = \frac{1{,}51}{\sqrt{1 + (1{,}51/0{,}173)^2}} = 0{,}172 \text{ МПа}.$$

Допускаемое осевое сжимающее усилие:
из условия прочности

$$[F]_\sigma = \pi (D + s - c)(s - c)[\sigma] = 3{,}14\,[1{,}6 + (10-2)\,10^{-3}]\,(10-2)\,10^{-3} \cdot 152 = 6{,}14 \text{ МН};$$

из условия устойчивости в пределах упругости при $l_p/D < 10$, т.е. 2,8/1,6 = 1,75,

$$[F]_E = \frac{310 \cdot 10^{-6} E}{n_u} D^2 \left[\frac{100(s-c)}{D}\right]^2 \sqrt{\frac{100(s-c)}{D}} =$$

$$= \frac{310 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2{,}4} 1{,}6^2 \left[\frac{100(10-2)\,10^{-3}}{1{,}6}\right]^2 \sqrt{\frac{100(10-2)\,10^{-3}}{1{,}6}} =$$

$$= 11{,}69 \text{ МН};$$

с учетом обоих условий

$$[F] = \frac{[F]_\sigma}{\sqrt{1 + ([F]_\sigma/[F]_E)^2}} = \frac{6{,}14}{\sqrt{1 + (6{,}14/11{,}69)^2}} = 5{,}44 \text{ МН}.$$

Допускаемый изгибающий момент:
из условия прочности согласно формуле (13.22)

$$[M]_\sigma = 0{,}25D\,[F]_\sigma = 0{,}25 \cdot 1{,}6 \cdot 6{,}14 = 2{,}45 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

из условий устойчивости в пределах упругости по формуле (13.23)

$$[M]_E = (D/3{,}5)\,[F]_E = (1{,}6/3{,}5)\,11{,}69 = 5{,}34 \text{ МН} \cdot \text{м};$$

с учетом обоих условий

$$[M] = \frac{[M]_\sigma}{\sqrt{1 + ([M]_\sigma/[M]_E)^2}} = \frac{2{,}45}{\sqrt{1 + (2{,}45/5{,}34)^2}} = 2{,}23 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Допускаемое поперечное усилие:
из условия прочности согласно формуле (13.26)

$$[Q]_\sigma = 0{,}25\pi D\,(s-c)\,[\sigma] = 0{,}25 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}6\,(10-2)\,10^{-3} \cdot 152 = 1{,}53 \text{ МН};$$

из условия устойчивости в пределах упругости по формуле (13.27)

$$[Q]_E = \frac{2{,}4E(s-c)^2}{n_u}\left[0{,}18 + 3{,}3\frac{D(s-c)}{l_p^2}\right] = \frac{2{,}4 \cdot 2 \cdot 10^5\,[(10-2)\,10^{-3}]^2}{2{,}4} \times$$

$$\times \left[0{,}18 + 3{,}3\frac{1{,}6\,(10-2)\,10^{-3}}{2{,}8^2}\right] = 2{,}37 \text{ МН};$$

с учетом обоих условий — по формуле (13.25)

$$[Q] = \frac{[Q]_\sigma}{\sqrt{1 + ([Q]_\sigma/[Q]_E)^2}} = \frac{1{,}53}{\sqrt{1 + (1{,}53/2{,}37)^2}} = 1{,}28 \text{ МН}.$$

Условие устойчивости обечайки корпуса выполняется:

$$p_{н.в}/[p_н] + F/[F] + M/[M] + (Q/[Q])^2 < 1;$$

$$0{,}09/0{,}172 + 0{,}198/5{,}44 + 6{,}03 \cdot 10^{-3}/2{,}23 + (42{,}5 \cdot 10^{-3}/1{,}28)^2 = 0{,}57 < 1.$$

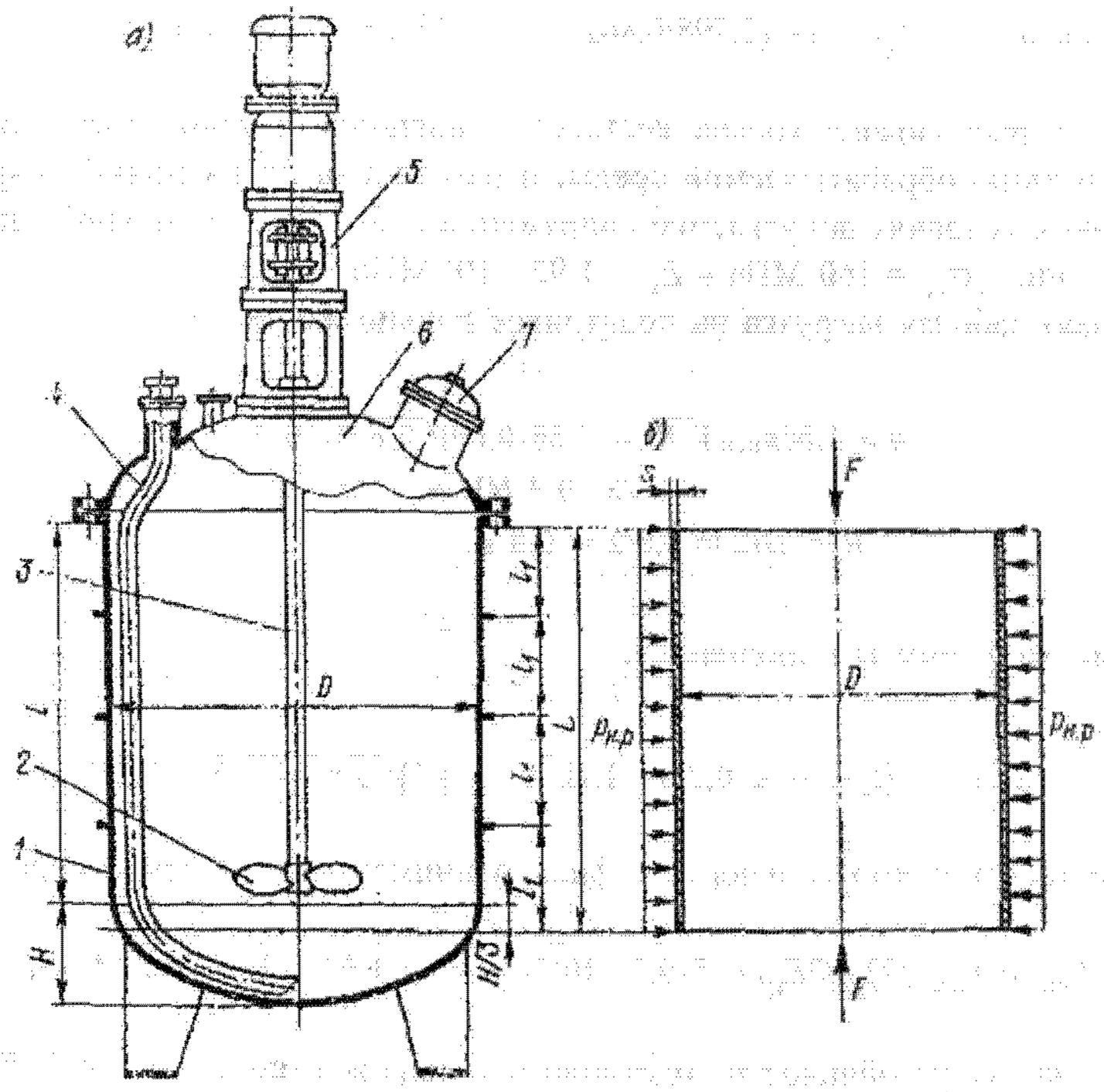


Рис. 13.16. Аппарат с эллиптическим днищем, крышкой и перемешивающим устройством (*а*), работающий под вакуумом, и расчетная схема (*б*) его цилиндрической обечайки:
1 — корпус; *2* — мешалка; *3* — вал; *4* — труба для передавливания; *5* — привод; *6* — крышка; *7* — люк-лаз

13.2.8. Рассчитать кольца жесткости, подкрепляющие цилиндрическую обечайку корпуса вертикального аппарата с перемешивающим устройством (рис. 13.16), работающего под вакуумом.

Исходные данные. Остаточное давление $p_{ост} = 0{,}01$ МПа, внутренний диаметр $D = 1600$ мм, длина обечайки $l = 2665$ мм, толщина стенки $s = 6$ мм, прибавка к расчетной толщине стенки $c = 2$ мм, материал — листовой прокат из стали 12Х18Н10Т, допускаемое напряжение и модуль продольной упругости при рабочей температуре $t = 100°C$: $[\sigma] = 152$ МПа, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, масса крышки с приводом $m = 1000$ кг.

Решение. Расчетное наружное давление $p_{н.к} = p_а - p_{ост} = 0{,}1 - 0{,}01 = 0{,}09$ МПа, где $p_а$ — атмосферное давление, $p_а = 0{,}1$ МПа.

Расчетная осевая сжимающая сила

$$F = mg + p_{н.р}\pi(D + 2s)^2/4 = 1000 \cdot 9{,}81 + 0{,}09 \cdot 3{,}14\,(1{,}6 + 2 \cdot 6 \cdot 10^{-3})^2/4 = \\ = 0{,}193 \text{ МН}.$$

Расчетная длина обечайки в целом (см. рис. 13.15, *б*)

$$L = l + H/3 = 2665 + 400/3 = 2798 \text{ мм} = 2{,}798 \text{ м},$$

где $H = 0{,}25D = 0{,}25 \cdot 1600 = 400$ мм — высота стандартного эллиптического днища аппарата диаметром $D = 1600$ мм.

Расчетная длина обечайки между кольцами жесткости l_R при равномерном их размещении может быть определена в первом приближении из формулы (13.8):

$$l_к < \frac{20{,}8 \cdot 10^{-6} E}{n_у p_{н.к}} D\left[\frac{100(s-c)}{D}\right]^2 \sqrt{\frac{100(s-c)}{D}} = \\ = \frac{20{,}8 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^5}{2{,}4 \cdot 0{,}09} 1{,}6\left[\frac{100(6-2) \cdot 10^{-3}}{1{,}6}\right]^2 \sqrt{\frac{100(6-2) \cdot 10^{-3}}{1{,}6}} = 0{,}86 \text{ м},$$

где $n_у$ — коэффициент запаса устойчивости обечайки в рабочем состоянии ($n_у = 2{,}4$).

Тогда количество колец $z_к > (L/l_R) - 1 = (2{,}798/0{,}86) - 1 = 2{,}25$, т.е. $z_к = 3$; отсюда $l_R = L/(z_к + 1) = 2{,}798/(3+1) \approx 0{,}7$ м.

Принимаем решение: расположить кольца жесткости с внешней стороны обечайки, не подвергающейся коррозионному воздействию обрабатываемой среды, и изготовить их из низколегированной стали 16ГС (прокат). Тогда в рабочих условиях допускаемое напряжение и модуль продольной упругости кольца будут иметь следующие значения: $[\sigma]_к = 160$ МПа и $E_к = 1{,}92 \cdot 10^5$ МПа.

Линейная (окружная) рабочая нагрузка на податливое кольцо жесткости

$$q = 1{,}56 p_{н.R} \sqrt{Rs} = 1{,}56 \cdot 0{,}09 \sqrt{0{,}8 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 9{,}73 \cdot 10^{-3} \text{ МН/м},$$

$$R = D/2 = 1{,}6/2 = 0{,}8 \text{ м}.$$

где

Условие применимости формулы выполняется:

$$l_1 > 3{,}1\sqrt{Rs} \quad (l_1 = l_R = 0{,}7 \text{ м};\ 3{,}1\sqrt{Rs} = 3{,}1\sqrt{0{,}8 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} = 0{,}215 \text{ м}).$$

Размеры кольца жесткости прямоугольного профиля. Минимальный момент инерции сечения кольца

$$I_{min} = n_{к.и}\, qR_{ср}^3/(3E_к) = 5 \cdot 9{,}73 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}84^3/(3 \cdot 1{,}92 \cdot 10^5) = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4,$$

где $n_{к.и}$ — коэффициент запаса устойчивости податливого кольца жесткости, $n_{к.и} = 5$; $R_{СР}$ — средний радиус кольца, $R_{СР} \approx 0{,}84$ м принят конструктивно.

Так как для плоских колец при соотношении высоты и ширины кольца $h = 5b$, момент инерции

$$I_к = bh^3/12 = 10{,}4b^4, \quad \text{то } b \geqslant \sqrt[4]{I_{min}/10{,}4} = \sqrt[4]{5 \cdot 10^{-8}/10{,}4} = 8{,}33 \cdot 10^{-3} \text{ м, т. е. } b = 9 \text{ мм}.$$

Тогда $h = 5b = 5 \cdot 9 = 45$ мм; $I_к = 10{,}4b^4 = 10{,}4 \times (9 \cdot 10^{-3})^4 = 6{,}82 \cdot 10^{-8}$ м^2.

Площадь сечения кольца $A_к = hb = 45 \cdot 9 = 405$ мм^2 $= 4{,}05 \cdot 10^{-4}$ м^2, что больше $A\min = qR_{СР}/[\sigma]_к = 9{,}73 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}84/160 = 0{,}51 \cdot 10^{-4}$ м^2.

Эффективная длина стенки обечайки

$$l_{эф} = \min \left\{ \begin{array}{l} l_1 = 0{,}7 \text{ м} \\ b + 1{,}1\sqrt{D(s-c)} = 9 \cdot 10^{-3} + 1{,}1\sqrt{1{,}6\,(6-2)\,10^{-3}} = 0{,}097 \text{ м} \end{array} \right\} = 0{,}097 \text{ м}.$$

Эффективный момент инерции расчетного поперечного сечения кольца жесткости

$$I_{эф} = I_к + l_1(s-c)^3/10{,}9 + e^2 A_к l_{эф}(s-c)/[A_к + l_{эф}(s-c)] = 6{,}82 \cdot 10^{-8} + 0{,}7\,[(6-2)\,10^{-3}]^3/10{,}9 + (25{,}5 \cdot 10^{-3})^2\, 4{,}05 \cdot 10^{-4} \cdot 0{,}097\,(6-2)\,10^{-3}/[4{,}05 \cdot 10^{-4} + 0{,}097\,(6-2)\,10^{-3}] = 20{,}14 \cdot 10^{-8} \text{ м},$$

где $e = (h+s)/2 = (45+6)/2 = 25{,}5$ мм $= 25{,}5 \cdot 10^{-3}$ м.

Коэффициент жесткости обечайки с кольцами жесткости

$$k = \sqrt{10{,}9 I_{эф}/\left[l_1 (s-c)^3\right]} = \sqrt{10{,}9 \cdot 20{,}14 \cdot 10^{-8}/\left[0{,}7\left(6 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}\right)^3\right]} = 7$$

Допускаемое наружное давление для участка обечайки между кольцами жесткости:
из условия прочности

$$[p_и]_{1\sigma} = 2\,[\sigma]\,(s-c)/(D+s-c) = 2 \cdot 152\,(6-2)\,10^{-3}/[1{,}6 + (6-2)\,10^{-3}] = 0{,}758 \text{ МПа};$$

из условия устойчивости в пределах упругости при $l_R < l_0$

$$(l_R = 0{,}7 \text{ м};\ l_0 = 8{,}15D\sqrt{D/[100(s-c)]} = 8{,}15 \cdot 1{,}6\sqrt{1{,}6/100(6-2)\cdot 10^{-3}}] = 26{,}08 \text{ м});$$

$$[p_H]_E = \frac{20{,}8\cdot 10^{-6} E}{n_u}\frac{D}{l_R}\left[\frac{100(s-c)}{D}\right]^2\sqrt{\frac{100(s-c)}{D}} =$$

$$= \frac{20{,}8\cdot 10^{-6}\cdot 2\cdot 10^5}{2{,}4}\frac{1{,}6}{0{,}7}\left[\frac{100(6-2)\cdot 10^{-3}}{1{,}6}\right]^2\sqrt{\frac{100(6-2)\cdot 10^{-3}}{1{,}6}} = 0{,}124 \text{ МПа};$$

с учетом обоих условий

$$[p_H]_1 = \frac{[p_H]_\sigma}{\sqrt{1+([p_H]_\sigma/[p_H]_E)^2}} = \frac{0{,}758}{\sqrt{1+(0{,}758/0{,}124)^2}} = 0{,}122 \text{ МПа}.$$

Допускаемое наружное давление для обечайки с кольцами жесткости в целом:

из условия прочности

$$[p_H]_{2\sigma} = 2\frac{[\sigma](s-c)+[\sigma]_K A_K/l_1}{D+s-c} = 2\frac{152(6-2)10^{-3}+160\cdot 4{,}05\cdot 10^{-4}/0{,}7}{1{,}6+(6-2)10^{-3}} =$$

$$= 0{,}873 \text{ МПа};$$

из условия устойчивости в пределах упругости при

$$L < 8{,}15\,D\sqrt{D/[100\,k(s-c)]}$$

$$(L = 2{,}798 \text{ м};\quad 8{,}15\,D\sqrt{D/[100\,k(s-c)]} = 8{,}15\cdot 1{,}6\sqrt{1{,}6/[100\cdot 7(6-2)\cdot 10^{-3}]} = 9{,}857 \text{ м})$$

$$[p_H]_{2E} = \frac{20{,}8\cdot 10^{-6} E}{k n_u}\frac{D}{L}\left[\frac{100\,k(s-c)}{D}\right]^2\sqrt{\frac{100\,k(s-c)}{D}} =$$

$$= \frac{20{,}8\cdot 10^{-6}\cdot 2\cdot 10^5}{7\cdot 2{,}4}\frac{1{,}6}{2{,}798}\left[\frac{100\cdot 7(6-2)\cdot 10^{-3}}{1{,}6}\right]^2\sqrt{\frac{100\cdot 7(6-2)\cdot 10^{-3}}{1{,}6}} = 0{,}573 \text{ МПа};$$

с учетом обоих условий

$$[p_H]_2 = \frac{[p_H]_{2\sigma}}{\sqrt{1+([p_H]_{2\sigma}/[p_H]_{2E})^2}} = \frac{0{,}873}{\sqrt{1+(0{,}873/0{,}573)^2}} = 0{,}479 \text{ МПа}.$$

Допускаемое наружное давление для обечайки, подкрепленной кольцами жесткости,

$$[p_H] = \min\{[p_H]_1;\ [p_H]_2\} = \min\{0{,}106 \text{ МПа};\ 0{,}479 \text{ МПа}\} = 0{,}122 \text{ МПа}.$$

Допускаемая осевая сжимающая сила:

из условия прочности по формуле (13.15)

$$[F]_\sigma = \pi(D+s-c)(s-c)[\sigma] = 3{,}14\,[1{,}6+(6-2)\,10^{-3}](6-2)\,10^{-3}\times$$
$$\times 152 = 3{,}06 \text{ МН};$$

из условия устойчивости в пределах упругости при $L/D < 10$ (2,798/1,6 = 1,75 < 10) по формуле (13.17)

$$[F]_E = \frac{310\cdot 10^{-6} E}{n_u} D^2\left[\frac{100(s-c)}{D}\right]^2\sqrt{\frac{100(s-c)}{D}} =$$

$$= \frac{310\cdot 10^{-6}\cdot 2\cdot 10^5}{2{,}4}1{,}6^2\left[\frac{100(6-2)\,10^{-3}}{1{,}6}\right]^2\sqrt{\frac{100(6-2)\,10^{-3}}{1{,}6}} = 2{,}07 \text{ МН};$$

с учетом обоих условий

$$[F] = \frac{[F]_\sigma}{\sqrt{1+([F]_\sigma/[F]_E)^2}} = \frac{3{,}06}{\sqrt{1+(3{,}06/2{,}07)^2}} = 1{,}71 \text{ МН}.$$

Условие устойчивости обечайки, подкрепленной кольцами жесткости, выполняется:

$$p_{H.K}/[p_H] + F/[F] < 1;$$
$$0{,}09/0{,}106 + 0{,}193/1{,}71 = 0{,}957 < 1.$$

ГЛАВА 14

ДНИЩА И КРЫШКИ ПРИВАРНЫЕ

14.1. Конструкции

Днища, так же как и обечайки, являются одним из основных элементов технологических аппаратов. Цилиндрические цельносварные корпусы как горизонтальных, так и вертикальных аппаратов с обеих сторон ограничиваются днищами.

Форма днищ, применяемая в отечественном аппаратостроении, бывает эллиптическая, полусферическая, в виде сферического сегмента, коническая и плоская (рис. 14.1). Конические и плоские днища бывают с отбортовкой на цилиндр и без отбортовки, а эллиптические — только с отбортовкой.

В ряде стран, в том числе бывших странах СЭВ, применяются торосферические днища, расчет которых регламентирован ГОСТ 14249—89.

Наиболее распространенной формой днищ в сварных технологических аппаратах, особенно подведомственных Госгортехнадзору, является эллиптическая форма с отбортовкой на цилиндр.

Полусферические днища целесообразно применять в крупногабаритных аппаратах, подведомственных Госгортехнадзору, имеющих $D \geq 4$ м.

Согласно МН 4704—63, стальные полусферические днища изготавливаются $D = (3{,}6—12)$ м с толщиной стенок 10—36 мм.

Сферические неотбортованные днища допускается применять в аппаратах 5-й группы, за исключением работающих под вакуумом.

Сферические неотбортованные днища в аппаратах 1, 2, 3, 4-й групп и работающих под вакуумом допускается применять только в качестве элемента фланцевых крышек.

Конические днища применяются в основном в вертикальных аппаратах снизу, в которых требуется полное удаление жидкого, сыпучего или кускового продукта. Выбор угла в вершине конуса определяется технологическими соображениями: для жидких веществ — их вязкостью, а для сыпучих и кусковых веществ — их углом естественного откоса.

В горизонтальных аппаратах, работающих под наливом или под избыточным давлением до 0,07 МПа, могут применяться неотбортованные конические днища с углом при вершине конуса $2\alpha \leq 140°$, а в вертикальных аппаратах, не подведомственных Госгортехнадзору РФ, — $2\alpha \leq 60°$.

Конические неотбортованные днища или переходы допускается применять:

а) дл аппаратов 1, 2, 3, 4-й групп, если центральный угол при вершине конуса не более 45°;

б) для аппаратов, работающих под наружным давлением или вакуумом, если центральный угол при вершине конуса не более 60°.

Части выпуклых днищ в сочетании с коническими днищами или переходами применяются без ограничения угла при вершине конуса.

Отбортованные конические днища с углом в вершине конуса $2\alpha > 60°$ применяются большей частью в аппаратах, работающих под избыточным давлением до 0,07 МПа и под наливом. Применение таких днищ в аппаратах, подведомственных Госгортехнадзору, должно быть согласовано с головным институтом отрасли.

Наряду с коническими днищами в аппаратах часто применяются переходы, соединяющие цилиндрические обечайки разных диаметров, типовые конструкции которых показаны на рис. 14.2.

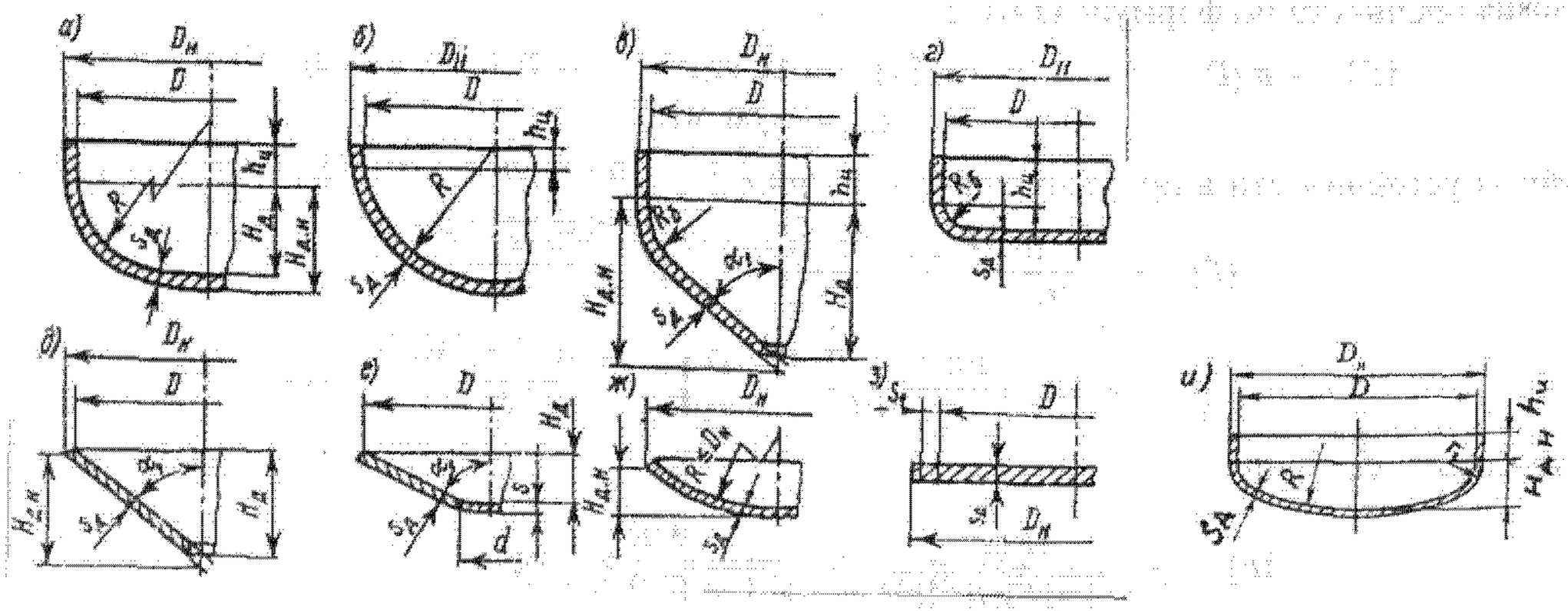


Рис. 14.1. Конструкции днищ для стальных сварных аппаратов: *а* — эллиптическое отбортованное; *б* — полусферическое отбортованное; *в* — коническое отбортованное; *г* — плоское отбортованное; *д* — коническое неотбортованное; *е* — коническое неотбортованное с плоским диском; *жс* — сферическое неотбортованное; *з* — плоское неотбортованное; *и* — торосферические

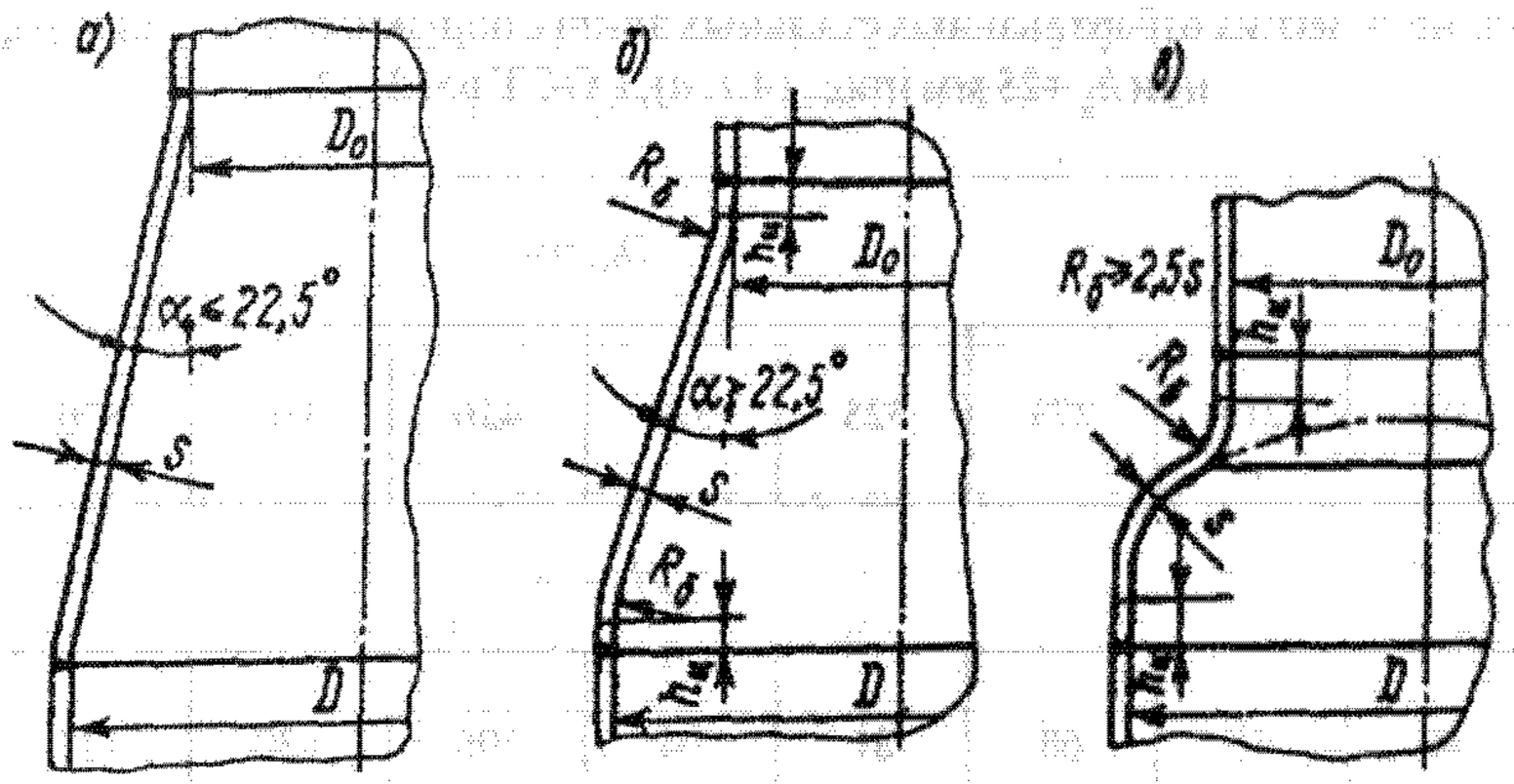


Рис. 14.2. Конструкция переходов для стальных сварных аппаратов; *а* — конические без отбортовки; *б* — конический с отбортовками с обеих сторон; *в* — обратновогнутый

В табл.14.1—14.10 приведены основные размеры стандартных стальных днищ.

Днища с наружными базовыми диаметрами применяются для корпусов из труб, а с внутренними базовыми диаметрами — для корпусов, свальцованных из листов.

Одним из ответственных узлов в аппаратах является соединение днищ с корпусом. Соединение полушаровых, отбортованных эллиптических, конических и плоских днищ с цилиндрическими обечайками производится только встык. Типовые конструкции соединений конических частей с цилиндрическими показаны на рис. 14.3.

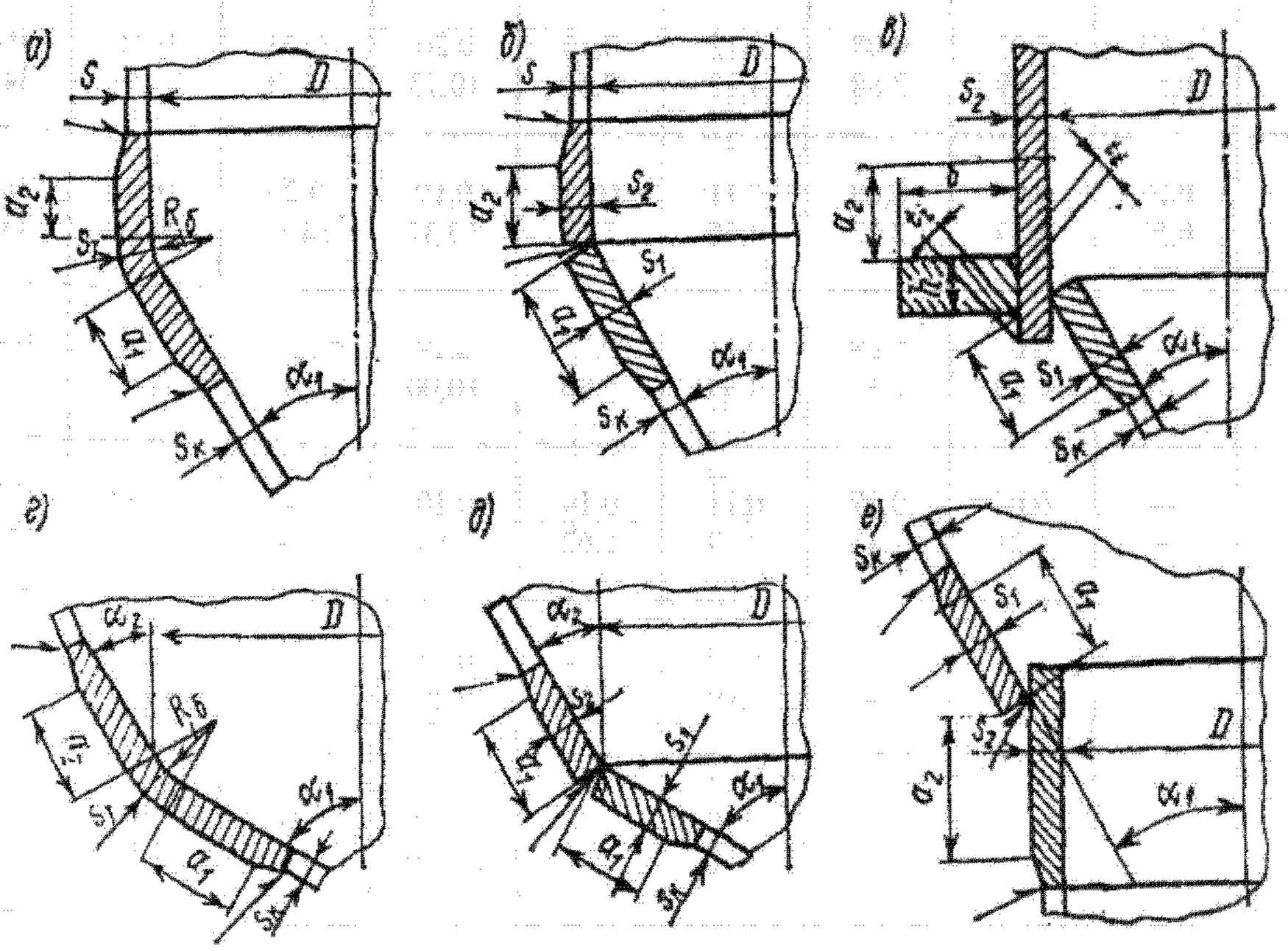


Рис. 14.3. Конструкции соединений конических и цилиндрических частей в стальных аппаратах: *а* — с отбортованной вставкой; *б* — без отбортовки; *в* — с укрепляющим кольцом; *г* — с отбортованной двухконусной вставкой; *д* — без отбортовки двух конусных частей; *е* — без отбортовки и укрепляющего кольца

Таблица 14.1

Размеры эллиптических отбортованных стальных днищ с наружными базовыми диаметрами при $h_ц$ =25 мм (рис. 14.1, *а*), ГОСТ 6533 – 78

$s_д$, мм	$F_д$, м^2, $V_д$, л	$D_н$, мм									
		159	219	273	325	377	426	480	530	630	720
		$H_{дн}$, мм									
		40	55	68	81	94	106	120	132	157	180
4	$F_д$ $V_д$	0,04 0,87	0,06 2,05	0,10 3,73	— —	— —	— —	— —	— —	— —	— —
6	$F_д$ $V_д$	0,03 0,80	0,06 1,93	0,09 3,54	0,13 5,77	— —	— —	— —	— —	— —	— —
8	$F_д$ $V_д$	0,03 0,74	0,06 1,81	0,09 3,37	0,13 5,52	0,17 8,42	— —	— —	— —	— —	— —
10	$F_д$ $V_д$	0,03 0,68	0,06 1,70	0,09 3,20	0,12 5,28	0,16 8,10	0.21 11,53	0,26 16,30	0,32 21,71	0,45 36,00	0,58 53,04
12	$F_д$ $V_д$	0,03 0,62	0,05 1,59	0,08 3,03	0,12 5,05	0,16 7,79	0,20 11,13	0,26 15,80	0,31 21,11	0,44 35,06	0,57 51,93
14	$F_д$ $V_д$	0,03 0,57	0,05 1,49	0,08 2,88	0,12 4,82	0,16 7,50	0,20 10,73	0,25 15,30	0,31 20,51	0,43 34,22	0,60* 56,47*
16	$F_д$ $V_д$	0,03 0,52	0,05 1,39	0,08 2,72	0,11 4,60	0,15 7,19	0,19 10,37	0,25 14,82	0,30 20,00	0,43 33,39	0,59* 55,33*
18	$F_д$ $V_д$	— —	0,05 1,30	0,08 2,57	0,11 4,39	0,15 6,90	0,19 10,00	— —	— —	0,45* 33,73*	0,58* 54,20*
20	$F_д$ $V_д$	— —	0,05 1,21	0,07 2,43	0,11 4,19	0,14 6,62	0,19 9,64	— —	0,31* 21,02*	0,44* 35,88*	0,58* 53,08*
22	$F_д$ $V_д$	— —	— —	— —	0,10 3,99	0,14 6,35	0,18 9,29	— —	— —	0,43* 35,04*	0,57* 51,98*
25	$F_д$ $V_д$	— —	— —	— —	0,10 3,70	0,13 5,96	0,19* 10,44*	— —	0,30* 20,41*	0,43* 33,80*	0,56* 50,36*

* При $h_ц$ = 40 мм

Таблица 14.2

Размеры эллиптических отбортованных днищ с внутренними базовыми диаметрами (рис. 14.1, а), ГОСТ 6533 – 78

D, мм	$s_д$	$H_д$	$h_ц$	$F_д$, м²	$V_д$, м³
	мм				
400	4—25 28—30	100	25 40	0,20 0,22	0,0115 0,0134
(450)	4—20	112	25	0,25	0,0158
500	4—20 22—36	125	25 40	0,31 0,33	0,0212 0,0241
(550)	4—18 20	137	25 40	0,37 0,40	0,0276 0,0312
600	4—16 18—40	150	25 40	0,44 0,47	0,0352 0,0395
(650)	4—14 16—20	162	25 40	0,51 0,54	0,0441 0,0491
700	4—14 16—36 40	175	25 40 60	0,59 0,62 0,66	0,0543 0,0601 0,0678
800	4—12 14—32 34—50	200	25 40 60	0,76 0,79 0,84	0,0793 0,0868 0,0969
900	5—10 12—28 30—32	225	25 40 60	0,95 0,99 1,05	0,1109 0,1204 0,1331
1000	5—10 12—25 28—55 60—80	250	25 40 60 80	1,21 1,21 1,27 1,34	0,1617 0,1617 0,1774 0,1931
(1100)	6—8 10—22 25—32	275	25 40 60	1,40 1,45 1,52	0,1972 0,2114 0,2304
1200	6—8 10—20 22—45 50—80	300	25 40 60 80	1,65 1,71 1,79 1,86	0,2534 0,2704 0,2930 0,3156
1300	6—8 10—20 22—32	325	25 40 60	1,93 2,00 2,08	0,3195 0,3394 0,3659

Продолжение табл. 14.2

D, мм	$s_д$	$H_д$	$h_п$	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3
	мм				
1400	6 8—18 20—40 45—70 80—100	350	25 40 60 80 100	2,23 2,30 2,39 2,48 2,56	0,3960 0,4191 0,4499 0,4807 0,5114
(1500)	6 8—16 18—38 40—60	375	25 40 60 80	2,56 2,63 2,72 2,82	0,4840 0,5104 0,5458 0,5814
1600	6 8—16 18—36 38—60 65—100	400	25 40 60 80 100	2,90 2,98 3,08 3,18 3,28	0,5840 0,6141 0,6543 0,6945 0,7347
(1700)	6—14 16—32 36—50	425	40 60 80	3,35 3,45 3,56	0,7310 0,7763 0,8217
1800	6—14 16—32 34—55 60—90 100	450	40 60 80 100 120	3,74 3,85 3,96 4,08 4,19	0,8617 0,9126 0,9634 1,0143 1,0652
(1900)	6—12 14—20	475	40 60	4,15 4,27	1,0072 1,0638
2000	6—12 14—28 30—50 55—80 90—100	500	40 60 80 100 120	4,59 4,71 4,84 4,96 5,09	1,1681 1,2309 1,2937 1,3565 1,4200
2200	8—10 12—25 28—45 50—70 80—100	550	40 60 80 100 120	5,52 5,66 5,80 5,94 6,08	1,5395 1,6155 1,6915 1,7675 1,8444
2400	8—10 12—22 25—40 45—65 70—100	600	40 60 80 100 120	6,54 6,70 6,85 7,00 7,15	1,9823 2,0727 2,1631 2,2536 2,3452
2500	8—10 12—22 25—40 45—60 65—100	625	40 60 80 100 120	7,09 7,25 7,40 7,56 7,72	2,2323 2,3305 2,4286 2,5267 2,6262

Продолжение табл. 14.2

D, мм	$s_д$	$H_д$	$h_ц$	$F_ж$, м^2	$V_д$, м^3
	мм				
2600	8 10—22 25—38 40—60 65—100	650	40 60 80 100 120	7,65 7,82 7,98 8,14 8,31	2,5026 2,6087 2,7149 2,8210 2,9286
2800	8 10—20 22—36 38—55 60—100	700	40 60 80 100 120	8,85 9,03 9,20 9,38 9,55	3,1067 3,2298 3,3529 3,4760 3,6009
3000	8 10—18 20—34 36—50 55—100	750	40 60 80 100 120	10,13 10,32 10,51 10,70 10,89	3,8010 3,9423 4,0836 4,2249 4,3681
3200	10—18 20—32 34—50 55—100	800	60 80 100 120	11,70 11,90 12,10 12,30	4,7523 4,9131 5,0738 5,2373
3400	12—16 18—30 32—45 50—100	850	60 80 100 120	13,17 13,38 13,60 13,81	5,6662 5,8477 6,0292 6,2138
3600	12—20 22—28 30—40 45—100	900	60 80 100 120	14,73 14,95 15,18 15,40	6,6902 6,8936 7,0971 7,3043
3800	14 16—25 28—40 45—100	950	60 80 100 120	16,37 16,61 16,84 17,08	7,8305 8,0572 8,2839 8,5149
4000	16—25 28—40 45—90	1000	80 100 120	18,35 18,60 18,85	9,3446 9,5958 9,8520
4500	16—22 25,28	1125	80 100	23,08 23,36	13,1529 13,4710

Примечания: 1. Днища с диаметрами, заключенными в скобки, допускается применять для рубашек аппаратов. 2. Днища из двухслойной стали допускается изготовлять с толщиной стенки 24 и 26 мм вместо 25 мм. 3. Днища толщиной стенки свыше 60 мм допускается изготовлять с высотой борта $h_ц$ по оснастке предприятия-изготовителя.

Пример условного обозначения днища с $D = 1000$ мм и $s = 10$ мм:

Днище 1000-10 ГОСТ 6533—78.

Таблица 14.3

Размер конических отбортованных стальных днищ с наружными диаметрами (рис.14.1, *в*), ГОСТ 12619 – 78

$D_н$, мм	$s_д$, мм	$h_ц$, мм	$2\alpha = 60°$			$2\alpha = 90°$		
			$H_{д.н}$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3	$H_{д.н}$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3
219	4—8	30	201	0,11	0,003	125	0,09	0,003
273			248	0,15	0,006	152	0,12	0,005
325			293	0,20	0,011	178	0,16	0,008
377			338	0,27	0,016	204	0,20	0,012
426			390	0,36	0,024	245	0,30	0,019
480	4—8 10	30	436 —	0,44 —	0,034 —	272	0,36	0,025
530	4—8 10	30 40	480 —	0,53 —	0,045 —	297	0,42 0,44	0,033 0,035
630	4—8 10	30 40	566 —	0,72 —	0,072 —	347	0,55 0,57	0,052 0,055
720	6—10 12	50	644	0,94 0,96	0,109 0,113	392	0,71 0,74	0,078 0,082
820	6, 8 10, 12	40 50	752	1,30 1,33	0,168 0,174	476	1,07 1,10	0,128 0,133
920	6, 8 10, 12 14	40 50 60	838 838 —	1,59 1,62 —	0,231 0,238 —	526	1,28 1,31 1,34	0,172 0,179 0,185
1020	6, 8 10, 12 14, 16	40 50 60	925 925 —	1,91 1,94 —	0,308 0,316 —	576	1,50 1,54 1,58	0,225 0,233 0,242
1120	6, 8 10 12, 14 16	40 50 60 70	1012 1012 1012 —	2,25 2,29 2,33 —	0,400 0,410 0,419 —	626	1,75 1,78 1,83 1,86	0,288 0,298 0,308 0,318
1220	6 8, 10 12, 14 16	40 50 60 70	1098 1098 1098 —	2,63 2,67 2,71 —	0,508 0,520 0,531 —	676	2,01 2,05 2,10 2,14	0,361 0,373 0,385 0,396
1320	6—10 12 14 16	50 60 70 70	1185 1185 1185 —	3,08 3,12 3,17 —	0,648 0,662 0,675 —	726	2,33 2,38 2,43 2,43	0,460 0,473 0,487 0,487
1420	6, 8 10, 12 14, 16	50 60 70	1272	3,52 3,56 3,61	0,796 0,812 0,827	776	2,64 2,68 2,74	0,558 0,574 0,590

Примечания. 1. $R_б = 40$ мм — для $D_н \le 377$ мм, $R_б = 80$ мм — для $D_н \ge 426$ до 720 мм, $R_б = 160$ мм — для $D_н \ge 820$ мм.
2. Значения толщин стенок только четные.

Пример условного обозначения днища с $2\alpha = 60°$, $D_н = 530$ мм и $S = 6$ мм:

Днище 60-530-6 ГОСТ 12619—78.

Таблица 14.4

Размеры конических отбортованных стальных днищ с внутренними базовыми диаметрами (рис.14.1, в), ГОСТ 12619 – 78

D, мм	$s_д$, мм	$h_ц$	$2\alpha = 60°$			$2\alpha = 90°$		
			$H_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3	$H_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3
400 (450)	3—10	30	367 411	0,32 0,40	0,02 0,028	232 257	0,27 0,32	0,016 0,021
500	3—8 10	30 40	452	0,48 0,49	0,038 0,040	282	0,38 0,40	0,028 0,030
(550)	4—8 10	30 40	447	0,56 0,58	0,049 0,052	307	0,44 0,46	0,036 0,039
600	4—8 10, 12	30 40	541	0,66 0,68	0,063 0,066	332	0,51 0,53	0,046 0,048
(650)	4—8 10, 12	30 40	584	0,76 0,78	0,079 0,082	357	0,58 0,60	0,056 0,062
700	4—6 8—10 12	30 40 50	627	0,87 0,89 0,92	0,097 0,101 0.105	382	0,65 0,68 0,70	0,069 0,073 0,076
800	4, 6 8, 10 12, 14	30 40 50	735	1,22 1,25 1,28	0,152 0,157 0,162	466	1,00 1,03 1,06	0,115 0,120 0,125
900	4, 6 8 10, 12 14	30 40 50 60	821	1,50 1,53 1,56 1,59	0,211 0,217 0,224 0,230	516	1,20 1,23 1,26 1,30	0,156 0,162 0,169 0,175
1000	4 6, 8 10, 12 14, 16	30 40 50 60	908	1,81 1,84 1,88 1,93	0,283 0,291 0,299 0,307	566	1,42 1,45 1,49 1,53	0,206 0,214 0,222 0,229
(1100)	6, 8 10 12, 14 16	40 50 60 70	997	2,19 2,22 2,26 2,30	0,380 0,389 0,399 0,408	616	1,69 1,73 1,77 1,81	0,275 0,284 0,294 0,303
1200	6 8, 10 12, 14 16, 18	40 50 60 70	1080	2,55 2,60 2,64 2,68	0,485 0,496 0,508 0,519	666	1,95 1,99 2,04 2,08	0,346 0,357 0,368 0,380
(1300)	6 8, 10 12 14, 16 18, 20	40 50 60 70 80	1168	2,95 3,00 3,04 3,08 3,13	0,608 0,621 0,634 0,647 0,661	716	2,23 2,28 2,32 2,37 2,41	0,428 0,441 0,454 0,468 0,481

Продолжение табл. 14.4

D, мм	$s_д$, мм	$h_ц$, мм	$2\alpha = 60°$			$2\alpha = 90°$		
			$H_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3	$H_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3
1400	6, 8	50	1254	3,43	0,765	766	2,58	0,537
	10, 12	60		3,47	0,780		2,62	0,553
	14, 16	70		3,52	0,795		2,67	0,568
	18, 20	80		3,57	0,811		2,72	0,584
(1500)	6, 8	50	1340	3,89	0,929	816	2,89	0,646
	10, 12	60		3,94	0,946		2.94	0,664
	14	70		3,99	0,964		2,99	0,682
	16, 18	80		4,04	0,982		3,05	0,699
	20, 22	100		4,14	1,017		3,15	0,735
1600	6, 8	50	1439	4,49	1,136	882	3,40	0,802
	10	60		4,54	1,156		3,45	0,822
	12, 14	70		4,59	1,177		3,51	0,843
	16, 18	80		4,65	1,197		3.57	0,863
	20—25	100		4,76	1,237		3,68	0,903
(1700)	6, 8	50	1525	5,01	1,348	932	3,76	0,944
	10	60		5,07	1,371		3,82	0,966
	12, 14	70		5,12	1,394		3,88	0,989
	16	80		5,18	1,416		3,94	1,012
	18	100		5,29	1,462		4,06	1,057
1800	6	50	1612	5,56	1,585	982	4,14	1,100
	8, 10	60		5,62	1,611		4,20	1,126
	12	70		5,68	1,636		4,26	1,151
	14, 16	80		5,74	1,662		4,33	1,177
	18—25	100		5,86	1,712		4,45	1,228
(1900)	6	50	1698	6,15	1,850	1032	4,54	1,273
	8, 10	60		6,20	1,880		4,61	1,302
	12	70		6,27	1,910		4,67	1,330
	14, 16	80		6,33	1,930		4,74	1,358
	18	100		6,46	1,990		4,87	1,415
2000	6	50	1785	6,76	2,139	1082	4,96	1,463
	8	60		6,82	2,170		5,03	1,495
	10, 12	70		6,89	2,201		5,09	1,526
	14	80		6,95	2,233		5,16	1,557
	16—22	100		7,09	2,296		5,30	1,620
	25—30	120		7,22	2,358		5,44	1,683
2200	8	60	1958	8,14	2,845	1182	5,92	1,935
	10	70		8,20	2,883		6,00	1,973
	12, 14	80		8,28	2,921		6,07	2,011
	16—22	100		8,42	2,997		6,22	2,087
	25—30	120		8,57	3,073		6,37	2,163
2400	8	60	2130	9,56	3,647	1282	6,90	2,454
	10	70		9,64	3,693		6,97	2,499
	12	80		9,72	3,738		7,06	2,544
	14—18	100		9,88	3,828		7,21	2,635
	20—28	120		10,04	3,919		7,38	2,725

Продолжение табл. 14.4

D, мм	$s_д$, мм	$h_ц$, мм	$2\alpha = 60°$			$2\alpha = 90°$		
			$H_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3	$H_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3
2500	8	60	2218	10,32	4,100	1332	7,41	2,745
	10	70		10,40	4,149		7,49	2,794
	12	80		10,48	4,198		7,57	2,843
	14—18	100		10,65	4,296		7,74	2,941
	20—25	120		10,81	4,394		7,90	3,039
2600	8	70	2303	11,20	4,640	1382	8,03	3,110
	10, 12	80		11,28	4,693		8,11	3,163
	14—18	100		11,45	4,800		8,28	3,269
	20, 22	120		11,62	4,906		8,45	3,375
2800	8	70	2478	12,86	5,737	1482	9,15	3,812
	10	80		12,95	5,799		9,24	3,874
	12—16	100		13,13	5,922		9,42	3,997
	18—22	120		13,31	6,045		9,61	4,120
3000	10	80	2650	14,74	7,065	1582	10,44	4,683
	12—16	100		14,93	7,206		10,64	4,824
	18	120		15,13	7,348		10,84	4,965
3200	10	80	2837	16,92	8,611	1704	12,13	5,762
	12—16	100		17,12	8,771		12,34	5,923
	18	120		17,33	8,932		12,55	6,084
3400	10—14	100	3010	19,17	10,426	1804	13,72	6,989
	16,18	120		19,39	10,608		13,95	7,170
3600	12, 14	100	3185	21,33	12,277	1904	15,18	8,175
	16, 18	120		21,57	12,480		15,42	8,378
3800	12	100	3358	23,61	14,334	2004	16,72	9,486
	14—18	120		23,86	14,560		16,96	9,713
4000	12	100	3530	26,01	16,608	2104	18,32	10,930
	14, 16	120		26,26	16,859		18,58	11,181

Примечания. 1. $R_б = 80$ мм — для $D \le 700$ мм, $R_б = 160$ мм — для $D = 800$ — 1500 мм, $R_б = 200$ мм — для $D = 1600$ — 3000 мм, $R_б = 250$ мм — для $D \ge 3200$ мм. 2. Диаметры днищ, заключенные в скобки, предусмотрены только для обогревающих и охлаждающих рубашек. 3. Значения толщин стенок: при $s > 22$ мм — 25, 28 и 30 мм.

Пример условного обозначения днища с $2\alpha = 60°$, $D = 500$ мм и $s = 6$ мм:

Днище 60-500-6 ГОСТ 12619—78.

Таблица 14.5

Размеры конических неотбортованных стальных днищ с наружными базовыми диаметрами (рис.14.1, *д*), ГОСТ 12620 – 78

$D_н$	$s_д$	$2\alpha = 60°$			$2\alpha = 90°$			$2\alpha = 120°$		
мм		$H_{д.н}$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3	$H_{д.н}$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3	$H_{д.н.}$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3
219	3; 4	190	0,07	0,002	109,5	0,05	0,001			
273		236	0,11	0,004	136,5	0,08	0,003	—	—	—
325		281	0,16	0,007	162,5	0,11	0,004			
377		326	0,21	0,012	188,5	0,15	0,007			
426	4; 6	369	0,27	0,016	213	0,19	0,009	123	0,16	0,005
480		415	0,34	0,023	240	0,24	0,013	138	0,20	0,008
530		459	0,42	0,032	265	0,30	0,019	153	0,25	0,010
630		546	0,60	0,054	315	0,43	0,031	181	0,36	0,017
720	6; 8	624	0,78	0,080	360	0,56	0,047	207	0,45	0,026
820		710	1,02	0,120	410	0,72	0,068	237	0,58	0,039
920		797	1,28	0,169	460	0,92	0,098	265	0,74	0,055
1020		883	1,58	0,231	510	1,14	0,132	294	0,91	0,075
1120		970	1,91	0,307	560	1,35	0,176	323	1,10	0,102
1220		1056	2,28	0,398	610	1,61	0,228	352	1,31	0,130
1320		1143	2,67	0,505	660	1,88	0,290	381	1,54	0,166
1420		1230	3,10	0,631	710	2,18	0,362	410	1,78	0,207

Примечание. Для каждого угла 2α и $D_н$ в зависимости от значений $s_д$, $F_д$ и $V_д$ имеют разные (в пределах ≤ 1%) значения, в таблице приведены наименьшие значения.

Пример условного обозначения днища с $2\alpha = 60°$, $D_н = 530$ мм и $s_д = 6$ мм:

Днище 60-530-6 ГОСТ 12620—78

Таблица 14.6

Размеры конических неотбортованных стальных днищ с внутренними базовыми диаметрами (рис.14.1, *д*), ГОСТ 12620 – 78

D	$s_д$	$2\alpha = 60°$			$2\alpha = 90°$			$2\alpha = 120°$		
мм		$H_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3	$H_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3	$H_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3
400	3, 4, 6*1	346	0,25	0,02	200	0,18	0,01	115	0,14	0,01
500	3, 4, 6	433	0,39	0,03	250	0,28	0,02	144	0,23	0,01
600	3*2, 4, 6, 8*1	520	0,56	0,05	300	0,40	0,03	173	0,32	0,02
700		606	0,76	0,08	350	0,55	0,05	202	0,44	0,03
800		692	1,02	0,12	400	0,71	0,07	230	0,58	0,04
900	4, 6, 8	779	1,27	0,17	450	0,90	0,10	260	0,74	0,06
1000		866	1,56	0,23	500	1,12	0,13	288	0,90	0,08
1200		1039	2,25	0,39	600	1,60	0,23	346	1,30	0,13
1400	6, 8, 10	1212	3,06	0,62	700	2,20	0,36	404	1,78	0,21
1600	6*2, 10, 12*3	1386	3,99	0,93	800	2,86	0,54	462	2,32	0,31
1800		1559	5,05	1,32	900	3,63	0,76	520	2,93	0,44
2000		1732	6,24	1,82	1000	4,48	1,05	577	3,62	0,60
2200		1905	7,55	2,42	1100	5,42	1,40	635	4,38	0,80
2400	8, 10, 12	2078	8,99	3,14	1200	6,45	1,80	692	5,22	1,04
2500		2165	9,81	3,56	1250	6,93	2,04	722	5,66	1,18
2600		2252	10,55	3,99	1300	7,56	2,30	750	6,12	1,33
2800	8, 10, 12, 14 *3	2425	12,23	4,98	1400	8,78	2,88	808	7,10	1,65
3000		2598	14,04	6,13	1500	10,08	3,54	866	8,15	2,04
3200	8*4, 10, 12, 14 *5	2771	16,07	7,42	1600	11,35	4,30	924	9,27	2,48
3400	10, 12, 14 *5	2944	18,15	8,90	1700	12,82	5,14	981	10,47	2,97
3600		3117	20,34	10,55	1800	14,37	6,10	1039	11,73	3,52
3800		3290	22,65	12,42	1900	16,00	7,18	1097	13,08	4,15
4000		3464	25,10	14,50	2000	17,74	8,38	1155	14,49	4,84
4500	12, 14, 16	—	—	—	2250	22,45	11,93	1299	18,34	6,88
5000					2500	27,72	16,36	1443	22,64	9,44
5600	12 *3, 14, 16, 18 *1	—	—	—	2800	34,76	22,98	1616	28,40	13,26
6300	12 *3, 14 *3, 16, 18 *1				3150	44,00	32,72	1818	35,94	18,89

Пример условного обозначения днища с $2\alpha = 60°$, $D = 1000$ мм и $s_д = 6$ мм:

Днище 60-1000-6 ГОСТ 12620—78.

*1 Только для $2\alpha = 120°$.
*2 » » $2\alpha = 60°$ и 90°.
*3 » » $2\alpha = 90°$.
*4 » » $2\alpha = 60°$.
*5 » » $2\alpha = 90°$ и 120°.

Таблица 14.7

Размеры конических неотбортованных стальных днищ с углом при вершине 2α = 140° (рис. 14.1, *е*), ГОСТ 12621 – 78

D, мм	$H_д$, мм	$s_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3
1600	182	4, 6, 8, 10	1,84	0,18
1800	218		2,40	0,26
2000	255	6, 8, 10, 12	3,04	0,37
2200	291		3,74	0,50
2400	328		4,50	0,65
2500	346		5,21	0,73
2600	364		5,64	0,83
2800	400		6,54	1,03
3000	437		7,23	1,28
3200	473	8, 10, 12, 14	8,55	1,55
3400	510		9,65	1,86
3600	510	10, 12, 14	10,81	2,20
3800	542		12,05	2,57
4000	582		13,35	3,02

Примечание. d = 600 мм — для $D \leq 3400$ мм, d = 800 мм — для $D \geq 3600$ мм.

Пример условного обозначения днища с D = 2000 мм и $s_д$ = 10 мм:

Днище 2000-10 ГОСТ 12621—78.

Таблица 14.8

Размеры сферических неотбортованных днищ (рис.14.1, *ж*), ОСТ 26–01–1297 – 75

D, мм	$H_{д.в}$, мм	$s_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3
400	53,6	4, 6, 8	0,134	0,003
450	60,3	4, 6, 8, 10	0,170	0,005
500	67,0		0,210	0,006
600	80,4		0,303	0,011
700	93,8	4, 6, 8, 10*, 12	0,412	0,018
800	107		0,539	0,026
900	121	6, 8, 10, 12	0,682	0,037
1000	134		0,842	0,052
1100	147		1,02	0,069
1200	161		1,21	0,090
1400	188		1,65	0,144
1600	214		2,15	0,216
1800	241		2,73	0,308
2000	268		3,37	0,423
2200	292	8, 10, 12	4,07	0,564
2400	322		4,85	0,734
2600	348		5,69	0,934
2800	375		6,60	1,167
3000	402		7,57	1,437

Примечание. Вместимости днищ имеют разные (в пределах ≤ 1%) значения в зависимости от s. В таблице приведены наименьшие значения.

Пример условного обозначения днища с D = 1000 мм и s = 10 мм из стали 09Г2С:

Днище 1000-10-09Г2С ОСТ 26-01-1297—75.

Таблица 14.9

Размеры плоских стальных отбортованных (ГОСТ 12622 – 78) и неотбортованных (ГОСТ 12623 – 78) днищ для корпусов с наружными базовыми диаметрами

$D_н$, мм	Отбортованные (рис. 14.1, *г*)			Неотбортованные (рис. 14.1, *з*)		
	$s_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3	$D_н$	$s_д$	s_1^*
				мм		
133 159 168	—	—	—	119 143 152	4—22, 25	5 6 6
219 273 325 377 426 480	4,6	0,06 0,09 0,12 0,16 0,19 0,24	0,002 0,003 0,004 0,006 0,007 0,009	203 255 305 355 402 456	4—22, 25	7 7 8 9 10 10
530 630 720 820 920	4,6	0,28 0,38 0,49 0,63 0,78	0,011 0,016 0,021 0,030 0,038	—	—	—
1020 1120 1220 1320 1420	4—8 6,8 6,8 6,8 6,8	0,94 1,11 1,31 1,53 1,75	0,047 0,057 0,068 0,079 0,092	—	—	—

Примечание. $R_б = 30$ мм; $h_ц = 25$ мм для $D_н \le 720$ мм, $h_ц = 30$ мм для $D \ge 820$ мм.

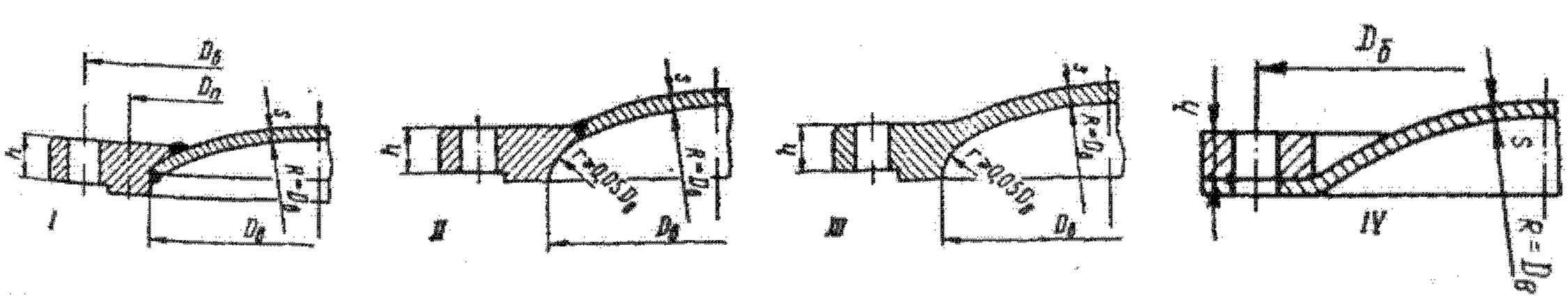
Пример условного обозначения отбортованного днища с $D_н = 325$ мм и $s_д = 6$ мм:

Днище 325-6 ГОСТ 12622—78.

* Размеры для справок.

В табл. 14.11—14.12 приведены основные данные о стандартизованных медных тарельчатых (сферических) и эллиптических днищах (крышках), применяемых со свободными фланцами в медной аппаратуре.

Сферические фланцевые крышки отличаются относительно малой высотой по сравнению с эллиптическими и небольшой металлоемкостью по сравнению с плоскими крышками.



Основные типовые конструкции сферических фланцевых крышек: *I* — сварные при $p_y \le 2,5$ *МПа*; *II* — сварные при $p_y > 2,5$ МПа; *III* — кованые и литые; *IV* — тарельчатые (из меди) с накидными фланцами при $p_y \le 0,3$ МПа

Таблица 14.10

Размеры плоских стальных отбортованных (ГОСТ 12622 – 78) и неотбортованных (ГОСТ 12623 – 78) днищ для корпусов с внутренними базовыми диаметрами

D, мм	Отбортованные (рис. 14.1, *г*)			Неотбортованные (рис. 14.1, *з*)	
	$s_д$, мм	$F_д$, м^2	$V_д$, м^3	$s_д$	$D_н$
				мм	
400	4, 6	0,18	0,007	3—6	430
500		0,26	0,010	3—6	530
600		0,36	0,015	4, 6	630
700		0,48	0,021	4—10	740
800		0,62	0,030	4—10	840
900		0,77	0,038	4—12	940
1000		0,93	0,046	4—12	1040
1200	6, 8	1,30	0,067	4—12	1240
1400		1,75	0,091	4—12	1440
1600		2,25	0,120	4—12	1640
1800		2,80	0,152	4—14	1840
2000		3,43	0,187	4—14	2040
2200	8, 10	4,12	0,227	6—16	2250
2400		4,88	0,270		2450
2500		5,28	0,293		2550
2600		5,69	0,317		2650
2800		6,57	0,368		2850
3000		7,50	0,422		3060
3200	8—12	8,51	0,500	6—16	3260
3400	10, 12	9,58	0,565	6—16	3460
3600	10, 12	10,70	0,633	6—20	3660
3800	10, 12	11,90	0,706	6—20	3860
4000	10, 12	13,15	0,782	6—20	4060
4500	—	—	—	8—20; 25	4560
5000					5060
5600					5660

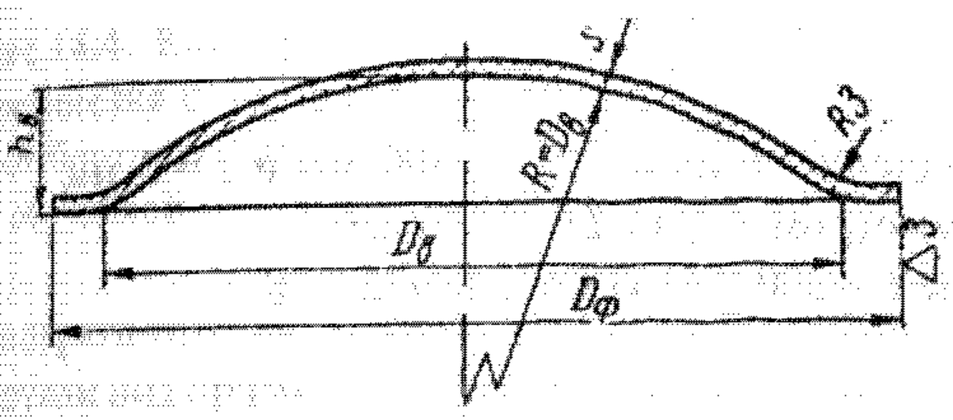
Примечание. $R_б = 30$ мм; $h_ц = 25$ мм для $D \le 700$ мм, $h_ц = 30$ мм для $D \ge 800$ мм.

Пример условного обозначения отбортованного днища с $D = 1000$ мм и $s_д = 6$ мм:

Днище 1000-6 ГОСТ 12622—78.

Таблица 14.11

Фланцевые тарельчатые днища (крышки) из меди (тип 1, ГОСТ 11972 – 78)



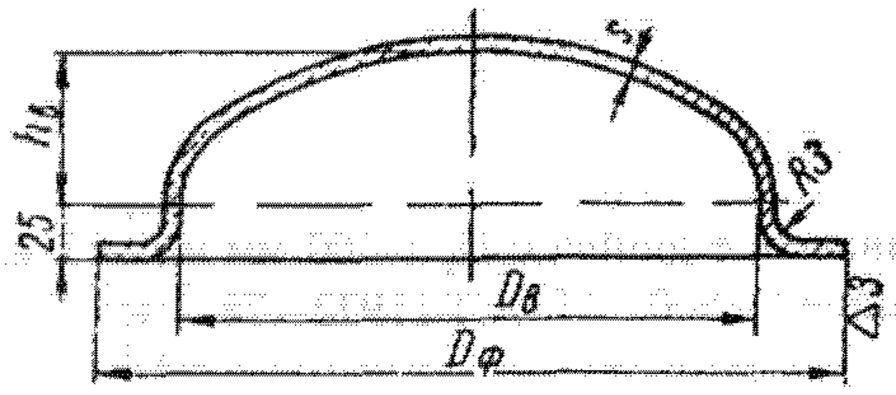
Условное обозначение днища с $D_в$ = 500 мм и s = 3 мм:
Днище 1 – 500 – 3 ГОСТ 11972 – 78

$D_в$	$h_в$	$D_ф$	D_1	F, м²	$V \cdot 10^3$, м³	Толщина стенки s, мм						
						2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
мм						Масса, кг						
300	40	410	420	0,075	1,44	2,5	3,1	—				
350	47	460	470	0,103	2,10	3,1	3,9	4,6				
400	53	510	520	0,135	3,36	3,8	4,7	5,7				
450	60	560	575	0,169	4,86	4,6	5,8	6,9	—			
500	67	610	630	0,210	6,73	5,5	6,9	8,3		—		
550	74	660	680	0,225	9,03	6,5	8,1	9,7				
600	80	710	735	0,303	11,5	7,5	9,4	11,3			—	
650	87	760	790	0,355	14,8	8,7	10,9	13,1				
700	93	810	840	0,408	17,3	9,9	12,3	14,8	17,3			—
750	100	860	890	0,471	22,5	11,1	13,8	16,6	19,4			
800	107	910	940	0,539	27,5	12,3	15,4	18,5	21,6			
850	113	960	995	0,608	32,6	13,8	17,3	20,8	24,2			
900	121	1010	1050	0,682	40,9	15,4	19,3	23,1	27,0			
950	128	1060	1100	0,757	46,7		21,1	25,4	29,6	33,8		
1000	134	1115	1160	0,842	53,9		23,5	28,2	32,9	37,6		
1100	147	1235	1280	0,974	71,3		28,6	34,4	40,1	45,8		
1200	161	1335	1390	1,21	93,3		33,7	40,5	47,2	54,0		
1300	174	1435	1490	1,52	118			46,6	54,3	62,1	69,8	
1400	188	1535	1595	1,65	148			53,3	62,2	71,1	80,0	
1500	201	1635	1700	1,89	180	—		60,6	70,7	80,8	90,9	—
1600	214	1735	1805	2,16	242			68,3	79,7	91,1	103	114
1800	24	1935	2015	2,73	314		—	85,1	99,3	114	128	142
2000	268	2135	2225	3,37	431			103	121	138	156	173

Примечания.
1. F — внутренняя поверхность днища, V — емкость днища, D_1 — диаметр развертки днища.
2. Днища предназначены для аппаратов, работающих при $p_y \le 0{,}07$ *МПа* и t_c от минус 196 до плюс 250°С.
3. Материал днищ — медь марок М3 и М3С.

Таблица 14.12

Фланцевые эллиптические отбортованные днища (крышки) из меди (тип 2, ГОСТ 11972—78)



Условное обозначение днища с $D_в$ = 500 *мм* и s = 3 *мм*, диаметром борта D = 610 *мм*:
Днище 2 —500—610 ГОСТ 11972—78

$D_в$	$h_в$	$D_ф$	D_1	F, м^2	$V \cdot 10^3$, м^3	Толщина стенки s, мм							
						2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6
мм						Масса, кг							
300	75	410	500	0,12	5,3	3,5	4,4	5,2	6,1	—			
350	88	460	560	0,16	8,0	4,4	5,5	6,6	7,7				
400	100	510	620	0,20	11,5	5,4	6,7	8,1	9,4	10,7			
		530	640			—	—	8,6	9,9	—	—		
450	112	560	675	0,25	15,8	6,4	8,0	9,5	11,1	12,7			
		580	695			—	—	10,1	11,8	—			
500	125	610	735	0,31	21,4	7,5	9,4	11,3	13,2	15,1		—	
		630	755			—	—	11,9	13,9	—			
550	137	660	805	0,37	27,6	9,1	11,3	13,6	15,8	18,1	20,4		
		680	825			—	—	14,3	16,7	—	—		
600	150	710	850	0,44	35,2	10,1	12,6	15,1	17,7	20,2	22,7		
		730	870			—	—	15,9	18,5	—	—		—
650	162	760	910	0,51	44,2	11,6	14,5	17,4	20,2	23,1	26,0		
		780	930			—	—	18,1	21,2	—	—		
700	175	810	970	0,59	54,5	13,1	16,4	19,7	23,0	26,3	29,6	32,9	
		830	990					20,5	24,0	—			
		840	1000			—	—	21,0	24,5	28,0	—	—	
750	187	860	1010	0,67	66,2	14,3	17,8	21,4	24,9	—			
		880	1030			—	—	22,2	25,9	29,7	33,3	37,0	
		890	1040					22,7	26,5	30,2			
800	200	910	1085	0,76	79,6	16,5	20,6	24,7	28,8	—	—	—	
		930	1105					25,6	29,9	34,1	38,4	42,7	
			1135			—	—	27,0	31,5	36,0			
850	212	960	1170	0,86	96,8	19,1	23,9	28,7	33,5	38,3	—	—	
		980	1190					29,7	34,6	39,6	44,5	49,5	59,4
		1010	1220			—	—	31,2	36,4	41,6			
900	225		1215	0,95	111	20,6	25,8	30,9	36,1	41,3	—	—	—
		1030	1235					32,0	37,3	42,6	48,0	53,3	64,0
		1060	1265				—	33,6	39,1	44,7			
950	237		1250	1,06	132		27,8	32,8	38,2	43,7	—	—	—
		1080	1270			—		33,8	39,5	45,1	50,7	56,4	67,6
		1135	1325				—	36,8	42,9	49,0	—	—	—

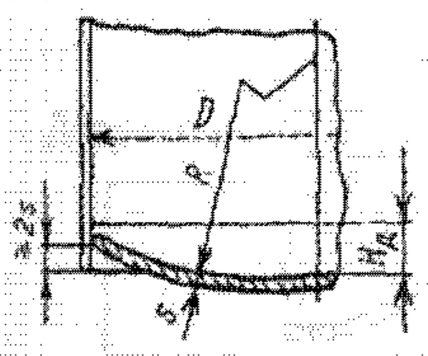


Рис.14.4. Конструкция соединения сферических неотбортованных днищ с обечайкой

Конструкция соединения сферических неотбортованных днищ с цилиндрической обечайкой показаны на рис. 14.4, а плоских днищ — на рис. 14.5.

Цилиндрические днища (рис.14.6), представляющие собой часть цилиндрической обечайки, которая ограничивает обечайку корпуса аппарата того же диаметра при соединении их друг с другом под прямым углом, применяются лишь в аппаратах не-ответственного назначения, работающих без избыточного давления, под наливом или под избыточным давлением до 0,07 МПа при температуре среды до 50°С.

Наличие концентрации напряжений в местах перехода одной криволинейной поверхности в другую, которые примерно в 1,7 раза превышают номинальные напряжения в цилиндрической обечайке, требуют из условий прочности соответствующего увеличения толщины стенки днища и прилегающей к нему концевой цилиндрической обечайки аппарата.

Эллиптические отбортованные днища изготовляются горячей штамповкой из плоских круглых заготовок, состоящих из одной или нескольких частей, сваренных между собой встык. Возможное расположение стыков таких днищ показано на рис. 14.7 при $\alpha \le 0{,}2D$, а $\alpha_1 \ge 200$ мм.

Полушаровые днища изготавливаются сварными из штампованных лепестков и шарового сегмента (рис. 14.8) при $\alpha \ge 3s$, но не менее 100 мм, $\alpha_1 \le D/6$ и $\alpha_2 \le D/3$. Для крупногабаритных полушаровых днищ отдельные лепестки до штамповки в плоском состоянии могут свариваться из нескольких частей. Количество лепестков выбирается исходя из размеров листов и рационального раскроя.

При расположении отверстий в выпуклых днищах, за исключением эллиптических, должны соблюдаться следующие условия (рис.14.9): при $s < 10$ мм $l \ge 0{,}1D_н$, при $s \ge 10$ мм $l \ge 0{,}09D + +s$, где l — размер по проекции образующей по наружной поверхности днища.

При необходимости допускается расположение отверстий на отбортованной части выпуклого днища в зоне $l < 0{,}1D_н$ при условии подтверждения прочности специальным расчетом, согласованным головной организацией отрасли или соответствующими данными тензометрических измерений.

На отбортованной части эллиптических днищ допускается расположение отверстий в соответствии с расчетом по ОСТ 26-2045—77. Конические отбортованные или неотбортованные днища и переходы изготовляются вальцовкой плоских разверток с последующей отбортовкой, которые могут состоять из одной или нескольких частей, сваренных между собой встык согласно рис. 14.10. При этом крупногабаритные днища в соответствии с расчетом их на прочность могут выполняться из листов разной толщины с соблюдением правил, указанных в главе 8.

Ориентировочные отклонения основных размеров эллиптических днищ приведены в табл. 14.13.

Допускается конусность отбортованной цилиндрической части в эллиптических днищах в зависимости от толщины стенки s, мм:

Толщина	До 20	20—26	28—34	Св. 36
Конусность	4	5	6	8

Отклонения от эллиптической формы в любом диаметральном сечении зависят от диаметра днища, мм:

Диаметр днища	До 529	550—1400	1600—2200	2400—2800	Св.3000
Отклонения ΔR	+2; –5	+4; –10	+8; –18	+10; –28	+14; –38

Отклонения диаметра у цилиндрической части отбортованных эллиптических, конических и плоских днищ, а также полушарового днища определяются исходя из условий допускаемого смещения кромок при соединении с корпусом при $\alpha \le 1{,}0\%$ (см. гл. 13).

Совместный увод кромок у продольных и кольцевых швов днищ, состоящих из нескольких частей, может быть $0{,}1\,s + 3$ мм, но не более 5 мм.

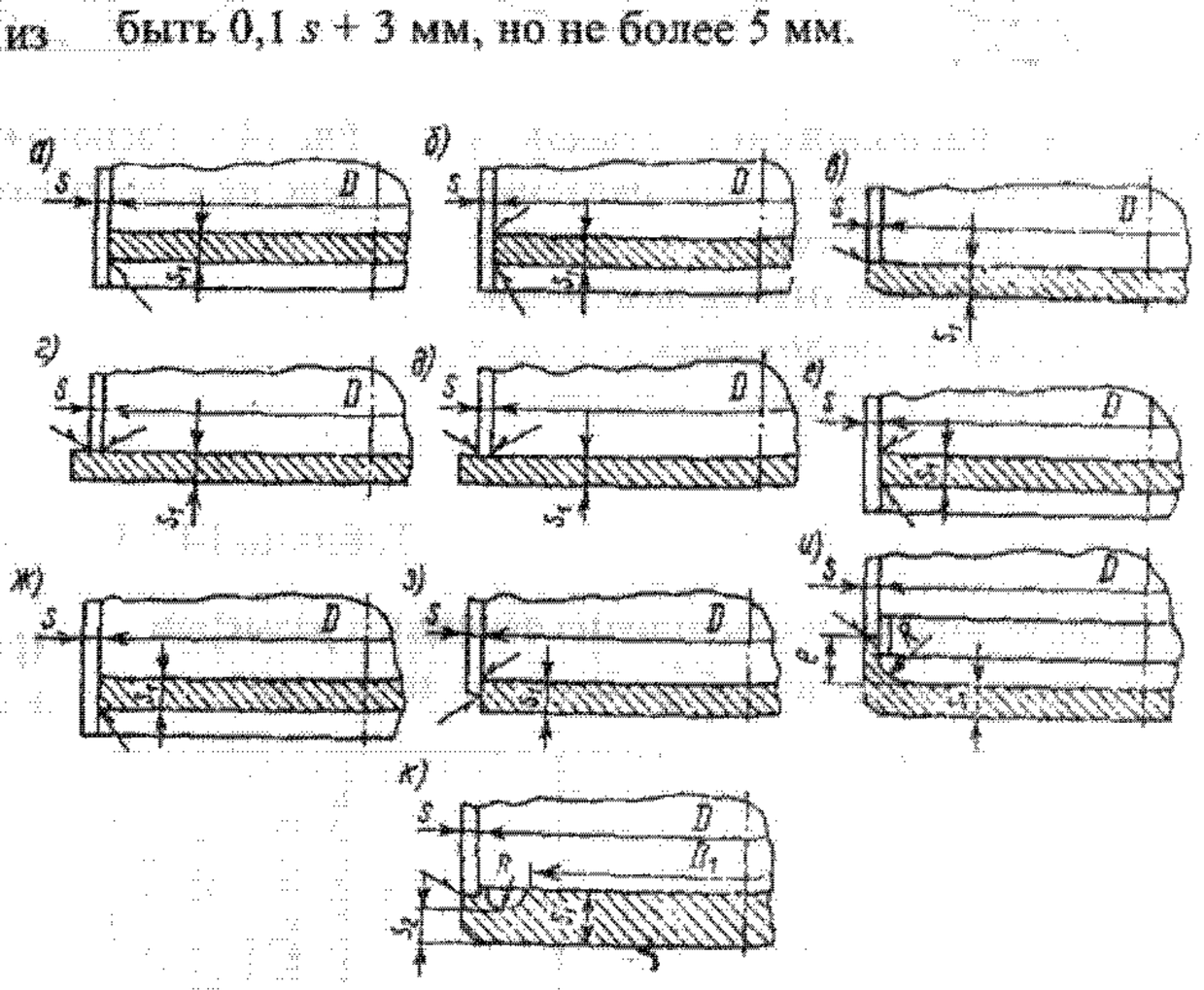


Рис.14.5. Конструкции плоских днищ и сварное соединение их с цилиндрическими обечайками в сварных стальных аппаратах: *а* — с односторонним угловым швом без скоса кромки; *б,г,з* — с двусторонним угловым швом без скоса кромок; *в* — с односторонним угловым швом и скосом двух кромок; *д* — с двусторонним угловым швом и двусторонним скосом кромки обечайки; *е* — с двусторонним угловым швом и двусторонним скосом кромки днища; *ж* — с односторонним тавровым швом и криволинейным скосом кромки днища; *и* — с односторонним стыковым швом и подкладкой; *к* — с односторонним стыковым швом в замок и скосом двух кромок

Продольные швы смежных поясов в составных конических днищах и меридиональные швы в полушаровых днищах должны быть смещены относительно друг друга (рис.14.10), а отклонение любого продольного шва от образующей конуса допускается не более чем на 15 мм на 1 м высоты конуса. Для аппаратов, не подведомственных Госгортехнадзору, указанные швы допускается не смещать, если они не выполняются автоматической сваркой и при 100% просвечивании мест пересечения. Смещение кромок свариваемых заготовок днищ не должно превышать 10 % толщины листа, но не более 3 мм.

Для днищ, изготовленных штамповкой, допускается утонение в зоне отбортовки до 15 % от исходной толщины заготовки.

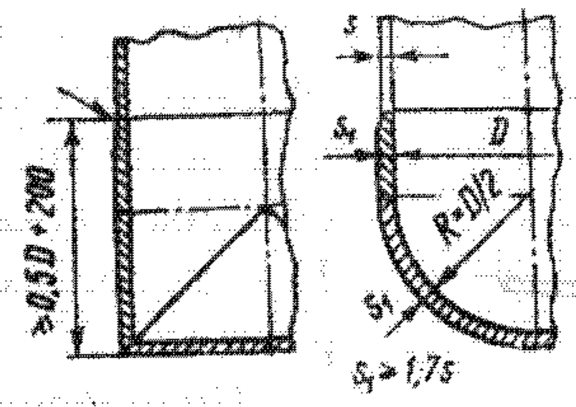


Рис.14.6. Конструкция цилиндрического днища

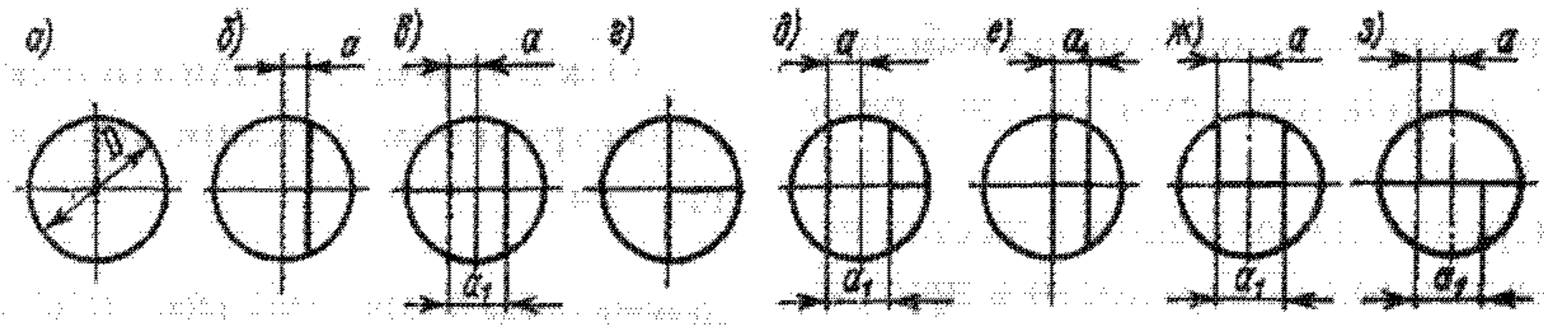


Рис.14.7. Расположение стыков в плоских заготовках для эллиптических днищ, изготовляемых из нескольких листов: *а,б* — из двух листов; *в,г,е* — из трех листов; *д,ж,з* — из четырех листов

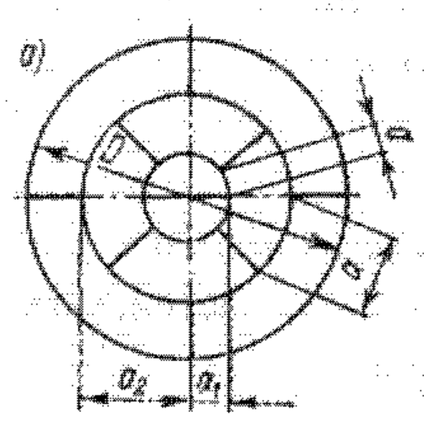
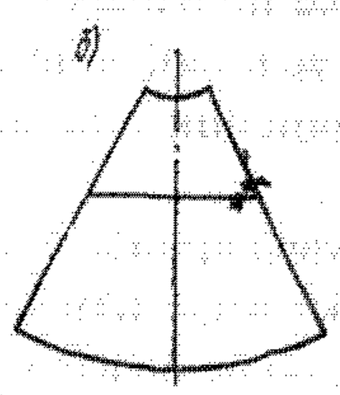


Рис.14.8. Расположение стыков в полушаровых днищах, изготовляемых из отдельных частей: *а* — пример расположения сварных швов в днище; *б* — пример расположения сварных швов в плоской заготовке лепестка



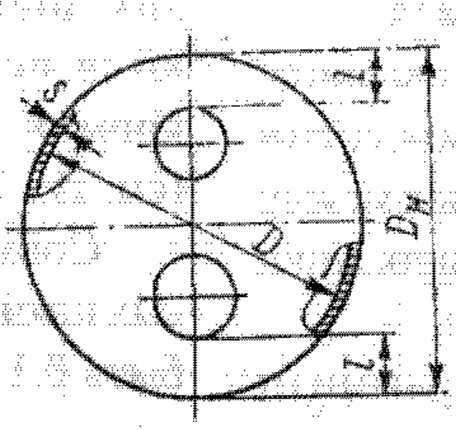
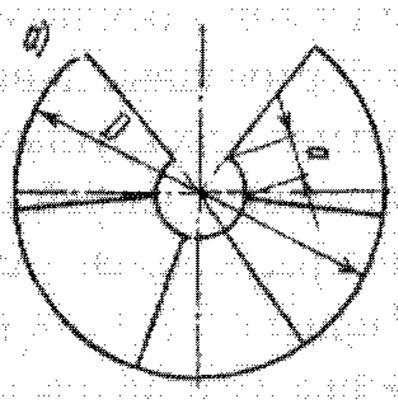


Рис.14.9. Расположение отверстий в выпуклых днищах



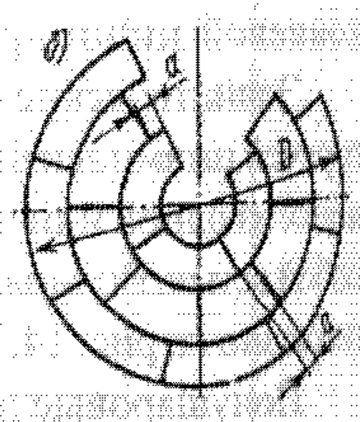


Рис.14.10. Расположение стыков в плоских заготовках—развертках конических днищ, изготовленных из отдельных частей: *а* — при s = const и длине листов свыше $0{,}5D$; *б* — при s = const и длине до $0{,}5D$

Таблица 14.13

Ориентировочные отклонения основных размеров эллиптических отбортованных днищ, мм

D, мм	ΔD		ΔH	Вогнутость и выпуклость	Торцевое биение
	$s \leq 22$	$s > 22$			
До 720	± 2	± 3	± 4	2	2
800—1300	± 3	± 4	± 6	3	3
1400—1700	± 4	± 5	± 8	4	4
1800—2500	± 5	± 6	± 12	4	5
2600—3000	± 6	± 7	± 16	4	8
3200—3400	± 6	± 7	± 20	4	10
3600—4000	± 8	± 8	± 20	4	10

Отклонения размеров и формы эллиптических днищ (рис. 14.11) не должно превышать значений, указанных в табл. 14.14, 14.15 и 14.16 (ОСТ 26-291—94).

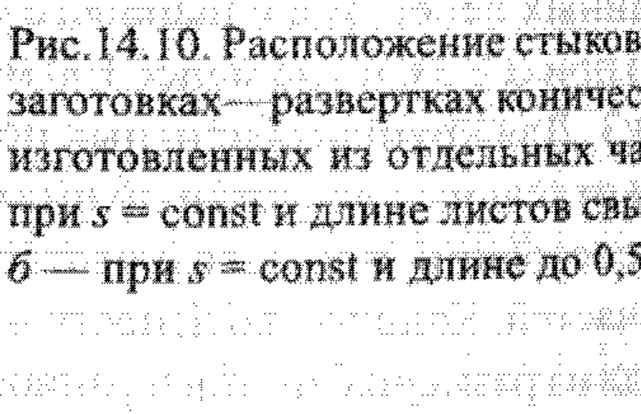


Рис. 14.11. Отклонения размеров и формы эллиптического днища

Таблица 14.14

Допуски высоты цилиндрической части и высоты выпуклости (вогнутости) на эллипсоидной части днища

Диаметр днища, D, мм	Предельное отклонение высоты цилиндрической части, Δh, мм	Предельная высота отдельной вогнутости или выпуклости на эллипсоидной части, Т, мм
До 720	±5	2
От 800 до 1300		3
От 1320 и более		4

Примечания. 1. Высота отдельной вогнутости или выпуклости Т на эллипсоидной части днища, изготавливаемого на фланжировочном прессе, допускается до 6 мм.

2. На цилиндрической части днища не допускаются гофры высотой более 2 мм.

3. Высота эллипсоидной части днища обеспечивается оснасткой.

Таблица 14.15

Допуски наклона цилиндрической части

Толщина днища, s', мм	Допуски наклона, Δm, мм
От 20	4
От 22 до 25	5
От 28 до 34	6
От 36 и более	8

Таблица 14.16

Допуски формы эллипсоидной поверхности

Диаметр днищ, D, мм	Зазор между шаблоном и эллипсоидной поверхностью, мм	
	Δr	ΔR
До 530	4	8
От 550 до 1400	6	13
От 1500 до 2200	10	21
От 2400 до 2800	12	31
От 3000 и более	16	41

Контроль формы готового днища следует производить шаблоном длиной 0,5 внутреннего диаметра днища. Высота цилиндрической части должна измеряться приложением линейки по ГОСТ 427.

Высота отдельной вогнутости или выпуклости Т для полусферических днищ (рис. 14.12а) на поверхности днищ должна быть не более 4 мм.

Зазоры ΔR и Δr между шаблоном и сферической поверхностью днища из лепестков и шарового сегмента (рис. 14.12, б,в) должны быть не более ±5 мм при внутреннем диаметре днища до 5000 мм и ±8 мм при внутреннем диаметре более 5000 мм. Величина зазора ΔR может быть увеличена в 2 раза, если $s' \geq 0{,}8s$ (s — толщина обечайки, s' — толщина днища).

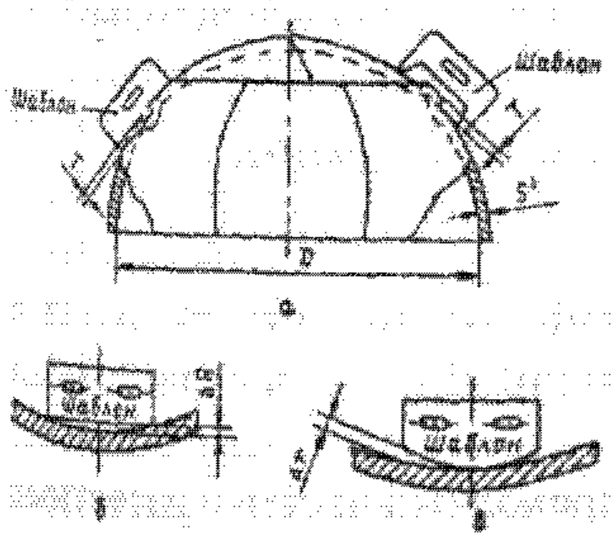


Рис 14.2 Отклонение формы полусферического днища

Зазоры ΔR и Δr между шаблоном и сферической поверхностью штампованного днища должны быть не более значений, указанных в табл. 14.16.

Контроль формы готового днища производится шаблоном длиной не менее 1/6 внутреннего диаметра днища.

У конических днищ (переходов) продольные и кольцевые швы смежных поясов могут располагаться не параллельно образующей и основанию конуса. При этом должны выполняться требования п. 12.5.3.

Утонение толщины стенки отбортовки конических днищ (переходов), изготовляемых штамповкой, не должно превышать 15% от исходной толщины заготовки.

Отклонения высоты цилиндрической части днища допускаются не более +10 и —5 мм.

Отклонение от плоскостности для плоских днищ по ГОСТ 12622 и ГОСТ 12623 не должно превышать требований по отклонению от плоскостности на лист по ГОСТ 19903 и ГОСТ 10885.

Отклонение от плоскостности для плоских днищ, работающих под давлением, после приварки их к обечайке не должно превышать 0,01 внутреннего диаметра сосуда, но не более 20 мм при условии, что в технической документации не указаны более жесткие требования.

14.2. Расчет днищ и крышек

Расчет днищ и крышек выполняется по ГОСТ 14249—89, СТ СЭВ 1039—78, СТ СЭВ 1048—78, СТ СЭВ 1041—78, РТМ 26-01-56—73.

Днища эллиптические отбортованные (см. рис. 14.1, *а*) и полусферические отбортованные (см. рис. 14.1, *б*). Формулы расчета применимы при условии $0{,}002 \le (s_д - c)/D \le 0{,}1$; $0{,}2 \le H_д/D \le 0{,}5$.

14.2.1. Расчет днищ, нагруженных внутренним избыточным давлением

Толщина стенки днища определяется по формулам:

$$s_R = \frac{p_R R}{2\varphi[\sigma] - 0{,}5p_R}; \qquad (14.1)$$

$$s_д = s_R + c. \qquad (14.2)$$

Радиус кривизны в вершине днища равен

$$R = D^2/4H_д,$$

где $R = D$ — для эллиптических днищ с $H_д = 0{,}25D$; $R = 0{,}5D$ — для получения днищ с $H_д = 0{,}5D$.

Допускаемое внутреннее избыточное давление рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{2(s_д - c)\varphi[\sigma]}{R + 0{,}5(s_д - c)}. \qquad (14.3)$$

Если длина цилиндрической отбортованной части днища $h_ц > 0{,}8\sqrt{D(s_д - c)}$ — для эллиптического днища или $h_ц > 0{,}3\sqrt{D(s_д - c)}$ — для полусферического днища, то толщина днища должна быть не менее толщины стенки сопрягаемой с ним обечайки, рассчитанной по формулам (13.1) и (13.2) при $\varphi = 1$.

Для днищ, изготовленных из нескольких заготовок, коэффициент φ следует определять в соответствии с табл. 12.22.

14.2.2. Расчет днищ, нагруженных наружным давлением

Толщина стенки днища приближенно определяется по формулам:

$$s_R = \max\left\{\frac{K_в R}{510}\sqrt{\frac{n_u p_R}{10^{-6}E}};\ \frac{p_R R}{2[\sigma]}\right\}; \qquad (14.4)$$

$$s_д \ge s_R + c. \qquad (14.5)$$

Для предварительного расчета коэффициент приведения радиуса кривизны эллиптического днища $K_э$ принимается равным 0,9 для эллиптических днищ и 1,0 для полусферических днищ.

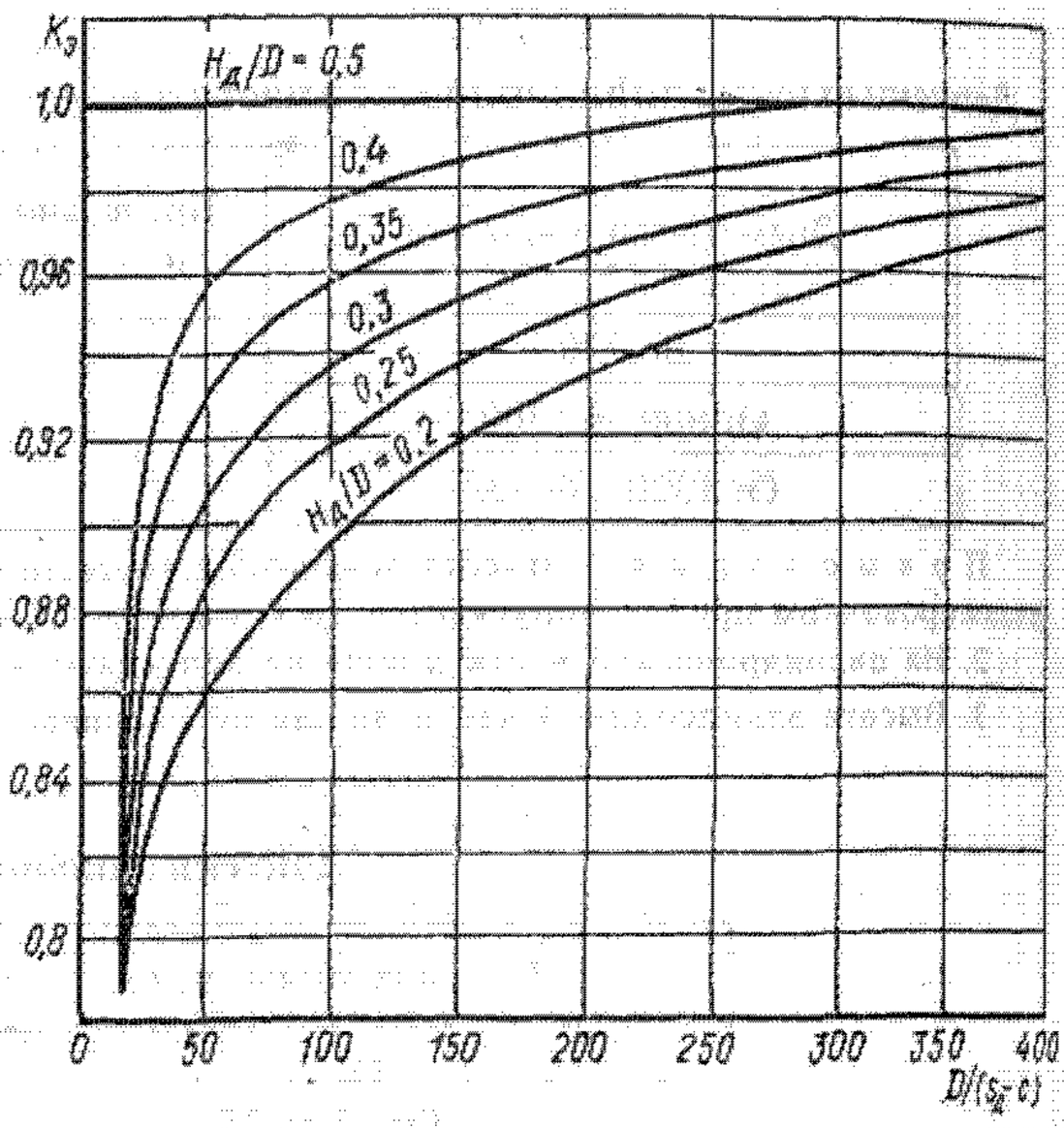


Рис. 14.13. Номограмма для определения коэффициента $K_э$ при расчете выпуклых днищ на наружное давление

Полученные значения по формулам (14.4) и (14.5) должны быть проверены по формуле (13.6) расчета допускаемого наружного давления.

В формуле (13.6) допускаемое давление из условия прочности

$$[p]_p = \frac{2[\sigma](s_д - c)}{R + 0{,}5(s_д - c)}, \qquad (14.6)$$

а допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости

$$[p]_E = \frac{26 \cdot 10^{-6}E}{n_u}\left[\frac{100(s_д - c)}{K_в R}\right]. \qquad (14.7)$$

Здесь коэффициент $K_э = f(D/(s_д - c); H_д/D)$ определяется по рис. 14.13 или по формуле:

$$K_в = \frac{1 + (2{,}4 + 8x)x}{1 + (3{,}0 + 10x)x}, \qquad (14.8)$$

где

$$x = 10\frac{s_д - c}{D}\left(\frac{D}{2H_д} - \frac{2H_д}{D}\right). \qquad (14.9)$$

Конические обечайки, днища и переходы

14.2.3. Расчетные схемы и расчетные параметры

Расчетные схемы конических обечаек, днищ и переходов приведены на рис. 14.1, *в*, *д*, *е*, рис. 14.2, *а* и *б* и рис. 14.3.

Расчетные длины переходных частей и расчетные

Таблица 14.17

Расчетные параметры конических днищ, обечаек и переходов (рис. 14.3)

Рис. 14.3	Расчетная длина a_1	Расчетная длина a_2	Расчетный диаметр $D_к$
а	$0{,}7\sqrt{\frac{D}{\cos\alpha_1}(s_1-c)}$	$0{,}5\sqrt{D(s_1-c)}$	$D-2[R_б(\cos\alpha_2-\cos\alpha_1)+0{,}7a_1\sin\alpha_1]$
б; в		$0{,}7\sqrt{D(s_2-c)}$	$D-1{,}4a_1\sin\alpha_1$
г		$0{,}5\sqrt{\frac{D}{\cos\alpha_2}(s_2-c)}$	$D-2[R_б(\cos\alpha_2-\cos\alpha_1)+0{,}7a_1\sin\alpha_1]$
д		$0{,}7\sqrt{\frac{D}{\cos\alpha_2}(s_2-c)}$	$D-1{,}4a_1\sin\alpha_1$
е	$\sqrt{\frac{D}{\cos\alpha_1}(s_1-c)}$	$1{,}25\sqrt{D(s_2-c)}$	—

Примечание. При ступенчатом изменении по оси конуса толщин стенок конических обечаек для второй и последующих частей за расчетный диаметр $D_К$ данной части обечайки принимается внутренний диаметр большего основания.

диаметры определяются по формулам, приведенным в табл. 14.17.

Расчетные значения коэффициентов прочности сварных швов переходов обечаек следует определять по табл. 14.18.

14.2.4. Условия применения формул расчета

Для конических обечаек и днищ с углом $\alpha \le 70°$ формулы расчета применимы при соблюдении условия

$$0{,}001 \leqslant \frac{s_1 \cos\alpha_1}{D} \leqslant 0{,}05,$$

а с углом $\alpha_1 \ge 60°$ — без ограничений; для гладких конических обечаек и днищ, нагруженных наружным давлением или осевой сжимающей силой или внешним изгибающим моментом, расчетные температуры не превышают значений, при которых возникает ползучесть металла, т.е. при температурах, когда допускаемые напряжения определяются только по $\sigma_т$ или $\sigma_в$.

Если точных данных не имеется, то формулы применимы при условии, что расчетная температура стенки обечайки из углеродистой стали не превышает 380°С, из низколегированной стали — 480°С и из аустенитной стали — 525°С; если расстояние между двумя соседними узлами обечаек не менее суммы соответствующих расчетных длин обечаек $(a_1 + a_2)$ или если расстояние от узлов до опорных элементов аппарата (за исключением юбочных опор и опорных колец) не менее удвоенной расчетной длины обечайки по табл. 14.17; если в области расчетной длины цилиндрических и конических обечаек a_1 и a_2 отсутствуют отверстия диаметром более $3s$. В технически обоснованных случаях допустимо расположение отверстий в зоне расчетной длины при наличии дополнительного расчета:

если исполнительные (принятые) длины переходных частей обечаек не менее расчетных длин a_1 и a_2;

если для конических и цилиндрических обечаек без тороидального перехода угловой шов выполнен с двусторонним сплошным проваром;

если исполнительная толщина стенки конического элемента в месте соединения двух обечаек s, s_1 или s_2 будет принята не менее толщины $s_К$, определяемой из расчета на прочность гладкой конической обечайки, нагруженной в зависимости от условий работы внутренним избыточным или наружным давлением, осевой растягивающей или сжимающей силой, внешним изгибающим моментом;

если исполнительная толщина стенки цилиндрической обечайки в месте соединения двух обечаек будет принята не менее минимальной толщины стенки, определяемой расчетом на прочность (см. гл. 13).

Расчет толщины стенок переходной части обечаек следует определять численно методом последовательных приближений на основании предварительного подбора и последующей проверки отношений

$$D/(s_2 - c) \text{ и } (s_1 - c)/(s_2 - c).$$

Таблица 14.18

Расчетные значения коэффициентов прочности сварных швов переходов обечаек

Виды соединений обечаек	Виды нагрузок		
	Внутреннее давление или растягивающая сила	Наружное давление или сжимающая сила	Изгибающий момент
	Расчетные формулы для определения φ_R		
Без тороидального перехода и с тороидальным переходом (рис. 14.3, *а, б, г, д*)	$\varphi_R = \sqrt{\varphi_т}$	$\varphi_R = \min [\varphi_p; \sqrt{\varphi_т}]$	$\varphi_R = \min [\varphi_p; \sqrt{\varphi_т}]$
Коническая и цилиндрическая обечайки с укрепляющим кольцом (рис. 14.3, *в*)	$\varphi_R = \sqrt{\varphi_т}$; $\varphi_{FR} = 1$	$\varphi_R = \min [\varphi_p; \sqrt{\varphi_т}]$; $\varphi_{FR} = \varphi_F$	$\varphi_R = \min [\varphi_p; \sqrt{\varphi_т}]$; $\varphi_{FR} = \varphi_F$
Внутренний цилиндрический корпус или штуцер с конической обечайкой (рис. 14.3, *е*)	$\varphi_R = \min [\varphi_p; \sqrt{\varphi_т}]$	$\varphi_R = \sqrt{\varphi_т}$	$\varphi_R = \min [\varphi_p; \sqrt{\varphi_т}]$

где φ_F — коэффициент прочности поперечного сварного шва для укрепляющего кольца.

В приводимых ниже расчетных формулах за допускаемое давление, осевую силу и изгибающий момент для конической обечайки принимается меньшее значение, полученное из условия прочности гладкой конической обечайки и условия прочности переходной части.

Формулы неприменимы для расчета конических переходов в местах крепления рубашки к корпусу аппарата.

14.2.5. Расчет гладких конических обечаек, нагруженных внутренним избыточным давлением

Толщина стенки определяется по формулам:

$$s_{кR} = \frac{p_R D_к}{2[\sigma]\varphi_R - p_R} \frac{1}{\cos\alpha_1}; \qquad (14.10)$$

$$s_к \geqslant s_{кR} + c. \qquad (14.11)$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление определяется по формуле:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_p (s_к - c)}{\frac{D_к}{\cos\alpha_1} + (s_к - c)}, \qquad (14.12)$$

где $D_к$ принимается по табл. 14.14.

Коэффициент φ_R определяется по формулам табл. 14.18 для соответствующего вида нагрузки.

14.2.6. Расчет гладких конических обечаек, нагруженных наружным давлением

Формулы расчета применимы при условии $\alpha_1 \leq 70°C$.

Толщина стенки приближенно определяется по формулам (13.4) и (13.5) с последующей проверкой по формуле (13.6).

При этом допускаемое наружное давление из условия прочности рассчитывается по формуле:

$$[p]_p = \frac{2[\sigma](s_н - c)}{\frac{D_н}{\cos\alpha_1} + (s_к - c)}, \qquad (14.13)$$

а допускаемое давление из условия устойчивости в пределах упругости — по формуле:

$$[p]_E = \frac{20{,}8 \cdot 10^{-6} E}{n_у B_1} \frac{D_E}{l_E} \left[\frac{100(s_к - c)}{D_E}\right]^2 \sqrt{\frac{100(s_н - c)}{D_E}}. \qquad (14.14)$$

Эффективный диаметр конической обечайки (см. рис. 14.2, *а* и *б*) определяется по формуле:

$$D_E = \max\left\{\frac{D + D_0}{2\cos\alpha_1};\ \frac{D}{\cos\alpha_1} - 0{,}31\,(D + D_0)\sqrt{\frac{D + D_0}{s_R - c}\operatorname{tg}\alpha_1}\right\}. \tag{14.15}$$

Коэффициент

$$B_1 = \min\left\{1{,}0;\ 9{,}45\frac{D_E}{l_E}\sqrt{\frac{D_E}{100(s_R - c)}}\right\}; \tag{14.16}$$

и эффективная длина конической обечайки (см. рис. 14.2, *а* и *б*) определяется по формуле:

$$l_E = \frac{D - D_0}{2\sin\alpha_1}. \tag{14.17}$$

14.2.7. Расчет конической и цилиндрической части или двух конических частей, соединенных между собой без тороидального перехода (рис. 14.3, б и д), нагруженных внутренним избыточным или наружным давлением

Формулы расчета применимы при условии $\alpha_1 \le 70°C$; $0 \le \alpha_2 \le \alpha_1$; $(s_1 - c) \ge (s_2 - c)$.

Толщина стенки определяется по формулам:

$$s_2 R = \frac{p_R D \beta_1}{2[\sigma]_2 \varphi_R - p_R}\,\frac{1}{\cos\alpha_2}; \tag{14.18}$$

$$s_2 \geqslant s_2 R + c. \tag{14.19}$$

Коэффициент формы β_1 определяется из условия

$$\beta_1 = \max\{0{,}5;\ \beta\}, \tag{14.20}$$

где β определяется по формуле:

$$\beta = 0{,}4\sqrt{\frac{D}{s_2 - c}}\,\frac{\cos\alpha_2\,(\operatorname{tg}\alpha_1 - \operatorname{tg}\alpha_2)}{\dfrac{1}{\sqrt{\cos\alpha_2}} + \sqrt{\dfrac{1 + \varkappa\left(\dfrac{s_1 - c}{s_2 - c}\right)^2}{2\cos\alpha_1}\varkappa\left(\dfrac{s_1 - c}{s_2 - c}\right)}} - 0{,}25, \tag{14.21}$$

где

$$\varkappa = [\sigma]_1/[\sigma]_2,$$

и φ_R определяется по формулам табл. 14.18 для соответствующего вида нагрузки.

Толщина стенки второго элемента перехода определяется из отношения $(s_1 - c)\,/\,(s_2 - c)$ по условию

$$s_1 \geqslant \left\{\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right\} s_2 R + c. \tag{14.22}$$

Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{2[\sigma]_2 \varphi_R\,(s_2 - c)}{\dfrac{D\beta_1}{\cos\alpha_2} + (s_2 - c)}, \tag{14.23}$$

где β_1 определяется по (14.20).

Для соединения конической и цилиндрической обечаек (см. рис. 14.3, *б*) $\cos\alpha_2 = 1$ ($\alpha_2 = 0$), при определении значения коэффициента β_1 коэффициент β рассчитывается по формуле (14.21) и в формулах (14.18) и (14.23) в качестве допускаемого напряжения $[\sigma]_2$ принимается минимальное значение из допускаемых напряжений обеих обечаек перехода $[\sigma]_1$ и $[\sigma]_2$.

14.2.8. Расчет конической и цилиндрической части или двух конических частей, соединенных между собой тороидальным переходом (рис.14.3, а и г), нагруженных внутренним избыточным или наружным давлением

Формулы расчета применимы при условиях $\alpha_1 \le 70°; 0 \le \alpha_2 \le \alpha_1; 0 \le R_6/D \le 0{,}3$.

Толщина стенки определяется по формулам:

$$s_R = \frac{p_R D \beta_3}{2[\sigma]\varphi_R - p_R} \frac{1}{\cos\alpha_2}; \tag{14.24}$$

$$s_T \geqslant s_R + c. \tag{14.25}$$

Коэффициент формы определяется из условия

$$\beta_3 = \max\{0{,}5; \beta \cdot \beta_T\}, \tag{14.26}$$

где β определяется по формуле (14.21) при $\varkappa = 1$ и $(s_1 - c)/(s_2 - c) = 1$; коэффициент

$$\beta_T = \frac{1}{1 + \dfrac{\dfrac{0{,}028R_6}{D}\sqrt{\dfrac{D}{s_T - c}}(\alpha_1 - \alpha_2)}{\dfrac{1}{\sqrt{\cos\alpha_2}} + \dfrac{1}{\sqrt{\cos\alpha_1}}}}. \tag{14.27}$$

Коэффициент φ_R определяется по формулам табл. 14.18 для соответствующего вида нагрузки.

Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{2[\sigma]\varphi_R (s_T - c)}{\dfrac{D\beta_3}{\cos\alpha_2} + (s_T - c)}. \tag{14.28}$$

14.2.9. Расчет пологого конического днища с тороидальным переходом (рис. 14.3, а), нагруженного внутренним избыточным давлением

Формулы расчета применимы при условии $\alpha_1 > 70°$. Толщина стенки принимается как меньшее из значений

$$s_R = 0{,}3(D - R_6)\frac{\alpha_1}{90}\sqrt{\frac{p_R}{[\sigma]\varphi_R}}; \tag{14.29}$$

$$s'_T \geqslant s_R + c \tag{14.30}$$

и значения $s'_T = \max\{s_K; s_T\}$, где s_K определяется по (14.10) и (14.11), а s_T — по (14.24) и (14.25).

Допускаемое внутреннее избыточное давление принимается как большее из следующих значений:

$$[p] = [\sigma]\varphi_R \left[\frac{s'_T - c}{0{,}3(D - R_6)}\frac{90}{\alpha_1}\right]^2 \tag{14.31}$$

и меньшее из значений $[p]$, определенных по формулам (14.12) и (14.28).

Коэффициент φ_R определяется по формулам табл. 14.18 для соответствующего вида нагрузки.

14.2.10. Расчет конической и цилиндрической обечаек, соединенных между собой укрепляющим кольцом (рис. 14.3, в), нагруженных внутренним избыточным или наружным давлением

Формулы расчета применимы при условиях $\alpha_1 \le 70°C$; $(s_1 - c) \ge (s_2 - c)$. Площадь поперечного сечения укрепляющего кольца определяется по формуле:

$$F_R \geqslant \frac{p_R D^2 \operatorname{tg}\alpha_1}{8\,[\sigma]_к \varphi_{FR}} \left(1 - \frac{\beta_F + 0{,}25}{\beta_1 + 0{,}25}\right), \tag{14.32}$$

где коэффициент формы β_F определяется по формуле:

$$\beta_F = \left(\frac{2\,[\sigma]_2 \varphi_R}{p_R} - 1\right) \frac{s_2 - c}{D}. \tag{14.33}$$

При $F_к \leq 0$ по формуле (14.32) укрепление кольцом жесткости не требуется.

Коэффициенты φ_{FR} и φ_R определяются по формулам табл. 14.18 для соответствующего вида нагрузки.

В случаях действия нагрузки от наружного давления, или осевой сжимающей силы, или изгибающего момента сварной шов стыкового соединения кольца должен быть проварен. При определении $F_к$ необходимо учитывать также сечение стенок обечаек, расположенное между наружными швами кольца и обечаек.

Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление из условия прочности переходной части рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{2\,[\sigma]_2 \varphi_R (s_2 - c)}{D\beta_2 + (s_2 - c)}, \tag{14.34}$$

где общий коэффициент формы β_2 определяется из условия

$$\beta_2 = \max\{0{,}5;\ \beta_0\},$$

где

$$\beta_0 = \frac{0{,}4\sqrt{\frac{D}{s_2 - c}}\operatorname{tg}\alpha_1 - B_3\left[1 + \sqrt{\frac{1 + \varkappa\left(\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right)^2}{2\cos\alpha_1}\varkappa\left(\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right)}\right]}{B_2 + \left[1 + \sqrt{\frac{1 + \varkappa\left(\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right)^2}{2\cos\alpha_1}\varkappa\left(\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right)}\right]}. \tag{14.35}$$

Коэффициенты B_2 и B_3 в формуле (14.35) равняются:

$$B_2 = \frac{1{,}6F_к}{(s_2 - c)\sqrt{D(s_2 - c)}} \frac{[\sigma]_к \varphi_{FR}}{[\sigma]_2 \varphi_R}; \quad B_3 = 0{,}25. \tag{14.36}$$

Формулы расчета применимы при выполнении требования прочности сварного шва укрепляющего кольца по условию

$$\sum l_i \geqslant \frac{4F_к}{D}, \tag{14.37}$$

где $\sum l_i$ — сумма всех эффективных ширин несущих сварных швов между укрепляющим кольцом и обечайкой (см. рис. 14.3, *в*).

У прерывистого сварного шва действительная его ширина уменьшается в отношении длин сварного шва и всего диаметра обечайки. Расстояние между концами прерывистых сварных швов должно быть не более $8s_2$, и сумма всех длин сварных швов — не менее $0{,}5\pi\,(D + s_2)$.

14.2.11. Расчет пологого конического днища и цилиндрической обечайки, соединенных между собой укрепляющим кольцом (см. рис. 14.3, в), нагруженного внутренним избыточным давлением

Формулы расчета применимы при условиях $\alpha_1 < 70°$; $s_1 = s_к$.

Толщина стенки конического днища определяется по формулам (14.10) и (14.11) при $D_к = D$.

Площадь поперечного сечения укрепляющего кольца определяется по формуле (14.32), в которой при определении β следует принять $(s_1 - c) = 0$; допускаемое внутреннее избыточное давление для конического днища $[p]$ определяется по формуле (14.12) при $D_к = D$, а для укрепляющего кольца — по формуле (14.34), при этом

для определения β_2 принимают $(s_1 - c) = 0$. Расчет применим при соблюдении требования прочности сварного шва по условию (14.37).

Допускается применение пологого конического днища без тороидального перехода и без укрепляющего кольца. Толщина стенки днища в этом случае определяется по формуле (14.31) при $R_б = 0$.

14.2.12. Расчет соединения штуцера или цилиндрической обечайки с конической обечайкой по меньшему диаметру (см. рис. 14.3, е), нагруженного внутренним избыточным или наружным давлением

Формулы расчета применимы при условии $\alpha_1 \le 70°$.

Толщина стенки штуцера или цилиндрической обечайки определяется по формулам:

$$s_{2R} = \frac{p_R D \beta_4}{2[\sigma]_2 \varphi_R - p_R}; \tag{14.38}$$

$$s_2 \ge s_{2R} + c.$$

Расчет толщины стенки конического элемента переходной части производится с помощью отношения $(s_1 - c)/(s_2 - c)$ по условию (14.22).

Допускаемое внутреннее избыточное или наружное давление из условия прочности переходной части рассчитывается по формуле:

$$[p] = \frac{2[\sigma]_2 \varphi_R (s_2 - c)}{D\beta_4 + (s_2 - c)}. \tag{14.39}$$

Коэффициент формы β_4 определяется из условия

$$\beta_4 = \max\{1;\ \beta_н\}, \tag{14.40}$$

где

$$\beta_н = \beta + 0{,}75 \quad \text{при} \quad \varkappa\left\{\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right\}^2 > 1, \tag{14.41}$$

$$\beta_н = 0{,}4\sqrt{\frac{D}{s_2 - c}}\,\frac{\operatorname{tg}\alpha_1}{\varkappa\left(\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right)\sqrt{\frac{s_1 - c}{(s_2 - c)\cos\alpha_1}} + \sqrt{\frac{1 + \varkappa\left(\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right)^2}{2}}} + 0{,}5 \tag{14.42}$$

$$\text{при} \quad \varkappa\left\{\frac{s_1 - c}{s_2 - c}\right\}^2 < 1.$$

Коэффициент $\varphi_л$ определяется по формулам табл. 14.18 для соответствующего вида нагрузки.

14.2.13. Расчет гладких конических обечаек, нагруженных осевой растягивающей силой (см. рис. 14.2, а и б)

Толщина стенки рассчитывается по формулам:

$$s_{кR} = \frac{P}{\pi D_1 \varphi_т [\sigma]}\,\frac{1}{\cos\alpha_1}; \tag{14.43}$$

$$s_к \ge s_{кR} + c. \tag{14.44}$$

Допускаемая растягивающая сила определяется по формуле:

$$[P] = \pi D_1 (s_к - c)[\sigma]\varphi_1 \cos\alpha_1. \tag{14.45}$$

14.2.14. Расчет гладких конических обечаек, нагруженных осевой сжимающей силой (см. рис. 14.2, а и б)

Формулы расчета применимы при условии $\alpha_1 \le 70°$.

Допускаемая сжимающая сила определяется по формуле:

$$[P] = \min\left\{\frac{[P]_p}{\sqrt{1+\left(\frac{[P]_p}{[P]_E}\right)^2}},\ \frac{D_1}{D_F}[P]_p\right\}, \tag{14.46}$$

где допускаемая осевая сила из условия прочности определяется по формуле:

$$[P]_p = \pi D_F (s_к - c)\,[\sigma]\cos\alpha_1, \tag{14.47}$$

а допускаемая осевая сила из условия устойчивости в пределах упругости — по формуле:

$$[P]_E = \frac{310\cdot 10^{-6}E}{n_u} D_F^2 \left[\frac{100\,(s_к - c)}{D_F}\right]^2 \sqrt{\frac{100\,(s_к - c)}{D_F}}\cos^2\alpha_1. \tag{14.48}$$

Эффективный диаметр конической обечайки при осевом сжатии

$$D_F = \frac{0{,}9D + 0{,}1D_{01}}{\cos\alpha_1}. \tag{14.49}$$

где D_1 — диаметр меньшего основания конической обечайки.

14.2.15. Расчет конической и цилиндрической части или двух конических частей, соединенных между собой без тороидального перехода (см. рис. 14.3, б и д), нагруженных осевой растягивающей или сжимающей силой

Формулы расчета применимы при условиях $\alpha_1 \le 70°$; $0 \le \alpha_2 \le \alpha_1$; $(s_1 - c) \ge (s_2 - c)$. Допускаемая осевая растягивающая или сжимающая сила из условия прочности переходной части определяется по формуле:

$$[P] = \pi D\,\frac{(s_2 - c)\,[\sigma]_2\varphi_R\cos\alpha_2}{\beta_5}, \tag{14.50}$$

где коэффициент формы β_5 определяется из условия

$$\beta_5 = \max\{1{,}0;\ (2\beta + 1{,}2)\}. \tag{14.51}$$

Коэффициент β определяется по формуле (14.21), коэффициент φ_R определяется по формулам табл. 14.18 для соответствующего вида нагрузки.

14.2.16. Расчет конической и цилиндрической части или двух конических частей, соединенных между собой тороидальным переходом (см. рис. 14.3, б и д), нагруженных осевой растягивающей или сжимающей силой

Формулы расчета применимы при условиях $\alpha_1 \le 70°$; $0 \le \alpha_2 \le \alpha_1$; $0 \le R_6/D \le 0{,}3$. Допускаемая осевая растягивающая или сжимающая сила определяется по формуле:

$$[P] = \pi D\,\frac{(s - c)\,[\sigma]\,\varphi_R\cos\alpha_2}{\beta_7}, \tag{14.52}$$

где коэффициент формы β_7 определяется из условия

$$\beta_т = \max\{1{,}0;\ \beta_т(2\beta + 1{,}2)\}. \tag{14.53}$$

Коэффициенты β и $\beta_т$ определяются по формулам (14.21) и (14.27), а φ_R — по формулам табл. 14.18 для соответствующего вида нагрузки.

14.2.17. Расчет конической и цилиндрической обечаек, соединенных между собой укрепляющим кольцом (см. рис. 14.3, в), нагруженных осевой растягивающей или сжимающей силой

Формулы расчета применимы при условиях $\alpha_1 \le 70°$; $(s_1 - c) \ge (s_2 - c)$, если $(s_1 - c) < (s_2 - c)$, то принять $s_1 = s_2$. Допускаемая осевая растягивающая или сжимающая сила из условия прочности переходной части определяется по формуле:

$$[P] = \pi D \frac{(s_2 - c)[\sigma]_2 \varphi_R}{\beta_6}, \tag{14.54}$$

где коэффициент формы β_6 определяется из условия

$$\beta_6 = \max\{1{,}0;\ 2\beta_0\}. \tag{14.55}$$

Коэффициент β_0 определяется по формуле (14.35), в которой следует принять $B_3 = -0{,}35$.

Проверка сварного шва укрепляющего кольца выполняется по условию (14.37).

14.2.18. Расчет соединения штуцера или цилиндрической обечайки с конической обечайкой по меньшему диаметру(см. рис. 14.3, е), нагруженных осевой растягивающей или сжимающей силой

Формулы расчета применимы при условии $\alpha_1 \le 70°$.

Допускаемая осевая растягивающая или сжимающая сила из условия прочности переходной части определяется по формуле:

$$[P] = \pi D \frac{(s_2 - c)[\sigma]_2 \varphi_R}{\beta_8}, \tag{14.56}$$

где коэффициент формы β_8 определяется из условия

$$\beta_8 = \max\{1{,}0;\ (2\beta_н - 1{,}0)\}. \tag{14.57}$$

Коэффициент $\beta_н$ определяется по формуле (14.41) или (14.42), а коэффициент φ_R — по формулам табл. 14.18 для соответствующего вида нагрузки.

14.2.19. Расчет гладких конических обечаек, нагруженных внешним изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент определяется из условия прочности по формуле:

$$[M] = \frac{D_R}{4}[P], \tag{14.58}$$

где расчетный диаметр $D_R = D_к$ (по формулам табл. 14.17) или $D_R = D_0$ для конического перехода (см. рис. 14.2, *а* и *б*), из условия устойчивости по формуле (13.21), где допускаемый изгибающий момент из условия прочности рассчитывается по формуле:

$$[M]_p = \frac{D_F}{4}[P]_p, \tag{14.59}$$

а допускаемый изгибающий момент из условия устойчивости в пределах упругости — по формуле:

$$[M]_E = \frac{D_F}{3{,}5}[P]_E. \tag{14.60}$$

Значения величин определяются по следующим формулам: D_R — по (14.49), $[P]$ — по (14.45), $[P]_p$ — по (14.47) и $[P]_E$ — по (14.48).

14.2.20. Расчет соединения конических и цилиндрических обечаек (см. рис. 14.3), нагруженных внешним изгибающим моментом

Допускаемый изгибающий момент из условия прочности переходной части рассчитывается по формуле:

$$[M] = \frac{D}{4}[P], \tag{14.61}$$

где допускаемая осевая сила определяется по формулам (14.46), (14.54), (14.52), (14.56).

14.2.21. Расчет конических обечаек от сочетания нагрузок

Расчет ведется только на действие давления p_R, если сумма эквивалентных давлений от добавочных нагрузок в виде осевой силы и изгибающего момента, определяемых по формулам:

$$p_P = 4P/\pi D_R^2; \quad p_M = 16M/\pi D_R^3, \tag{14.62}$$

составляет для соответствующего расчетного диаметра не более 10% от p_R.

14.2.22. Расчет гладких конических обечаек при совместном действии нагрузок

При проверке прочности или устойчивости при совместном действии нагрузок в приведенных ниже формулах наружное давление и осевая сжимающая сила принимаются со знаком минус. Изгибающий момент всегда принимается со знаком плюс.

В случае действия наружного давления условие устойчивости конической части проверяется по формуле:

$$-\frac{p}{[p]} - \frac{P}{[P]} + \frac{M}{[M]} \leqslant 1, \tag{14.63}$$

а также по формулам проверки устойчивости от действия отдельных нагрузок

$$|p| \leqslant [p], \quad |P| \leqslant [P], \quad |M| \leqslant [M]. \tag{14.64}$$

Допускаемые нагрузки определяются по формулам (13.6), (13.21), (14.46). Проверку следует проводить, если не выполняется требование п. 14.2.21, хотя бы для одного из расчетных диаметров обечайки.

В случае действия внутреннего давления в формуле (14.63) $p \neq 0$.

14.2.23. Расчет переходной части конических обечаек при совместном действии нагрузок

Переходные части конических обечаек проверяются на прочность от действия отдельных нагрузок по формулам (14.64), а также на соблюдение условия

$$\left|\frac{p}{[p]} + \frac{P}{[P]}\right| + \frac{M}{[M]} \leqslant 1, \tag{14.65}$$

где $[p]$, $[P]$, $[M]$ — допускаемые нагрузки для переходной части обечайки.

Проверку следует проводить, если не выполняется требование п. 14.2.21 при $D_R = D$.

Сферические неотбортованные крышки и днища

14.2.24. Расчет крышек и днищ, нагруженных внутренним избыточным давлением

Формулы расчета применимы при условиях $(s - c)/R \leq 0{,}1$; $0{,}95D \leq R \leq D$.

Толщина сферической крышки (рис. 15.1 *в* и *г*) рассчитывается по формулам:

$$s_R = \frac{0{,}58 p_R R}{\varphi\,[\sigma]}; \tag{14.66}$$

$$s = s_R + c. \tag{14.67}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление определяется по формуле:

$$[p] = \frac{1{,}73\,(s - c)\,[\sigma]\,\varphi}{R}. \tag{14.68}$$

Толщина сферического днища (см. рис. 14.4) определяется по формулам:

$$s_R = \frac{0{,}72 p_R R}{\varphi[\sigma]}; \tag{14.69}$$

$$s = s_R + c. \tag{14.70}$$

Допускаемое внутреннее избыточное давление определяется по формуле:

$$[p] = \frac{1{,}38\,(s - c)\,[\sigma]\,\varphi}{R}. \tag{14.71}$$

14.2.25. Расчет крышек и днищ, нагруженных наружным давлением

Допускаемое наружное давление определяется по формуле:

$$[p] = 0{,}466 K_1 E \left(\frac{s - c}{R}\right)^2. \tag{14.72}$$

Формула расчета применима при условии

$$R/(s - c) \geqslant K_2\,(E/\sigma_T), \tag{14.73}$$

где $K_1 = f(\rho)$ и $K_2 = f_1(\rho)$ принимаются по табл. 14.19.

Параметр пологости крышки и днища равен

$$\rho = 6{,}6H/(s - c).$$

Таблица 14.19

Значения коэффициентов K_1 и K_2 при расчете сферических неотбортованных крышек и днищ

ρ	Крышка		Днище	
	K_1	K_2	K_1	K_2
40	0,26	0,156	0,17	0,102
50	0,23	0,138	0,15	0,090
75	0,19	0,114	0,13	0,078
100	0,17	0,102	0,11	0,066
200	0,13	0,078	0,10	0,060
300	0,10	0,060	0,09	0,054

Плоские круглые приварные днища и крышки (см. рис. 14.5)

14.2.26. Условия применения формул расчета

Формулы расчета плоских круглых днищ и крышек применимы при условии $(s_1 - c)/D_R \le 0{,}11$.

При $(s_1 - c)/D_R > 0{,}11$ значение допускаемого давления, рассчитанного по приводимым ниже формулам, следует умножить на поправочный коэффициент

$$K_p = \frac{2{,}2}{1+\sqrt{1+\left(6\frac{s_1 - c}{D_R}\right)^2}}. \qquad (14.74)$$

Если при определении толщины днища в результате расчета окажется, что $(s_1 - c)/D_R > 0{,}11$, то необходимо дополнительно определить допускаемое давление и умножить его на коэффициент K_p. При $K_p[p] < p$ толщину днища следует увеличить, чтобы выполнить условие $K_p[p] \ge p$.

14.2.27. Расчет плоских круглых днищ и крышек, нагруженных внутренним избыточным или наружным давлением

Толщина днища или крышки рассчитывается по формулам:

$$s_{1R} = KK_0 D_R \sqrt{\frac{p}{[\sigma]\varphi}}; \qquad (14.75)$$

$$s_1 \ge s_{1R} + c, \qquad (14.76)$$

где значения коэффициента K и расчетного диаметра D_R в зависимости от конструкции днищ и крышек принимаются по табл. 14.20.

Коэффициент ослабления днища или крышки отверстиями K_0 равен:

при наличии одного отверстия

$$K_0 = \sqrt{1+\frac{d}{D_R}+\left(\frac{d}{D_R}\right)^2}; \qquad (14.77)$$

при наличии нескольких отверстий

$$K_0 = \sqrt{\frac{1-\sum\left(\frac{d_i}{D_R}\right)^3}{1-\sum\frac{d_i}{D_R}}}. \qquad (14.78)$$

Для днищ и крышек без отверстий $K_0 = 1$.

Коэффициент K_0 определяют для наиболее ослабленного сечения. Максимальную сумму для длин хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральном сечении днища или крышки определяют согласно рис. 14.14 по формуле $\sum d_i = \max\{(d_1 + d_2);\ (b_2 + b_3)\}$.

Основные расчетные размеры отверстий указаны на рис. 14.14.

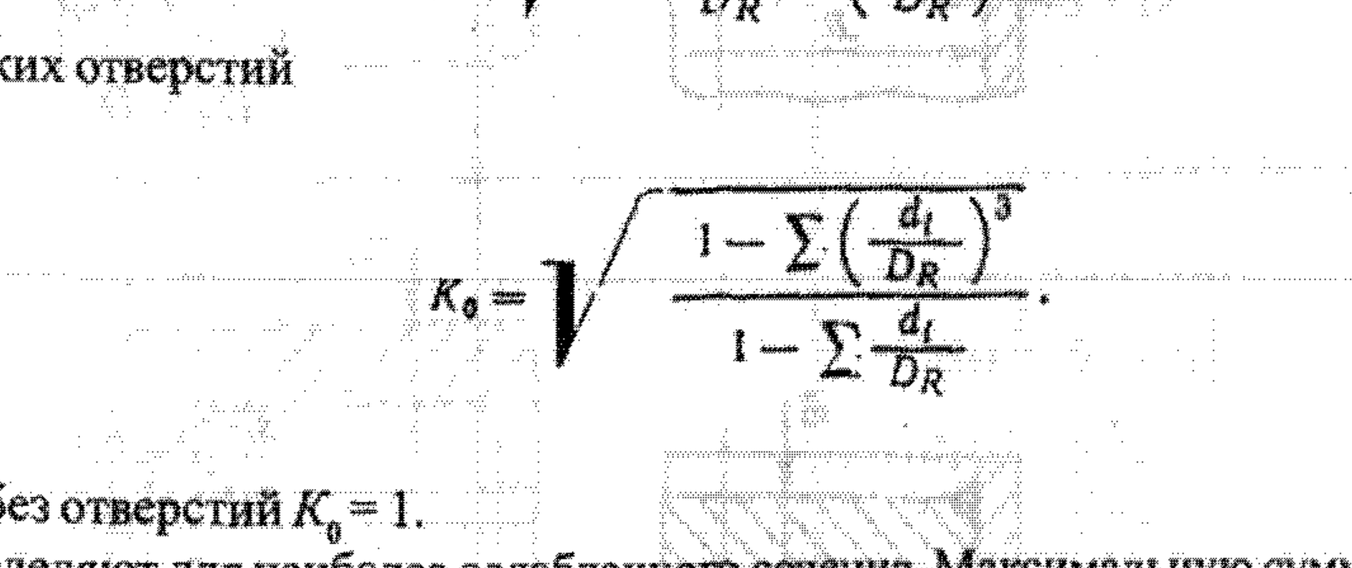
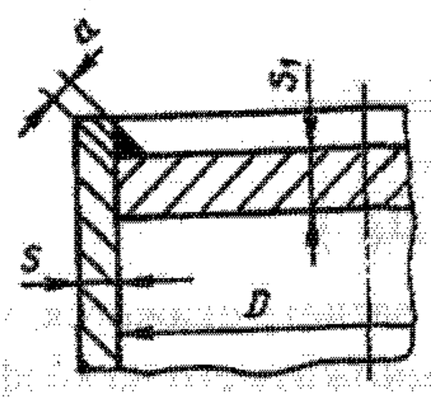
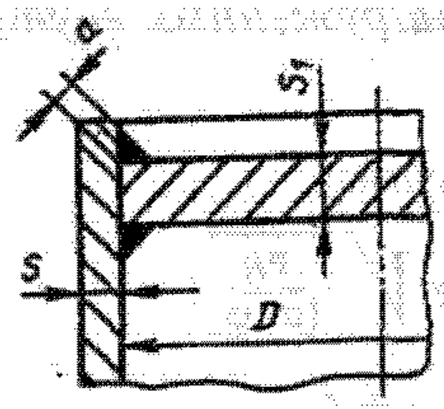
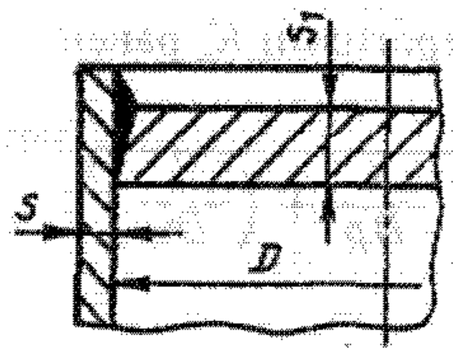
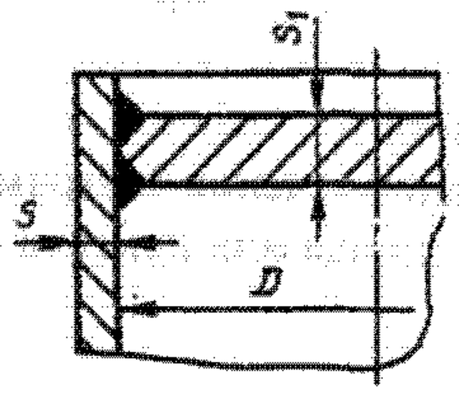
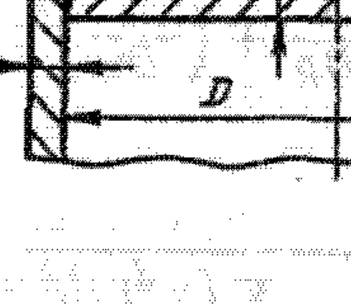


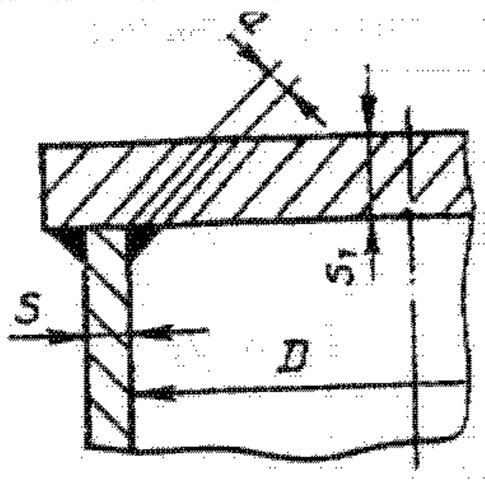
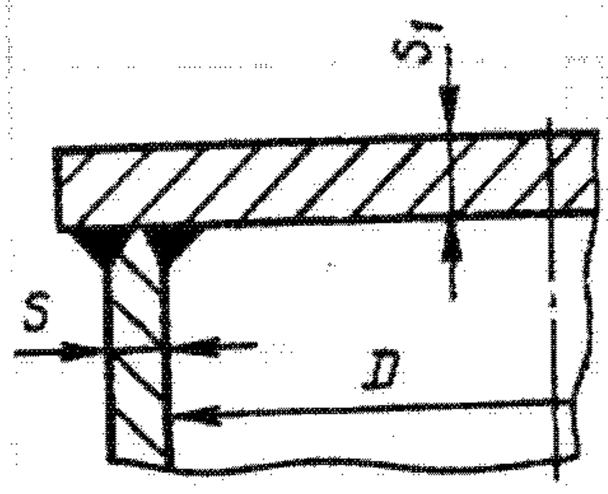
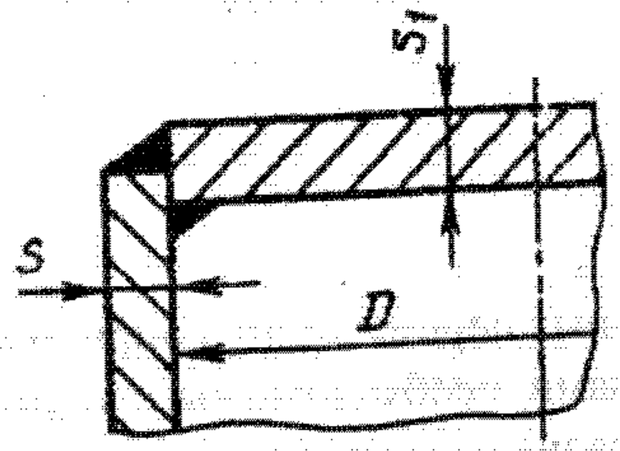
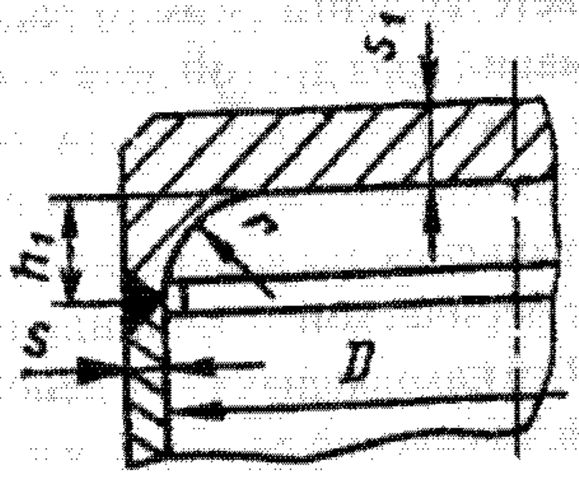
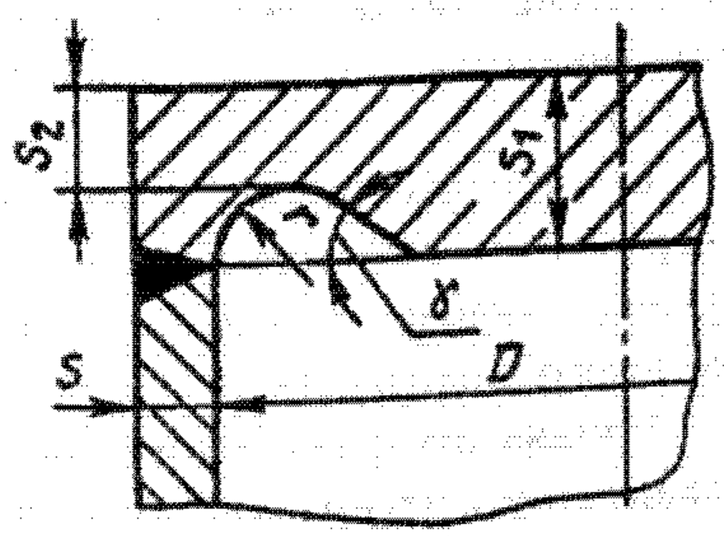
Рис. 14.14. Пример определения $\sum d_i$ в плоских днищах, ослабленных отверстиями

Таблица 14.20

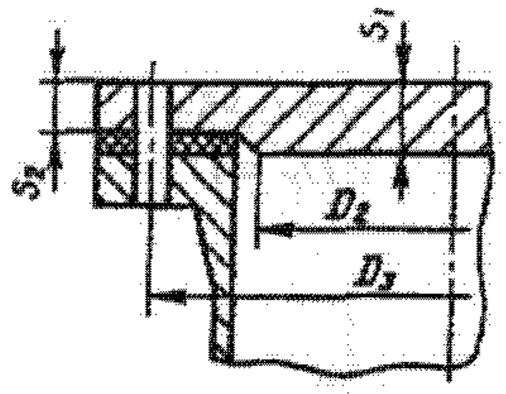
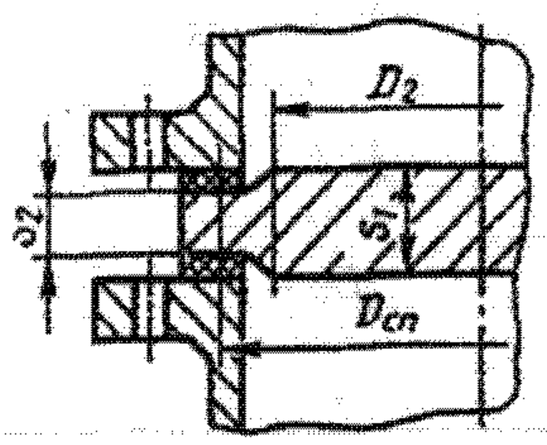
Значения расчетного D_R и коэффициентов K для различных исполнений днищ

Тип	Чертеж	Условия закрепления днищ и крышек	K
1		$a \geq 1{,}7 \cdot s$ $D_R = D$	0,53
2		$a \geq 0{,}85 \cdot s$ $D_R = D$	0,50
3		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0{,}25$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0{,}25$ $D_R = D$	0,45 0,41
4		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0{,}5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0{,}5$ $D_R = D$	0,41 0,38
5		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0{,}25$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0{,}25$ $D_R = D$	0,45 0,41

Продолжение табл. 14.20

Тип	Чертеж	Условия закрепления днищ и крышек	K
6		$a > 0{,}85 \cdot s$ $D_R = D$	0,50
7		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0{,}5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0{,}5$ $D_R = D$	0,41 0,38
8		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0{,}5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0{,}5$ $D_R = D$	0,41 0,38
9		$\max\{s;\ 0{,}25 \cdot s_1\} \leq$ $\leq r \leq \min\{s_1;\ 0{,}1D\}$ $h_1 \geq r$ $D_R = D - 2r$	$K = \max\{0{,}41 \times$ $\times\left(1 - 0{,}23\frac{s-c}{s_1-c}\right);$ $0{,}3$
10		$\frac{s-c}{s_1-c} < 0{,}5$ $\frac{s-c}{s_1-c} \geq 0{,}5$ $D_R = D$ $0{,}25 \cdot s_1 \leq r \leq s_1 - s_2$ $30^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$	0,41 0,38

Продолжение табл. 14.20

Тип	Чертеж	Условия закрепления днищ и крышек	K
11		$D_R = D_3$	0,40
12		$D_R = D_{c.n}$	0,41

14.3. Узлы сопряжения оболочек

В реальных конструкциях машин и аппаратов края оболочек прикрепляются к другим оболочкам (часто иных профиля и толщины) или к соответствующим деталям (фланцы, трубные решетки и т.п.). В таких узлах сопряжения возникают дополнительные, так называемые краевые, нагрузки, вызывающие местные напряжения изгиба в материале сопрягаемых элементов. Краевая сила Q_0 и краевой момент M_0 являются реакциями заделки края оболочки, которому мешает свободно деформироваться сопрягаемая деталь с иными возможностями для перемещений под действием внешних нагрузок.

Различные возможности для деформаций у сопрягаемых элементов, являющиеся причиной появления краевых нагрузок по контуру сопряжения, могут быть вызваны: 1) заделкой края оболочки (рис. 14.15); 2) изменением геометрических размеров (формы) оболочки при переходе от одного сечения к другому (рис. 14.16); 3) изменением нагрузки при переходе от одного сечения к другому (рис. 14.17); 4) изменением свойств материала (модуля упругости, коэффициента линейного расширения, коэффициента Пуассона μ и др.) при переходе от одного сечения к другому (рис. 14.18).

Для определения Q_0 и M_0 составляются так называемые уравнения совместности радиальных и угловых деформаций. Сущность этих уравнений заключается в том, что для нормальной работы машины или аппарата в узле сопряжений не должно быть никаких относительных перемещений сопрягаемых деталей. Другими словами, необходимо выполнение условий, когда суммы радиальных и угловых деформаций края одной детали от действующих внешних и краевых нагрузок равны соответствующим суммам радиальных и угловых деформаций края другой детали от действующих на нее активных и реактивных нагрузок.

Для удобства понимания и наглядности составим эти уравнения для конкретного случая — узла сопряжения сферической и цилиндрической оболочек (рис. 14.19, *а*) находящихся под действием внутреннего давления. Мысленно рассечем узел плоскостью, нормальной к оси симметрии оболочек, так что образуемая вследствие этого основная (статически определимая) система представляется состоящей из двух оболочек (рис. 14.19, *б*).

К оболочкам прикладывается заданная внешняя нагрузка (внутреннее давление p), распорная сила Q, действующая на край сферической оболочки, а также искомые неизвестные краевые нагрузки Q_0 и M_0.

Приняв для края оболочки положительными радиальные перемещения Δ в направлении от ее оси, а угловые перемещения θ в направлении по часовой стрелке, получим с учетом этого правила знаков для правой части оболочек на рис. 14.19, *б* уравнения совместимости радиальных и угловых деформаций:

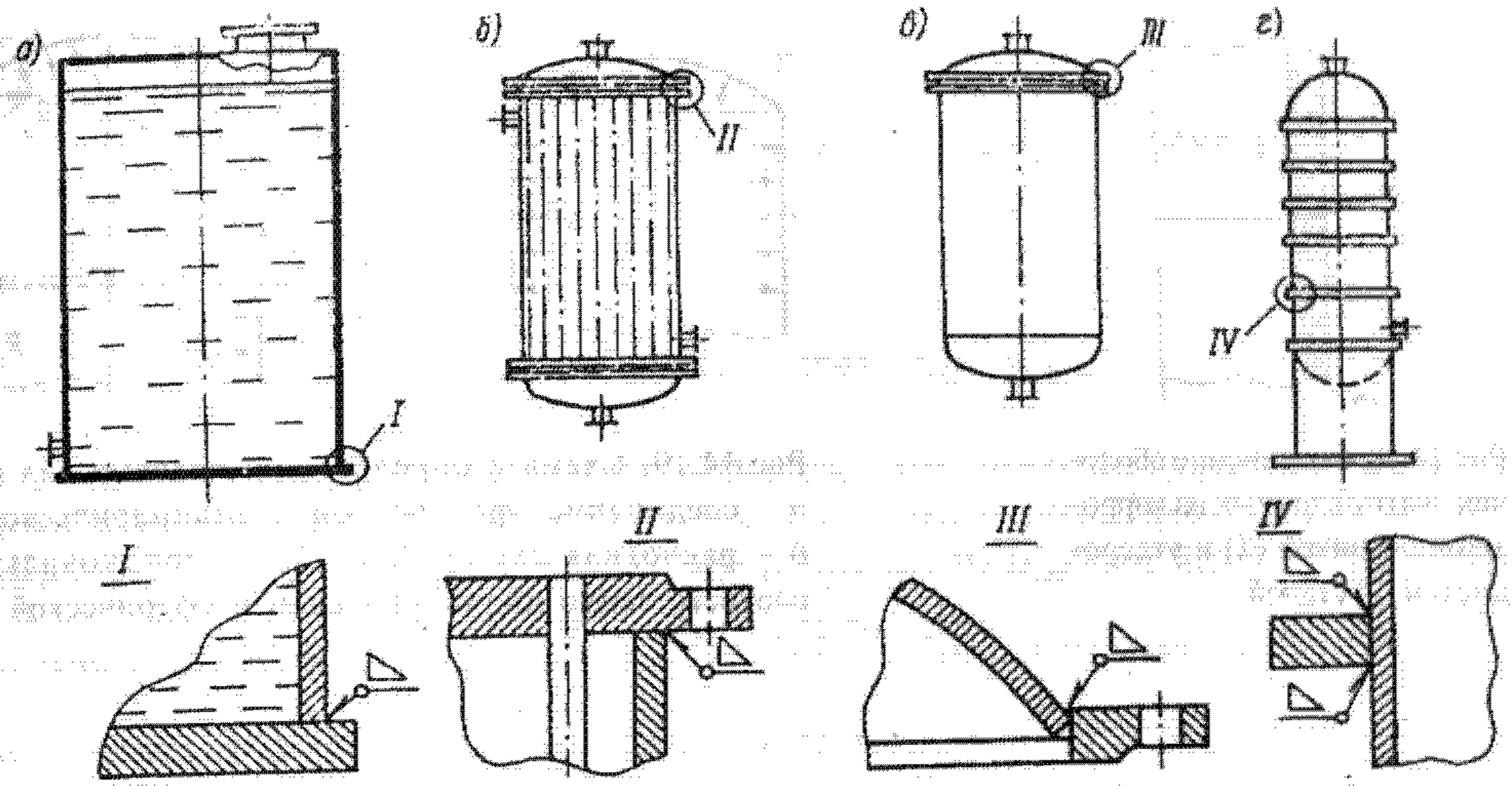


Рис.14.15. Примеры соединения края оболочки: *а* — с толстым (недеформируемым) плоским днищем; *б* — с трубной решеткой теплообменника; *в* — с фланцем; *г* — с кольцом жесткости

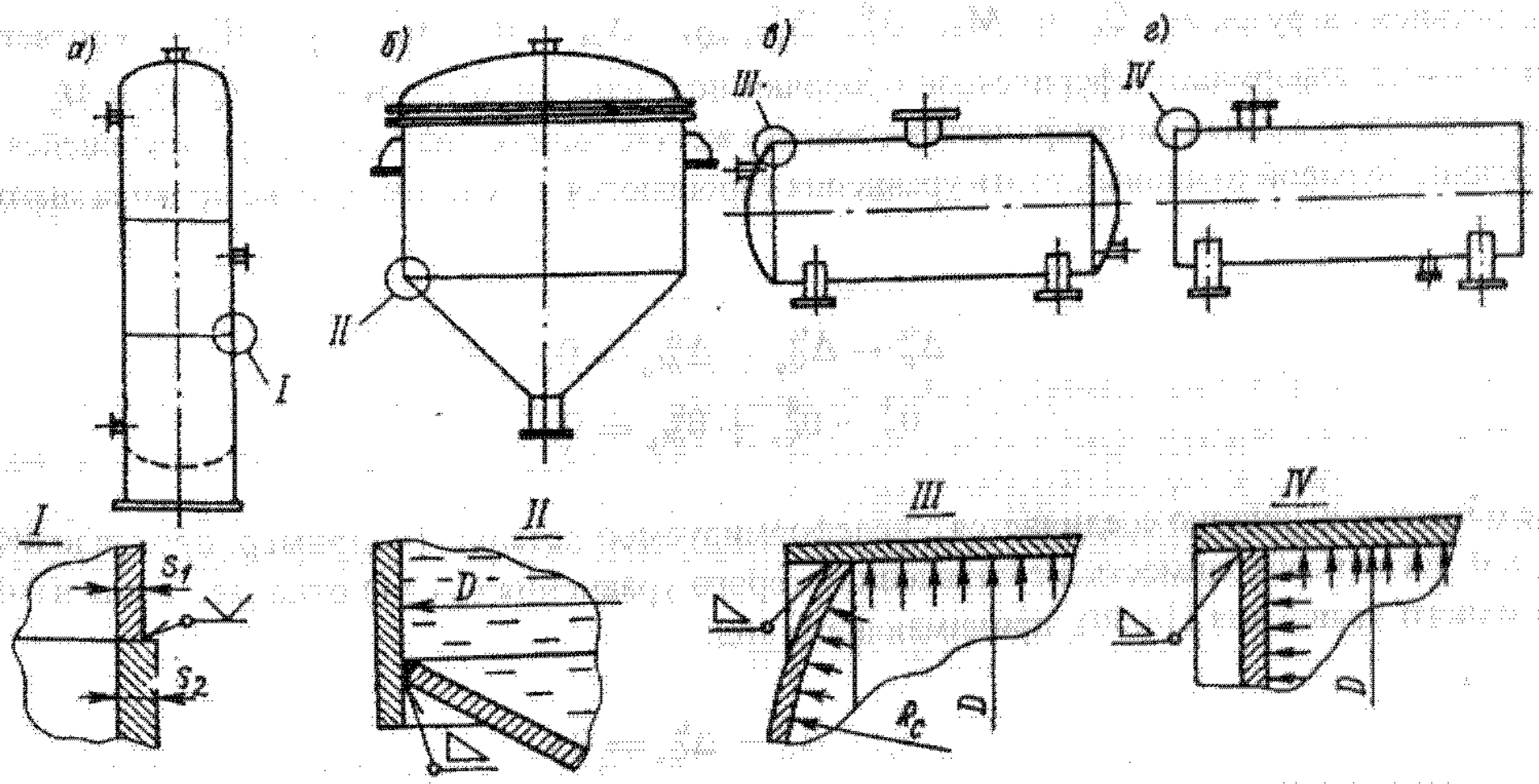


Рис.14.16. Примеры изменения геометрических размеров оболочек: *а* — соединение цилиндрических обечаек разной толщины; *б, в* — соединение обечаек одинаковой толщины разной формы; *г* — соединение оболочки с пластинкой, имеющей одинаковую толщину

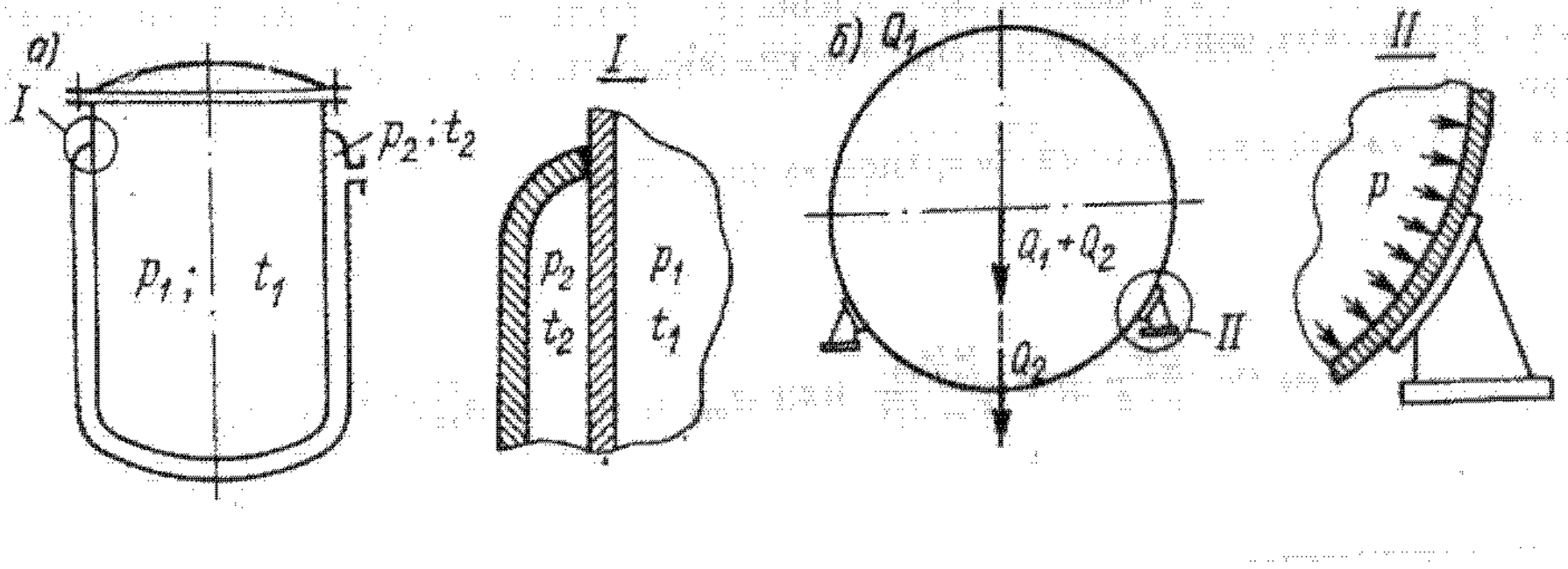


Рис.14.17. Примеры изменения нагрузок, действующих на оболочки: *а* — соединение корпуса аппарата с его рубашкой; *б* — соединение оболочки с опорными устройствами

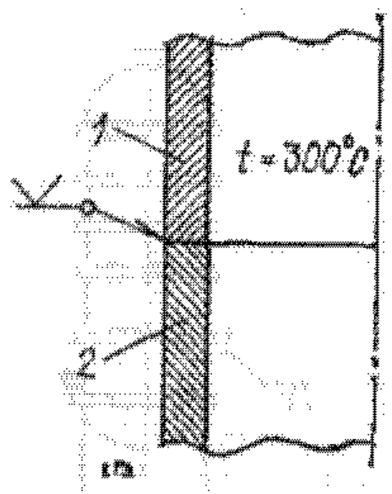


Рис. 14.18. Соединение оболочек, изготовленных из коррозионностойкой (*1*) и углеродистой (2) сталей

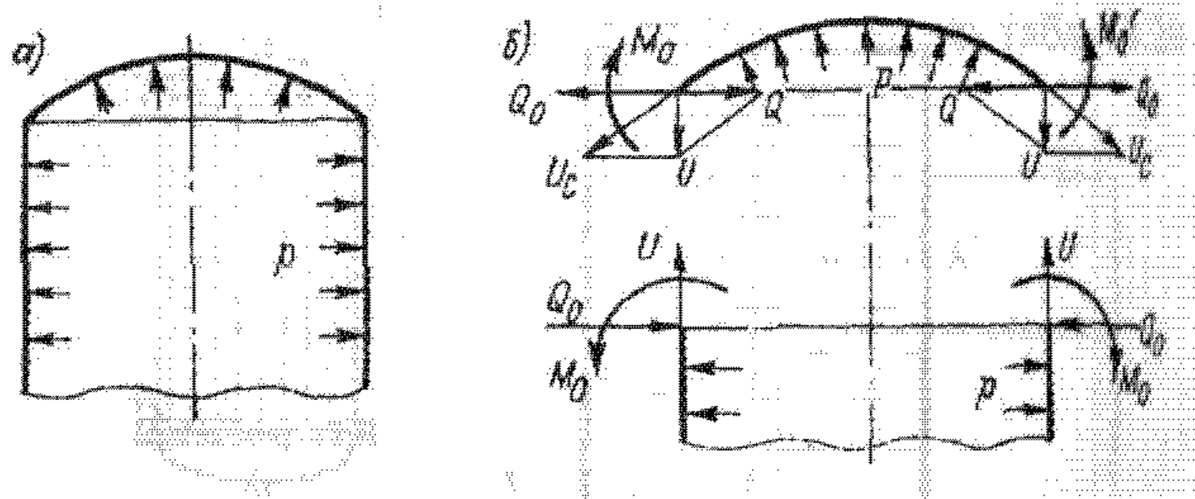


Рис. 14.19. Схема к определению краевых сил и моментов. *а* – соединение сферической и цилиндрической оболочек. *б* – расчетная схема; U и U_c – меридиональные усилия соответственно цилиндрической и сферической оболочек

$$\left.\begin{aligned} \Delta_p^{ц} - \Delta_{Q_0}^{ц} + \Delta_{M_0}^{ц} &= \Delta_p^{с} + \Delta_{(Q_0-Q)}^{с} + \Delta_{M_0}^{с}; \\ \theta_p^{ц} - \theta_{Q_0}^{ц} + \theta_{M_0}^{ц} &= -\theta_p^{с} - \theta_{(Q_0-Q)}^{с} - \theta_{M_0}^{с}, \end{aligned}\right\} \qquad (14.79)$$

где $\Delta_p^{ц}$, $\Delta_{Q_0}^{ц}$, $\Delta_{M_0}^{ц}$, $\theta_p^{ц}$, $\theta_{Q_0}^{ц}$, $\theta_{M_0}^{ц}$ — соответственно радиальные и угловые деформации края цилиндрической обечайки под действием нагрузок p, Q_0 и M_0; $\Delta_p^{с}$, $\Delta_{(Q_0-Q)}^{с}$, $\Delta_{M_0}^{с}$; $\theta_p^{с}$, $\theta_{(Q_0-Q)}^{с}$, $\theta_{M_0}^{с}$ — соответственно радиальные и угловые деформации сферической оболочки под действием нагрузок p, Q, Q_0 и M_0.

В случае, если нагруженная цилиндрическая оболочка жестко защемлена в недеформирующейся детали (например, во фланце большой толщины), то эти уравнения упрощаются и с учетом того же правила знаков принимают вид:

$$\Delta_p^{ц} - \Delta_{Q_0}^{ц} + \Delta_{M_0}^{ц} = 0; \qquad (14.80)$$

$$\theta_p^{ц} - \theta_{Q_0}^{ц} + \theta_{M_0}^{ц} = 0. \qquad (14.81)$$

Если же оболочка шарнирно соединяется с недеформируемой деталью (например, прокладочное соединение), то $M_0 = 0$, тогда необходимость в составлении второго уравнения (14.81) отпадает и для нахождения Q_0 достаточно одного уравнения (14.80), принимающего вид:

$$\Delta_p^{ц} - \Delta_{Q_0}^{ц} = 0. \qquad (14.82)$$

Деформация, а следовательно, и напряжения изгиба от действия краевых нагрузок носят локальный характер и имеют существенную величину лишь в окрестности непосредственного действия нагрузок.

Сечения обечаек, отстоящие от края на расстоянии $x \geq \pi/(2{,}5\beta)$, можно считать практически бесконечно удаленными от него, и действием Q_0 и M_0 на эти сечения можно пренебречь. Коэффициент β называется коэффициентом затухания деформации вдоль образующейся оболочки и определяется по формулам, представленным в табл. 14.21.

Выражения для вычисления перемещений (Δ,θ), усилий (U, T, P), моментов (M_m, M_t, M_r) и напряжений на краю цилиндрических, сферических, конических и эллиптических оболочек даны в табл. 14.21 и на краю плоских днищ (крышек) — в табл. 14.22.

Напряжения на наружной и внутренней поверхностях края оболочки[1]:

меридиональное

$$\sigma_{m0} = \frac{\Sigma U}{s-c} \pm 6\frac{\Sigma M_m}{(s-c)^2} \quad \text{или} \quad \sigma_{m0} = \sigma_{m0}^{p} + \sigma_{m0}^{(Q_0-Q)} + \sigma_{m0}^{M_0}; \qquad (14.83)$$

[1] При направлении действия нагрузок, противоположном указанному в табл. 14.21 и 14.22, знак перед Δ, θ, σ в формулах (14.83) — (14.89) следует изменить на обратный.

кольцевое

$$\sigma_{t0} = \frac{\Sigma T}{s-c} \pm 6\,\frac{\Sigma M_t}{(s-c)^2} \quad \text{или} \quad \sigma_{t0} = \sigma_{t0}^{p} + \sigma_{t0}^{(Q_0-Q)} + \sigma_{t0}^{M_0}; \tag{14.84}$$

максимальное

$$\sigma_{max} = \max\{\sigma_{m0};\ \sigma_{t0}\}, \tag{14.85}$$

где ΣU, ΣT — соответственно сумма меридиональных и сумма тангенциальных (кольцевых) усилий, возникающих на краю обечайки от действия давления p, краевой Q_0 и распорной Q сил, краевого момента M_0; ΣM_m, ΣM_t — соответственно сумма меридиональных и сумма тангенциальных (кольцевых) моментов, возникающих на краю обечайки от действия нагрузок p, $(Q_0 - Q)$ и M_0; σ_{m0}^{p}, $\sigma_{m0}^{(Q_0-Q)}$, $\sigma_{m0}^{M_0}$, — меридиональные напряжения, возникающие на краю обечайки от действия соответственно нагрузок p, $(Q_0 - Q)$ и M_0; σ_{t0}^{p}, $\sigma_{t0}^{(Q_0-Q)}$, $\sigma_{m0}^{M_0}$, — тангенциальные (кольцевые) напряжения, возникающие на краю обечайки от действия соответственно нагрузок p, $(Q_0 - Q)$ и M_0.

Напряжения на наружной и внутренней поверхностях края плоского круглого днища (крышки):

радиальное

$$\sigma_{rn} = \sum P/(s_n - c) \pm 6\sum M_r/(s_n - c)^2; \tag{14.86}$$

кольцевое

$$\sigma_{tn} = \sum T/(s_n - c) \pm 6\sum M_t/(s_n - c)^2; \tag{14.87}$$

максимальное

$$\sigma_{max} = \max\{\sigma_{rn};\ \sigma_{tn}\}, \tag{14.88}$$

где ΣP, ΣT — соответственно сумма радиальных и сумма кольцевых усилий, действующих по контуру плоского круглого днища от нагрузок p, Q_0 и M_0; ΣM_r, ΣM_t — соответственно сумма радиальных и сумма кольцевых моментов, действующих по контуру плоского круглого днища от нагрузок p, Q_0 и M_0.

Для узла соединения оболочек или обечайки с плоским днищем (крышкой) должно выполняться условие

$$\sigma_{max} \leqslant \varphi\,[\sigma]_{кр},$$

где $[\sigma]_{кр}$ — допускаемое напряжение в краевой зоне.

Для пластичных материалов при наличии статической нагрузки в случае преобладания напряжений изгиба разрешается увеличивать допускаемое напряжение для краевых зон на 30% по сравнению с обычным:

$$[\sigma]_{кр} = 1{,}3\,[\sigma].$$

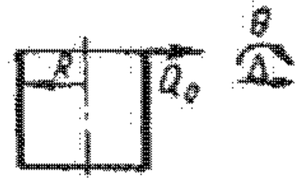
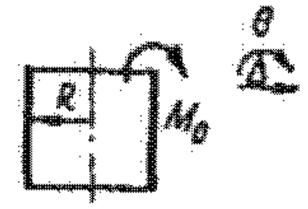
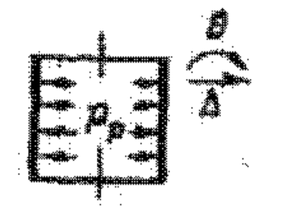
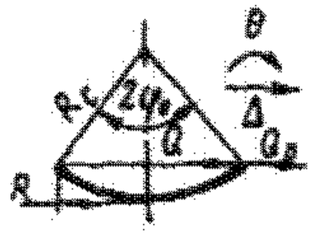
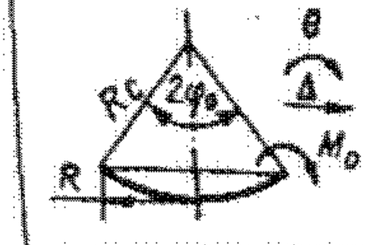
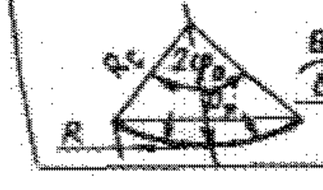
Такое увеличение $[\sigma]_{кр}$ связано с локальным характером краевых напряжений, приводящих к образованию по линии искажения пластического шарнира, исключающего разрушение узла сопряжения.

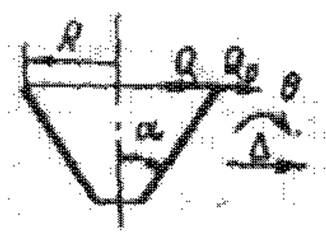
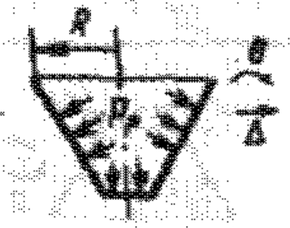
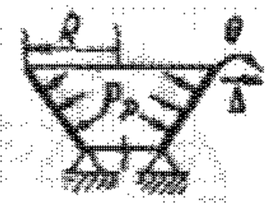
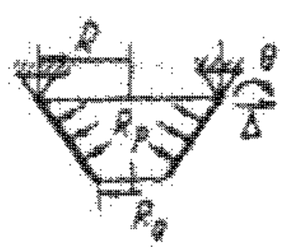
В тех случаях, когда материал хрупкий (или имеется хрупкое покрытие), а также когда нагрузки в узле сопряжения являются циклическими, допускаемые напряжения для краевых зон увеличивать не следует, т.е. принимают по обычным правилам ($[\sigma]_{кр}$) = $[\sigma]$).

кр

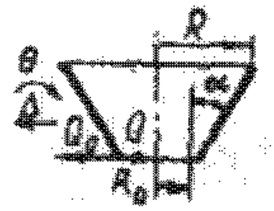
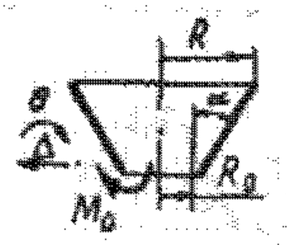
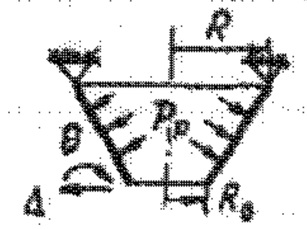
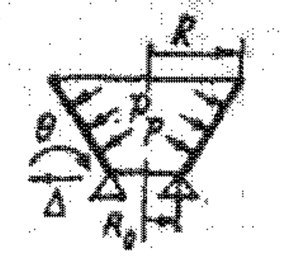
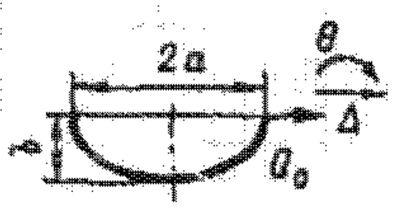
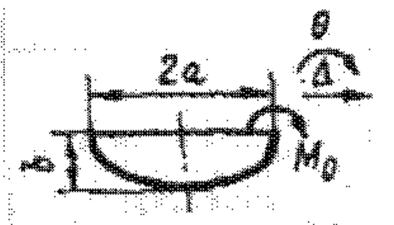
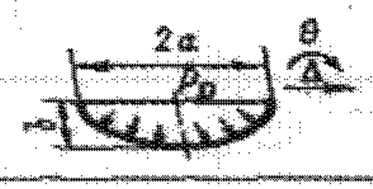
Таблица 14.21

Формулы для определения нагрузок, перемещений и напряжений на краю оболочек

Нагрузка	Усилие		Момент		Перемещение		Напряжение		Примечание
	меридиональное U	кольцевое T	меридиональный M_m	кольцевой M_t	радиальное Δ	угловое θ	меридиональное σ_{m0}	кольцевое σ_{t0}	
	0	$2\beta RQ_0$	0	0	$\frac{2\beta R^2}{E(s-c)}Q_0$	$\frac{2\beta^2R^2}{E(s-c)}Q_0$	0	$\frac{2\beta R}{s-c}Q_0$	$\beta=\frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{R(s-c)}}$
	0	$2\beta^2RM_0$	M_0	μM_0	$\frac{2\beta^2R^2}{E(s-c)}M_0$	$\frac{4\beta^2R^2}{E(s-c)}M_0$	$\pm\frac{6M_0}{(s-c)^2}$	$\frac{2\beta^2RM_0}{s-c}\pm\frac{6\mu M_0}{(s-c)^2}$	
	$\frac{p_pR}{2}$	p_pR	0	0	$\frac{(2-\mu)R^2}{2E(s-c)}p_p$	0	$\frac{p_pR}{2(s-c)}$	$\frac{p_pR}{s-c}$	
	0	p_pR	0	0	$\frac{R^2}{E(s-c)}p_p$	0	0	$\frac{p_pR}{s-c}$	
	$(Q_0-Q)\cos\varphi_0$	$2\beta_c(Q_0-Q)\times R_c\sin\varphi_0$	0	0	$\frac{\beta_cR_c^2\sin^2\varphi_0\times(1+k_{10}k_{20})(Q_0-Q)}{E(s_c-c)k_{10}}$	$\frac{2\beta_c^2R_c^2\sin\varphi_0}{E(s_c-c)k_{10}}(Q_0-Q)$	$\frac{(Q_0-Q)\cos\varphi_0}{s_c-c}$	$\frac{2\beta_cR_c(Q_0-Q)\sin\varphi_0}{s_c-c}$	$Q=\frac{p_pR_c}{2}\cos\varphi_0$; $\beta=\frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{R_c(s_c-c)}}$; $k_{10}=1-\frac{1-2\mu}{2\beta_cR_c}\operatorname{ctg}\varphi_0$; $k_{20}=1-\frac{1+2\mu}{2\beta_cR_c}\operatorname{ctg}\varphi_0$
	0	$\frac{2\beta_c^2}{R}M_0$	M_0	μM_0	$\frac{2\beta_c^2\sin\varphi_0R_c^2}{E(s_c-c)k_{10}}M_0$	$\frac{4\beta_c^3R_c^2}{E(s_c-c)k_{10}}M_0$	$\pm\frac{6M_0}{(s_c-c)^2}$	$\frac{2\beta_c^2R_cM_0}{s_c-c}\pm\frac{6\mu M_0}{(s_c-c)^2}$	
	$\frac{p_pR}{2}$	$\frac{p_pR}{2}$	0	0	$\frac{(1-\mu)R_c^2\sin\varphi_0}{2E(s_c-c)}p_p$	0	$\frac{p_pR_c}{2(s_c-c)}$	$\frac{p_pR_c}{2(s_c-c)}$	

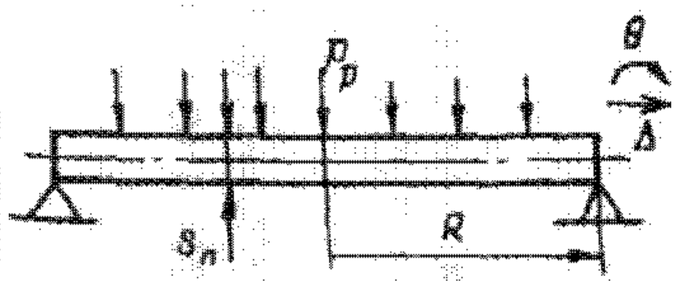
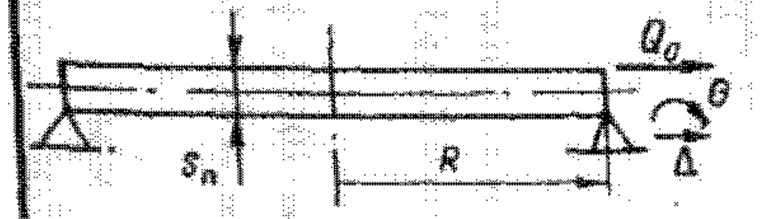
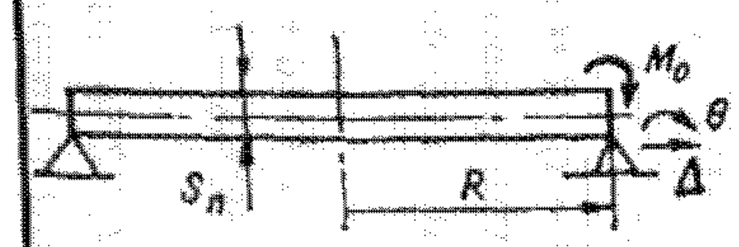
Нагрузка	Усилие		Момент		Перемещение		Напряжение		Примечание
	меридиональное U	кольцевое T	меридиональный M_m	кольцевой M_t	радиальное Δ	угловое θ	меридиональное σ_{m0}	кольцевое σ_{t0}	
	$(Q_0-Q)\sin\alpha$	$2\beta_\text{к}R(Q_0-Q)$	0	0	$\frac{2\beta_\text{к}R^2(Q_0-Q)}{E(s_\text{к}-c)}$	$\frac{2\beta_\text{к}^2R^2(Q_0-Q)}{E(s_\text{к}-c)\cos\alpha}$	$\frac{\sin\alpha(Q_0-Q)}{s_\text{к}-c}$	$\frac{2\beta_\text{к}R(Q_0-Q)}{s_\text{к}-c}$	
	0	$\frac{2\beta_\text{к}^2RM_0}{\cos\alpha}$	M_0	μM_0	$\frac{2\beta_\text{к}^2R^2}{E(s_\text{к}-c)\cos\alpha}M_0$	$\frac{4\beta_\text{к}^3R^2}{E(s_\text{к}-c)\cos^2\alpha}M_0$	$\pm\frac{6M_0}{(s_\text{к}-c)^2}$	$\frac{2\beta_\text{к}^2RM_0}{(s_\text{к}-c)\cos\alpha}\pm\frac{6\mu M_0}{(s_\text{к}-c)^2}$	$Q=\frac{p_\text{p}R}{2}\operatorname{tg}\alpha;$
	$\frac{p_\text{p}R}{2\cos\alpha}$	$\frac{p_\text{p}R}{\cos\alpha}$	0	0	$\frac{(2-\mu)R^2p_\text{p}}{2E(s_\text{к}-c)\cos\alpha}$	$\frac{3R\sin\alpha}{2E(s_\text{к}-c)\cos^2\alpha}p_\text{p}$	$\frac{p_\text{p}R}{2(s_\text{к}-c)\cos\alpha}$	$\frac{p_\text{p}R}{(s_\text{к}-c)\cos\alpha}$	$\beta_\text{к}=\frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{R(s_\text{к}-c)/\cos}}$
	0	$\frac{p_\text{p}R}{\cos\alpha}$	0	0	$\frac{R^2}{E(s_\text{к}-c)\cos\alpha}p_\text{p}$	$\frac{2R\sin\alpha}{E(s_\text{к}-c)\cos^2\alpha}p_\text{p}$	0	$\frac{p_\text{p}R}{(s_\text{к}-c)\cos\alpha}$	
	$\frac{p_\text{p}R\times\left(1-\frac{R_0^2}{R^2}\right)}{2\cos\alpha}$	$\frac{p_\text{p}R}{\cos\alpha}$	0	0	$\frac{R^2\left(2-\mu+\mu\frac{R_0^2}{R^2}\right)}{2E(s_\text{к}-c)\cos\alpha}p_\text{p}$	$\frac{R\sin\alpha\left(3+\frac{R_0^2}{R^2}\right)}{2E(s_\text{к}-c)\cos^2\alpha}p_\text{p}$	$\frac{p_\text{p}R\left(1-\frac{R_0^2}{R^2}\right)}{2(s_\text{к}-c)\cos\alpha}$	$\frac{p_\text{p}R}{(s_\text{к}-c)\cos\alpha}$	

Продолжение табл. 14.21

Нагрузка	Усилие		Момент		Перемещение		Напряжение		Примечание
	меридиональное U	кольцевое T	меридиональный M_m	кольцевой M_l	радиальное Δ	угловое θ	меридиональное σ_{m_e}	кольцевое σ_{l_e}	
	$(Q_0-Q)\sin\alpha$	$2\beta_{к.у}R_0\times$ $\times(Q_0-Q)$	0	0	$\frac{2\beta_{к.у}R_0^2}{E(s_к-c)}(Q_0-Q)$	$\frac{2\beta_{к.у}^2R_0^2}{E(s_к-c)\cos\alpha}(Q_0-Q)$	$\frac{(Q_0-Q)\sin\alpha}{s_к-c}$	$\frac{2\beta_{к.у}R_0(Q_0-Q)}{s_к-c}$	$\beta_{к.у}=\frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{\frac{R_0(s_к-c)}{\cos\alpha}}}$; $Q=\frac{p_pR_0}{2}\operatorname{tg}\alpha$
	0	$\frac{2\beta_{к.у}^2R_0}{\cos\alpha}M_0$	M_0	μM_0	$\frac{2\beta_{к.у}^2R_0^2}{E(s_к-c)\cos\alpha}M_0$	$\frac{4\beta_{к.у}^3R_0^2}{E(s_к-c)\cos^2\alpha}M_0$	$\pm\frac{6M_0}{(s_к-c)^2}$	$\frac{2\beta_{к.у}^2R_0M_0}{(s_к-c)\cos\alpha}\pm$ $\pm\frac{6\mu M_0}{(s_к-c)^2}$	
	0	$\frac{p_pR_0}{\cos\alpha}$	0	0	$\frac{R_0^2}{E(s_к-c)\cos\alpha}p_p$	$\frac{2R_0^2\sin\alpha}{E(s_к-c)\cos^2\alpha}p_p$	0	$\frac{p_pR_0}{(s_к-c)\cos\alpha}$	
	$\frac{p_pR_0\times}{\times\left(1-\frac{R^2}{R_0^2}\right)}$ $2\cos\alpha$	$\frac{p_pR_0}{\cos\alpha}$	0	0	$\frac{R_0^2\left(2-\mu+\mu\frac{R^2}{R_0^2}\right)}{2E(s_к-c)\cos\alpha}p_p$	$\frac{R_0\sin\alpha\left(3+\frac{R^2}{R_0^2}\right)}{2E(s_к-c)\cos^2\alpha}p_p$	$\frac{R_0\left(1-\frac{R^2}{R_0^2}\right)p_p}{2(s_к-c)\cos\alpha}$	$\frac{p_pR_0}{(s_к-c)\cos\alpha}$	
	0	$2\beta_э aQ_0$	0	0	$\frac{2\beta_э a^2}{E(s_э-c)}Q_0$	$\frac{2\beta_э^2a^2}{E(s_э-c)}Q_0$	0	$\frac{2\beta_э a}{s_э-c}Q_0$	
	0	$2\beta_э^3aM_0$	M_0	μM_0	$\frac{2\beta_э^3a^2}{E(s_э-c)}M_0$	$\frac{4\beta_э^3a^2}{E(s_э-c)}M_0$	$\pm\frac{6M_0}{(s_э-c)^2}$	$\frac{2\beta_э^3a}{s_э-c}M_0\pm\frac{6\mu M_0}{(s_э-c)^2}$	$\beta_э=\frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{a(s_э-c)}}$
	$\frac{p_pa}{2}$	$\frac{p_pa}{2}\times$ $\times\left(2-\frac{a^2}{b^2}\right)$	0	0	$\frac{p_pa^2}{2E(s_э-c)}\times$ $\times\left(2-\mu-\frac{a^2}{b^2}\right)$	0	$\frac{p_pa}{2(s_э-c)}$	$\frac{p_pa}{2(s_э-c)}\left(2-\frac{a^2}{b^2}\right)$	

Формулы для определения нагрузок перемещений и напряжений по контуру плоской круглой пластины

Таблица 14.22

Нагрузка	Усилие		Момент		Перемещение		Напряжение	
	кольцевое T	радиальное P	кольцевой M_t	радиальный M_r	радиальное Δ	угловое θ	кольцевое σ_t	радиальное σ_r
	0	0	$-\frac{(1-\mu)R^2}{8}p_p$	0	0	$-\frac{3(1-\mu)R^3}{2E(s_n-c)^3}p_p$	$-\frac{3(1-\mu)R^2}{4(s_n-c)^2}p_p$	0
	Q_0	Q_0	$\frac{s_n-c}{2}Q_0$	$\frac{s_n-c}{2}Q_0$	$\frac{(1-\mu)R}{E(s_n-c)}Q_0$	$\frac{6(1-\mu)R}{E(s_n-c)^2}Q_0$	$\frac{Q_0}{s_n-c}(1\pm3)$	$\frac{Q_0}{s_n-c}(1\pm3)$
	0	0	M_0	M_0	0	$\frac{12(1-\mu)R}{E(s_n-c)^3}M_0$	$\pm\frac{6M_0}{(s_n-c)^2}$	$\pm\frac{6M_0}{(s_n-c)^2}$

Примеры

14.2.1. Для теплообменного аппарата (рис. 14.20), работающего под внутренним давлением, осуществить проверку прочности цилиндрической обечайки крышки в месте соединения ее с плоской круглой пластиной.

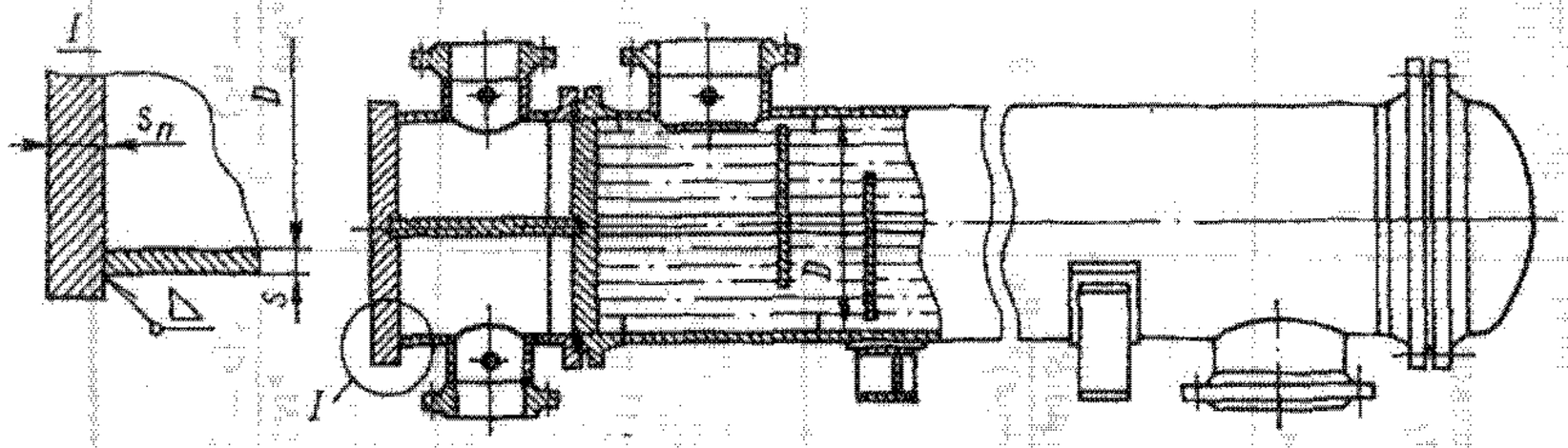


Рис. 14.20. Теплообменный аппарат

Исходные данные. Внутренний диаметр аппарата $D = 300$ мм, давление $p_p = 2$ МПа, расчетная температура стенок $t = 50°C$, материал — листовой прокат из стали 10Х17Н13М2Т. Толщина цилиндрической обечайки $s = 12$ мм, пластины $s_п = 22$ мм, прибавка к расчетной толщине стенки $c = 2$ мм, коэффициент прочности сварных швов $\varphi = 1$, допускаемое напряжение $[\sigma] = 131$ МПа.

Решение. Допускаемое напряжение на краю обечайки $[\sigma]_{кр} = 1{,}3\,[\sigma] = 1{,}3 \cdot 131 \equiv 170$ МПа.

Расчетное значение модуля продольной упругости при заданной температуре ($t = 50°C$) для стали 10Х17Н13М2Т $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

Уравнения совместности деформаций (рис. 14.21)

$$\left.\begin{aligned} \Delta^{ц}_{p} - \Delta^{ц}_{Q_0} + \Delta^{ц}_{M_0} &= \Delta^{п}_{p} + \Delta^{п}_{Q_0} + \Delta^{п}_{M_0}; \\ -\theta^{ц}_{p} + \theta^{ц}_{Q_0} - \theta^{ц}_{M_0} &= \theta^{п}_{p} + \theta^{п}_{Q_0} + \theta^{п}_{M_0}. \end{aligned}\right\} \qquad (14.89)$$

где $\Delta^{ц}_{p}$, $\Delta^{ц}_{Q_0}$, $\Delta^{ц}_{M_0}$, $\theta^{ц}_{p}$, $\theta^{ц}_{Q_0}$, $\theta^{п}_{M_0}$ — соответственно радиальные и угловые деформации края цилиндрической обечайки под действием нагрузок p, Q_0 и M_0; $\Delta^{п}_{p}$, $\Delta^{п}_{Q_0}$, $\Delta^{п}_{M_0}$, $\theta^{п}_{p}$, $\theta^{п}_{Q_0}$, $\theta^{п}_{M_0}$ — соответственно радиальные и угловые деформации края плоской круглой пластины от действия нагрузок p, Q_0 и M_0.

Подставляя соответствующие значения деформаций из табл. 14.21 и 14.22 в уравнения (14.89), получим

$$\left.\begin{aligned} \frac{(2-\mu)R^2}{2E(s-c)}\,p_p - \frac{2\beta R^2}{(s-c)E}\,Q_0 + \frac{2\beta^2 R^2}{(s-c)E}\,M_0 &= 0 + \frac{(1-\mu)R}{E(s_п - c)}\,Q_0 + 0; \\ -0 + \frac{2\beta^2 R^2}{(s-c)E}\,Q_0 - \frac{4\beta^2 R^2}{(s-c)E}\,M_0 &= -\frac{3(1-\mu)R^2}{2E(s_п - c)^3}\,p_p + \frac{6(1-\mu)R}{E(s_п - c)^2}\,Q_0 + \\ &\quad + \frac{12(1-\mu)R}{E(s_п - c)^3}\,M_0, \end{aligned}\right\} \qquad (14.90)$$

где $\beta = \sqrt[4]{3(1-\mu^2)}/\sqrt{R(s-c)}$; $R = D/2$.

Подставляя в систему уравнений (14.90) известные значения геометрических размеров аппарата и физических свойств материала, согласно заданию, получим $\beta = 33{,}19$ 1/м; $R = 0{,}15$ м;

$$\left.\begin{aligned} 1{,}92 \cdot 10^{-5} - 74{,}68 \cdot 10^{-5} Q_0 + 2{,}48 \cdot 10^{-3} M_0 &= 2{,}62 \cdot 10^{-5} Q_0; \\ 2{,}48 \cdot 10^{-3} Q_0 - 1{,}65 M_0 &= -44{,}3 \cdot 10^{-4} + 78{,}75 \cdot 10^{-4} Q_0 + 78{,}75 \cdot 10^{-3} M_0, \end{aligned}\right\}$$

откуда $Q_0 = 0{,}107$ МН/м; $M_0 = 2{,}56 \cdot 10^{-3}$ МН · м/м.

Суммарные напряжения на краю обечайки с учетом напряжений от внутреннего давления p_p, краевых сил Q_0 и моментов M_0 (см. табл. 14.21) следующие:

$$\sigma_{m0} = \sigma^{p}_{m0} - \sigma^{Q_0}_{m0} + \sigma^{M_0}_{m0} = p_p R/[2(s-c)] - 0 \pm 6M_0/(s-c)^2 =$$
$$= 2 \cdot 0{,}15/[2(12-2)\,10^{-3}] \pm 6 \cdot 2{,}56 \cdot 10^{-3}/[(12-2)\,10^{-3}]^2 = (15 \pm 153{,}6)\ \text{МПа};$$
$$\sigma^{max}_{m0} = 168{,}6\ \text{МПа};$$

кольцевое напряжение

$$\sigma_{t0} = \sigma^{p}_{t0} - \sigma^{Q_0}_{t0} + \sigma^{M_0}_{t0} = p_p R/(s-c) - (Q_0 - \beta M_0)\,2\beta R/(s-c) \pm 6\mu M_0/(s-c)^2 =$$
$$= 2 \cdot 0{,}15/[(12-2)\,10^{-3}] - (0{,}107 - 33{,}19 \cdot 2{,}56 \cdot 10^{-3})\,2 \cdot 33{,}19/[(12-2)\,10^{-3}] \pm 6 \times$$
$$\times 0{,}3 \cdot 2{,}56 \cdot 10^{-3}/[(12-2)\,10^{-3}]^2 = (30 - 21{,}9 \pm 46{,}8)\ \text{МПа}.$$
$$\sigma^{max}_{t0} = 54{,}18\ \text{МПа};$$

максимальное напряжение

$$\sigma_{max} = max\{\sigma^{max}_{m0};\ \sigma^{max}_{t0}\} = max\{168{,}6\ \text{МПа};\ 54{,}18\ \text{МПа}\} = 168{,}6\ \text{МПа}.$$

Условие прочности в месте сопряжения элементов выполняется:

$$\sigma_{max} < \varphi\,[\sigma]_{кр}\ (168{,}6\ \text{МПа} < 1 \cdot 170 = 170\ \text{МПа}).$$

14.2.2. Определить напряжения, возникающие в месте сопряжения элементов конструкции аппарата (рис. 14.22, *а*).

Исходные данные. Внутреннее давление $p_p = 0{,}6$ МПа, внутренний диаметр $D = 1600$ мм, расчетная температура стенок $t = 80°C$, материал — листовой прокат из стали 09Г2С, сопрягаемые элементы — цилиндрическая и коническая обечайки, $s = 8$ мм, $s_к = 8$ мм, $\alpha = 45°$; прибавка к расчетной толщине $c = 2$ мм, коэффициент прочности сварных швов $\varphi = 1$, допускаемое напряжение $[\sigma] = 162$ МПа.

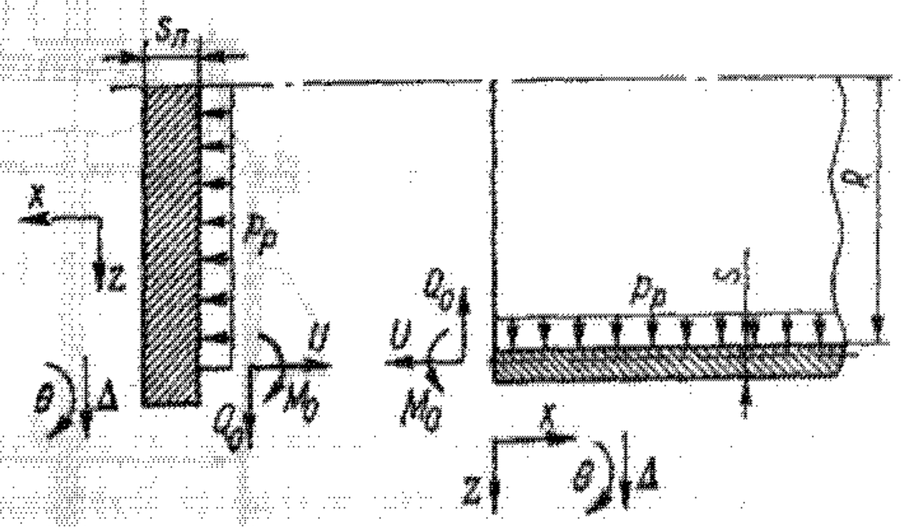


Рис. 14.21. Расчетная схема соединения цилиндрической обечайки с круглой пластиной

Решение. Аналогично примеру 14.2 $[\sigma]_{кр} = 1{,}3\,[\sigma] = 1{,}3 \cdot 162 = 210{,}5$ МПа.

Расчетное значение модуля продольной упругости при заданной температуре для стали 09Г2С $E = 1{,}99 \cdot 10^5$ МПа.

Система уравнений совместности деформаций (рис. 14.22, *б*):

$$\left.\begin{aligned} \Delta^{ц}_{p} - \Delta^{ц}_{Q_0} + \Delta^{ц}_{M_0} &= \Delta^{к}_{p} + \Delta^{к}_{(Q_0 - Q)} + \Delta^{к}_{M_0}; \\ -\theta^{ц}_{p} + \theta^{ц}_{Q_0} - \theta^{ц}_{M_0} &= \theta^{к}_{p} + \theta^{к}_{(Q_0 - Q)} + \theta^{к}_{M_0}, \end{aligned}\right\} \qquad (14.91)$$

где $\Delta^{ц}_{p}$, $\Delta^{ц}_{Q_0}$, $\Delta^{ц}_{M_0}$, $\theta^{ц}_{p}$, $\theta^{ц}_{Q_0}$, $\theta^{ц}_{M_0}$ — соответственно радиальные и угловые деформации края цилиндрической обечайки под действием нагрузок p, Q_0 и M_0; $\Delta^{к}_{p}$, $\Delta^{к}_{(Q_0 - Q)}$, $\Delta^{к}_{M_0}$, $\theta^{к}_{p}$, $\theta^{к}_{(Q_0 - Q)}$, $\theta^{к}_{M_0}$ — соответственно радиальные и угловые деформации края конической обечайки под действием нагрузок p, Q_0 и M_0.

Подставляя соответствующие значения деформаций из табл. 14.21 в уравнения (14.91), получим:

$$\left.\begin{aligned} \frac{(2-\mu)R^2}{2E(s-c)}p_p - \frac{2\beta R^2}{E(s-c)}Q_0 + \frac{2\beta^2 R^2}{E(s-c)}M_0 &= \frac{(2-\mu)R^2}{2E(s_к - c)\cos\alpha}p_p + \\ + \frac{2\beta_к R^2}{E(s_к - c)}(Q_0 - Q) + \frac{2\beta_к^2 R^2}{E(s_к - c)\cos\alpha}M_0; \\ -0 + \frac{2\beta^2 R^2}{E(s-c)}Q_0 - \frac{4\beta^3 R^2}{E(s-c)}M_0 &= \frac{3R\sin\alpha}{2E(s_к - c)\cos^2\alpha}p_p + \\ + \frac{2\beta_к^2 R^2}{E(s_к - c)\cos\alpha}(Q_0 - Q) + \frac{4\beta_к^3 R^2}{E(s_к - c)\cos^2\alpha}M_0. \end{aligned}\right\} \qquad (14.92)$$

где $\beta = \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} / \sqrt{R(s-c)}$; $\beta_к = \sqrt[4]{3(1-\mu^2)} / \sqrt{R(s_к - c)/\cos\alpha}$; $Q = p_p R/(2ctg\,\alpha)$.

Подставляя в систему уравнений (14.92) известные значения геометрических размеров аппарата и физических свойств материала, согласно заданию, получим:

$$\beta = 18{,}55 \text{ 1/м};\ \beta_к = 15{,}6 \text{ 1/м};\ Q = 0{,}24 \text{ МН/м};\ R = D/2 = 0{,}8 \text{ м};$$

$$\left.\begin{aligned} 27{,}34\cdot10^{-5} - 19{,}89\cdot10^{-3}Q_0 + 0{,}37M_0 &= 38{,}66\cdot10^{-5} + \\ + 16{,}72\cdot10^{-3}(Q_0 - 0{,}24) + 0{,}37M_0;& \\ -0 + 0{,}37Q_0 - 13{,}69M_0 &= 85{,}28\cdot10^{-5} + \\ + 0{,}37(Q_0 - 0{,}24) + 16{,}28M_0.& \end{aligned}\right\}$$

$$Q_0 = 0{,}11 \text{ МН/м};\ M_0 = 2{,}68\cdot10^{-3} \text{ МН}\cdot\text{м/м}.$$

Откуда $Q_0 = 0{,}11$ МН/м; $M_0 = 2{,}68\cdot10^{-3}$ МН · м/м.

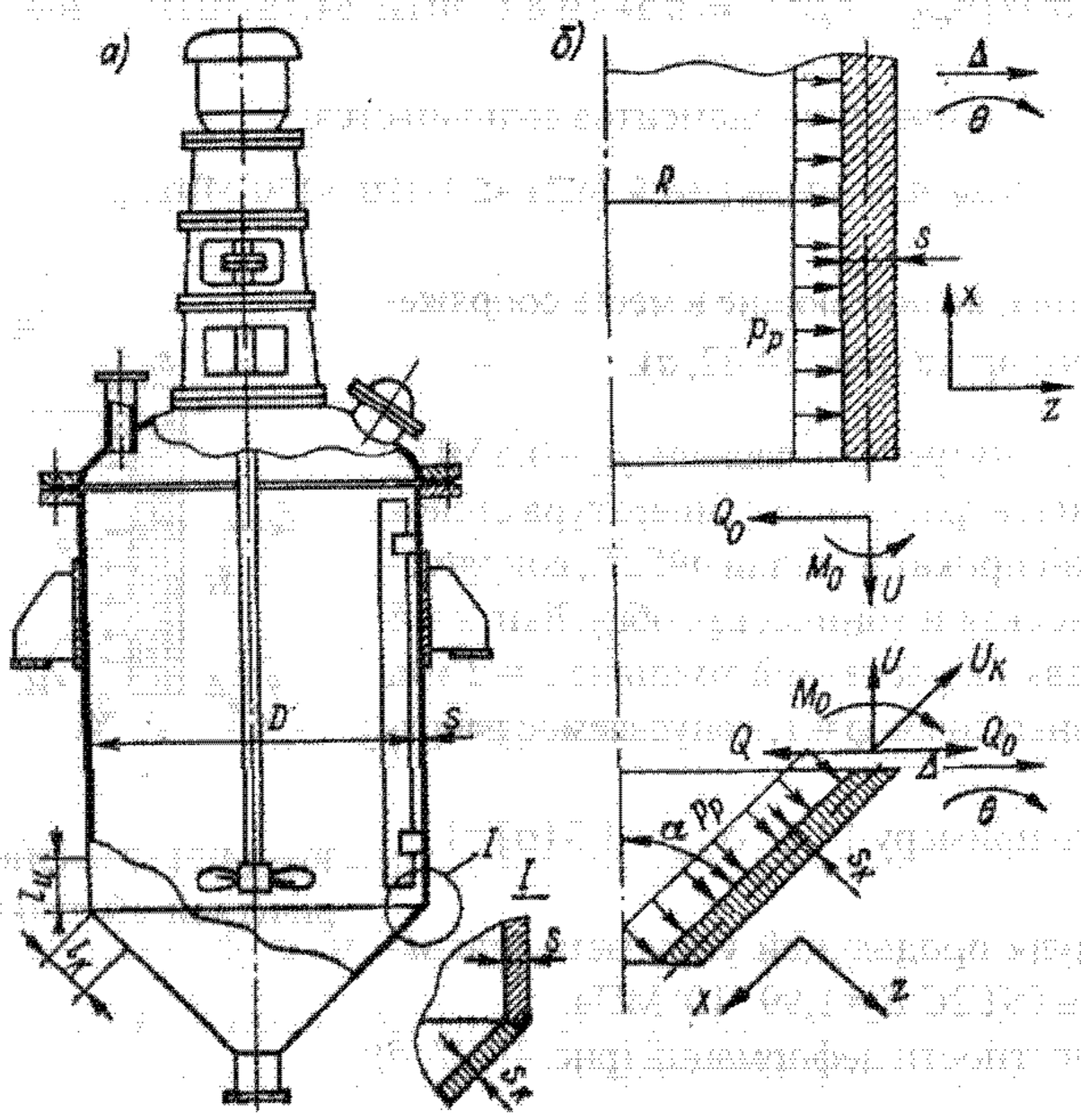


Рис.14.22. Аппарат вертикальный с перемешивающим устройством (*а*) и расчетная схема (*б*) соединения цилиндрической и конической обечаек его корпуса; U и $U_к$ — меридиональные усилия соответственно цилиндрической и конической обечаек

Суммарные напряжения на краю цилиндрической обечайки (см. табл. 14.21) следующие:
меридиональное напряжение

$$\sigma_{m0} = \sigma^p_{m0} - \sigma^{Q_0}_{m0} + \sigma^{M_0}_{m0} = p_p R/[2(s-c)] - 0 \pm 6M_0/(s-c)^2 =$$

$$= 0{,}6\cdot0{,}8/[2(8-2)\,10^{-3}] \pm 6\cdot2{,}68\cdot10^{-3}/[(8-2)\,10^{-3}]^2 = (40 \pm 446{,}7) \text{ МПа};$$

$$\sigma^{max}_{m0} = 486{,}7 \text{ МПа};$$

кольцевое напряжение

$$\sigma_{t0} = \sigma^p_{t0} - \sigma^{Q_0}_{t0} + \sigma^{M_0}_{t0} = p_p R/(s-c) - 2\beta R(Q_0 - \beta M_0)/(s-c) \pm 6\mu M_0/(s-$$
$$-c)^2 = 0{,}6\cdot0{,}8[(8-2)\,10^{-3}] - 2\cdot18{,}55\cdot0{,}8(0{,}11 - 18{,}55\cdot2{,}68\cdot10^{-3})/[(8-$$
$$-2)\,10^{-3}] \pm 6\cdot0{,}3\cdot2{,}68\cdot10^{-3}/[(8-2)10^{-3}]^2 = (-218{,}2 \pm 134) \text{ МПа};$$
$$|\sigma^{max}_{t0}| = 352{,}2 \text{ МПа}.$$

Суммарные напряжения на краю конической оболочки (днища) следующие:
меридиональное напряжение

$$\sigma_{m\kappa} = \sigma^{p}_{m\kappa} + \sigma^{(Q_0-Q)}_{m\kappa} + \sigma^{M_0}_{m\kappa} = p_p R/[2(s_\kappa - c)\cos\alpha] + (Q_0 - Q)\sin\alpha/(s_\kappa - c) \pm$$
$$\pm 6M_0/(s_\kappa - c)^2 = 0{,}6\cdot 0{,}8/[2(8-2)\,10^{-3}\cos 45^\circ] + (0{,}11 - 0{,}24)\sin 45^\circ/[(8 -$$
$$- 2)\,10^{-3}] \pm 6\cdot 2{,}68\cdot 10^{-3}/[(8-2)\,10^{-3}]^2 = (41{,}35 \pm 446{,}7)\ \text{МПа};$$
$$\sigma^{max}_{m\kappa} = 488{,}05\ \text{МПа};$$

кольцевое напряжение

$$\sigma_{t\kappa} = \sigma^{p}_{t\kappa} + \sigma^{(Q_0-Q)}_{t\kappa} + \sigma^{M_0}_{t\kappa} = p_p R/[(s_\kappa - c)\cos\alpha] + 2\beta_\kappa R\,(Q_0 - Q)/(s_\kappa - c) +$$
$$+ 2\beta^2_\kappa R M_0/[(s_\kappa - c)\cos\alpha] \pm 6\mu M_0/(s_\kappa - c)^2 = 0{,}6\cdot 0{,}8/[(8-2)\,10^{-3}\cos 45^\circ] +$$
$$+ 2\cdot 15{,}6\cdot 0{,}8\,(0{,}11 - 0{,}24)/[(8-2)\,10^{-3}] + 2\cdot 15{,}6^2\cdot 0{,}8\cdot 2{,}68\cdot 10^{-3}/[(8 -$$
$$- 2)\,10^{-3}\cos 45^\circ] \pm 6\cdot 0{,}3\cdot 2{,}68\cdot 10^{-3}/[(8-2)\,10^{-3}]^2 = (181{,}7 \pm 134)\ \text{МПа};$$
$$\sigma^{max}_{t\kappa} = 315{,}7\ \text{МПа}.$$

Максимальное напряжение на краю:
цилиндрической обечайки

$$\sigma_{max\,0} = \max\left\{\sigma^{max}_{m0};\ \left|\sigma^{max}_{t0}\right|\right\} = \max\{486{,}7\ \text{МПа};\ 352{,}2\ \text{МПа}\} = 486{,}7\ \text{МПа};$$
$$\sigma_{max\,0} > \varphi\,[\sigma]_{кр} \quad (486{,}7\ \text{МПа} > 1\cdot 210{,}6\ \text{МПа});$$

конического дн

$$\sigma_{max\,н} = \max\left\{\sigma^{max}_{m\kappa};\ \sigma^{max}_{t\kappa}\right\} = \max\{488{,}05\ \text{МПа};\ 315{,}7\ \text{МПа}\} = 488{,}05\ \text{МПа};$$
$$\sigma_{max\,н} > \varphi\ [\sigma]_{кр} \quad (488{,}05\ \text{МПа} > 1\cdot 210{,}5\ \text{МПа}).$$

Таким образом, условие прочности в месте сопряжения элементов не выполняется. Это требует увеличение толщины стенки цилиндрической и конической обечаек в пределах краевой зоны (см. рис. 14.22), ограниченной размерами $l_ц = \pi/(2{,}5\beta)$ и $l_к = \pi/(2{,}5\beta_к)$.

14.2.3. Определить напряжения, возникающие в месте сопряжения оболочек аппарата (см. рис. 13.15, *а*).

Исходные данные. Внутреннее давление $p_p = 1$ МПа, внутренний диаметр аппарата $D = 2000$ мм, расчетная температура стенок аппарата $t = 100°C$, материал — листовой прокат из стали 08Х22Н6Т, сопригаемые элементы: цилиндрическая оболочка толщиной $s = 8$ мм, эллиптическое днище толщиной $s_э = 8$ мм, прибавка к расчетной толщине $c = 1$ мм, коэффициент прочности сварных швов $\varphi = 1$, допускаемое напряжение и модуль продольной упругости при рабочей температуре $[\sigma] = 146$ МПа, $E = 1{,}99 \cdot 10^5$ МПа.

Решение. Допускаемое напряжение на краю элемента $[\sigma]_{кр} = 1{,}3\,[\sigma] = 1{,}3 \cdot 146 \equiv 189{,}5$ МПа.

Уравнение совместности деформаций для места стыка обечайки с эллиптическим днищем (рис. 14.23):

$$\left.\begin{aligned} \Delta^{ц}_{p} - \Delta^{ц}_{Q_0} + \Lambda^{ц}_{M_0} &= \Delta^{э}_{p} + \Delta^{э}_{Q_0} + \Delta^{э}_{M_0}; \\ \theta^{ц}_{p} - \theta^{ц}_{Q_0} + \theta^{ц}_{M_0} &= -\theta^{э}_{p} - \theta^{э}_{Q_0} - \theta^{э}_{M_0}, \end{aligned}\right\} \qquad (14.93)$$

где $\Delta^{ц}_{p}$, $\Delta^{ц}_{Q_0}$, $\Delta^{ц}_{M_0}$, $\theta^{ц}_{p}$, $\theta^{ц}_{Q_0}$, $\theta^{ц}_{M_0}$ — соответственно радиальные и угловые перемещения края цилиндрической обочки под действием нагрузок p, Q_0 и M_0; $\Delta^{э}_{p}$, $\Delta^{э}_{Q_0}$, $\Delta^{э}_{M_0}$, $\theta^{э}_{p}$, $\theta^{э}_{Q_0}$, $\theta^{э}_{M_0}$ — соответственно радильные и угловые перемещения края эллиптической оболочки под действием нагрузок p, Q_0 и M_0.

Подставляя соответствующие значения деформаций из табл. 14.21 в уравнения (14.97), получим:

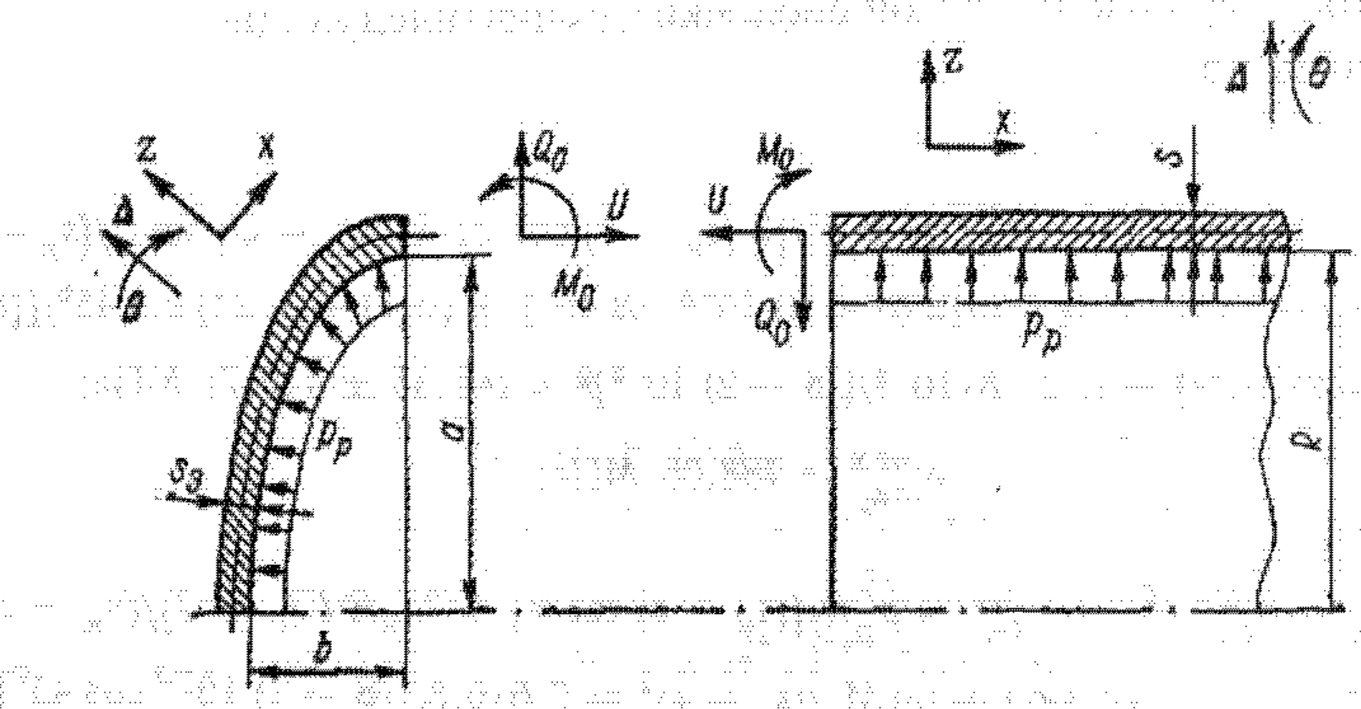


Рис. 14.23. Расчетная схема соединения цилиндрической обечайки с эллиптическим днищем

$$\left.\begin{aligned}
&\frac{(2-\mu)R^2}{2E(s-c)}p_p-\frac{2\beta R^2}{(s-c)E}Q_0+\frac{2\beta^2R^2}{(s-c)E}M_0=\frac{p_pa^2}{2E(s_э-c)}\times\\
&\qquad\times\left(2-\mu-\frac{a^2}{b^2}\right)+\frac{2\beta_э a^2}{(s_э-c)E}Q_0+\frac{2\beta_э^2a^2}{(s_э-c)E}M_0;\\
&0-\frac{2\beta^2R^2}{(s-c)E}Q_0+\frac{4\beta^3R^2}{(s-c)E}M_0=-0-\frac{2\beta_э^2a^2}{(s_э-c)E}Q_0-\frac{4\beta_э^3a^2}{(s_э-c)E}M_0,
\end{aligned}\right\}\qquad(14.94)$$

где

$$\beta=\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}/\sqrt{R(s-c)};\ \beta_э=\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}/\sqrt{a(s_э-c)};$$
$$R=D/2;\ a=D/2;\ b=D/4.$$

Подставляя в систему уравнений (14.98) известные значения геометрических размеров аппарата и физических свойств материала согласно заданию, получим:

$$\left.\begin{aligned}
&\beta=15{,}36\ \text{1/м};\ \beta_э=15{,}36\ \text{1/м};\ R=a=1\ \text{м};\ b=0{,}5\ \text{м};\\
&0{,}00061-0{,}022Q_0+0{,}34M_0=-0{,}000826+0{,}022Q_0+0{,}34M_0;\\
&-0{,}34Q_0+10{,}4M_0=-0{,}34Q_0-10{,}4M_0,
\end{aligned}\right\}$$

откуда

$$Q_0=0{,}0326\ \text{МН/м};\quad M_0=0.$$

Краевая сила Q_0 и момент M_0 вызывают нагрузки, приведенные в табл. 14.22.

Суммарные напряжения на краю эллиптического днища ($a=R=1000$ мм) (см. табл. 14.22):

меридиональное

$$\sigma_{mэ}=\sigma_{mэ}^{p}+\sigma_{mэ}^{Q_0}+\sigma_{mэ}^{M_0}=p_pa/[2(s_э-c)]+0\pm6M_0/(s_э-c)^2=$$
$$=1\cdot1/[2(8-1)\,10^{-3}]+0\pm0=71{,}43\ \text{МПа};$$

кольцевое

$$\sigma_{tэ}=\sigma_{tэ}^{p}+\sigma_{tэ}^{Q_0}+\sigma_{tэ}^{M_0}=p_pa(2-a^2/b^2)/[2(s_э-c)]+2Q_0\beta_эa/(s_э-c)+$$
$$+2M_0\beta_э^2a/(s_э-c)\pm6\mu M_0/(s_э-c)^2=1\cdot1(2-1^2/0{,}5^2)/[2(8-1)\,10^{-3}]+$$
$$+2\cdot0{,}0326\cdot15{,}36\cdot1/[(8-1)\,10^{-3}]+0\pm0=-142{,}86+142{,}86=0.$$

Суммарные напряжения на краю цилиндрической обечайки:

меридиональное

$$\sigma_{m0}=\sigma_{m0}^{p}-\sigma_{m0}^{Q_0}+\sigma_{m0}^{M_0}=p_pR/[2(s-c)]-0\pm6M_0/(s-c)^2=$$
$$=1\cdot1/[2(8-1)\,10^{-3}]-0\pm0=71{,}43\ \text{МПа};$$

кольцевое

$$\sigma_{t0}=\sigma_{t0}^{p}-\sigma_{t0}^{Q_0}+\sigma_{t0}^{M_0}=p_pR/(s-c)-2Q_0\beta R/(s-c)+2M_0\beta^2R/(s-c)\pm$$
$$\pm6\mu M_0/(s-c)^2=1\cdot1/[(8-1)\,10^{-3}]-2\cdot0{,}0326\cdot15{,}36\cdot1/[(8-1)\,10^{-3}]+0\pm0=$$
$$=142{,}86-142{,}86=0.$$

Максимальное напряжение на краю:
эллиптического днища

$$\sigma_{max} = \max\{\sigma_{m\theta};\ \sigma_{t\theta}\} = \max\{71{,}43;\ 0\} = 71{,}43\ \text{МПа};$$
$$\sigma_{max} < \varphi[\sigma]_{кр}\ (71{,}43\ \text{МПа} < 1 \cdot 189{,}8\ \text{МПа}),$$

цилиндрической обечайки

$$\sigma_{max\,э} = \max\{\sigma_{mэ};\ \sigma_{tэ}\} = \max\{71{,}43;\ 0\} = 71{,}43\ \text{МПа};$$
$$\sigma_{max\,э} < \varphi[\sigma]_{кр}\ (71{,}43\ \text{МПа} < 1 \cdot 189{,}5\ \text{МПа});$$

т.е. условие прочности в месте сопряжения элементов выполняется. Кроме того, напряжения на краю соединяемых эллиптической и цилиндрической оболочек ($\sigma_{max\,э} = \sigma_{max} = 71{,}43$ МПа) оказывают меньше напряжений, возникающих от действия давления p в сечениях оболочек, удаленных от места стыка ($|\sigma^{p}_{t\,э}| = \sigma^{p}_{t\theta} = 142{,}86$ МПа). В этом заключается основное достоинство стандартных эллиптических днищ ($a = 2b$ при $s_1 = s$), широко используемых в настоящее время в аппаратостроении.

ГЛАВА 15

КРЫШКИ ОТЪЕМНЫЕ, ЛЮКИ

15.1. Конструкции

Отъемные крышки на корпусе аппарата применяются только в тех случаях, когда его невозможно выполнить цельносварным с люком для осмотра, чистки, ремонта, загрузки, выгрузки, монтажа и демонтажа внутренних устройств. Крышки большей частью присоединяются к корпусу аппарата с помощью фланцев, которые металлоемки особенно при больших диаметрах и высоких давлениях в аппарате и поэтому являются нежелательными.

Типовые конструкции отъемных крышек показаны на рис. 15.1 и 15.2. Эллиптические и сферические крышки состоят из соответствующих стандартных днищ, сваренных со стандартными или специальными фланцами, а плоские являются цельными, изготовленными из листов или поковок.

Многие аппараты по условиям их эксплуатации можно выполнить без крышек, цельносварными, и такие аппараты обычно снабжаются люками, которые стандартизированы.

На рис. 15.3—15.6 показаны конструкции таких люков, представляющих собой штуцера с фланцевыми крышками, в табл. 15.1—15.3 соответственно приведены их основные размеры, а в табл. 15.4—15.5 — материальное оформление указанных люков.

Крышки вертикальных люков с массой свыше 20 кг и горизонтальных массой свыше 40 кг должны иметь устройства, облегчающие их обслуживание. Такие устройства стандартизированы. На рис.15.8 показаны их конструкции, а в табл. 15.6 и 15.7 — основные размеры.

Таблица 15.1

Стандартные люки со скобой для сварных аппаратов (рис.15.3), ОСТ 26-2001 – 83 (размеры в мм)

D_y	D	$D_н$	s	D_1	s_1	l	l_1	l_2	l_3	l_4
80		89	3,5	125	6	210	73	83	125	99
100	—	108	4,0	145	6	230	82	92	125	99
150	—	159	4,5	200	8	310	112	124	160	125
250	—	273	7,0	315	8	420	169	181	160	125
400	400	—	4,0	455	10	580	240	252	200	162
450	450	—	4,0	505	10	630	265	277	200	162
500	500	—	4,0	555	12	680	290	302	200	162

D_y	H	H_1	A	B	$d_Б$	d_1	d_2	d_3	a	s_2
80	85	209	25	30	M12	10	8	10	36	4
100	85	209	25	30	M12	10	8	10	36	4
150	100	280	35	40	M16	14	10	14	42	6
250	100	328	35	40	M16	14	10	14	48	6
400	110	367	55	60	M20	20	12	18	48	10
450	110	367	55	60	M20	20	12	18	48	10
500	110	367	55	60	M20	20	12	18	48	10

Примечания. 1. Люки предназначены для аппаратов, работающих под наливом при температуре среды от —40 до +200 °С. 2. Материал прокладки — резина с твердостью по Шору 75, ГОСТ 7338—65.

Пример условного обозначения люка с D = 100 мм с шифром материального исполнения 2:

Люк 100-2 ОСТ 26-2001—83.

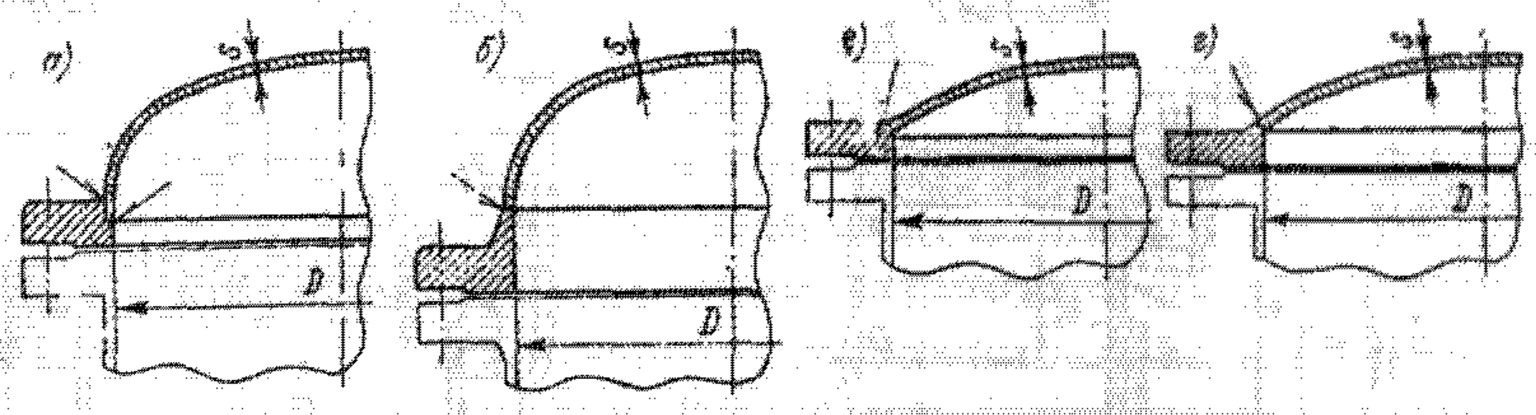


Рис.15.1. Типовые конструкции отъемных выпуклых крышек в стальных сварных аппаратах: *а* — эллиптическая с плоским фланцем; *б* — эллиптическая с фланцем, приварным встык; *в* — сферическая с угловым сварным соединением с фланцем; *г* — сферическая со стыковым сварным соединением с фланцем

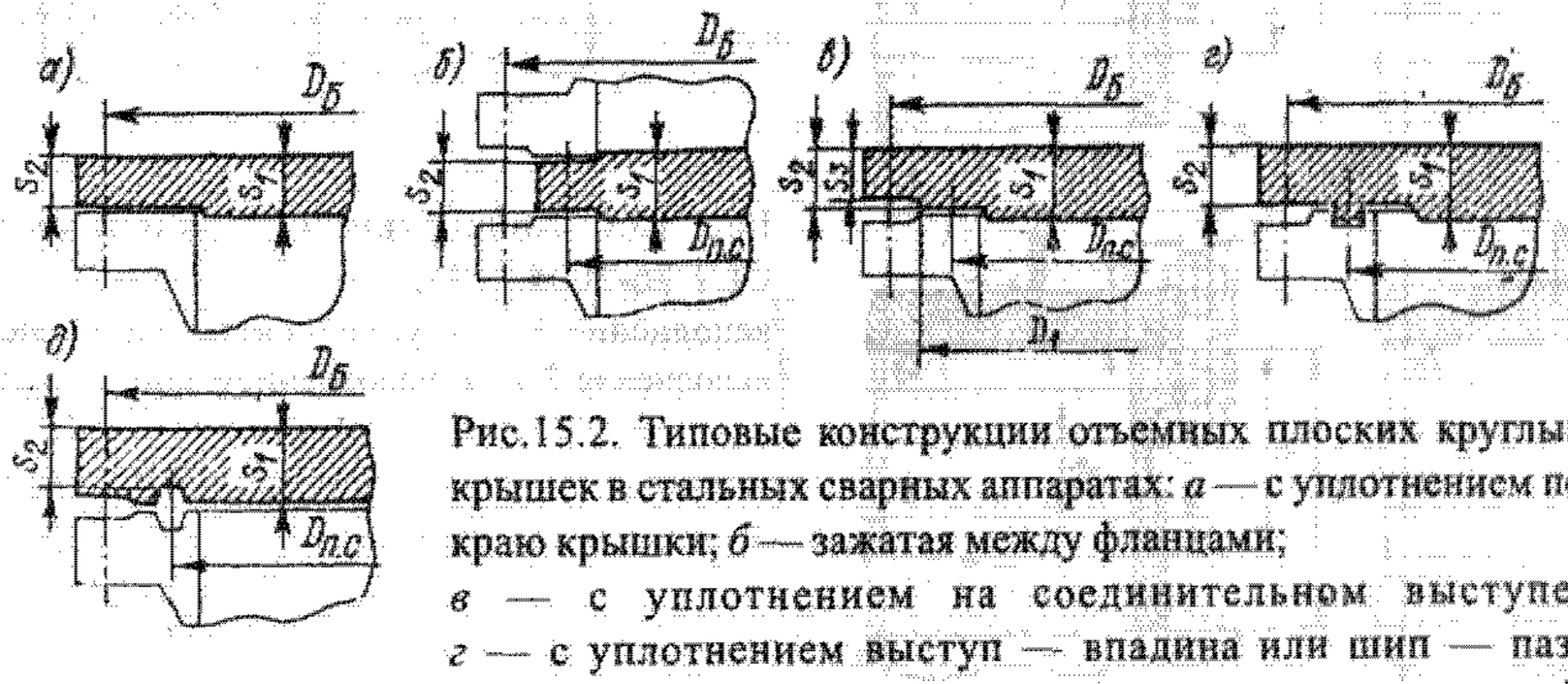


Рис.15.2. Типовые конструкции отъемных плоских круглых крышек в стальных сварных аппаратах: *а* — с уплотнением по краю крышки; *б* — зажатая между фланцами; *в* — с уплотнением на соединительном выступе; *г* — с уплотнением выступ — впадина или шип — паз; *д* — с уплотнением овальной или восьмиугольной прокладкой

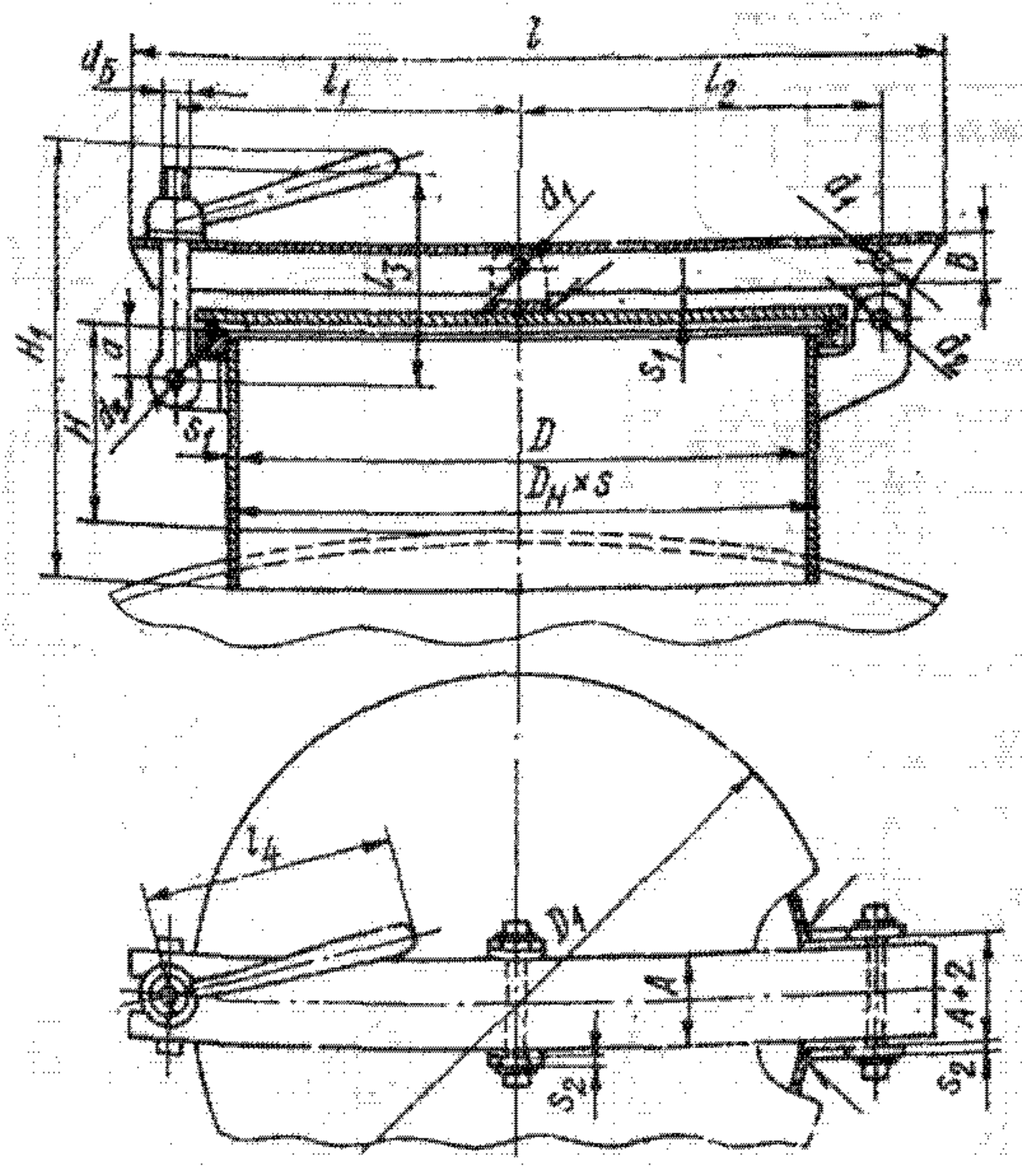


Рис.15.3. Конструкция люков со скобой (ОСТ 26-2001—83)

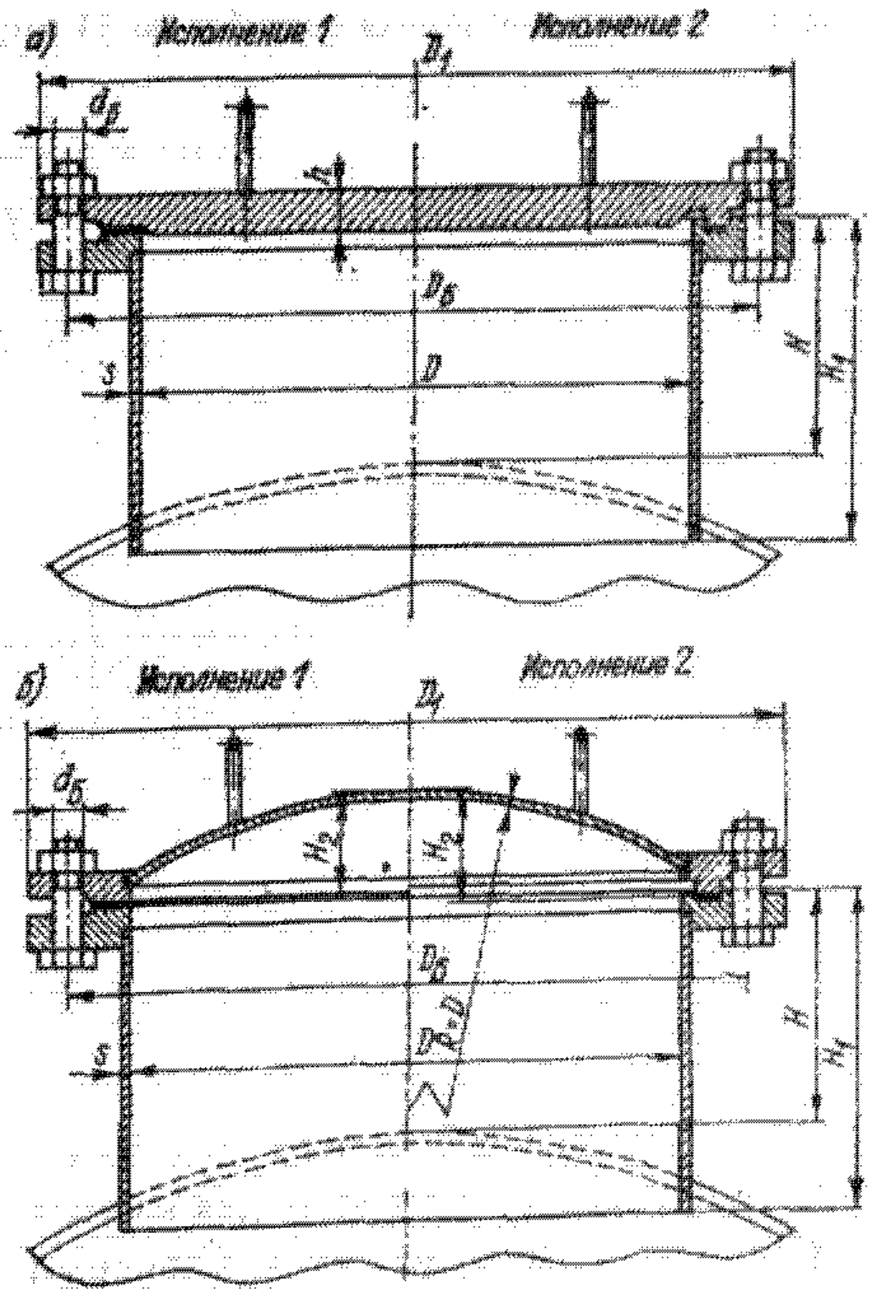
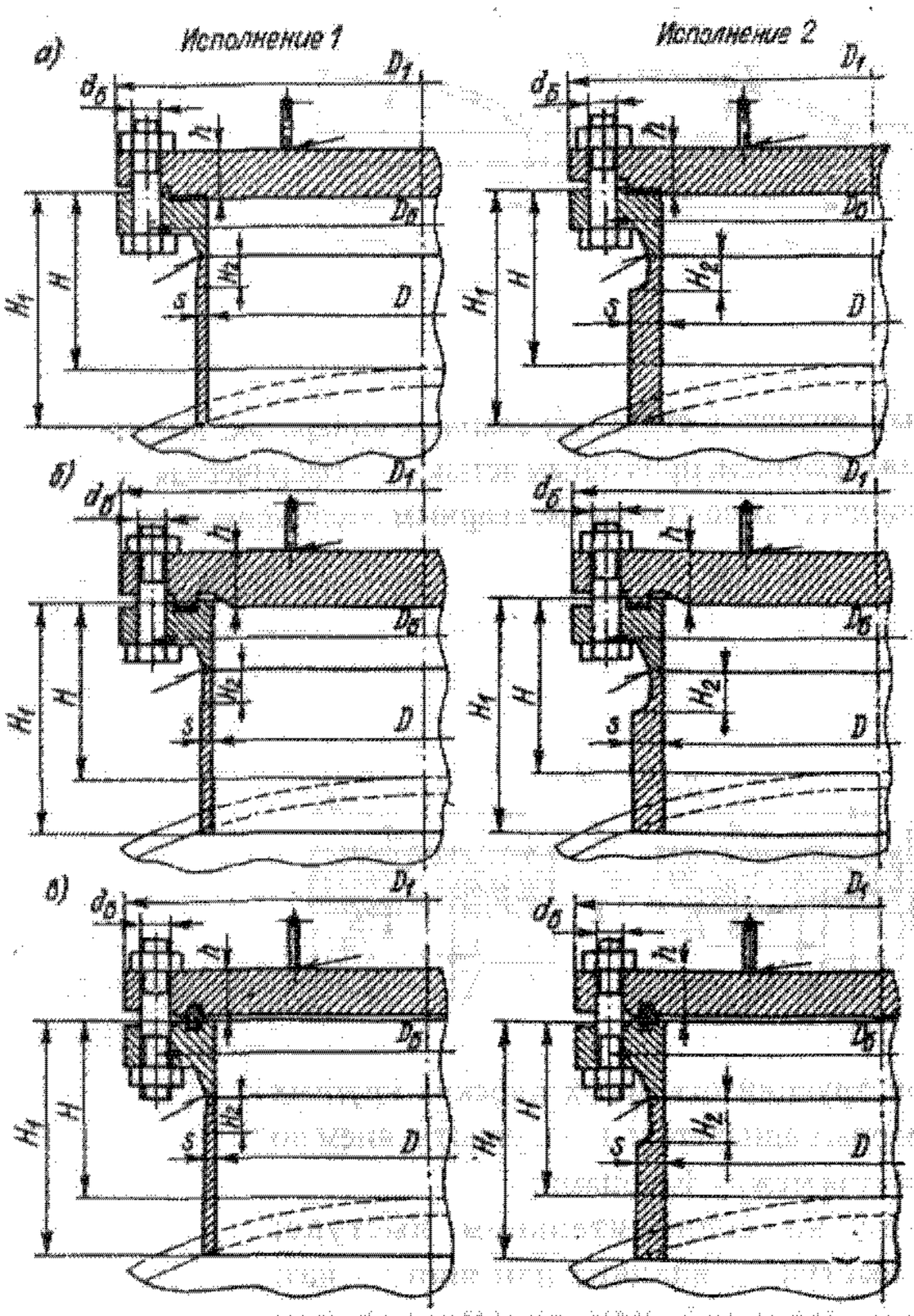


Рис.15.4. Конструкции люков с крышками и плоскими фланцами: *а* — тип 1, с плоскими крышками, ОСТ 26-2002—83; *б* — тип 2, со сферическими крышками, ОСТ 26-2003—83;
исполнение 1 — с уплотнением на соединительном выступе;
исполнение 2 — с уплотнением шип — паз



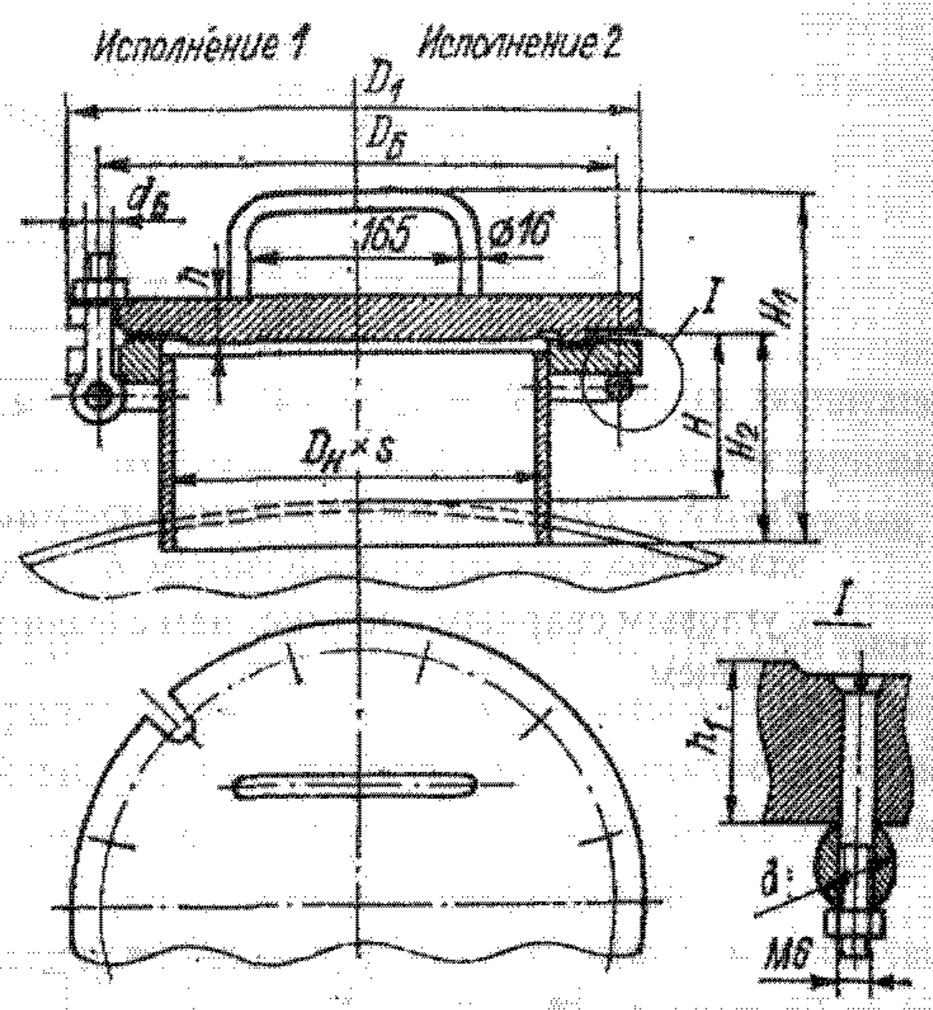


Рис. 15.6. Конструкции загрузочных люков, ОСТ 26-2004—83;
исполнение 1 — с уплотнением на соединительном выступе; исполнение 2 — с уплотнением шип — паз

Рис.15.5. Конструкции люков с плоскими крышками и фланцами, приварными встык: *а* — тип 3, с уплотнением выступ — впадина, ОСТ 26-2005—83; *б* — тип 4, с уплотнением шип — паз, ОСТ 26-2006—83; *в* — тип 5, с уплотнением под прокладку восьмиугольного сечения, ОСТ 26-2007—83;
исполнение 1 — с толщиной стенки патрубка до 34 мм; исполнение 2 — с толщиной стенки патрубка свыше 34 мм

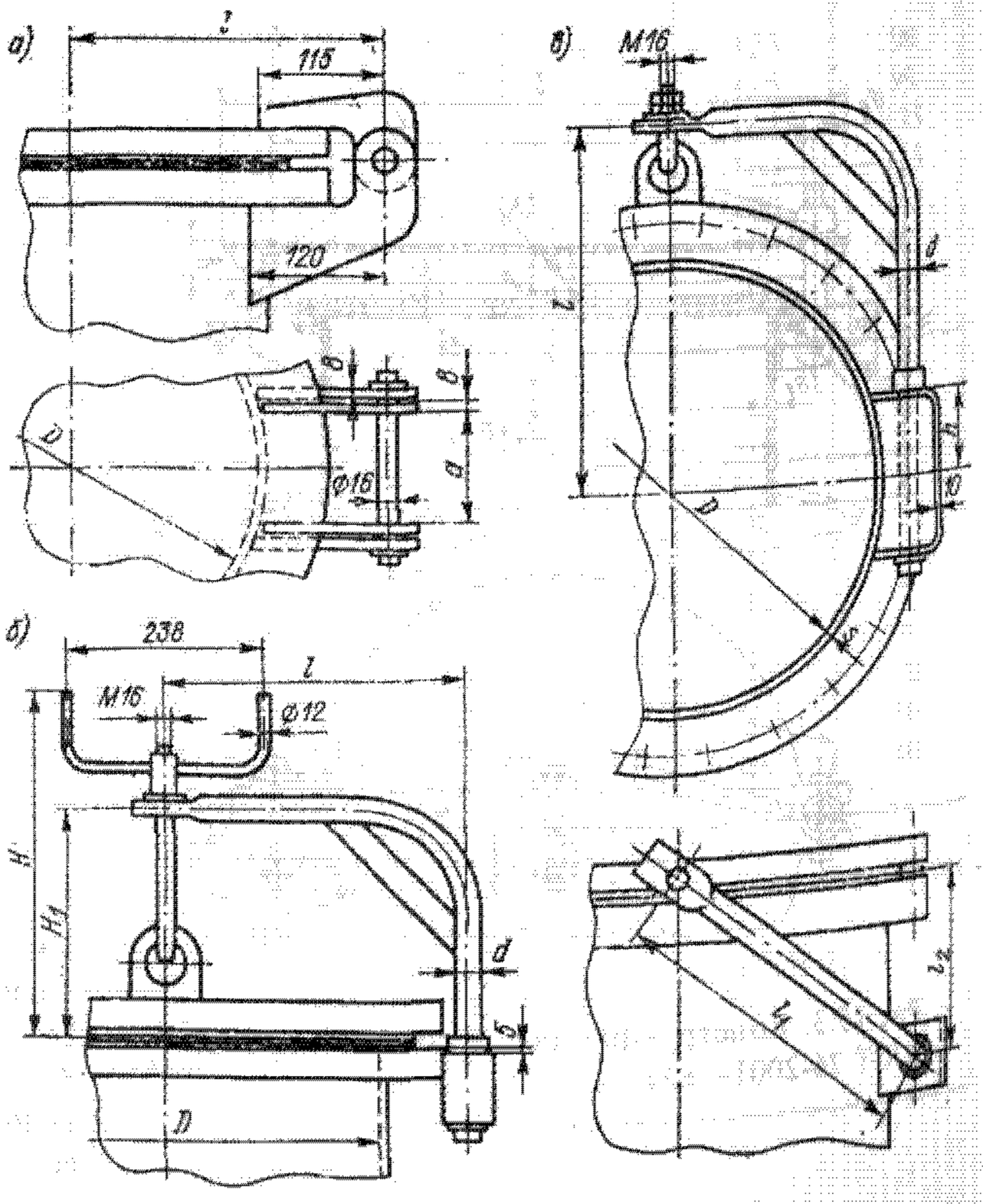


Рис. 15.7. Конструкции шарнирных, подъемно-поворотных и поворотных устройств для крышек люков; *а* — тип 1, шарнирные с плоскими (исполнение 1) и сферическими (исполнение 2) крышками, ОСТ 26-2012—83; *б* — тип 2, подъемно-поворотные для вертикальных люков с плоскими (исполнение 1) и сферическими (исполнение 2) крышками, ОСТ 26-2013—83; *в* — тип 3, поворотные для горизонтальных люков с плоскими крышками, ОСТ 26-2014—83

15.2. Расчет крышек

Крышки аппаратов рассчитываются по ГОСТ 14249—89, СТ СЭВ 1040—88.

При определении толщины стенок днища эллиптических и сферических крышек используются формулы гл. 14; фланец для эллиптических крышек выбирается стандартный (см. гл. 20).

При расчете плоских крышек определяются расчетные толщины в средней части крышки s_1 и в месте уплотнения s_2 (см. рис. 15.2 и 15.8). Значение коэффициента K_0 определяются по формулам (14.77 —14.78).

Формулы расчета плоских крышек применимы при условиях, изложенных в разделе 14.2.26.

Плоские круглые крышки с дополнительным краевым моментом рассчитываются на внутреннее избыточное давление по формулам:

$$S_{1R} = K_0 K_6 D_R \sqrt{\frac{p_R}{[\sigma]\varphi}}; \tag{15.1}$$

$$s_1 \geq s_{1R} + c. \tag{15.2}$$

Значение коэффициента K_6 определяют по формуле:

$$K_6 = 0{,}41\sqrt{\frac{1+3\varphi\left(\frac{D_3}{D_{c.n}}-1\right)}{\frac{D_3}{D_{c.n}}}}. \tag{15.3}$$

или по графику (рис. 15.9) в зависимости от отношений $D_3 / D_{c.n.}$ и ψ.

Допускаемое давление на плоскую крышку определяется по формуле:

$$[p]=\left(\frac{s_1-c}{KK_0D_R}\right)^2[\sigma]\varphi. \tag{15.4}$$

Толщину s_2 для типов соединения 10, 11 и 12 (см. табл. 14.17) определяют по формуле

$$s_2 \geq \begin{cases} \max\left\{1{,}1s_1;\ \dfrac{s_1}{1+\dfrac{D_R-2r}{1{,}2s_1}\sin\gamma}\right\} & \text{для типа 10} \\ \max\left\{0{,}5D_R\dfrac{p}{[\sigma]}+c;\ s_1\sqrt{2\dfrac{D_p-D_2}{D_p}}\right\} & \text{для типов 11, 12.} \end{cases} \tag{15.15}$$

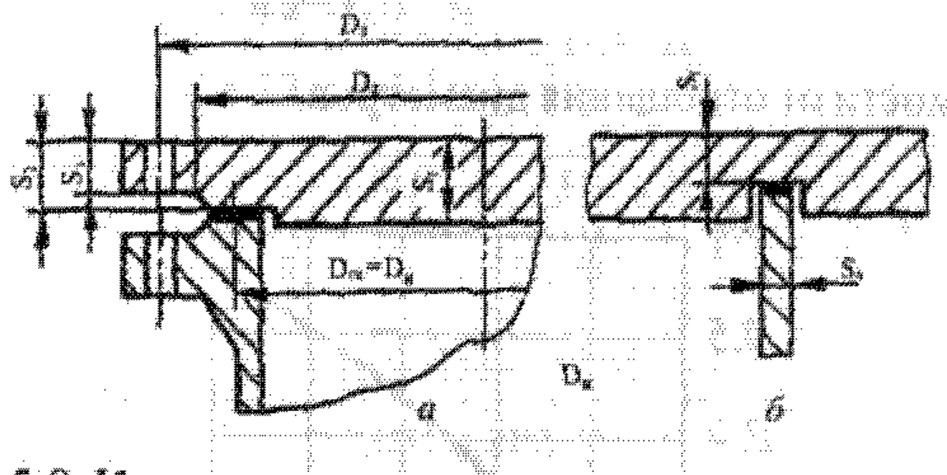


Рис. 15.8. К расчету днища или крышки, нагруженных дополнительным краевым моментом

Значение ψ определяют по формуле

$$\psi = 1+\frac{F_{\text{пр}}}{F_Q} \quad \text{или} \quad \psi = \frac{F_6}{F_Q}, \tag{15.6}$$

где $F_Q = 0{,}785\rho_R D^2_{\text{с.п}}$.

В зависимостях (14.83) входящие величины имеют следующие значения:

$F_{\text{пр}}$, F_6 и F_Q — соответственно реакция прокладки, нагрузка на болты крепления крышки и равнодействующая внутреннего давления.

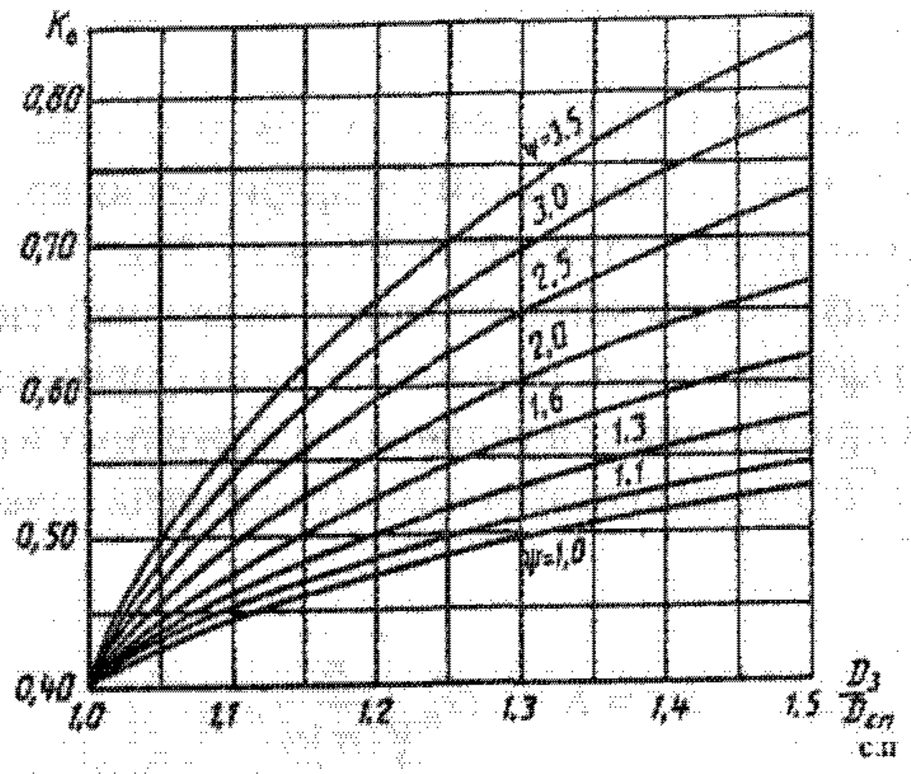


Рис. 15.9. График для определения коэффициента K_6

Для крышки, имеющей паз для перегородки (например, камер теплообменника), значение коэффициента K_6 для определения толщины в месте паза (рис. 15.8, *б*) рассчитывают с учетом усилия от сжатия прокладки в пазе по формуле:

$$K_6 = 0{,}41\sqrt{\frac{1+3\psi\left(\frac{D_3}{D_{c.n}}-1\right)+9{,}6\frac{D_3}{D_{c.n}}\cdot\frac{s_4}{D_{c.n}}}{\frac{D_3}{D_{c.n}}}}. \qquad (15.6)$$

Толщину плоской круглой крышки с дополнительным краевым моментом в месте уплотнения s_2 (рис.15.8) определяют по формуле:

$$s_2 \geq \max\left\{K_7\sqrt{\Phi};\ \frac{0{,}6}{D_1}\Phi\right\}+c,$$

где $$\Phi = \max\left\{\frac{F_{б.р}}{[\sigma]_р};\ \frac{F_{б.м}}{[\sigma]_м}\right\}, \qquad (15.7)$$

В формуле 15.7 индекс р указывает на то, что величина относится к рабочему состоянию или испытаниям, а индекс м — состояние монтажа.

Значение коэффициента K_7 определяют по формуле:

$$K_7 = 0{,}8\sqrt{\frac{D_3}{D_{c.n}}-1} \qquad (15.8)$$

или согласно рис. 15.10 в зависимости от отношения диаметров.

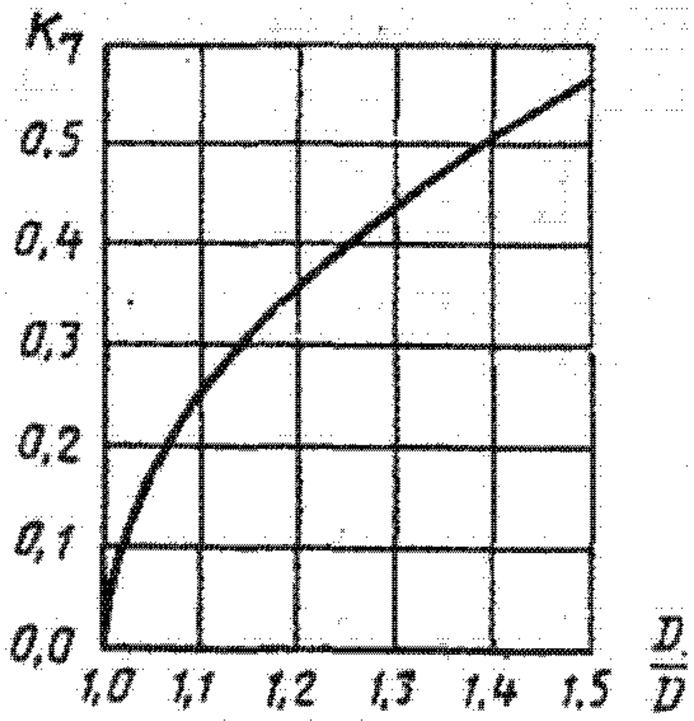


Рис. 15.10. График для определения коэффициента K_7

Пример 15.2.1. Рассчитать толщину стенки плоской крышки (рис. 15.11) распределительной камеры горизонтального кожухотрубчатого конденсатора.

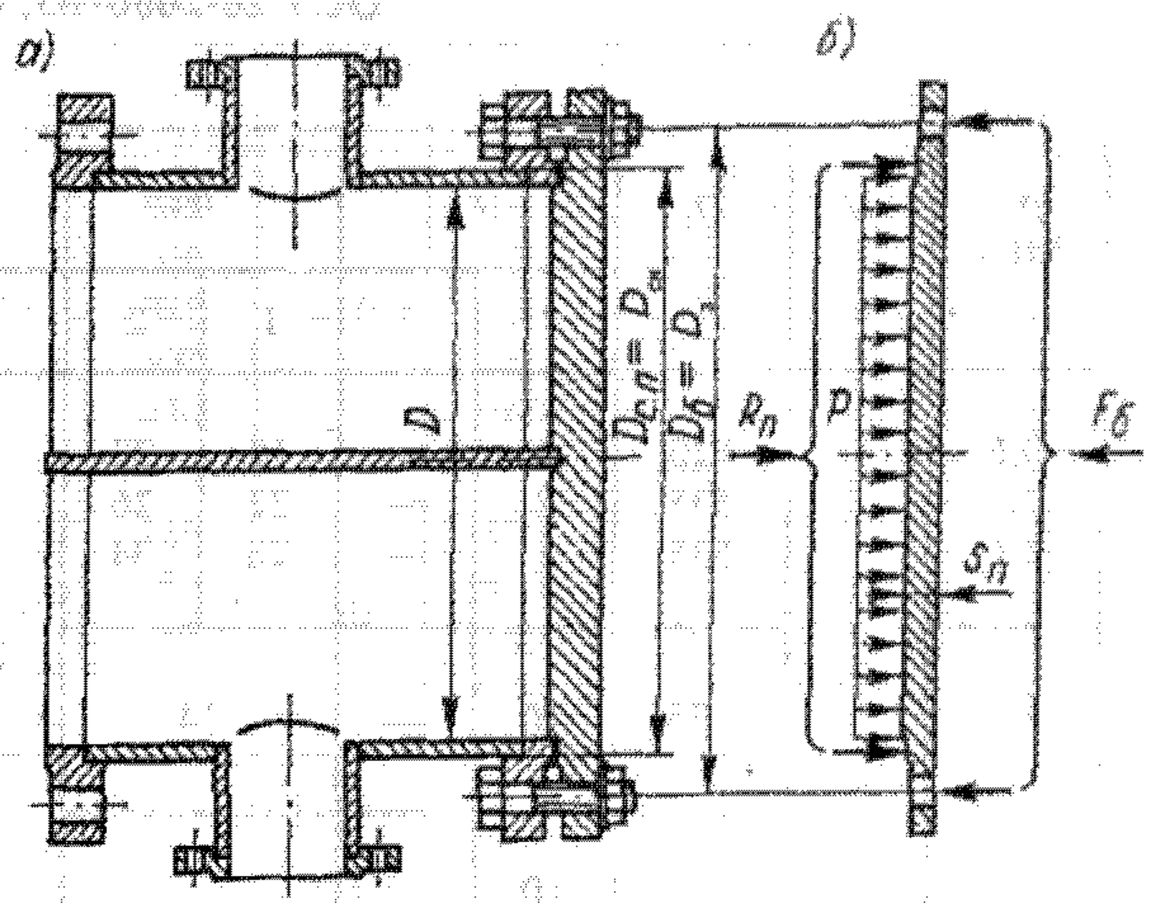


Рис. 15.11. Распределительная камера горизонтального кожухотрубчатого конденсатора (*а*) и расчетная схема ее плоской крышки (*б*)

Исходные данные. Внутренний диаметр кожуха D = 800 мм, давление среды в трубах p =0,06 МПа, расчетная температура крышки t=120°С, плотность среды ρ_c=1100 кг/м^3. Материал крышки — листовой прокат из стали Ст3пс; прибавка к расчетной толщине стенки c = 1 мм, диаметр болтовой окружности $D_б$ = 1040 мм, средний диаметр прокладки $D_{сп}$ = 866 мм, отношение реакции прокладки к равнодействующей внутреннего давления $R_п/F_д$ = 1,1.

Р е ш е н и е . Допускаемое напряжение:

для рабочего состояния $[\sigma] = \eta\sigma^* = 1 \cdot 132{,}5 = 132{,}5$ МПа, где σ^* = 132,5 МПа — для стали Ст3пс при температуре t = 120°С; η = 1 — для листового проката;

при гидравлических испытаниях $[\sigma]_и = \sigma_{т20}/1{,}1 = 210/1{,}1 = 190{,}9$ МПа, где $\sigma_{т20}$ = 210 МПа — для стали Ст3пс при температуре 20°С.

Расчетное давление $p_R = p$ =0,6 МПа, так как $p_г = g\rho_c D = 9{,}81 \cdot 1000 \cdot 0{,}8 = 0{,}0086$ МПа, что меньше 5% p = 0,05 · 0,6 = 0,03 МПа. Пробное давление при гидравлическом испытании

$$p_и = \max\left\{\begin{array}{l} 1{,}25p\,[\sigma]_{20}/[\sigma] = 1{,}25 \cdot 0{,}6 \cdot 140/132{,}8 = 0{,}79 \text{ МПа} \\ p + 0{,}3 = 0{,}6 + 0{,}3 = 0{,}9 \text{ МПа} \end{array}\right\} = 0{,}9 \text{ МПа},$$

где $[\sigma]_{20} = \sigma^*_{20}$ = 140 МПа — допускаемое напряжение для стали Ст3пс при температуре 20°С (η = 1) и толщине более 20 мм.

Расчетная толщина крышки

$$s_{п.к} = \max\left\{\begin{array}{l} KK_0 D_{сп}\sqrt{p_и/(\varphi[\sigma])} = 0{,}563 \cdot 1 \cdot 0{,}866\sqrt{0{,}6(1 \cdot 132{,}5)} = \\ KK_0 D_{сп}\sqrt{p_и/(\varphi[\sigma]_и)} = 0{,}563 \cdot 1 \cdot 0{,}866\sqrt{0{,}9(1 \cdot 190{,}9)} = \\ \qquad = 32{,}8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ \qquad = 33{,}8 \cdot 10^{-3} \text{ м} \end{array}\right\} = 33{,}8 \text{ м},$$

где $K = 0{,}41\sqrt{\dfrac{1 + 3(1 + R_и/F_д)\cdot(D_б/D_{сп} - 1)}{D_б/D_{сп}}} =$

$$= 0{,}41\sqrt{\frac{1 + 3(1 + 1{,}1)\cdot(1{,}04 \cdot 0{,}866 - 1)}{1{,}04/0{,}866}} = 0{,}563,$$

определяемый по формуле (15.3) при $D_б/D_{сп}$ = 1,04/0,866; φ = 1, так как сварные швы отсутствуют; K_0 = 1, так как крышка не ослаблена отверстиями; $D_R = D_{сп}$ = 0,866 м — расчетный диаметр.

Исполнительная толщина плоской крышки

$$s_п = s_{п.к} + c + c_0 = 33{,}8 + 1 + 1{,}2 = 36 \text{ мм},$$

где c_0 = 1,2 мм из условия округления толщины до ближайшего большего стандартного значения (ГОСТ 19303—74*).

Таблица 15.2

Стандартные люки с плоскими и сферическими крышками для сварных аппаратов, ОСТ 26-2002–83, ОСТ 26-2003–83, ОСТ 26-2005–83, ОСТ 26-2006–83, ОСТ 26-2007–83, мм

p_y, МПа	D	D_1	s		h		H		H_1		H_2		Тип
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
0,6	400	520	6	—	18	22	200	—	280	—	76	82	1,2 рис. 15.4
1,0		535	8	—	22	26		—		—	83	89	
1,6		535	8	—	28	34		—		—	88	94	
1,6		535	10	—	34			—	270	—	16	—	3,4 рис. 15.5
2,5		535	10 16	40	40			280	275	355	— 30	50	
4,0		590	12 20	45 50	50		220	330	345	425	— 30	55 60	
6,4		590	14 20 —	45 50 60	58		300 300 —	350 350 390	430 430 —	480 480 520	— 25 —	50 60 70	5 рис. 15.5
10,0		630	20	50 60 65 75	75		350	400 430 440 470	545	595 620 635 665	—	50 65 70 80	
16,0		715	32	75 80 90	105		420	530 540 560	720	830 840 860	—	75 80 90	
0,6	450	570	8	—	18	24	200	—	290	—	83	89	1,2 рис. 15.4
1,0		570	8	—	24	28		—		—	88	94	
1,6		590	10	—	30	36		—		—	97	103	
1,6		590	10	—	36		220	—	300	—	12	—	3,4 рис. 15.5
2,5			10 16	36 45	45			280 310	305	365 395	— 20	45 55	
4,0		640	12 20 —	36 45 55	56		250 250 —	310 340 370	345 345 —	405 435 465	— 30 —	45 55 65	
500													

Продолжение табл.15.2

p_y, МПа	D	D_1	s		h		H		H_1		H_2		Тип
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
6,4	450	640	16	40 50 55 65 70	65		270	340 360 380 400 420	410	480 500 520 540 560	—	50 60 60 70 80	
10,0 16,0		690 775	24 34	55 65 75 80 85 95 100	85 120		350 420	420 450 480 490 560 590 600	550 725	520 650 680 690 865 895 905	— —	55 65 75 80 85 95 100	5 рис. 15.5
0,6 1,0 1,6	500	620 640 640	8 8 10	— — —	20 26 32	24 30 38	200	— — —	300	— — —	89 99 104	95 105 110	1, 2 рис. 15.4
1,6		640	10	—	38		220	—	320	—	12	—	3,4 рис. 15.5
2,5			10 16	36 45	48			300 330		400 430	— 20	45 55	
4,0		695	12 20 —	40 50 55	58		240	350 370 380	445	455 475 485	— 30 —	50 60 65	
6,4		695	16	45 55 65 75	70		280	370 400 420 450	420	510 540 560 590	—	50 60 70 80	5 рис. 15.5
10,0		750	26	70 80 90	90		400	500 520 540	605	705 725 745	—	75 85 95	
0,6 1,0 1,6	600	720 740 740	8 10 10	— — —	24 30 38	28 34 45	220	— — —	330	— — —	108 112 117	114 118 123	1,2 рис. 15.4
1,6	600	740	10	—	45		220	—	350	—	—	—	3,4 рис. 15.5
2,5			12 16	50	52			360	355	495	— 16	60	

Продолжение табл.15.2

p_y, МПа	D	D_1	s		h		H		H_1		H_2		Тип
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
4,0	600	795	14 20	60 65	70		260	420 430	405	565 575	— 30	65 70	3,4 рис. 15.5

Примечания. 1. Размеры D_6, d_6, число болтов или шпилек, значение размеров уплотнительных поверхностей и фланцев приведены в табл.19.7,19.8 и 19.10 для соответствующих p_y. Прокладки — по табл. 19.14, 19.15 и 19.16. 2. Значения s, H и H_1 указаны для двух исполнений: исполнение 1 — для толщин $s \le 34$ мм, исполнение 2 — для толщин $s > 34$ мм. 3. Значения h указаны для двух исполнений крышек типа 1: исполнение 1 — для крышек с соединительным выступом (рис. 15.4, *а*, исполнение 1) — и исполнение 2 — для крышек с шипом (рис.15.4, *а*, исполнение 2). 4. Значения H_2 указаны для люков типа 2 для двух исполнений: исполнение 1 — для крышек с соединительным выступом (рис.15.4, *б*, исполнение 1), исполнение 2 — для крышек с шипом (рис.15.4, *б*, исполнение 2). Для люков типов 3, 4 и 5 значения H_2 также указаны для двух исполнений: исполнение 1 — для $s \le 30$ мм (рис. 15.5, *а—в*, исполнения 1) и исполнение 2 — для $s \ge 45$ мм (рис. 15.5, *а—в*, исполнения 2).

Пример условного обозначения люка типа 3 исполнения 2 $D = 400$ мм, $s = 10$ мм на $p_y = 2{,}5$ МПа с шифром материального исполнения люка 3, крепежных деталей 1:

Люк 3-2-400-Х10-25-3-1 ОСТ 26-2005—83.

Таблица 15.3

Стандартные люки загрузочные для стальных сварных аппаратов (рис.15.6), ОСТ 26-2004–83

p_y, МПа	мм												Число болтов z
	Dy	$D_н \times s$	D_1	D_6	H	H_1		H_2	h		h_1	d	d_6	
						1	2		1	2				
0,6 1,0 1,6	80	89×4	185 195 195	150 160 160	160	247 250 250	247 250 250	210	16	20 20 22	18 20 24	12	M16	4
0,6 1,0 1,6	100	108×4	205 215 215	170 180 180		296	298		16	22	18 22 26			4 8 8
0,6 1,0 1,6	150	159×6	260 280 280	225 240 240	180	326 328 328	328 328 330	240	16 18 18	22 22 24	20 24 28	12 16 16	M16 M20 M20	8
0,6 1,0 1,6	250	273×7	370 390 405	335 350 355		326 328 330	328 330 334		16 18 20	22 24 28	23 26 31	12 16 18	M16 M20 M24	12

Примечания. 1. Значения H_1 и h даны для исполнения 1 и исполнения 2. 2. Размеры уплотнительных поверхностей см. табл. 19.1—19.4.

Пример условного обозначения люка исполнения 1 $D_y = 100$ мм на $p_y = 1{,}0$ МПа с шифром материального исполнения люка 3, крепежных деталей 3:

Люк 1-100-10-3-3 ОСТ 26-2004—83.

Таблица 15.4

Материальное оформление стандартных люков для стальных сварных аппаратов, ОСТ 26-2011 – 83

Тип люка	Шифр материального исполнения	Рабочие условия: p_r, МПа	Рабочие условия: t, °С от	Рабочие условия: t, °С до	Марка стали для деталей люка: Обечайка, днище сферическое	Фланец	Крышка	Полукольцо
1 и 2 по ОСТ 26-2001—83 (рис.15.3)	1	Под налив	—40	+200	10 *, 20 *, Ст3сп4	Ст3сп4		
	2, 3, 4, 5, 6				12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т			—
1 по ОСТ 26-2002—83 (рис.15.4); загрузочный по ОСТ 26-2004—83 (рис.15.6)	1	≤1,6	—20	+300	Ст3сп4, 10 *, 20 *	Ст3сп5 (при s ≤ 25мм); 20К (при s > 25мм)		20
	2		—40		16ГС; 10Г2 *	16ГС		09Г2
	3		—70	—41	09Г2С; 10Г2*	09Г2С		10Г2
2 по ОСТ 26-2003—83 (рис.15.4); загрузочный по ОСТ 26-2004—83 (рис.15.6)	4, 5, 6			+300	12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т, 08Х22Н6Т, 08Х21Н6М2Т			09Г2
	7, 8		—40					
3 по ОСТ 26-2005—83, 4 по ОСТ 26-2006—83, 5 по ОСТ 26-2007—83 (рис.15.5)	1	≤4	—20	+400	Ст5сп5	20	16ГС, 20К 20	—
	2	≤6,4	—70	+475	09Г2С, 10Г2	09Г2С	09Г2С, 10Г2	
	3	≤16	—30		16ГС, 20	20	16ГС,20	
	4		—40		16ГС, 10Г2	16ГС	16ГС, 10Г2	
	5					20	16ГС,20	
	6		0			15ХМ	12ХМ, 15ХМ	
	7, 8	≤6,4	—70	+540	10Х17Н13М2Т, 10Х17Н13М3Т			
	9	≤16			12Х18Н10Т			

* Только для патрубков D_y = 80 — 250 мм, изготовляемых из труб. При отсутствии труб патрубки допускается изготовлять из листовой стали.

Таблица 15.5

Материальное оформление крепежных деталей стандартных люков, ОСТ 26-2011 – 83

Тип люка	Шифр материального исполнения люка	Рабочие условия			Шифр крепежных деталей	Вид крепежных деталей	Класс прочности, группа, марка стали
		p, МПа	t, °С от	t, °С до			
1, 2 по ОСТ 26-2001—83 (рис.15.3); загрузочный по ОСТ 26-2004—83 (рис. 15.6)	1, 2	≤0,6	—40	+300	—	Болты по ГОСТ 7798—70	Класс прочности 5.6 или 6.6 по ГОСТ 1759—70
		1,0; 1,6				Шпильки по ГОСТ 11769—66 тип Б	
		≤1,6				Гайки по ГОСТ 5915—70	Класс прочности 5 и 6 по ГОСТ 1759—70
	3	≤0,6	—41			Болты по ГОСТ 7798—70	20ХН3А
		1,0; 1,6				Шпильки по ГОСТ 11769—66 тип Б	
		≤1,6				Гайки по ГОСТ 5915—70	20ХН3А, 10Г2
	4, 5, 6	≤0,6	—70	+300		Болты по ГОСТ 7798—70	Группа 21 по ГОСТ 1759—70
		1,0; 1,6				Шпильки по ГОСТ 11769—66 тип Б	
	4, 5, 6	≤1,6	—70			Гайки по ГОСТ 5915—70	
1, 2 по ОСТ 26-2001—83 (рис. 15.3); загрузочный по ОСТ 26-2004—83 (рис. 15,6)	7,8	≤0,6	—40	+300	—	Болты по ГОСТ 7798—70	Группа 21 по ГОСТ 1759—70
		1,0; 1,6				Шпильки по ГОСТ 11769—66 тип Б	
		≤1,6				Гайки по ГОСТ 5915—70	

Продолжение табл. 15.5

Тип люка	Шифр материального исполнения люка	Рабочие условия			Шифр крепежных деталей	Вид крепежных деталей	Класс прочности, группа, марка стали
		p, МПа	t,. С°				
			От	До			
3 по ОСТ 26-2005—83; 4 по ОСТ 26-2006—83; 5 по ОСТ 26-2007— 83 (рис. 15,5)	1, 2, 3, 4, 5	≤1,6	—40	+400	1	Шпильки по ГОСТ 9066—75	35Х
						Гайки по ГОСТ 9064—75, шайбы по ГОСТ 9065—75	30
	2, 3,4, 5		+400	+475	2	Шпильки по ГОСТ 9066—75	25Х2М1Ф
				+540		Гайки по ГОСТ 9064—75	25Х1МФ
	6					Шайбы по ГОСТ 9065—75	15ХМ
	2				3	Шпильки по ГОСТ 9066—75, гайки по ГОСТ 9064—75	20ХН3А
	7,8,9		—70	+41	4	Шпильки по ГОСТ 9066—75	0Х14Н20В3Т
						Гайки по ГОСТ 9064—75	45Х14Н14В2М
						Шайбы по ГОСТ 9065—75	20ХН3А
			—40	+450	5	Шпильки по ГОСТ 9066—75, гайки по ГОСТ 9064—75	37Х12Н8Г8МФБ
						Шайбы по ГОСТ 9065—75	15ХМ
			+450	+540	6	Шпильки по ГОСТ 9066—75	0Х14Н20В3Т
						Гайки по ГОСТ 9064—75	45Х14Н14В2М
						Шайбы по ГОСТ 9065—75	15ХМ

Таблица 15.6

Стандартные устройства поворотные и подъемно-поворотные для крышек вертикально расположенных люков, ОСТ 26-2012 – 83, ОСТ 26-2013 – 83

Тип	p_y, МПа	мм									
		D	a		l		H		H_1		d
			1	2	1	2	1	2	1	2	
1	0,6 1,0 1,6	400	160 135 —	160 135 135	307 314 —	307 314 314	—	—	—	—	—
	0,6 1,0	450	150 —	150 125	338 —	338 343					
	0,3 0,6	500	160 —	— 160	363 —	— 363					
2	1,0 1,6 2,5 4,0 6,4 10,0 16,0	400	—	—	290 298 298 325 325 345 393	290 298 298 325 325 345 393	397 397 397 397 397 397 427	—	260 260 260 260 260 260 290	—	30 45 45 45 45 45 50
	0,6 1,0 1,6 2,5 4,0 6,4 10,0	450	—	—	308 318 325 325 350 350 380 423	308 318 325 325 350 350 380 423	397 397 397 397 397 397 397 427	427 427 427 427 427 427 427 —	260 260 260 260 260 260 260 290	290 290 290 290 290 290 290 —	30 30 45 45 45 45 50 50
	0,3 0,6 1,0 1,6 2,5 4,0 6,4 10,0	500	—	—	333 333 343 350 350 378 378 410	333 333 343 350 350 378 378 410	397	427	260	290	30 30 30 45 45 45 45 50
2	0,3 0,6 1,0 1,6 2,5 4,0	600	—	—	387 387 400 400 400 428	387 387 400 400 400 428	397	427	260	290	30 36 36 45 45 45

Примечания. 1. Значения a, l, H и H_1 даны для двух исполнений: исполнение 1 — для люков с плоскими крышками, исполнение 2 — для люков со сферическими крышками. 2. Устройства типов 1 и 2 выполняются в трех материальных исполнениях: шифр 1 — из углеродистых сталей при $t \geq -20$°С, шифр 2 — из низколегированных и углеродистых сталей при $t \geq -40$°С, шифр 3 — из низколегированных сталей при $t \geq -70$°С.

Пример условного обозначения устройства типа 2 конструктивного исполнения 1 для люка $D = 400$ мм на условное давление $p = 1{,}6$ МПа с шифром материального исполнения 2:

Устройство подъемно-поворотное 1-400-16-2 ОСТ 26-2013—83

Таблица 15.7

Стандартное устройство поворотное для плоских крышек горизонтально расположенных люков (рис.15.7, тип 3), ОСТ 26-2014 – 83

p_y, МПа	мм							p_y, МПа	мм						
	D	s	l	l_1	l_2	h	d		D	s	l	l_1	l_2	h	d
0,6 1,0 1,6	400	6 8 10	390 400 420	288 290 310	135 135 140	100	30 30 45	10,0	400	20 50 60 65 75	470	400 450 460 460 460	250 300 300 300 300	100	45
2,5		10 16 40	420	310 320 350	140 160 180			16,0		32 75 80 90	510	460 540 540 540	320 375 375 375		50
4,0		12 20 45 50	450	330 340 380 380	165 180 220 220		45	0,6 1,0 1,6	450	8 8 10	415 425 450	313 313 330	135 135 140		30 30 45
6,4		14 45 50 65		350 400 400 430	205 230 230 250			2,5		10 16 36 45	450	330	140 140 175 175		45
4,0		12 20 36 45 55	470	350 370 400 400 420	175 190 210 210 220			4,0	500	12 20 40 50 55	500	370 390 420 430 430	180 200 225 225 225	125	45
6,4	450	16 40 50 55 65 70		390 400 420 420 450 450	220 220 230 230 250 250		45	6,4		16 45 55 65 75		400 450 460 460 480	200 260 260 260 260		
10,0		24 55 65 75 80	500	420 470 470 490 500	250 290 290 300 300	100		10,0	500	26 70 80 90	530	450 530 530 530	270 325 325 325		50
16,0		34 85 95 100	540	470 580 580 580	300 385 385 385			0,3 0,6 1,0 1,6	600	8 8 10 10	490 490 500 520	375 377 400 400	135 135 145 145	125	30 36 36 45
0,3 0,6 1,0 1,6	500	8 8 8 10	440 440 450 470	336 336 336 350	135 135 135 145			2,5		12 16 50	520	400 400 460	145 145 190		45
2,5		10 16 36 45	470	350 350 390 390	145 145 180 180	125	45	4,0		14 20 60 65	550	420 430 490 490	190 190 230 230		

Примечание. Устройство выполняется в трех материальных исполнениях: шифр 1 — из углеродистых сталей при $t \geq -20$ °С; шифр 2 — из низколегированных и углеродистых сталей при $t \geq -40$ °С, шифр 3 — из низколегированных сталей при $t \geq -70$ °С.

Пример условного обозначения устройства типа 3 для люка D = 400 мм s = 20 мм на условное давление p_y = 4 МПа с шифром материального исполнения 3:

Устройство поворотное 400х20-40-3 ОСТ 26-2014—83.

ГЛАВА 16
РУБАШКИ

16.1. Конструкции

Рубашки в технологических аппаратах предназначаются для наружного нагревания или охлаждения обрабатываемых или хранящихся в аппарате главным образом жидких продуктов. Они могут устанавливаться на цилиндрических вертикальных и горизонтальных аппаратах. Наибольшее применение имеют рубашки на вертикальных аппаратах.

По конструкции рубашки бывают неразъемные (приварные к корпусу аппарата) и отъемные. Более простыми и надежными в работе являются неразъемные рубашки, которые стандартизованы для сварной аппаратуры. Отъемные рубашки применяются в тех случаях, когда по условиям эксплуатации требуется периодическая чистка корпуса, закрытого рубашкой с обязательным вскрытием его.

На рис.16.1 приведены конструкции стандартных неразъемных рубашек для вертикальных стальных сварных аппаратов, основные данные которых приведены в табл. 16.1—16.7. С эллиптическими и коническими днищами рубашки применяются при $p \leq 0{,}6$ МПа и $t \leq 350$°С; при $p = 1{,}0 — 1{,}6$ МПа и $t \leq 300$°С; рубашки из полутруб при $p \leq 0{,}6$ МПа $t \leq 350$°С и при $p = 1{,}0 — 6{,}4$ МПа и $t \leq 280$°С; рубашки с вмятинами при $p = 2{,}5 — 4$ МПа и $t \leq 250$°С.

При температуре стенки аппарата $t \leq 100$°С допускается приварка рубашки из углеродистой стали или низколегированных сталей к корпусу аппарата из аустенитных сталей.

На рис. 16.2 показаны конструкции соединительных элементов неразъемных рубашек с корпусом аппарата.

На рис. 16.3 показаны конструкции отъемных рубашек на вертикальных аппаратах.

16.2. Расчет корпусов аппаратов с неразъемными рубашками

Рубашки цилиндрические с эллиптическими и коническими днищами. При расчете определяют толщины стенок цилиндрических обечаек корпуса аппарата и рубашки (см. гл. 13) и эллиптических или конических днищ (см. гл. 14).

Толщина стенки тороконического или конического соединительного элемента обычно принимается равной толщине стенки обечайки рубашки, а высота соединительного кольца — конструктивно.

Угол конуса рекомендуется принимать $\alpha = 30°$.

Рубашки из полутруб. Рассчитываются по ОСТ 26-01-987—85, и расчетная толщина стенки полутрубы определяется по формуле:

$$s_{1R} = \frac{p_R R_в}{\varphi [\sigma]}, \qquad (16.1)$$

где p_R — расчетное давление в рубашке; $R_в$ — внутренний радиус трубы; φ — коэффициент прочности сварного шва; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение материала полутруб.

Расчетная толщина стенки обечайки аппарата от внутренних избыточных давлений в аппарате и рубашке с учетом напряжений изгиба определяется по формуле:

$$s_R = 2R \sqrt{\frac{p_R}{2\varphi [\sigma]}} + \frac{D p'_R}{8\varphi [\sigma]}, \qquad (16.2)$$

где p'_R — расчетное давление в аппарате; p_R — расчетное давление в рубашке.

Расчетная толщина стенки обечайки исходя из устойчивости

$$s_R = \frac{B + \sqrt{B^2 + 4AC}}{2A}, \qquad (16.3)$$

где

$$A = \frac{2\sigma_т}{n_т D}\left(1 + \frac{D}{10l}\right)\left(1 + 5\frac{D}{l}\right); \qquad (16.4)$$

$$B = p_R\left(1 + 5\frac{D}{l}\right); \qquad (16.5)$$

$$C = 0{,}03 p_R D u. \qquad (16.6)$$

Здесь $n_т = 1{,}6$ — коэффициент запаса устойчивости к пределу текучести; $u = 1{,}5$ — коэффициент, учитывающий некруглость полутрубы.

За расчетную принимается большее значение, определенное по формулам (16.2) и (16.3).

Рубашки с вмятинами. Толщина стенки обечайки и днища корпуса аппарата определяется по формуле:

$$s = 0{,}15\frac{p_R' D}{\varphi[\sigma]} + t\sqrt{\frac{p_R}{5\varphi [\sigma]}} + c' + c, \qquad (16.7)$$

где p'_R, p_R — расчетные давления в аппарате и рубашке соответственно; D — внутренний диаметр обечайки аппарата; φ — коэффициент прочности продольного сварного шва на цилиндрической обечайке или радиального шва на днище корпуса аппарата; t — шаг между вмятинами; c', c — прибавки к расчетным толщинам.

Расчетная толщина стенок обечайки и днища рубашки рассчитывается по формуле

$$s_1 = 0{,}7(s - c) + c' + c. \qquad (16.8)$$

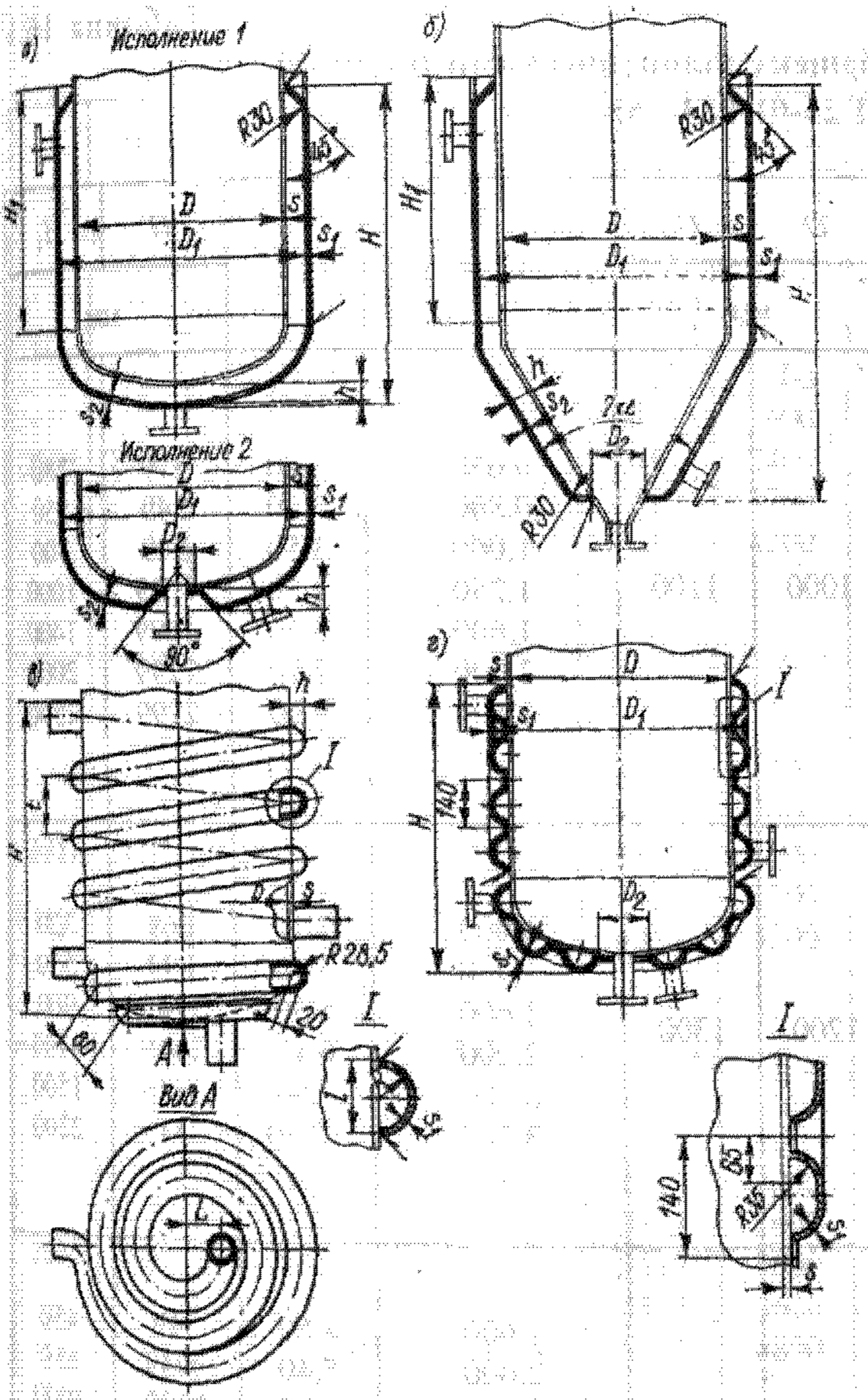


Рис. 16.1. Конструкции стандартных неразъемных рубашек для вертикальных стальных сварных аппаратов: *а* — тип 1, с эллиптическим днищем и верхним (исполнение 1) и нижним (исполнение 2) выпуском продукта; *б* — тип 2, с коническим днищем с углом при вершине конуса $2\alpha = 90°$ и тип 3, с коническим днищем с углом при вершине конуса $2\alpha = 60°$; *в* — тип 4, рубашки из полутруб; *г* — тип 5, рубашки с вмятинами

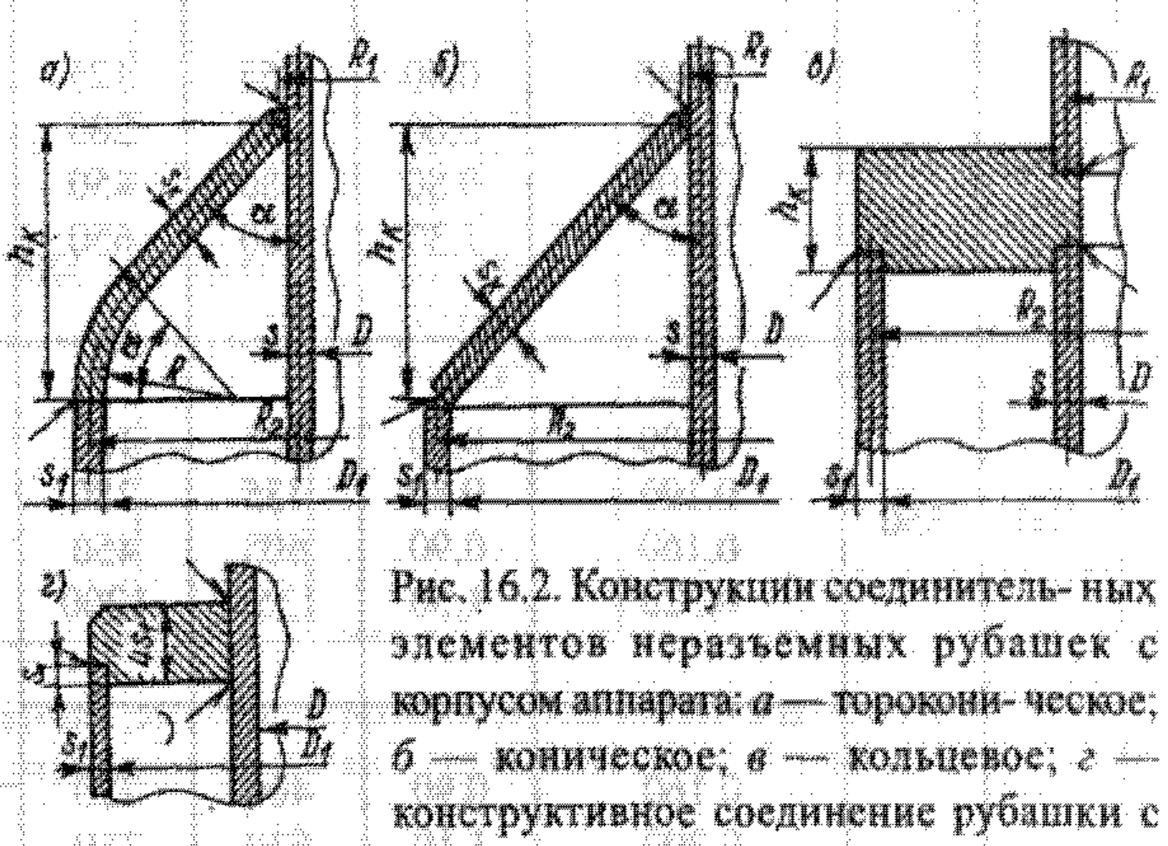


Рис. 16.2. Конструкции соединитель- ных элементов неразъемных рубашек с корпусом аппарата: *а* — торокони- ческое; *б* — коническое; *в* — кольцевое; *г* — конструктивное соединение рубашки с корпусом аппарата

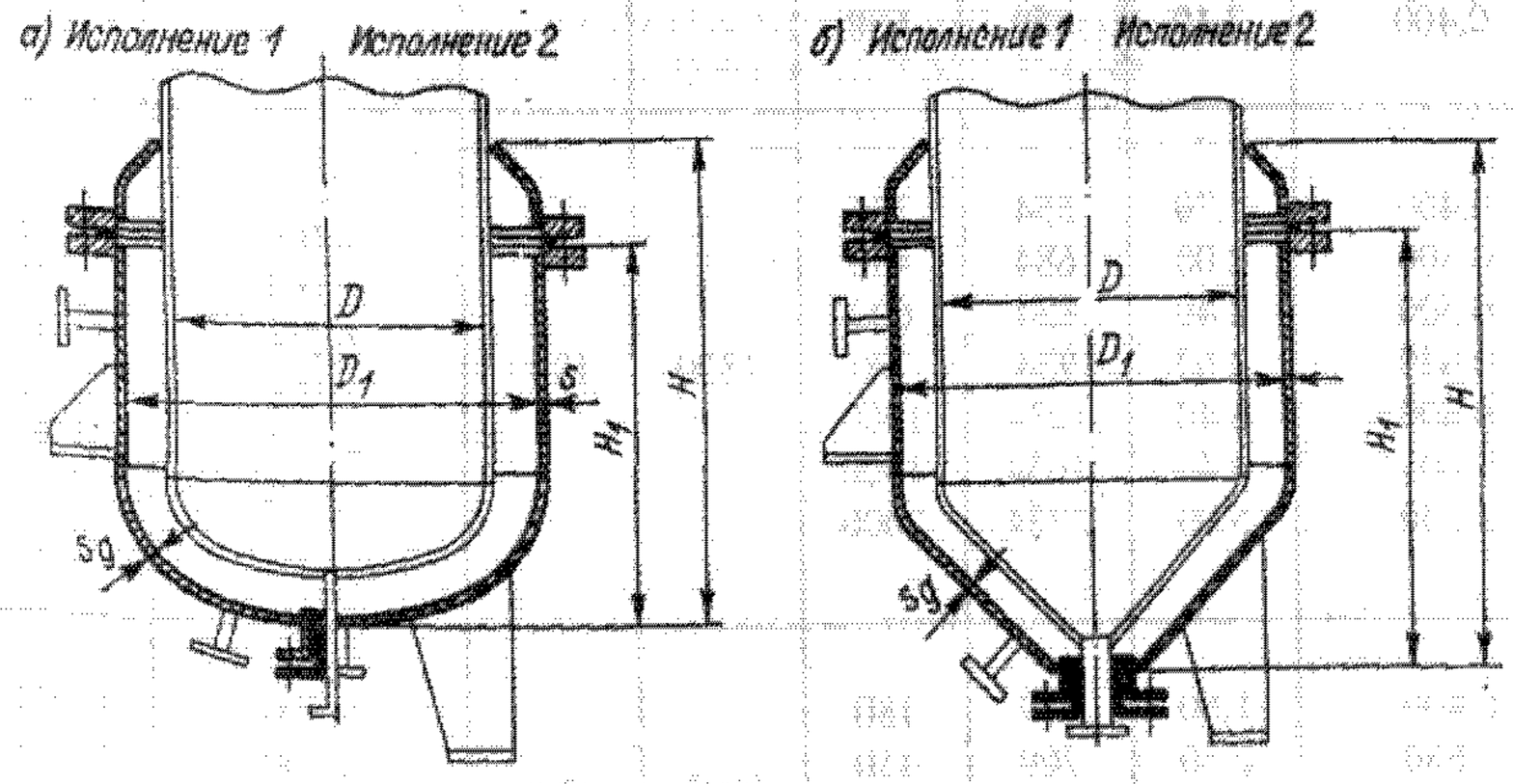


Рис. 16.3. Конструкции отъемных рубашек: *а* — с эллипсоидальным днищем с нижним выпуском продукта (исполнение 1) и с верхним выпуском продукта (исполнение 2); *б* — с коническим днищем и с нижним выпуском продукта

Таблица 16.1

Основные данные неразъемных рубашек с эллиптическими днищами (рис.16.1, *а*), ОСТ 26-01-984 – 85

D	D_1	V, м³	F, м²	H	H_1	D	D_1	V, м³	F, м²	H	H_1
мм				мм		мм				мм	
219	273	0,010	0,16	234	150	1000	1100	0,630	2,20	579	280
								0,800	3,00	849	550
273	325	0,010	0,18	197	100			1,000	3,50	999	700
		0,016	0,26	297	200			1,250	4,50	1299	1000
								1,600	5,70	1699	1400
								2,000	7,70	2299	2000
325	377	0,025	0,28	260	150			2,500	9,30	2799	2500
		0,040	0,45	430	320						
377	426	0,040	0,40	302	180	1200	1300	1,000	3,10	669	320
								1,250	3,90	899	550
400	450	0,040	0,40	255	125			1,600	5,30	1249	900
		0,063	0,60	410	280			2,000	6,10	1449	1100
		0,100	0,80	580	450			2,500	7,60	1849	1500
		0,125	1,30	780	650			3,200	10,30	2549	2200
500	550	0,100	0,60	305	150	1400	1500	1,600	4,50	849	450
		0,100	0,80	435	280			2,000	5,40	1049	650
		0,160	0,90	605	450			2,500	6,90	1399	1000
		0,320	1,50	1355	1200			3,200	8,70	1799	1400
								5,000	14,50	3099	2700
600	650	0,160	0,90	400	220	1600	1700	3,200	7,80	1349	900
		0,200	1,10	530	350			4,000	9,60	1699	1250
		0,250	1,50	730	550			4,000	10,40	1849	1400
		0,320	1,90	930	750			5,000	11,40	2049	1600
								6,300	15,50	2849	2400
700	800	0,250	1,20	459	250			8,000	19,50	3649	3200
		0,320	1,70	659	450						
		0,400	2,10	859	650						
800	900	0,400	1,70	554	320	1800	1900	4,000	9,40	1399	900
		0,500	2,00	684	450			5,000	10,50	1599	1100
		0,500	2,40	834	600			6,300	13,40	2099	1600
		0,630	2,60	934	700			8,000	17,90	2899	2400
		0,800	3,40	1234	1000			10,000	21,40	3499	3000
		1,000	4,40	1634	1400			12,500	27,10	4499	4000
		1,250	5,90	2234	2000						
900	1000	0,400	1,60	439	180	2000	2200	6,300	13,00	1659	1100
		0,630	2,30	709	450			8,000	16,20	2153	1600
		0,800	3,40	1059	800			10,000	21,30	2953	2400
		1,000	3,90	1259	1000			16,000	31,50	4553	4000

Продолжение табл. 16.1

D	D_1	V, м³	F, м²	H	H_1	D	D_1	V, м³	F, м²	H	H_1
мм				мм		мм				мм	
2200	2400	8,000	16,00	2013	1400	2800	3000	16,000	24,20	2363	1600
		10,000	17,40	2213	1600			20,000	28,60	2863	2100
		12,100	23,00	3013	2400			20,000	31,30	3163	2400
		16,000	28,60	3813	3200			25,000	34,80	3563	2800
		20,000	35,60	4813	4200			25,000	36,60	3763	3000
								32,000	43,70	4563	3800
								32,000	47,20	4963	4200
								40,000	56,00	5963	5200
2400	2600	12,500	19,60	2263	1600						
		12,500	22,60	2663	2000						
		16,000	26,40	3163	2500						
		20,000	31,70	3863	3200						
		25,000	39,30	4863	4200						
2600	2800	16,000	25,10	2713	2000	3000	3200	25,000	33,30	3113	2300
		20,000	30,00	3313	2600			25,000	35,20	3313	2500
		20,000	31,70	3513	2800			32,000	41,80	4013	3200
		25,000	38,30	4313	3600			32,000	43,70	4213	3400
		32,000	48,10	5513	4800			50,000	66,40	6613	5800

Примечания. 1. Указанные диаметры аппарата D для значений до 377 мм и рубашек D_1 для значений до 426 мм наружные (обечайки изготовляются из сварных труб, остальные диаметры — внутренние (обечайки — из вальцованных листов). 2. Значения D_2 соответствуют следующим значениям D_1 мм:

D	До 500	600—1000	1200—1800	Св. 2000
D_2	100	140	200	250

3. Для $D_1 \le 2200$ мм $h = 30$ мм, для $D_1 > 2200$ мм $h = 40$ мм.

Пример условного обозначения рубашки исполнения 1 при $D_1 = 1100$ мм, $H = 1299$ мм, $p = 0{,}6$ МПа с отбортовкой (О) или с кольцом (К):

Рубашка 1-1100-1299-6-О ОСТ 26-01-984—85;
Рубашка 1-1100-1299-6-К ОСТ 26-01-984—85.

Таблица 16.2

Основные данные неразъемных рубашек с коническими днищами (рис.16.1, *б*), ОСТ 26-01-985 – 85, ОСТ 26-01-986 – 85

D	D_1	При 2 α = 90°				При 2 α = 60°			
мм		V, м³	F, м²	H, мм	H_1, мм	V, м³	F, м²	H, мм	H_1, мм
273	325	0,010 0,018	0,2 0,3	224 274	100 150	0,016	0,3	336	150
325	377	0,025	0,3	302	150	0,025	0,3	358	125
377	426	0,063	0,7	581	400	0,040	0,5	427	150
400	450	0,063 0,100	0,5 0,8	367 637	180 450	0,063 0,100	0,7 0,8	503 623	200 320
500	550	0,100 0,160	0,6 1,2	378 703	125 450	0,125 0,200	0,9 1,6	613 943	220 550
600	650	0,160 0,250	0,9 1,4	474 744	180 450	0,250	1,6	858	400
700	800	0,250 0,400	1,2 1,9	559 879	180 500	0,320 0,400 0,500	1,6 2,3 2,7	795 1045 1245	200 450 650
800	900	0,400 0,630	1,8 2,7	715 1085	280 650	0,500 0,630	2,1 2,7	1035 1335	350 650
900	1000	0,630	2,4	891	400	0,630	2,3	1056	280
1000	1100	0,800 1,000 1,250 1,600	2,9 3,7 4,8 6,1	947 1197 1547 1947	400 650 1000 1400	0,800 1,000 1,250 1,600	2,7 3,3 4,5 6,1	1147 1317 1667 2117	280 450 800 1250
1200	1300	1,25 1,60 2,00 2,50	3,7 4,9 6,4 7,9	1034 1334 1734 2134	400 700 1100 1500	1,25 1,60 2,00 2,50	3,6 4,6 6,1 7,6	1285 1505 1905 2255	280 500 900 1250
1400	1500	2,00 2,50 3,20	5,4 6,5 8,5	1296 1546 1996	550 800 1250	2,00 2,50 3,20	4,7 6,0 8,3	1466 1736 2186	280 550 1000
1600	1700	3,20 4,00 5,00	7,3 9,3 11,4	1558 1958 2358	700 1100 1500	3,20 4,00 5,00	0,9 8,7 11,8	1817 2167 2767	450 800 1400

Продолжение табл. 16.2

D	D_1	При $2\alpha = 90°$				При $2\alpha = 60°$			
мм		V, м^3	F, м^2	H, мм	H_1, мм	V, м^3	F, м^2	H, мм	H_1, мм
1800	1900	5,00 6,30	11,0 13,3	2070 2470	1100 1500	5,00 6,30	10,4 12,7	2348 2748	800 1200
2000	2200	8,00 8,00 — —	14,8 16,1 — —	2492 2692 — —	1400 1600 — —	8,00 12,50 16,00 16,00	14,1 23,0 30,7 32,0	2855 4255 5355 5555	1100 2500 3600 3800
2200	2400	8,00 10,00 12,50 12,50	14,0 17,5 22,4 23,8	2190 2690 3390 3590	1000 1500 2200 2400	8,00 8,00 10,00 10,00	13,0 14,4 15,5 17,2	2517 2717 2917 3117	600 800 1000 1200
2400	2600	12,50 12,50 16,00	19,9 20,4 25,7	2702 2902 3602	1400 1600 2300	10,00	15,9	2899	800
2600	2800	16,00 16,00 20,00 20,00	26,0 28,5 29,4 31,0	3414 3714 3814 4014	2000 2300 2400 2600	10,00 16,00 16,00 —	13,4 22,1 24,6 —	2500 3480 3780 —	220 1200 1500 —
2800	3000	20,00 20,00 25,00 25,00 32,00 32,00 40,00	25,3 29,7 35,9 37,7 43,0 46,6 55,4	3126 3626 4326 4526 5126 5526 6526	1600 2100 2800 3000 3800 4000 5000	16,00 16,00 20,00 20,00 25,00 25,00 —	20,3 22,5 25,6 29,2 34,5 36,3 —	3211 3461 3711 4061 4761 4961 —	750 1000 1250 1600 2300 2500 —

Примечания. 1. Указанные диаметры аппарата D для значений до 377 мм и рубашек для значений до 426 мм наружные (обечайки изготовляются из сварных труб), остальные диаметры внутренние (обечайки — из вальцованных листов). 2. Значениям D соответствуют следующие значения D_2, мм:

D	До 500	600—1000	1200—1800	2000 и более
D_2	90	120	170	200

3. Для $D_1 \le 2200$ мм $h = 30$ мм, для $D_1 > 2200$ мм $h = 40$ мм.

Пример условного обозначения рубашки с $2\alpha = 90°$ $D_1 = 1100$ мм, $H = 1197$ мм, $p = 0{,}6$ МПа с отбортовкой:

Рубашка 1100-1197-6-О ОСТ 26-01-985—85

то же $2\alpha = 60°$ с кольцом

Рубашка 1100-1197-6-К ОСТ 26-01-986—85

Таблица 16.3

Размер толщин обечайки s (мм) и днища s_2 (мм) неразъемных рубашек (рис.16.1), ОСТ 26-01-984 – 85, ОСТ 26-01-985 – 85, ОСТ 26-02-986 – 85

D_1	Условное давление p_y, МПа															
	0,3				0,6				1,0				1,6			
	s	s_2			s	s_2			s	s_2			s	s_2		
		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3
273	4	4	—	—	4	4	—	—	4	4	—	—	6	6	—	—
325			4	4			6	4	4	4	6	6		6	8	6
377			4	4			6	4	6	6	6	6	6	6	8	8
426			4	4			6	6	6	10	6	6		10	8	8
450	4	6	4	4	4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8
550			4		6						8	6	8	8	10	8
650			6		6						8	8	8	8	10	10
800	6	6	6	6	6	6	8	6	6	8	10	8	10	10	12	10
900								8	8	8	10	8	10	10	14	12
1000								8	8	8	10	10	10	12	16	12
1100								8	8	10	12	10	12	12	16	14
1300	6	8	6	6	8	8	10	8	10	10	14	12	14	14	18	16
1500		8	8	6		8	10	10	10	10	14	12	14	14	20	18
1700		10	8	8		10	12	10	12	12	16	14	—	—	—	—
1900	8	10	8	8	10	10	12	12	12	12	18	14	—	—	—	—
2200		12	10		10	12	14		14	14	20	16				
2400		12	10		12	12	14		14	14	20	18				
2600	8	12	10	8	12	12	16	14	—	—	—	—	—	—	—	—
2800	8	12	10	10	12	14	16	14								
3000	10	12	10	10	14	14	18	16								
3200	10	14	—	—	14	14	—	—								

Примечание. Значения s_2 даны для трех типов рубашек: тип 1 — с эллиптическими днищами (исполнения 1 и 2); тип 2 — с коническим днищем с углом при вершине конуса $2\alpha = 90°$ и тип 3 — с коническим днищем с углом при вершине конуса $2\alpha = 60°$.

Таблица 16.4

Основные данные рубашек из полутруб (рис. 16.1, *в*), ОСТ 26-01-987–85

D, мм	*V*, м³	*F*, м²	*H*, мм	*D*, мм	*V*, м³	*F*, м²	*H*, мм	*D*, мм	*V*, м³	*F*, м²	*H*, мм
600	0,25	0,9	430	1400	2,50	4,6	880	2400	12,50	14,5	1590
	0,32	1,4	630		3,20	6,4	1280		12,50	17,5	1990
700	0,40	1,4	560		5,00	12,2	2580		16,00	21,3	2490
				1600	3,20	5,2	830		20,00	26,6	3190
800	0,40	1,4	400		4,00	7,0	1180		25,00	34,2	4190
	0,63	1,7	580		4,00	7,8	1330	2600	16,00	18,3	1880
	0,80	2,5	680		5,00	8,8	1530		20,00	23,2	2480
	1,00	3,5	1280		6,30	12,9	2330		20,00	24,9	2680
	1,25	5,0	1880		8,00	16,9	3130		25,00	31,5	3480
									32,00	41,3	4680
900	0,63	1,7	500	1800	5,00	7,5	1080				
	0,80	2,4	700		6,30	10,5	1580	2800	20,00	21,3	2030
	1,00	2,9	900		8,00	15,0	2380		20,00	24,0	2330
					10,00	18,5	2980		25,00	27,5	2730
1000	1,00	2,1	550		12,50	24,2	3980		25,00	29,3	2930
	1,25	3,1	850	2000	6,30	8,8	980		32,00	36,4	3730
	1,60	4,3	1250		8,00	12,0	1480		32,00	39,9	4130
	2,00	6,3	1850		10,00	17,1	2280		40,00	48,7	5130
	2,50	7,9	2350		16,00	27,3	3880				
1200	1,60	3,6	800	2200	8,00	11,4	1340	3000	25,00	25,5	2280
	2,00	4,4	1000		10,00	12,8	1540		25,00	27,4	2480
	2,50	5,9	4400		12,50	18,4	2340		32,00	34,0	3180
	3,20	8,6	2100		16,00	24,0	3140		32,00	35,9	3380
					20,00	31,0	4140		50,00	58,6	5780

Примечания. 1. Значениям *D* соответствуют следующие значения *L*, мм:

D	До 1000	1200—1800	2000 и более
L	115	130	160

2. Рубашка может быть однозаходной и многозаходной с углом наклона витков до 5° и из отдельных частей, а также только на цилиндрической части аппарата.

Таблица 16.5

Основные размеры элементов рубашек из полутруб, мм

D	*R*	*h*	*t*	Толщина полутруб s_1 в зависимости от p_y, МПа		
				0,6—3,2	4,0	6,4
До 1000	28,5	20	80	4	4	5
Св. 1000	44,5	35	125	4	5	6

Пример условного обозначения рубашки для аппаратов с $D = 1000$ мм, $H = 1250$ мм, $R = 28,5$ мм:

Рубашка 1000-1250-28,5 ОСТ 26-01-987—85.

Таблица 16.6

Основные данные рубашек с вмятинами (рис.16.1, *г*), ОСТ 26-01-988 – 85

D, мм	*V*, м³	*F*, м²	*H*, мм	*D*, мм	*V*, м³	*F*, м²	*H*, мм
1600	3,2	7,8	1350	2400	12,5	19,6	2260
	4,0	9,6	1700		12,5	22,6	2660
	4,0	10,4	1850		16,0	26,4	3160
	5,0	11,4	2050		20,0	31,7	3860
	6,3	15,5	2850		25,0	39,3	4860
	8,0	19,5	3650				
1800	4,0	9,4	1400	2600	16,0	25,1	2710
	5,0	10,5	1600		20,0	30,0	3310
	6,3	13,4	2100		20,0	31,7	3510
	8,0	17,9	2900		25,0	38,3	4310
	10,0	21,4	3500		32,0	48,1	5510
	12,5	27,1	4500				
2000	6,3	13,0	1650	2800	16,0	24,2	2360
	8,0	16,2	2150		20,0	28,6	2860
	10,0	21,3	2950		20,0	31,3	3160
	16,0	31,5	4550		25,0	34,8	3560
					25,0	36,6	3760
					32,0	43,7	4560
					32,0	47,2	4960
					40,0	56,0	5960
2200	8,0	16,0	2010	3000	25,0	33,3	3110
	10,0	17,4	2210		25,0	35,2	3310
	12,5	23,0	3010		32,0	41,8	4010
	16,0	28,6	3810		32,0	43,7	4210
	20,0	35,6	4810		50,0	66,4	6610

Примечания: 1. $D_1 = D + 80$ мм; для $D \le 1800$ мм $D_2 = 200$ мм, для $D \ge 2000$ мм $D_2 = 250$ мм. 2. Сварные швы на рубашке располагаются симметрично между вмятинами.

Таблица 16.7

Размеры толщин стенок обечаек и днищ аппаратов и рубашек с вмятинами, ОСТ 26-01-988 – 74, мм

p_y, МПа	Диаметр рубашки аппарата *D*					
	1600		1800—2200		2400—3000	
	s	s_1	*s*	s_1	*s*	s_1
2,5	16	12	16	12	16	12
3,2	16	12	16	12	18	12
4,0	18	12	18	14	18	14

Примечания. 1. Значение *s* — толщина стенок обечайки и днища аппарата, s_1 — толщина стенок обечайки и днища рубашки; значения толщин приведены из расчета их из стали марки Ст3сп с прибавкой $c = 2$ мм для стенок рубашек и $c = 4$ мм — для стенок корпуса аппарата. 2. Толщины стенок аппарата — для $p_y = 0{,}6$ МПа.

Пример условного обозначения рубашки с $D_1 = 2080$ мм, $H = 2150$ мм и толщиной стенки рубашки $s_1 = 12$ мм:

Рубашка 2080-21 50-12 ОСТ 26-01-988—85.

ГЛАВА 17

ШТУЦЕРА

Присоединение трубной арматуры к аппарату, а также технологических трубопроводов для отвода различных жидких или газообразных продуктов производится с помощью штуцеров или вводных труб, которые могут быть разъемными и неразъемными. По условиям ремонтоспособности чаще применяются разъемные соединения (фланцевые штуцера). Неразъемные соединения (на сварке) применяются при блочной компоновке аппаратов в кожухе, заполненном тепловой изоляцией, где длительное время не требуется осмотра соединений.

Стальные фланцевые штуцера стандартизированы и представляют собой патрубки из труб с приваренными к ним фланцами или кованые заодно с фланцами. В зависимости от толщины стенок патрубки штуцеров бывают тонкостенные и толстостенные, что вызывается необходимостью укрепления отверстия в стенке аппарата патрубком с разной толщиной его стенки.

На рис. 17.1 показаны конструкции стандартных стальных приварных фланцевых штуцеров, а в табл. 17.1 приведены типы штуцеров и пределы их применения, в табл. 17.2—17.4 — их основные размеры. Геометрические параметры стандартных стальных фланцев для соответствующих значений p_y приведены в табл. 19.3 и 19.4.

Присоединение фланцевых штуцеров к цилиндрическому корпусу, днищу или крышке производится с определенным вылетом (рис. 17.2), который зависит от p_y, D_y, а также от толщины изоляции аппарата, если аппарат подлежит тепловой изоляции.

Рекомендуемые вылеты фланцевых штуцеров приведены в табл. 17.5. Вылеты безфланцевых штуцеров не стандартизированы, их можно принимать по соответствующим длинам патрубков фланцевых штуцеров.

При фланцевых соединениях на штуцерах с уплотнением выступ—впадина и шип—паз штуцера на аппарате рекомендуется устанавливать с впадиной и пазом. В этом случае присоединяемые части (трубная арматура, труба) должны иметь соответствующие фланцы с выступом и шипом.

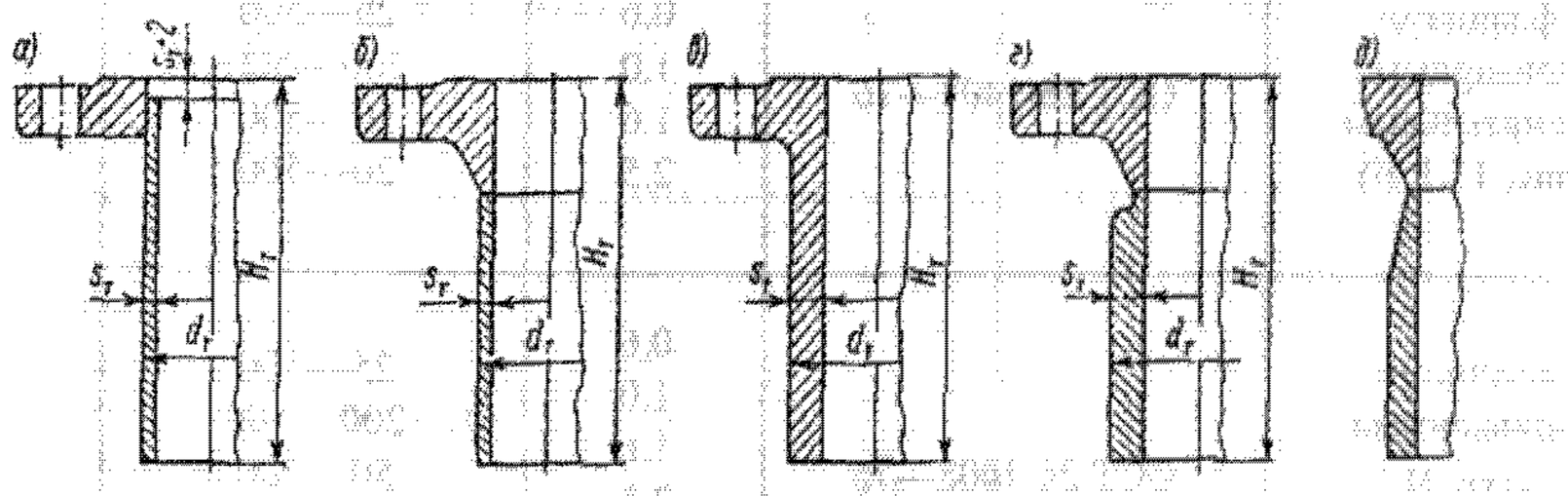


Рис. 17.1. Конструкции стандартных стальных приварных фланцевых штуцеров: *а* — с приварным плоским фланцем и тонкостенным патрубком; *б* — с приварным фланцем встык и тонкостенным патрубком; *в* — кованый толстостенный; *г* — с приварным фланцем встык и толстостенным патрубком; *д* — вариант конструкции сварного толстостенного штуцера

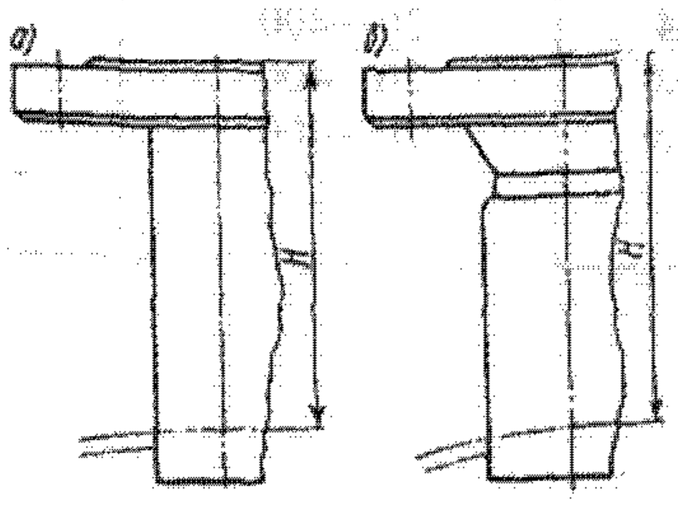


Рис. 17.2. Вылеты фланцевых штуцеров:
а — для тонкостенных (см. рис. 17.1, *а* и *б*);
б — для толстостенных (см.рис.17.1, *г* и *д*)

Таблица 17.1

Типы штуцеров и пределы их применения в зависимости от давления и температуры среды, ОСТ 26-1403 – 76

Тип и исполнение	Обозначение стандарта	Пределы применения		Допускаемая рабочая температура, °С	
		p_y, МПа	D_y, мм	от	до
Штуцера с фланцами стальными плоскими приварными с соединительным выступом (рис. 17.1, *а*)	ОСТ 26-1404—76	0,25 0,6 1,0; 1,6 2,5	125—500 25—500 50—500 20—500	—70	+300
Штуцера с фланцами стальными плоскими приварными с выступом (исполнение 1) или впадиной (исполнение 2)	ОСТ 26-1405—76	1,0; 1,6 2,5	50—500 20—500		
Штуцера с фланцами стальными плоскими приварными с шипом (исполнение 1) или пазом (исполнение 2)	ОСТ 26-1406—76	0,6 1,0; 1,6 2,5	25—500 50—500 20—500		
Штуцера с фланцами стальными приварными встык с соединительным выступом (рис. 17.1, *б*)	ОСТ 26-1407—76	0,6 1,0 1,6 2,5	25—500 200—500 50—500 20—500		
Штуцера с фланцами стальными приварными встык с выступом (исполнение 1) или впадиной (исполнение 2)	ОСТ 26-1408—76	0,6 1,0 1,6 2,5 4,0; 6,4	25—500 200—500 50—500 200—500 20—500	—70	+550
Штуцера с фланцами стальными приварными встык с шипом (исполнение 1) или пазом (исполнение 2)	ОСТ 26-1409—76	0,6 1,0 1,6 2,5 4,0 6,4	25—500 200—500 50—500 200—500 20—500		
Штуцера с фланцами стальными приварными встык под прокладку овального сечения	ОСТ 26-1410—76	6,4 10,0 16,0	20—400 20—400 20—400	—70	+600

Продолжение табл. 17.1

Тип и исполнение	Обозначение стандарта	Пределы применения		Допускаемая рабочая температура, °С	
		p_y, МПа	D_y, мм	от	до
Штуцера толстостенные кованые с соединительным выступом, тип 1 (рис. 17.1, *в*)	ОСТ 26-1412—76	1,6 2,5	50—80 20—80	—70	+550
Штуцера толстостенные кованые с выступом (исполнение 1) или впадиной (исполнение 2), тип 1	ОСТ 26-1413—76	1,6 4,0	50—80 20—80		
Штуцера толстостенные кованые под прокладку овального сечения, тип 1	ОСТ 26-1415—76	6,4 10,0 16,0	20—80 20—80 20—80	—70	+600
Штуцера с толстостенными патрубками, с фланцами приварными встык, с соединительным выступом, тип 2 (рис. 17.1, *г*)	ОСТ 26-1412—76	1,6; 2,5	50—500	—70	+550
Штуцера с толстостенными патрубками, с фланцами приварными встык, с выступом (исполнение 1) или впадиной (исполнение 2), тип 2	ОСТ 26-1413—76	1,6 2,5 4,0; 6,4	50—500 200—500 50—500		
Штуцера с толстостенными патрубками, с фланцами приварными встык, с шипом (исполнение 1) или пазом (исполнение 2), тип 2	ОСТ 26-1414—76	1,6 2,5 4,0; 6,4	50—500 200—500 50—500		
Штуцера с толстостенными патрубками, с фланцами приварными встык под прокладку овального сечения, тип 2	ОСТ 26-1415—76	6,4 10,0 16,0	50—400 50—400 50—400	—70	+600

Таблица 17.2

Основные размеры патрубков, стандартных стальных фланцевых тонкостенных штуцеров (рис.17.1, *а*, *б*), ОСТ 26-1404 – 76 – ОСТ 26-1410 – 76, мм

D_y	$d_т$	Давление условное p_y, МПа							
		До 0,6		1,0		1,6		2,5	
		$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$
20	25	3	—	3	—	3	—	3	155; 215
25	32	3	155; 215	3	—	3	—	3	155; 215
32	38	3	155; 215	3	—	3	—	3	165; 225
40	45	3	155; 215	3	—	3	—	3	165; 225
50	57	3	155; 215	3	155; 215	3	165; 225	3	165; 225
80	89	4	155; 215	4	155; 215	4	165; 225	4	165; 225
100	108	5	155; 215	5	155; 215	5	165; 225	5	185; 245
125	133	6	155; 215	6	155; 215	6	185; 245	6	185; 245
150	159	6	155; 215	6	185; 245	6	185; 245	6	185; 245
200	219	6	160; 220	6	190; 250	6	190; 250	6	190; 250
250	273	8	160; 220	8	190; 250	8	190; 250	8	190; 250
300	325	8	190; 250	8	210; 270	8	210; 270	8	210; 270
350	377	9	190; 250	9	210; 270	9	210; 270	9	240; 300
400	426	10	210; 270	10	210; 270	10	240; 300	10	260; 320
500	530	12	210; 270	12	240; 300	12	260; 320	12	280; 340

D_y	$d_т$	Давление условное p_y, МПа							
		4,0		6,4		10,0		16,0	
		$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$
20	25	3	155; 215	3	175; 235	3	175; 235	4	175; 235
25	32	3	160; 220	3	175; 235	3	175; 235	5	175; 235
32	38	3	165; 225	3	180; 240	4	180; 240	5	185; 245
40	45	3	170; 230	4	185; 245	4	190; 250	5	195; 255
50	57	4	170; 230	4	190; 250	5	190; 250	6	205; 265
80	89	5	180; 240	6	190; 250	8	210; 270	10	220; 280
100	108	5	190; 250	6	200; 260	8	220; 280	10	235; 295
125	133	6	190; 250	8	215; 275	10	235; 295	14	250; 310
150	159	8	190; 250	8	225; 285	12	245; 305	16	260; 320
200	219	8	210; 270	12	230; 290	16	290; 350	20	315; 375
250	273	10	220; 280	12	265; 325	16	310; 370	25	335; 395
300	325	10	270; 330	12	300; 360	20	360; 420	28	400; 460
350	377	12	270; 330	16	320; 380	20	380; 440	32	470; 530
400	426	12	320; 380	16	335; 395	22	380; 440	36	480; 540
500	530	12	320; 380	—	—	—	—	—	—

Пример условного обозначения штуцера с $D_y = 300$ мм на p_y — 1,6 МПа, $H_т = 210$ мм, фланец с соединительным выступом из стали ВСт3сп4, патрубок из стали 10:

Штуцер 300-16-210-ВСт3сп4-10 ОСТ 26-1404—76.

Таблица 17.3

Основные размеры патрубков стандартных стальных фланцевых кованых толстостенных штуцеров (рис.17.1, *в*), ОСТ 26-1412 – 76 – ОСТ 26-1416 – 76,

мм

D_y	$d_т$	Давление условное p_y, МПа									
		До 2,5		4,0		6,4		10,0		16,0	
		$s_т$	$H_т \pm 5$	$s_т$	$H_т \pm 5$	$s_т$	$H_т \pm 5$	$s_т$	$H_т \pm 5$	$s_т$	$H_т \pm 5$
20	38 48	10 —		10 —		— 16		— 16		— 16	
25	45 52	10 —		10 —		— 16		— 16		— 16	
32	56 64	14 —		14 —		— 16		— 16		— 16	
(40)	64 74 76	14 —	200	14 — —	200	— 20 —	240	— — 20	280	— — 20	320
50	76 86	14 —		14 —		— 20		— 20		— 20	
(65)	96 106 110	14 — —		14 — —		— 20 —		— — 24		— — 24	
80	110 112 120 124	16 — — —		— 16 — —		— — 20 —		— — — 24		— — — 24	

Пример условного обозначения кованого толстостенного штуцера с соединительным выступом типа 1 $D_y = 100$ мм на $p_y = 1{,}6$ МПа из стали 09Г2С:

Штуцер 1-100-16-09Г2С ОСТ 96-1412—76.

Таблица 17.4

Основные размеры стандартных стальных штуцеров с толстостенными патрубками с фланцами приварными встык (рис.17.1, *г*, *д*), ОСТ 26-1412 – 76 – ОСТ 26-1415 – 76,

мм

D_y	$d_т$	Давление условное p_y, МПа											
		1,6		2,5		4,0		6,4		10,0		16,0	
		$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$
50	65 68 70 76 78 80	— — 10 — — —	230	— — 10 — 14 —	230	— — 10 — 14 —	230	— 10 — — 16	250	12 — 16 — —	270	12 — 16 — —	300
(65)	82 84 86 88 92 94 96 102 108	— — 10 — — — — — —		— — 10 — 14 — — — —		— — 10 — 14 — — — —		— 12 — — — 16 — — —	255	12 — — — — 20 —	280	— — — — 16 — — — 24	310
80	96 98 102 106 110 115 118	— 10 — — — — —		— 10 — — 16 — —		— 10 — 16 — — —	240	— 12 — — 16 — —		12 — — — — 20 —	290	— — 16 — — — 24	320
100	121 126 128 130 132 134 136 142 150	12 — — — — — — — —		12 — 16 — — — — — —	240	12 — 16 — — — 20 — —	250	— 16 — — — 20 — — —	260	— — — — 20 — — 25 —	300	— — — 20 — — — 30 —	330
125	145 148 150 152 153 161 168 172	12 — — — 16 — — —	240	12 — — — 16 20 — —	250	12 — — — 16 20 — —	250	— — 16 — — — 25 —	280	— — — 20 — — — 30	315	— 20 — — — 30 —	350

Продолжение табл. 17.4

D_y	$d_т$	Давление условное p_y, МПа											
		1,6		2,5		4,0		6,4		10,0		16,0	
		$S_т$	$H_т$	$S_т$	$H_т$	$S_т$	$H_т$	$S_т$	$H_т$	$S_т$	$H_т$	$S_т$	$H_т$
150	170	12	240	12	250	12	250	—	300	—	345	—	380
	178	16		16		16		—		—		—	
	182	—		—		—		20		—		—	
	186	20		20		25		—		—		—	
	188	—		—		—		—		25		—	
	190	—		—		—		—		—		30	
	202	—		—		—		30		—		—	
	208	—		—		—		—		35		—	
	210	—		—		—		—		—		40	
200	234	16		16	260	16	280	—	350	—	400	—	460
	238	—		—		—		20		—		—	
	242	—		20		20		—		—		—	
	250	—		—		—		—		30		—	
	252	25		—		—		—		—		—	
	258	—		—		—		30		—		—	
	262	—		30		35		—		—		40	
	270	—		—		—		—		40		—	
	278	—		—		—		40		—		—	
	280	—		—		—		—		45		—	
	282	—		—		—		—		—		50	
250	294	20	270	20	280	20	330	—	380	—	460	—	520
	296	—		—		—		—		30		—	
	304	—		25		—		—		—		40	
	305	—		—		—		—		—		—	
	306	—		—		—		30		—		—	
	314	30		—		30		—		—		—	
	316	—		—		—		—		40		50	
	325	—		35		—		40		—		—	
	334	—		—		—		—		55		—	
	346	—		—		40		50		—		70	
	365	—		—		—		—		—			
300	343	20	290	20	340	20	390	—	420	—	510	—	580
	344	—		—		—		—		30		—	
	354	—		—		—		30		—		—	
	363	30		30		30		—		—		50	
	370	—		—		—		—		—		—	
	383	—		40		—		—		50		60	
	384	—		—		—		—		—		—	
	390	—		—		—		50		—		70	
	393	—		—		45		—		—		—	
	394	—		—		—		—		60			
	410	—		—		—		60		—			
	414	—		—		—		—		70			
	424	—		—		—		—					

Продолжение табл.17.4

D_y	$d_т$	Давление условное p_y, МПа											
		1,6		2,5		4,0		6,4		10,0		16,0	
		$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$	$s_т$	$H_т$
350	391	20	330	—	370	—	420	—	480	—	560	—	670
	401	—		25		25		—		—		—	
	402	—		—		—		30		—		—	
	412	—		—		—		—		40		—	
	421	35		35		35		—		—		—	
	432	—		—		—		—		50		—	
	435	—		—		—		—		—		60	
	441	—		45		—		—		—		—	
	442	—		—		—		50		—		—	
	451	—		—		50		—		—		70	
	455	—		—		—		—		—		—	
	472	—		—		—		—		70		80	
	475	—		—		—		—		—		—	
	482	—		—		—		70		—		—	
400	446	—	340	—	400	—	470	30	520	—	580	—	720
	448	25		25		—		—		—		—	
	458	—		—		30		—		—		—	
	468	35		35		—		—		50		—	
	476	—		—		—		—		—		—	
	486	—		—		—		50		—		—	
	488	—		45		45		—		—		—	
	496	—		—		—		—		60		70	
	508	—		—		55		—		—		—	
	516	—		—		—		—		70		80	
	526	—		—		—		70		—		—	
	536	—		—		—		—		—		90	
500	548	25	400	—	450	—	520	—	—	—	—	—	—
	558	—		30		30							
	578	40		40		—							
	598	—		50		50							
	618	—		—		60							

Пример условного обозначения штуцера типа 2 с толстостенным патрубком, приварным фланцем с выступом (исполнение 1) встык $D_y = 50$ мм, $p_y = 1{,}6$ МПа из стали 09Г2С:

Штуцер 2-1-50-16-09Г2С ОСТ 26-1413—76.

Таблица 17.5

Вылеты H стандартных стальных фланцевых штуцеров (рис.17.2), ОСТ 26-1411 – 76 – ОСТ 26-1417 – 76,

мм

D_y	Тонкостенные штуцера								Толстостенные штуцера					
	Условное давление p_y, МПа													
	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	10,0	16,0	1,6	2,5	4,0	6,4	10,9	16,0
20	—					130 (190)	130 (190)	130 (190)						
25	120 (180)	—	—	120 (180)	120 (180)	130 (190)	130 (190)	130 (190)	—	150 *	150 *	170 *	190 *	210*
32	120 (180)					130 (190)	130 (190)	130 (190)						
40	120 (180)					140 (200)	140 (200)	140 (200)						
50				120 (180)	120 (180)		140 (200)							
(65)	120 (180)	120 (180)	120 (180)	120 (180)	120 (180)	140 (200)	140 (200)	160 (220)	150 * 180	150 * 180	150 * 180	170 * 180	190 * 200	200 210*
80				140 (200)	140 (200)		160 (220)							
100			120 (180)			140 (200)	160 (220)	180 (240)	180	180			200	220
(125)	120 (180)	120 (180)	140 (200)	140 (200)	140 (200)	160 (220)	180 (240)	200 (260)	200	200	200	200	220	240
150					140 (200)		180 (240)	200 (260)		200	200	220	250	260
200					180 (240)	180 (240)	220 (280)	260 (320)	200		220	270	300	340
250	120 (180)	140 (200)	140 (200)			200 (260)	240 (300)	260 (320)	220	220	270	300	360	400
300	130 (190)			150 (210)	180 (240)	220 (280)	280 (340)	300 (360)		260	320	340	410	450

ГЛАВА 18

УКРЕПЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ В СТЕНКАХ АППАРАТА

18.1. Конструкции

Различные отверстия в стенках корпуса, днища сварного аппарата для штуцеров и люков ослабляют стенки и поэтому должны быть большей частью укреплены. Укрепление осуществляется патрубком штуцера, утолщением укрепляемой стенки и укрепляющим кольцом. Наиболее рациональным и поэтому наиболее предпочтительным укреплением является укрепление патрубком штуцера.

На рис 18.1 показаны типовые конструкции укреплений отверстий в стенках сварных аппаратов. Укрепляющие кольца должны изготавливаться предпочтительно цельными [допускается выполнять их из двух половин, при этом сварной шов (со сплошным проваром) должен быть расположен под углом 45° к продольной оси аппарата, если штуцер помещен на цилиндрическом корпусе]. Все укрепляющие кольца, а также накладные бобышки должны иметь контрольные сквозные отверстия М10, расположенные в нижней части кольца (бобышки) при рабочем положении аппарата для пневматического испытания герметичности сварных швов избыточным давлением 0,6 МПа.

На рис. 18.2 и 18.3 показаны типовые конструкции соединения наклонных штуцеров на обечайках и смещенных штуцеров на эллиптическом днище.

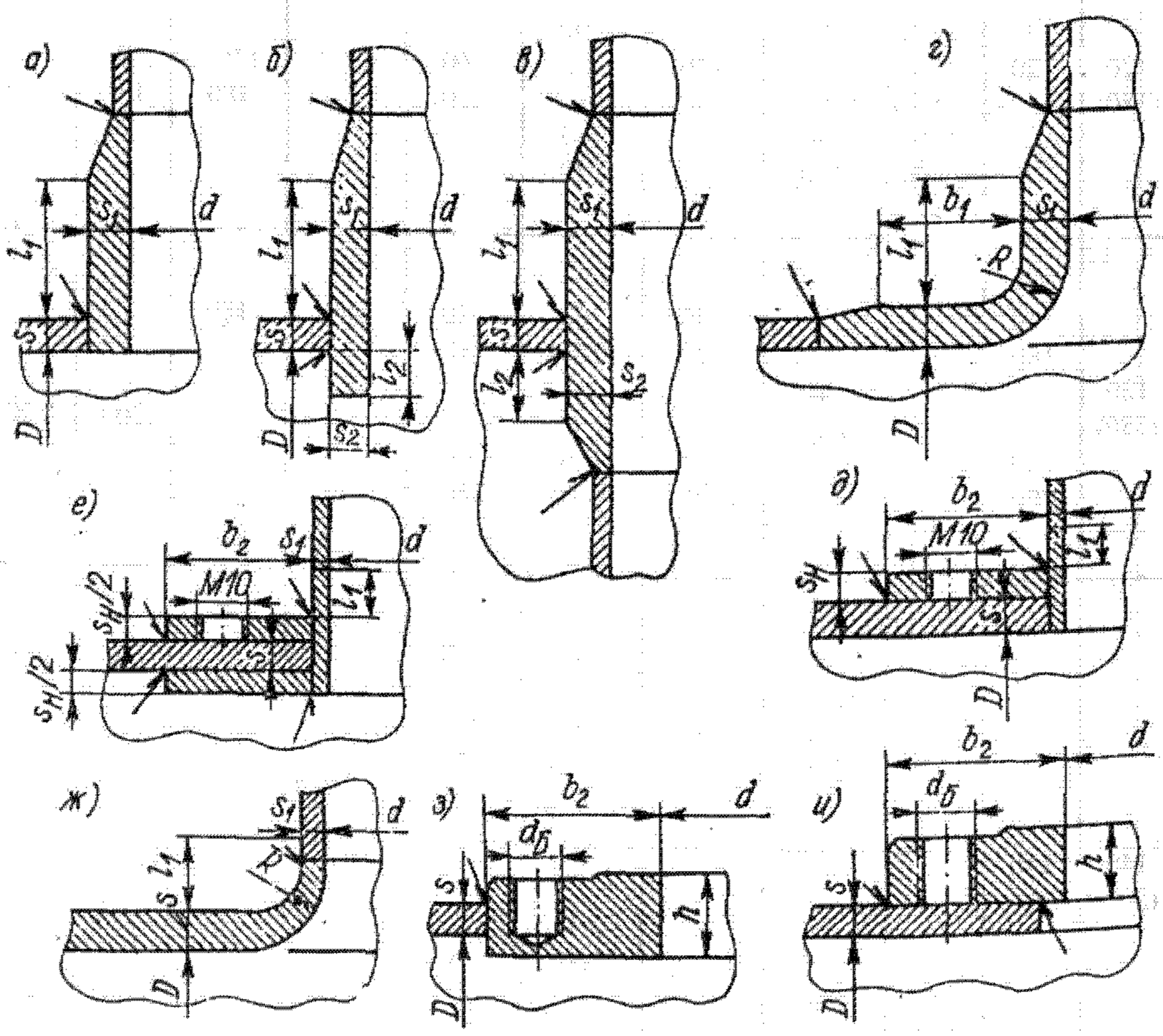


Рис. 18.1. Конструкции укреплений отверстий в стенках сварных аппаратов: *а* — приварным штуцером с внешней стороны; *б* — приварным штуцером с внешней и внутренней сторон; *в* — приварной вводной трубой; *г* — торовой вставкой; *д* — приварным снаружи накладным кольцом; *е* — приварными снаружи и изнутри накладными кольцами; ж — отбортованной стенкой; з — врезной бобышкой; *и* — накладной бобышкой

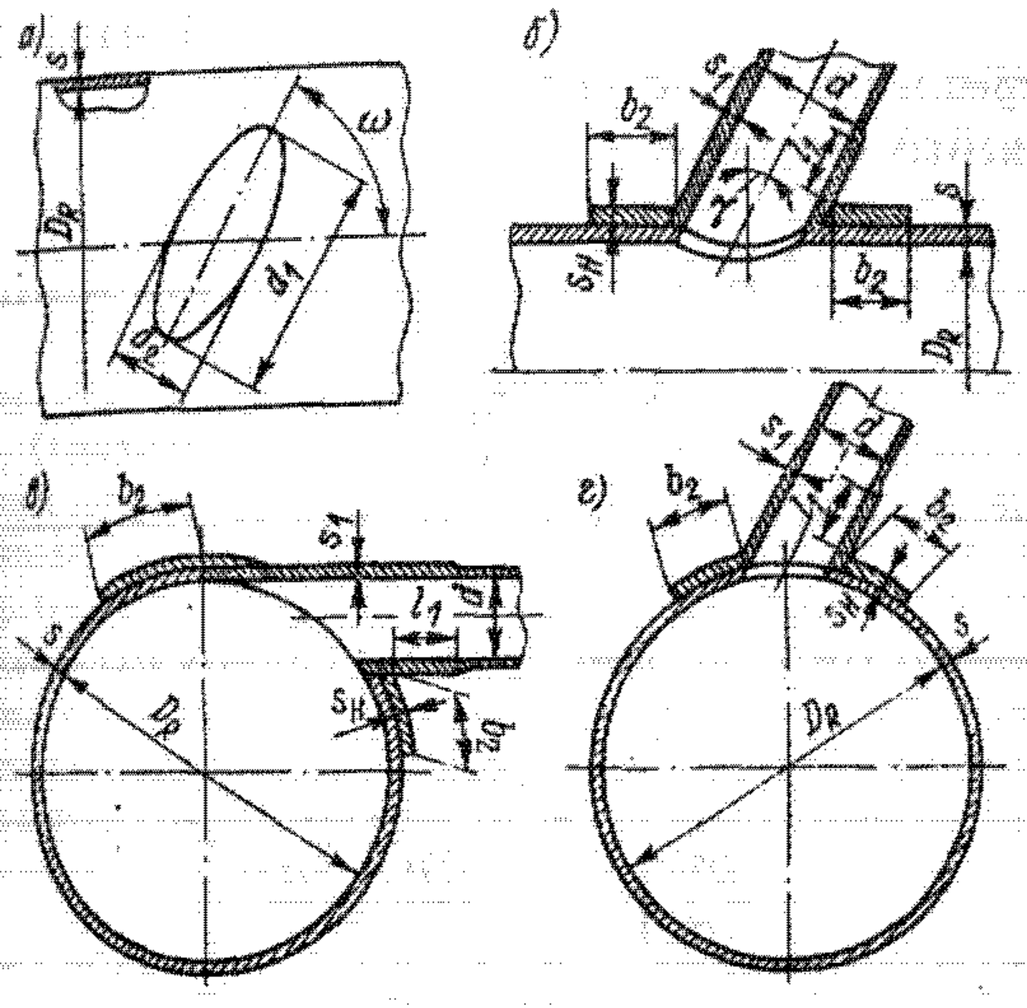


Рис. 18.2. Наклонные штуцера на обечайках:
а — расположение овального отверстия на обечайке с углом ω между осью большего размера и образующей обечайки; *б* — расположение штуцера в плоскости продольного сечения обечайки под углом γ между осью штуцера и образующей; *в, г* — расположение штуцера в плоскости поперечного сечения обечайки под некоторым углом к главной оси

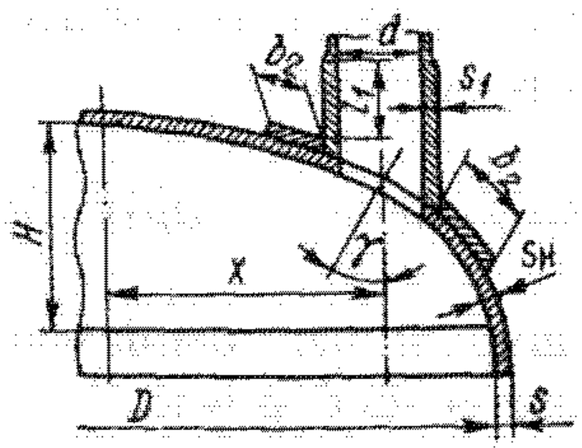


Рис. 18.3. Смещенный штуцер на эллиптическом днище

18.2. Расчет укрепления отверстий

Ниже приводится метод расчета укрепления отверстия, нашедший большое распространение в научно-технической и учебной литературе. Данный метод не является нормативным, поэтому может использоваться на этапах технического проектирования при последующем согласовании результатов со специализированной научно-исследовательской организацией.

Нормативный метод расчета регламентирован ГОСТ 24755—89 (СТ СЭВ 1639—88), он приведен в приложении № 2 справочника.

18.2.1. Область применения и основные формулы

Расчет распространяется на укрепление круглых и овальных отверстий в стенках цилиндрических обечаек, конических переходов и днищ, а также эллиптических и сферических днищ, изготовленных из пластичных в условиях эксплуатации сталей.

Пределы применения метода расчета и значения расчетных диаметров D_R для различных укрепляемых элементов приведены в табл. 18.1, а значения расчетных диаметров отверстий d_R — в табл. 18.2.

Отверстия в краевой зоне обечаек и днищ, как правило, не допускаются, поэтому расстояние (по проекции образующей) от оси штуцера до края цилиндрической обечайки или конического перехода должно быть

$$x_0 \geqslant \frac{B_0 + d}{2}, \qquad (18.1)$$

где B_0 — ширина зоны укрепления, прилегающей к штуцеру при отсутствии накладного кольца, определяемая по формуле (18.6), а расстояние (по проекции образующей от оси штуцера на плоскость основания днища):

для эллиптических днищ

$$x_0 \geqslant 0{,}05\,(D - d); \qquad (18.2)$$

для сферических днищ

$$x_0 \geqslant \max\{0{,}1\,(D + 2s);\ 0{,}09D + s\} + 0{,}5d. \qquad (18.3)$$

Отверстия в краевой зоне выпуклых днищ допускаются при условии

$$d_R \leqslant \max\{(s - c);\ 0{,}2\sqrt{D_R\,(s - c)}\}. \qquad (18.4)$$

Для наклонных штуцеров с круглым поперечным сечением (рис. 18.2, *б*) формулы расчета применимы, если угол $\gamma \leq 45°$, а отношение осей овального отверстия удовлетворяют условию

$$\frac{d_1}{d_2} \leqslant 1 + 2\,\frac{\sqrt{D_R\,(s - c)}}{d_2}. \qquad (18.5)$$

Эти ограничения не распространяются на тангенциальные и наклонные штуцера, оси которых лежат в плоскости поперечного сечения обечайки. Для нецентральных (смещенных) штуцеров на эллиптических днищах $\gamma \leq 60°$.

Расчетные параметры. Расчетные толщины стенок укрепляемых элементов обечаек, конических днищ и переходов определяются по соответствующим формулам к гл. 13 и 14. Для эллиптических днищ, нагруженных внутренним избыточным давлением, расчетная толщина стенки определяется по формуле:

$$s_R = \frac{pD_R}{4[\sigma]\varphi - p}. \qquad (18.6)$$

Расчетная толщина стенки штуцера, нагруженного как внутренним, так и наружным давлением, определяется по формуле:

$$s_{1R} = \frac{p\,(d + 2c)}{2[\sigma]_1\varphi_1 - p}. \qquad (18.7)$$

Расчетные длины внешней и внутренней части штуцера, участвующие в укреплении отверстия и учиты-

Таблица 18.1

Пределы применения метода расчета укрепления отверстий и значения D_R для различных укрепляемых элементов

Укрепляемый элемент	Пределы применения		D_R
	d_R/D	s/D	
Цилиндрическая обечайка	$\leq 1{,}0$	$\leq 0{,}1$	D
Конические переход или днище		$\leq \frac{0{,}1}{\cos\alpha}$	$\frac{D_к}{\cos\alpha}$
Эллиптическое днище	$\leq 0{,}5$	$\leq 0{,}1$	$\frac{D^2}{2H}\sqrt{1-4\frac{(D^2-4H^2)}{D^4}x^2}$
То же стандартное ($H_д = 0{,}25D$)			$2D\sqrt{1-3\left(\frac{x}{D}\right)^2}$
Сферическое днище			$2R$

Примечание. Величина x — расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища (рис. 18.3).

ваемые при расчете (рис. 18.1, *а*—*ж*), определяются по формулам:

$$l_{1R} = \min\{l_1;\ 1{,}25\sqrt{(d+2c)(s_1-c)}\}; \quad (18.8)$$

$$l_{2R} = \min\{l_2;\ 0{,}5\sqrt{(d+2c)(s_2-2c)}\}. \quad (18.9)$$

В случае проходящего штуцера одной толщины (рис. 18.1, *б* и *в*) принимается $s_2 = s_1$.

Ширина зоны укрепления в обечайках, переходах и днищах определяется по формуле:

$$B_0 = \sqrt{D_R(s-c)}. \quad (18.10)$$

Расчетная ширина зоны укрепления в стенке обечайки, перехода или днища в окрестности штуцера определяется по формуле:

$$b_{1R} = \min\{l_к;\ B_0\}, \quad (18.11)$$

где $l_к$ — расстояние от наружной стенки штуцера до ближайшего несущего конструктивного элемента на укрепляемом элементе (кольца жесткости, фланца, опоры и т.п.).

Расчетная ширина зоны укрепления b_{1R} учитывается только при наличии внутреннего избыточного давления в аппарате, при наличии наружного давления $b_{1R} = 0$.

Расчетная ширина накладного кольца (рис. 18.1, *е* и *д*) определяется по формуле:

$$b_{2R} = \min\{b_2;\ \sqrt{D_R(s_н+s-c)}\}. \quad (18.12)$$

Расчетная ширина врезной бобышки (рис. 18.1, *з*) рассчитывается по формуле:

$$b_{2R} = \min\{b_2;\ \sqrt{D_R(h-c)}\}. \quad (18.13)$$

Расчетная ширина накладной бобышки (рис. 18.1, *и*) определяется по формуле:

$$b_{2R} = \min\{b_2;\ \sqrt{D_R(h+s-c)}\}. \quad (18.14)$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления при отсутствии избыточной толщины стенки аппарата, рассчитывается по формуле:

$$d_{0R} = 0{,}4B_0. \quad (18.15)$$

Коэффициент прочности сварных соединений. Если ось сварного соединения удалена от наружной поверхности штуцера на расстояние больше $3s$, то коэффициент прочности сварного соединения при расчете укрепления отверстия следует принимать $\varphi = 1$. В исключительных случаях, когда сварной шов пересекает отверстие или удален от наружной поверхности штуцера на расстояние меньше $3s$, принимается $\varphi \leq 1$ в зависимости от вида и качества сварного шва.

Если плоскость, проходящая через продольный шов, и ось штуцера образуют угол не более 30°С с плоскостью поперечного сечения цилиндрической или конической обечайки, то принимается $\varphi_1 = 1$. В остальных случаях принимается $\varphi_1 \leq 1$ в зависимости от вида и качества сварного шва.

Таблица 18.2

Формулы для определения расчетных диаметров отверстий и штуцеров в зависимости от вида и направления штуцеров, присоединяемых к обечайкам, переходам и днищам

Вид отверстия и направление штуцера	Формулы для расчета d_R
Отверстие в стенке обечайки, перехода или днища при наличии штуцера круглого поперечного сечения, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия, отверстие и штуцер, оси которых лежат в плоскости поперечного сечения цилиндрической или конической обечайки и направлены к поверхности под некоторым углом (тангенциальные штуцера), а также круглое отверстие без штуцера (рис. 18.1, *а*–*и*, рис. 18.2, *в*, *г*)	$d + 2c$
Отверстие смещенного штуцера на эллиптическом днище (рис. 18.3)	$\dfrac{d+2c}{\sqrt{1-\left(\dfrac{2x}{D_R}\right)^2}}$
Отверстие овального профиля при наличии наклонного штуцера круглого поперечного сечения, когда большая ось овального отверстия составляет угол ω образующей обечайки (рис. 18.2, *а*)	$(d + 2c)(1 + \operatorname{tg}^2\gamma\cos^2\omega)$
Отверстие овального профиля при наличии наклонного штуцера круглого сечения, когда ось штуцера лежит в плоскости продольного сечения обечайки ($\omega = 0$) рис. 18.2, *б*, а также отверстия в сферических днищах	$\dfrac{d + 2c}{\cos^2\gamma}$
Овальное отверстие, у которого большая ось составляет угол ω с образующей обечайки (рис. 18.2, *а*)	$(d_2 + 2c) \times \left[\sin^2\omega + \left(\dfrac{d_1 + 2c}{d_2 + 2c}\right)^2 \cos^2\omega\right]^*$
Овальное отверстие, у которого большая ось находится в плоскости продольного сечения обечайки ($\omega = 0$)	$\dfrac{(d_1 + 2c)^2}{d_2 + 2c}$
Овальное отверстие, у которого меньшая ось находится в плоскости продольного сечения обечайки ($\omega = 90°$)	$d_2 + 2c$
Отверстие для штуцера круглого поперечного сечения, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия, при наличии отбортовки или торообразной вставки (рис. 18.1, *г* и *ж*)	$d + 1{,}5(R_n - s_R) + 2c$

* Для выпуклых днищ принимается $\omega = 0$.

Отношение допускаемых напряжений. Для внешней части штуцера

$$\varkappa_1 = \min\{1{,}0;\ [\sigma]_1/[\sigma]\}; \qquad (18.16)$$

для накладного кольца или бобышки

$$\varkappa_2 = \min\{1{,}0;\ [\sigma]_2/[\sigma]\}; \qquad (18.17)$$

для внутренней части штуцера

$$\varkappa_3 = \min\{1{,}0;\ [\sigma]_3/[\sigma]\}. \qquad (18.18)$$

18.2.2. Одиночные отверстия

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие не оказывает на него влияния, что имеет место, когда расстояние между наружными поверхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b \geq \sqrt{D'_R(s'_n + s - c)} + \sqrt{D''_R(s''_n + s - c)}. \qquad (18.19)$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки укрепляемого элемента (обечайки, перехода или днища) определяется по формуле:

$$d_{0R} = 2\left(\frac{s-c}{s_R} - 0{,}8\right) B_0 . \quad (18.20)$$

Если расчетный диаметр одиночного отверстия удовлетворяет условию

$$d_R \leqslant d_{0R}, \quad (18.21)$$

то дальнейших расчетов укрепления отверстия не требуется.

Условия укрепления отверстий. Расчетная площадь вырезанного сечения определяется по формуле:

$$F_R = 0{,}5\,(d_R - d_{0R})\,s_R . \quad (18.22)$$

Расчетная площадь укрепляющего сечения укрепляемой стенки определяется по формуле:

$$F_{sR} = b_{1R}\,(s - s_R - c). \quad (18.23)$$

Расчетная площадь укрепляющего сечения внешней части штуцера (рис. 18.1, *а*—*ж*) определяется по формуле:

$$F_{1R} = l_{1R}\,(s_1 - s_{1R} - c)\,\varkappa_1 \quad (18.24)$$

Расчетная площадь укрепляющего сечения накладного кольца жесткости (рис.18.1, *д*, *е*)

$$F_{2R} = b_{2R} s_{11} \varkappa_2 . \quad (18.25)$$

Расчетная площадь укрепляющего сечения врезной или накладной бобышки (рис. 18.1, *з*, *и*) определяется по формуле:

$$F_{2R} = b_{2R} h \varkappa_2 . \quad (18.26)$$

Расчетная площадь укрепляющего сечения внутренней части штуцера (рис. 18.1, *б*, *в*)

$$F_{3R} = l_{2R}\,(s_2 - 2c)\,\varkappa_3 . \quad (18.27)$$

В случае проходящего одной толщины штуцера (рис. 18.1, *б* и *в*) принимается $s_2 = s_1$.

В формулах (18.6)—(18.27) значения D_R рассчитываются по формулам, приведенным в табл. 18.1; значения d_R — по формулам, приведенным в табл. 18.2; s_R — по соответствующим формулам гл. 13 и 14, а для эллиптического днища — по формуле (18.6); s_{1R} — по формуле (18.7); d_{0R} — по формулам (18.15) и (18.20); B_0 — по формуле (18.10); l_{1R} и l_{2R} — по формулам (18.8) и (18.9); b_{1R} — по формуле (18.11), b_{2R} — по формулам (18.12)—(18.14); значения коэффициентов $\varkappa_1$, $\varkappa_2$ и $\varkappa_3$ — по формулам (18.16)—(18.18).

Если $d_R \leq d_{0R}$, то конструкция штуцера, толщина его стенки и другие размеры принимаются из конструктивных и технологических соображений, в частности, по табл. 17.2 для тонкостенных штуцеров. Если $d_R > d_{0R}$, то проверяется достаточность укрепления тонкостенным штуцером, выбранным по табл. 17.2, для чего определяются значения: l_{1R} по формуле (18.8), а если штуцер или труба вводится внутрь аппарата, l_{2R} — по формуле (18.9). Затем последовательно определяются значения b_{1R} по формуле (18.11), F_R — по (18.22), F_{sR} — по (18.23), F_{1R} — по (18.24) и F_{3R} — по (18.27).

Далее проверяется условие

$$F_{1R} + F_{3R} \geqslant F_R - F_{SR} \quad (18.28)$$

при соблюдении которого толщина стенки выбранного тонкостенного штуцера является исполнительной.

Таблица 18.3

s_1	l_{1R}	l_{3R}	F_{1R}	F_{3R}	$F_{1R} + F_{3R}$
$0{,}7s$ $1{,}45s$					

Таблица 18.4

s_n	$l_{1R} = \sqrt{D_R(s_2 + s - c)}$	F_{2R}
$0{,}7s$		

Если условие (18.28) не соблюдается, то методом последовательных приближений увеличивается s_1 (из условия сварки в пределах до $s_1 \leq 1{,}45s$) с соответствующим увеличением l_{1R} и l_{2R} до соблюдения условия (18.28).

Результаты расчета рекомендуется записывать в форме табл. 18.3 с интервалом $\geq 0{,}15s$.

Исполнительная толщина стенки штуцера принимается ближайшая бо́льшая по табл. 17.4 для толстостенных штуцеров.

При определении l_{1R} по (18.8) и l_{2R} по(18.9) длины l_1 и l_2 отсчитываются от наружной или внутренней поверхности аппарата соответственно.

Если при $s_1 = 1{,}45s$ условие (18.28) все же не соблюдается, то для укрепления отверстия следует ввести накладное кольцо или в месте расположения штуцера соответственно увеличить толщину укрепляемой стенки.

Предварительно принимая $s_н = 0{,}7s$ и определяя b_{2R} из формулы (18.12), находим расчетную площадь укрепляющего сечения накладного кольца по формуле:

$$F_{2R} = F_R - (F_{sR} + F_{1R} + F_{3R}) \quad (18.29)$$

и исполнительную площадь накладного кольца — по формуле:

$$F_2 = F_{2R}/\varkappa_2. \quad (18.30)$$

Если $b_{2R} \leqslant \sqrt{D_R (s_н + s - c)}$, то b_2 принимается равным b_{2R}, а в качестве исполнительной толщины стенки штуцера ближайшее большее значение s_1 по табл. 17.4, при котором соблюдается условие

$$F_{1R} + F_{3R} \geqslant F_R - (F_{sR} + F_{2R}). \quad (18.31)$$

Если $b_{2R} > \sqrt{D_R (s_н + s - c)}$, то методом последовательных приближений увеличивается $s_н$ до соблюдения условия (18.31) при ближайшем $b_{2R} \leqslant \sqrt{D_R (s_н + s - c)}$.

Результаты расчета рекомендуется записывать в форме табл. 18.4 с интервалами $s_н \geq 0{,}15s$.

Если $s_н \geq 1{,}45s$, то рекомендуется, если это конструктивно возможно, вместо одного накладного кольца устанавливать два кольца снаружи и изнутри общей толщиной, равной $s_н + c$.

Форма накладных колец для эллиптических и сферических днищ — круглая и для цилиндрических обечаек и конических переходов и днищ — овальная (допускается круглая при $d + 2b_2 \leq 0{,}6D$).

При отсутствии штуцера и укреплении отверстия врезной или накладной бобышкой (рис. 18.1, *з*, *и*) или утолщением стенки аппарата при расчете условия укрепления принимается $l_{1R} = l_{2R} = 0$, расчетная ширина бобышки определяется по формулам (18.13) или (18.14), значение F_{2R} определяется по формуле (18.26) и проверяется условие

$$F_{2R} + F_{sR} \geqslant F_R. \quad (18.32)$$

Для случая укрепления отверстия врезной бобышкой $F_{sR} = 0$, так как в месте нахождения бобышки $b_{1R} = 0$ (стенка укрепляемого элемента здесь отсутствует).

Исполнительная ширина бобышки b_2 отсчитывается от края отверстия.

Графический расчет. Расчет укрепления отверстия для штуцера по рис. 18.1, *а* без использования накладного кольца и внутренней части штуцера может производиться по номограммам (рис. 18.4—18.6) согласно табл. 18.5.

Таблица 18.5

Определение толщины стенок штуцера и укрепляемых элементов аппарата графическим методом (рис.18.4–18, 6), СТ СЭВ 1639–79

Вариант укрепления	Исходные данные	Расчетные параметры	Определяемые параметры	Определяемая толщина стенки
Укрепление отверстия штуцером и укрепляемой стенкой	D_R, d, d_R s_1, s_{1R}, c, c_s $\varkappa_1$, φ, φ_1 K_1, K_2, p_R $[\sigma]$	$\frac{d_R}{D_R}\sqrt{K_1\varphi\frac{[\sigma]}{p_R}}$; $\frac{K_2}{\sqrt[4]{\varkappa_1}}\left(\frac{\varphi}{\varphi_1}\right)^{3/4}\left(\frac{d+2c_s}{D_R}\right)$; $V_1 = \frac{s_{1R}}{s_1 - c_s}$	V	$s \geqslant \frac{s_R}{V} + c$
	D_R, d, d_R s, s_R, c, c_s $\varkappa_1$, K_1, K_2 p_R, $[\sigma]$	$\frac{d_R}{D_R}\sqrt{K_1\varphi\frac{[\sigma]}{p_R}}$; $\frac{K_2}{\sqrt[4]{\varkappa_1}}\left(\frac{\varphi}{\varphi_1}\right)^{3/4}\left(\frac{d+2c_s}{D_R}\right)$; $V = \frac{s_R}{s - c}$	V_1	$s_1 \geqslant \frac{s_{1R}}{V_1} + c$
Укрепление отверстия без штуцера	D_R, d_R K_1, φ, p_R, $[\sigma]$	$\frac{d_R}{D_R}\sqrt{K_1\varphi\frac{[\sigma]}{p_R}}$ $V_1 = 1{,}0$	V	$s \geqslant \frac{s_R}{V} + c$

Примечание. Для сферических и эллиптических стенок $K_1 = 2$; $K_2 = 1{,}68$; для цилиндрических и конических стенок $K_1 = K_2 = 1{,}0$. φ — коэффициент прочности сварных соединений обечаек и днищ; φ_1 — коэффициент прочности продольного сварного соединения штуцера; c — сумма прибавки к расчетной толщине стенки обечайки, перехода или днища, мм; c_s — сумма прибавок к расчетной толщине стенки штуцера, мм.

$\varkappa_1$.

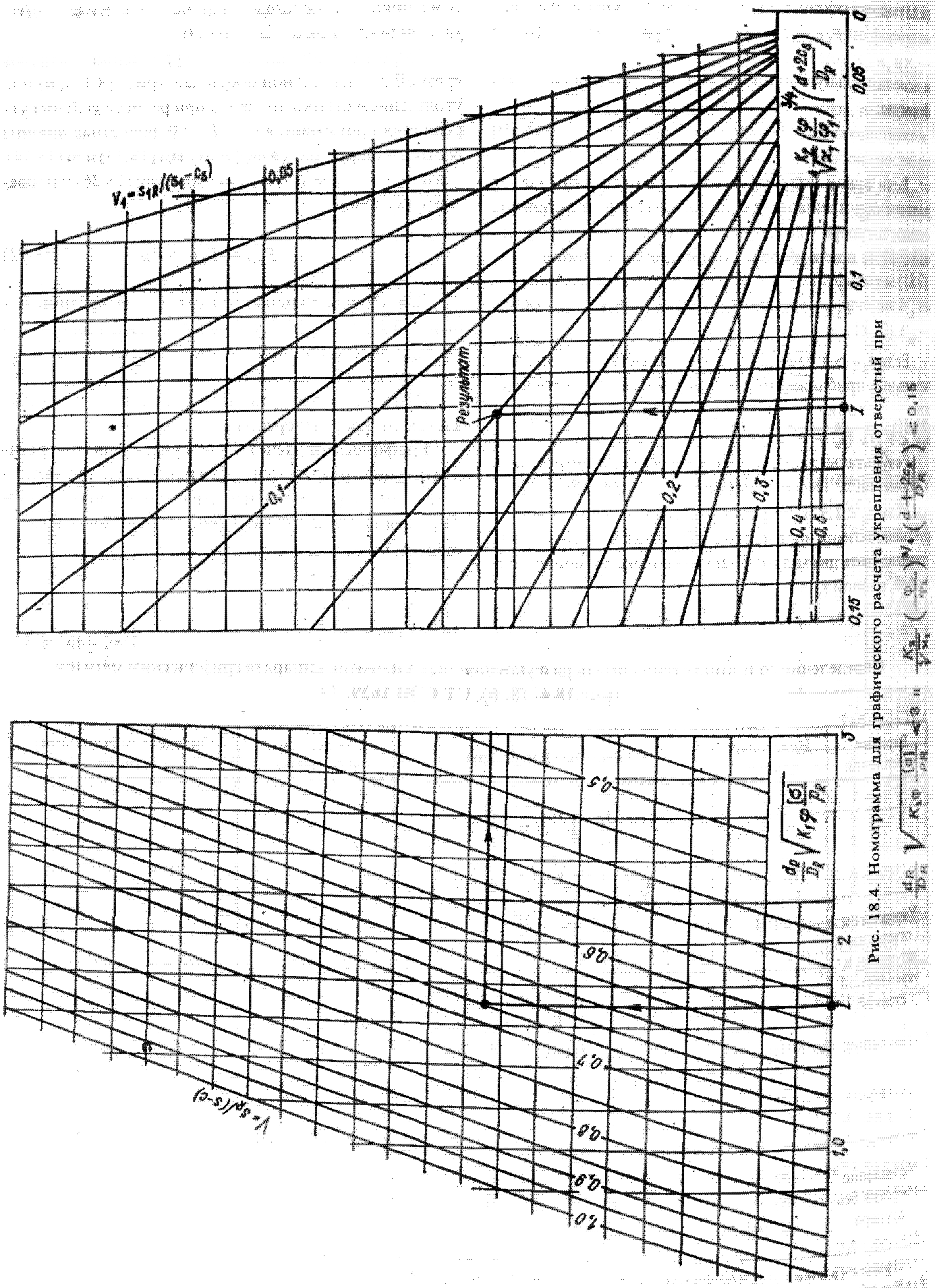


Рис. 18.4. Номограмма для графического расчета укрепления отверстий при

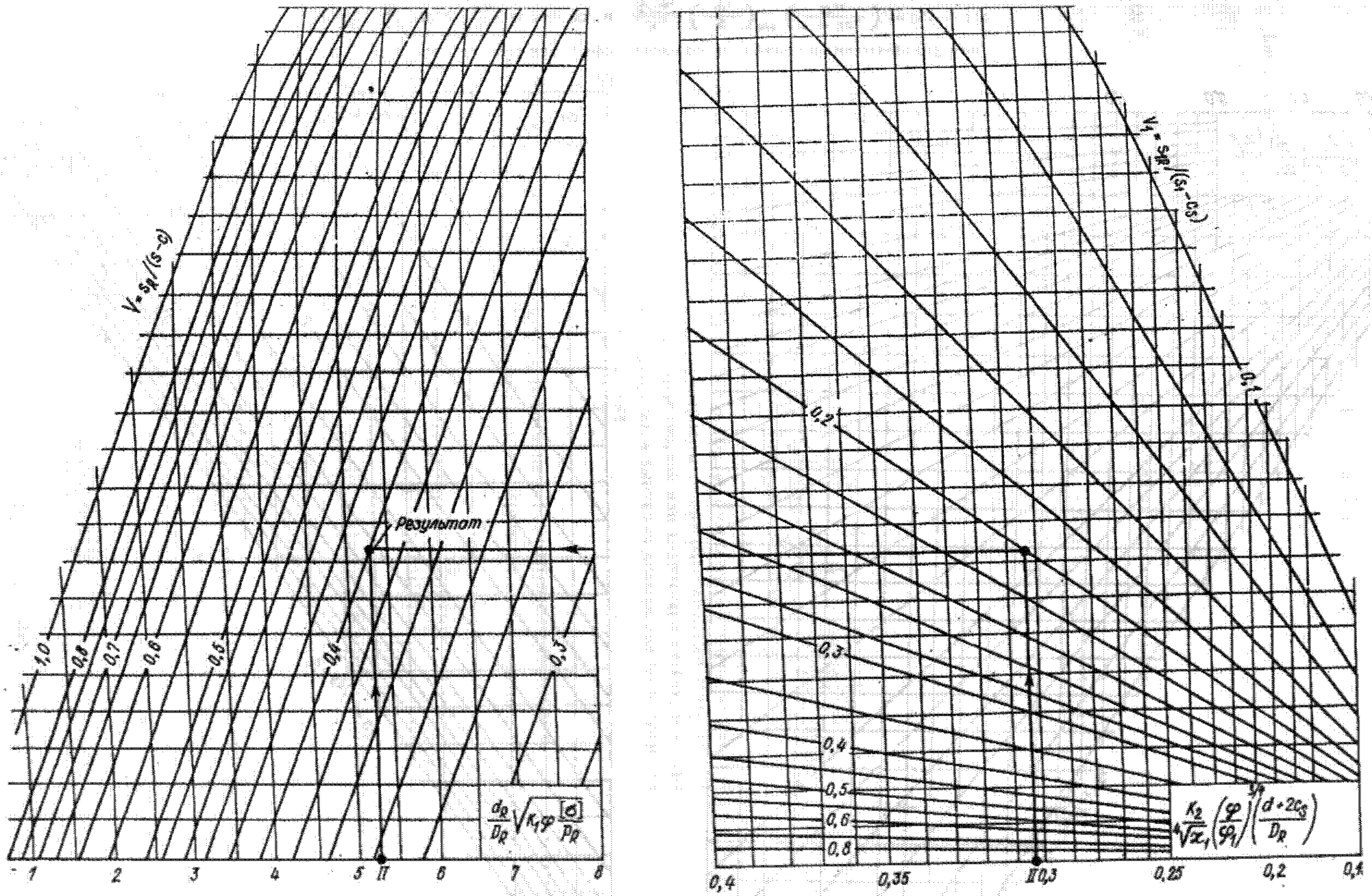


Рис. 18.5. Номограмма для графического расчета укрепления отверстий при

$$\frac{d_R}{D_R}\sqrt{K_1\varphi\frac{[\sigma]}{p_R}} = 3-8 \quad \text{и} \quad \frac{K_2}{\sqrt[4]{x_1}}\left(\frac{\varphi}{\varphi_1}\right)^{3/4}\left(\frac{d+2c_3}{D_R}\right) = 0{,}15-0{,}4$$

18-2—287

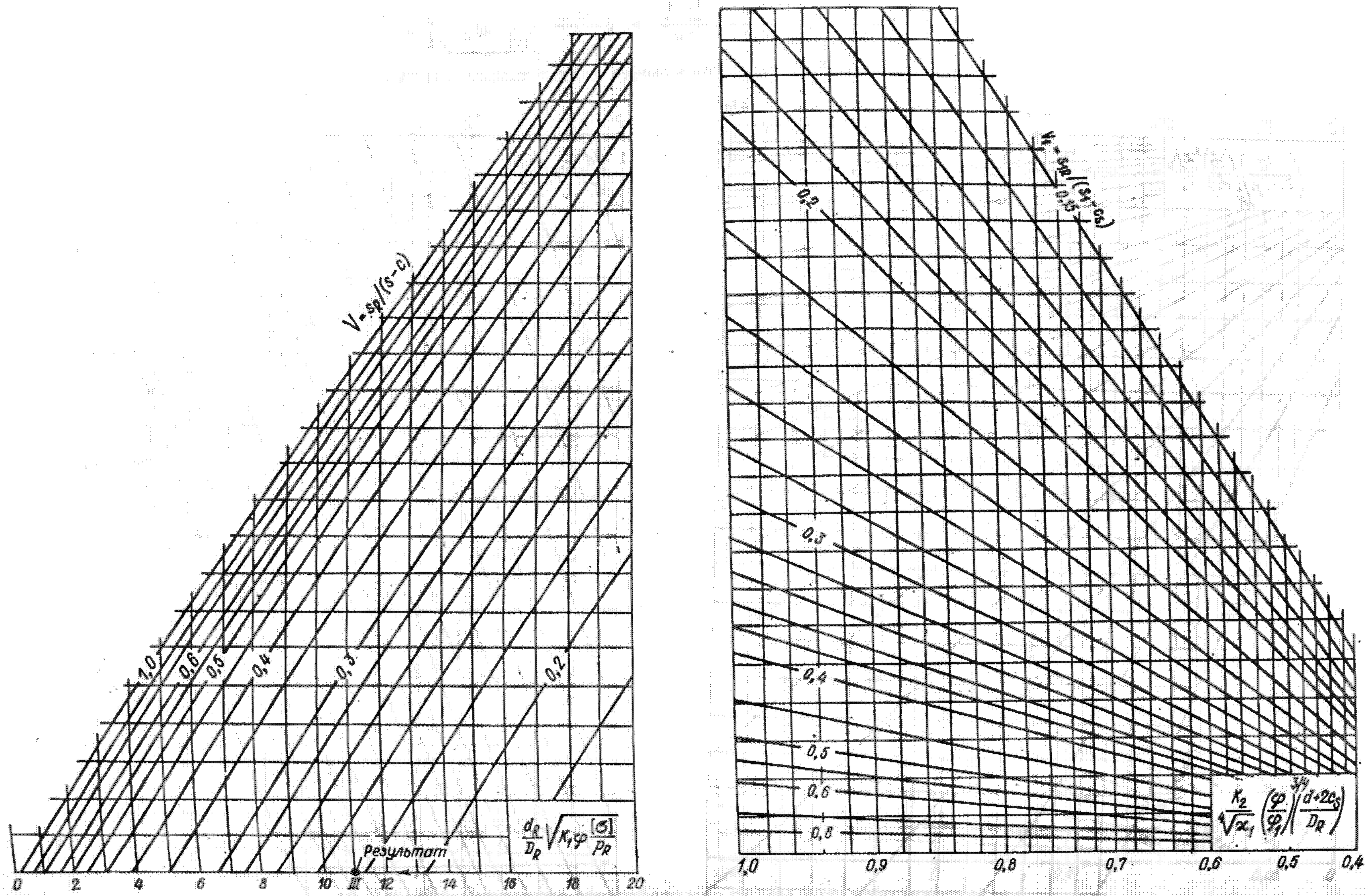


Рис. 18.6. Номограмма для графического расчета укрепления отверстий при $\frac{d_R}{D_R}\sqrt{K_1\varphi\frac{[\sigma]}{p_R}}=8-20$ и $\frac{K_2}{\sqrt[4]{x_1}}\left(\frac{\varphi}{\varphi_1}\right)^{3/4}\left(\frac{d+2c_s}{D_R}\right)=0{,}4-1{,}0$

При расчете по номограммам должны быть выполнены следующие условия:

$$l_1 \geqslant 1{,}25\sqrt{(d+2c_s)(s_1-c_s)}; \tag{18.33}$$

$$b_R \geqslant B_0. \tag{18.34}$$

Допускаемое внутреннее избыточное даление

$$[p] = \frac{2K_1(s-c)\varphi[\sigma]}{D_R+s-c}V, \tag{18.35}$$

где $K_1 = 1$ — для цилиндрических обечаек и конических переходов и днищ; $K_2 = 2$ — для выпуклых днищ;

$$V = \min\left\{1;\ \frac{1+\dfrac{l_{1R}(s_1-c_s)\varkappa_1 + b_{2R}s_n\varkappa_2 + l_{2R}(s_2-2c_s)\varkappa_3}{l_R(s-c)}}{1+0{,}5\dfrac{d_R-d_{0R}}{l_R}+K_1\dfrac{d+2c_s}{D_R}\dfrac{\varphi}{\varphi_1}\dfrac{l_{1R}}{l_R}}\right\}. \tag{18.36}$$

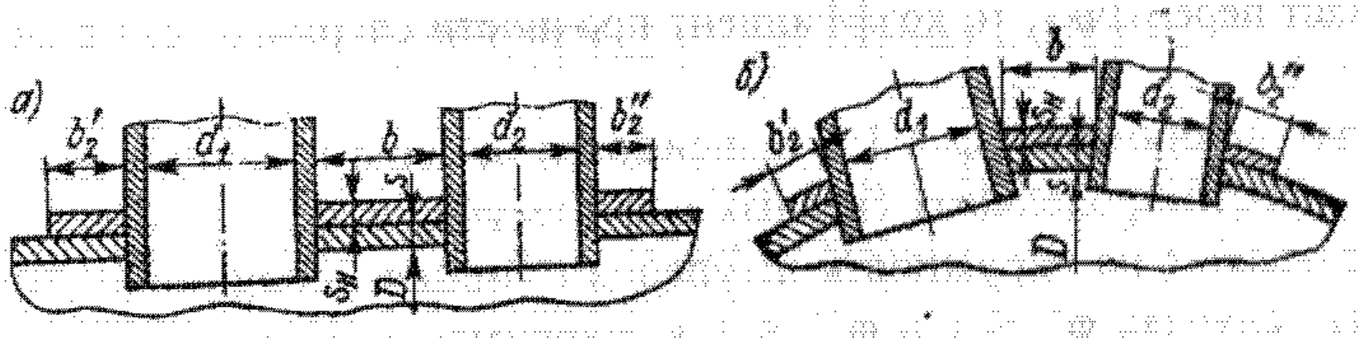


Рис. 18.7. Конструкции совместного укрепления близкорасположенных отверстий для штуцеров: *а* — при расположении отверстий по образующей цилиндрической или конической стенок, *б* — при расположении отверстий в выпуклых днищах или по окружности цилиндрической стенки

Укрепление отверстий в аппаратах, работающих под наружным давлением.
Допускаемое наружное давление определяется по формуле:

$$[p] = \frac{[p]_p}{\sqrt{1+\left(\dfrac{[p]_p}{[p]_E}\right)^2}}, \tag{18.37}$$

где $[p]_p = [p]$ — по формуле (18.35); $[p]_E$ — определяется для соответствующих укрепляемых стенок (обечайки или днища) без отверстий (см. гл.13. и 14).

18.2.3. Учет взаимного влияния отверстий

Если условие (18.19) не соблюдается, то после проведенного выше расчета укрепления каждого из отверстий проверяется достаточность укрепления перемычки между отверстиями определением допускаемого внутреннего избыточного давления на перемычку по формуле:

$$[p] = \frac{2K_1(s-c)\varphi[\sigma]}{0{,}5(D'_R+D''_R)+s-c}V, \tag{18.38}$$

где значение коэффициента K_1 дано в формуле (18.35), и коэффициент V, учитывающий понижение прочности из-за взаимного влияния отверстий, определяется из условия

$$V = \min \left\{ 1;\ \frac{1 + \dfrac{l'_{1R}\left(s'_1 - c'_s\right)\varkappa_1 + b'_{2R}s'_н\varkappa'_2 + l'_{2R}\left(s'_2 - c'_s\right)\varkappa'_3}{b\,(s-c)} + \dfrac{l''_{1R}\left(s''_1 - c''_s\right)\varkappa''_1 + b''_{2R}s''_н\varkappa''_2 + l''_{2R}\left(s''_2 - 2c''_s\right)\varkappa''_3}{b\,(s-c)}}{K_3\left(1 + 0{,}5\,\dfrac{d'_R + d''_R}{b}\right) + K_1\left(\dfrac{d' + 2c'_s}{D'_R}\,\dfrac{\varphi}{\varphi'_1}\,\dfrac{l'_{1R}}{b} + \dfrac{d'' + 2c''_s}{D''_R}\,\dfrac{\varphi}{\varphi''_1}\,\dfrac{l''_{1R}}{b}\right)} \right\} \tag{18.39}$$

Коэффициент K_3 для цилиндрических и конических обечаек определяется по формуле:

$$K_3 = \frac{1 + \cos^2\beta}{2}, \tag{18.40}$$

где β — угол между линией, соединяющей центры двух взаимновлияющих отверстий, и образующий обечайки. Для выпуклых днищ $K_3 = 1$.

Если ось сварного соединения обечайки удалена от наружных поверхностей обоих штуцеров более чем на $3s$ и не пересекает перемычку, то коэффициент прочности сварного шва в формулах (18.38) и (18.39) следует принимать $\varphi = 1$.

В остальных случаях принимается $\varphi \le 1$ в зависимости от вида и качества сварного шва.

Коэффициенты прочности продольных сварных швов штуцеров $\varphi'_1 = 1$ и $\varphi''_1 = 1$, если соответствующие сварные швы составляют на окружности штуцеров с линией, соединяющей оси штуцеров, угол не менее 60°. В остальных случаях $\varphi'_1 \le 1$ и $\varphi''_1 \le 1$ в зависимости от вида и качества соответствующего сварного шва.

На рис.18.7 показаны конструкции укрепления взаимновлияющих отверстий общей накладкой. Укрепление может быть осуществлено также и местным утолщением укрепляемой стенки толщиной $s + s_н + c$.

При укреплении двух близко расположенных отверстий другими способами необходимо, чтобы половина площади, требуемой для укрепления в продольном сечении, размещалась между этими отверстиями.

Примеры

18.3.1. Для цилиндрической оболочки горизонтального емкостного аппарата (см. рис. 13.14), работающего под внутренним давлением, определить наибольший диаметр одиночных отверстий, не требующих дополнительного укрепления, и минимальное расстояние между наружными поверхностями штуцеров, когда их можно считать одиночными.

Исходные данные. Диаметр аппарата $D = 3000$ мм, исполнительная и расчетная толщины стенки обечайки соответственно $s = 20$ мм, $s_р = 16{,}8$ мм, прибавки к расчетной толщине стенки $c = c_ш = 1{,}5$ мм.

Решение. Минимальное расстояние между отверстиями, когда их еще можно считать одиночными (см. рис. 18.7), при $s_к = 0$

$$\Delta \geqslant 2L_0 = 2\sqrt{D_р\,(s-c)} = 2\sqrt{3\,(20-1{,}5)\,10^{-3}} = 0{,}236 \text{ м} = 236 \text{ мм},$$

где $D_р = D = 3$ м — для цилиндрической обечайки.

Наибольший допускаемый диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления,

$$d_0 = 2\left\{\left[(s-c)/s_р - 0{,}8\right]\sqrt{D_р\,(s-c)} - c_ш\right\} =$$
$$= 2\left\{\left[(20-1{,}5)\,10^{-3}/(16{,}8\cdot 10^{-3}) - 0{,}8\right]\sqrt{3\,(20-1{,}5)\,10^{-3}} - 1{,}5\cdot 10^{-3}\right\} =$$
$$= 0{,}139 \text{ м} = 139 \text{ мм}.$$

18.3.2. Рассчитать для конического днища (рис. 18.8) патронного фильтра, работающего под внутренним давлением, укрепление нормального одиночного отверстия без использования накладного кольца.

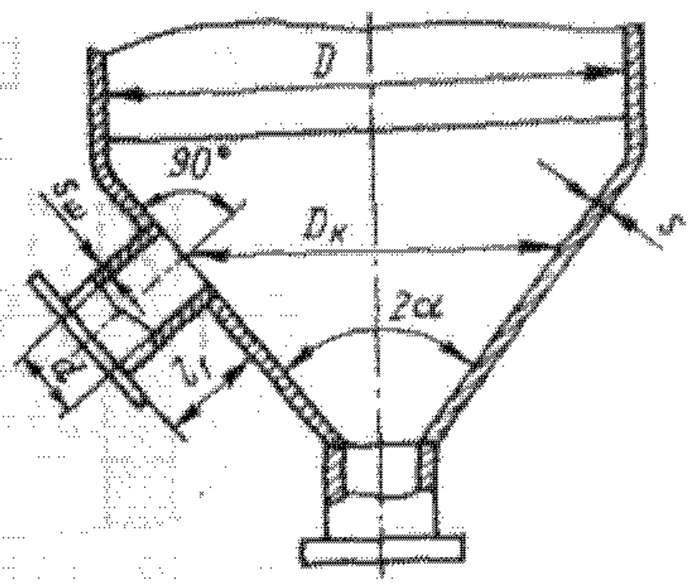


Рис. 18.8. Коническое днище патронного фильтра

Исходные данные. Внутренний диаметр аппарата $D = 1000$ мм, внутренний диаметр днища по центру укрепляемого отверстия $D_к = 750$ мм, внутренний диаметр штуцера $d = 50$ мм, длина штуцера $l_1 = 125$ мм, расчетная и исполнительная толщина конической оболочки $s_р = 2{,}5$ мм, $s = 4$ мм, расчетная и исполнительная толщина штуцера $s_{ш.р} = 0{,}87$ мм, $s_ш = 4$ мм, материал конической оболочки и штуцера — сталь 12Х18Н12Т; угол при вершине конического днища $2\alpha = 90°$, прибавка к расчетной толщине стенки $c = c_ш = 1$ мм.

Решение. Расчетный диаметр конической оболочки по центру укрепляемого отверстия

$$D_р = D_к/\cos\alpha = 0{,}75/\cos 45° = 1{,}061 \text{ м}.$$

Наибольший допускаемый диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления,

$$d_0 = 2\{[(s-c)/s_р - 0{,}8]\sqrt{D_р(s-c)} - c_ш\} = 2\{[(4-1)\,10^{-3}/(2{,}5\cdot 10^{-3}) - 0{,}8]\sqrt{1{,}061\,(4-1)\,10^{-3}} - 1\cdot 10^{-3}\} = 0{,}043 \text{ м} = 43 \text{ мм}.$$

Так как внутренний диаметр штуцера $d > d_0$ (50 мм > 43 мм), то отверстие необходимо укреплять.

Расчетная длина внешней части штуцера, участвующая в укреплении отверстия:

$$l_{1р} = \min\{l_1;\ 1{,}25\sqrt{(d+2c_ш)(s_ш - c_ш)}\} = \min\{0{,}125;\ 1{,}25\sqrt{(50+2\cdot 1)\,10^{-3}(4-1)10^{-3}}\} = \min\{0{,}125;\ 0{,}0156\} = 15{,}6\cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления, при отсутствии избыточной толщины стенки обечайки

$$d_{0р} = 0{,}4\sqrt{D_р(s-c)} = 0{,}4\sqrt{1{,}061\,(4-1)\,10^{-3}} = 22{,}6\cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

В случае укрепления отверстия только внешней частью штуцера должно выполняться условие, в котором $s_{у.р} = 0, l_{2р} = 0$:

$$(l_{1р} + s - s_р - c)(s_ш - s_{ш.р} - c_ш)\varkappa_1 + \sqrt{D_р(s-c)}(s - s_р - c) \geqslant 0{,}5(d_р - d_{0р})s_р,$$

где $\varkappa_1 = [\sigma]_ш/[\sigma] = 1$, так как материал штуцера и корпуса одинаков (сталь 12Х18Н12Т); $d_р = d + 2c_ш = 0{,}052$ м — для нормального штуцера.

Тогда

$$(15{,}6 + 4 - 2{,}5 - 1)\,10^{-3}(4 - 0{,}87 - 1)\,10^{-3}\cdot 1 + \sqrt{1{,}061\,(4-1)\,10^{-3}}\,(4 - 2{,}5 - 1)\,10^{-3} > 0{,}5\,(0{,}052 - 0{,}0226)\,2{,}5\cdot 10^{-3};$$

$$62{,}44\cdot 10^{-6} \text{ м}^2 > 36{,}75\cdot 10^{-6} \text{ м}^2,$$

т.е. условие выполняется.

18.3.3. Для цилиндрической обечайки корпуса горизонтального кожухотрубчатого теплообменника (см. рис. 18.9), работающего под внутренним давлением, рассчитать укрепление отверстия штуцера торообразной вставкой.

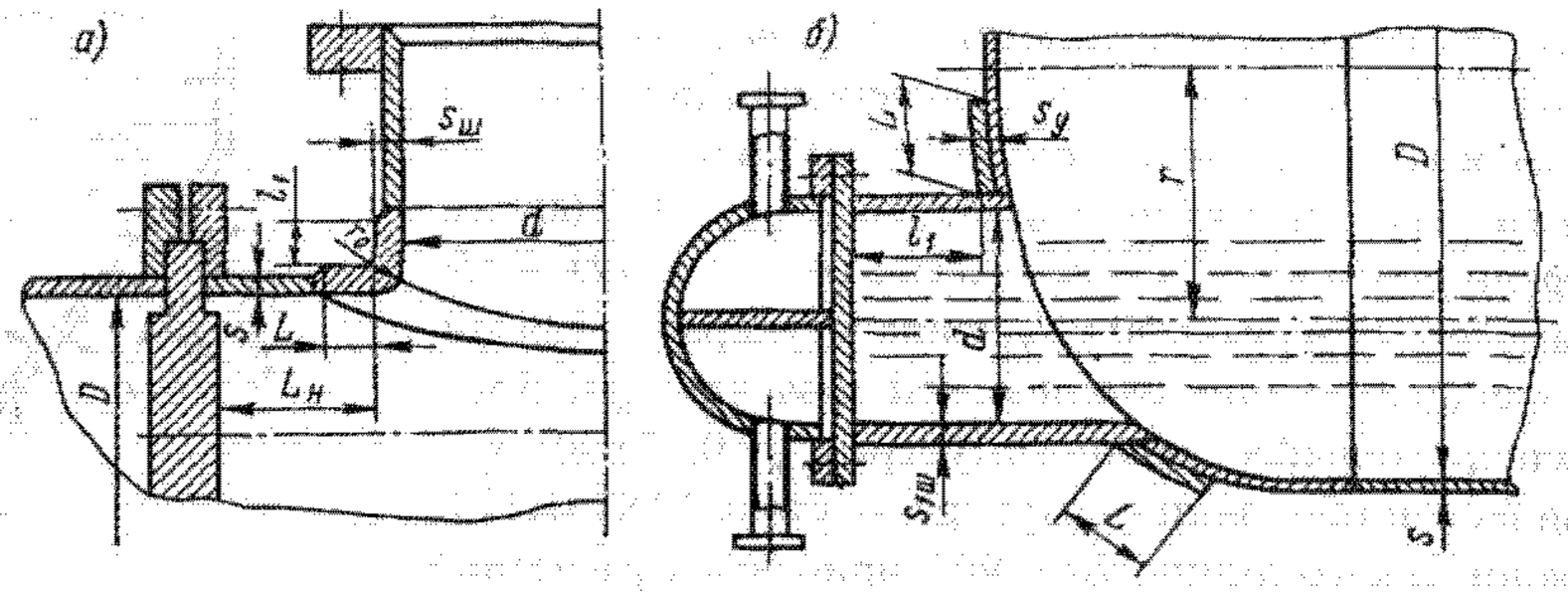


Рис. 18.9. Укрепление отверстия штуцера: *а* — торообразной вставкой на кожухе теплообменника; *б* — накладным кольцом на эллиптическом днище горизонтального аппарата

Исходные данные. Наружная поверхность штуцера отстоит от трубной решетки на расстоянии $L_н = 90$ мм (рис. 18.9, *а*), внутренний диаметр аппарата $D = 1{,}2$ м, диаметр штуцера $d = 0{,}35$ м, длина штуцера $l_1 = 0{,}2$ м, исполнительная ширина торообразной вставки $L = 50$ мм, расчетная и исполнительная толщина стенки обечайки корпуса $s_р = 8{,}5$ мм, $s = 12$ мм, расчетная и исполнительная толщина стенки штуцера $s_{ш.р} = 2{,}5$ мм, $s_ш = 16$ мм, материал корпуса и штуцера — сталь Ст3сп, прибавка к расчетной толщине стенки $c = c_ш = 1$ мм, внутренний радиус торообразной вставки $r_о = 24$ мм.

Решение. Расчетная длина образующей обечайки в зоне укрепления ($s_у = 0$)

$$L_о = \sqrt{D_р (s - c)} = \sqrt{1{,}2\,(12 - 1)\,10^{-3}} = 114{,}9 \cdot 10^{-3}\ \text{м} = 114{,}9\ \text{мм},$$

где $D_р = D = 1{,}2$ м.

Так как $L_н < L_о$, штуцер считается близко расположенным к трубной решетке.

Расчетный диаметр отверстия штуцера

$$d_р = d + 1{,}5\,(r_о - s_р) + 2c_ш = 0{,}35 + 1{,}5\,(24 - 8{,}5)\,10^{-3} + 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0{,}375\ \text{м}.$$

Расчетная длина штуцера

$$l_{1р} = \min\left\{l_1;\ 1{,}25\sqrt{(d + 2c_ш)\,(s_ш - c_ш)}\right\} =$$
$$= \min\left\{0{,}2;\ 1{,}25\sqrt{(0{,}35 + 2 \cdot 1 \cdot 10^{-3})\,(16 - 1)\,10^{-3}}\right\} =$$
$$= \min\{0{,}2;\ 0{,}0908\} = 90{,}8 \cdot 10^{-3}\ \text{м}.$$

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления, при отсутствии избыточной толщины стенки обечайки

$$d_{о.р} = 0{,}4\sqrt{D_р (s - c)} = 0{,}4\sqrt{1{,}2\,(12 - 1)\,10^{-3}} = 0{,}046\ \text{м} = 46\ \text{мм}.$$

Условие укрепления отверстия выполняется ($\varkappa_1 = [\sigma]_ш/[\sigma] = 1$):

$$(l_{1р} + s_ш - s_р - c_ш)(s_ш - s_{ш.р} - c_ш) + L(s_ш - s_р - c_ш) +$$
$$+ (L_н - L)(s - s_р - c) > 0{,}5\,(d_р - d_{ор})\,s_р;$$
$$(90{,}8 + 16 - 8{,}5 - 1)\,10^{-3}\,(16 - 2{,}5 - 1)\,10^{-3} + 50 \cdot 10^{-3}\,(16 - 8{,}5 - 1)\,10^{-3} +$$
$$+ (90 - 50)\,10^{-3}\,(12 - 8{,}5 - 1)\,10^{-3} > 0{,}5\,(0{,}375 - 0{,}046)\,8{,}5 \cdot 10^{-3};$$
$$1641{,}25 \cdot 10^{-6}\ \text{м}^2 > 1398{,}25 \cdot 10^{-6}\ \text{м}^2.$$

18.3.4. Для цилиндрической обечайки кожухотрубчатого конденсатора, работающего под вакуумом, рассчитать укрепление отверстия внешней отбортовкой стенки аппарата (см. рис. 18.10, *б*).

Исходные данные. Внутренний диаметр аппарата $D = 1$ м, внутренний диаметр штуцера $d = 0{,}3$ м, длина штуцера $l_1 = 0{,}2$ м, длина цилиндрической части аппарата $L = 4$ м, внутренний радиус отбортовки $r_o = 10$ мм, материал корпуса и штуцера — сталь Ст3сп5, расчетная и исполнительная толщина обечайки $s_p = 6{,}3$ мм, $s = 12$ мм, расчетная и исполнительная толщина штуцера $s_{ш.р} = 0{,}92$ мм, $s_ш = 10$ мм, прибавки к расчетной толщине стенки $c = c_ш = 1{,}5$ мм.

Решение. Расчетный диаметр отверстия штуцера

$$d_p = d + 1{,}5\,(r_o - s_p) + 2c_ш = 0{,}3 + 1{,}5\,(10 - 6{,}3)\,10^{-3} + 2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-3} = \\ = 0{,}309 \text{ м} = 309 \text{ мм}.$$

Наибольший диаметр отверстия штуцера, не требующего дополнительного укрепления,

$$d_o = 2\left\{[(s - c)/s_p - 0{,}8]\sqrt{D_p\,(s - c)} - c_ш\right\} = \\ = 2\left\{[(12 - 1{,}5)\,10^{-3}/(6{,}3 \cdot 10^{-3}) - 0{,}8]\sqrt{1\,(12 - 1{,}5)\,10^{-3}} - 1{,}5 \cdot 10^{-3}\right\} = 0{,}175 \text{ м},$$

где $D_p = D = 1$ м.

Так как $d_p > d_o$, укрепление отверстия диаметром $d = 0{,}3$ м необходимо.

Расчетный диаметр отверстия, не требующего укрепления, при отсутствии избыточной толщины стенки обечайки

$$d_{op} = 0{,}4\sqrt{D_p\,(s - c)} = 0{,}4\sqrt{1\,(12 - 1{,}5)\,10^{-3}} = 0{,}041 \text{ м}.$$

Расчетная длина штуцера

$$l_{1p} = \min\left\{l_1;\ 1{,}25\sqrt{(d + 2c_ш)\,(s_ш - c_ш)}\right\} = \\ = \min\left\{0{,}2;\ 1{,}25\sqrt{(300 + 2 \cdot 1{,}5)\,10^{-3}\,(10 - 1{,}5)\,10^{-3}}\right\} = \\ = \min\{0{,}2;\ 0{,}0634\} = 63{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Условие укрепления отверстия отбортовкой выполняется ($\varkappa_1 = 1$):

$$(l_{1p} + s - s_p - c)\,(s_ш - s_{ш.р} - c_ш) + \sqrt{D_p\,(s - c)}\,(s - s_p - c) > 0{,}5\,(d_p - d_{op})\,s_p;$$
$$(63{,}4 + 10 - 6{,}3 - 1{,}5)\,10^{-3}\,(10 - 0{,}92 - 1{,}5)\,10^{-3} + \\ + \sqrt{1\,(12 - 1{,}5)\,10^{-3}}\,(12 - 6{,}3 - 1{,}5)\,10^{-3} > 0{,}5\,(0{,}309 - 0{,}041)\,6{,}3 \cdot 10^{-3};$$
$$943 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 > 844 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

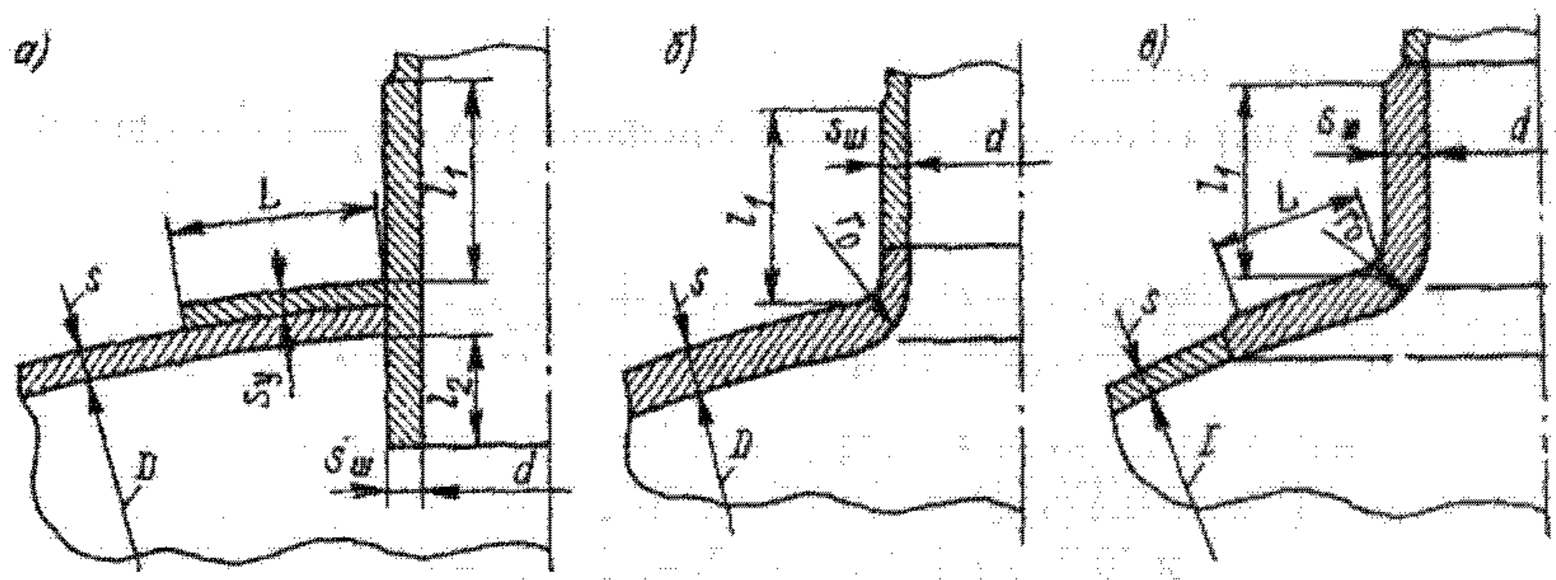


Рис. 18.10. Конструкции укрепления отверстий накладным кольцом и утолщением стенки штуцера (*а*), отбортовкой (*б*) и торообразной вставкой (*в*)

18.3.5. Определить допускаемое внутреннее избыточное давление для узла сопряжения штуцера и эллиптического днища (см. рис. 18.9, *б*) горизонтального цельносварного аппарата, снабженного трубным пучком.

Исходные данные. Внутренний диаметр аппарата $D = 2800$ мм, диаметр штуцера $d = 400$ мм, длина штуцера $l_1 = 200$ мм, расчетная и исполнительная толщина стенки днища аппарата $s_p = 7$ мм, $s = 10$ мм, расчетная и исполнительная толщина стенки штуцера $s_{ш.р} = 1{,}6$ мм, $s_ш = 6$ мм, расчетная и исполнительная толщина

накладного кольца $s_у = s_{у.р} = 6$ мм, материал аппарата штуцера и накладного кольца — сталь Ст3сп, допускаемые напряжения в рабочем состоянии $[\sigma] = 120{,}6$ МПа, расстояние от центра укрепляемого отверстия до оси эллиптического днища $r = 900$ мм, расстояние до ближайшего отверстия $\Delta = 1{,}4$ м, прибавка к расчетной толщине стенки $c = c_ш = 1{,}5$ мм, коэффициент прочности сварных швов $\varphi = 1$. Штуцера расположены на равном расстоянии от оси днища.

Р е ш е н и е. Расчетный диаметр укрепляемого днища для места расположения штуцера

$$D_р = 2D\sqrt{1 - 3\,(r/D)^2} = 2 \cdot 2{,}8\sqrt{1 - 3\,(0{,}9/2{,}8)^2} = 4{,}65 \text{ м}.$$

Расчетный диаметр отверстия смещенного штуцера

$$d_р = (d + 2c_ш)/\sqrt{1 - (2r/D_р)^2} = (0{,}4 + 2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-3})/\sqrt{1 - (2 \cdot 0{,}9/4{,}65)^2} = 0{,}437 \text{ м}.$$

Расчетный диаметр отверстия при отсутствии избыточной толщины стенки днища

$$d_{0р} = 0{,}4\sqrt{D_р\,(s - c)} = 0{,}4\sqrt{4{,}65\,(10 - 1{,}5)\ 10^{-3}} = 0{,}079 \text{ м}.$$

Ширина зоны укрепления в окрестностях штуцеров

$$L_0 = \sqrt{D_р\,(s_{у.р} + s - c)} = \sqrt{4{,}65\,(6 + 10 - 1{,}5)\ 10^{-3}} = 0{,}26 \text{ м}.$$

Так как $\Delta = 1{,}4$ м $> 2L_0 = 2 \cdot 0{,}26 = 0{,}52$ м, отверстие штуцера можно считать одиночным.
Расчетная длина внешней части штуцера (внутренняя отсутствует)

$$l_{1р} = \min\{l_1;\ 1{,}25\sqrt{(d + 2c_ш)\ (s_ш - c_ш)}\} =$$

$$= \min\{0{,}2;\ 1{,}25\sqrt{(0{,}4 + 2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-3})\ (6 - 1{,}5)\ 10^{-3}}\} =$$

$$= \min\{0{,}2;\ 0{,}0532\} = 53{,}2 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Допускаемое внутреннее давление для узла сопряжения штуцера и днища

$$[p]_ш = [2k_1\varphi\,[\sigma]\,(s - c)/(D_р + s - c)]\,\nu,$$

где $k_1 = 2$ — для эллиптического днища.

Так как материал днища, штуцера и накладного кольца одинаков, то $x_1 = x_2 = 1$ и тогда при $l_2 = 0$

$$\nu = \min\left\{1;\ \frac{L_0\,(s_{у.р} + s - c) + (l_{1р} + s_{у.р} + s - s_р - c)\,(s_ш - c_ш)}{[L_0 + 0{,}5(d_р - d_{0р}) + k_1\,(l_{1р} + s_{у.р} + s - s_р - c)\,(d + 2c_ш)/D_р]\,(s - c)}\right\} =$$

$$= \min\left\{1;\ \frac{0{,}26\,(6 + 10 - 1{,}5)\ 10^{-3} + (53{,}2 + 6 + 10 - 7 - 1{,}5)\ 10^{-3}\,(6 - 1{,}5)\ 10^{-3}}{[0{,}26 + 0{,}5\,(0{,}437 - 0{,}079) + 2\,(53{,}2 + 6 + 10 - 7 - 1{,}5) \times \atop \times 10^{-3}\,(0{,}4 + 2 \cdot 1{,}5 \cdot 10^{-3})/4{,}65]\,(10 - 1{,}5)\ 10^{-3}}\right\} =$$

$$= \min\{1;\ 1{,}06\} = 1;$$

$$[p]_ш = [2 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 120{,}6\,(10 - 1{,}5)\ 10^{-3}/(4{,}65 + 10 \cdot 10^{-3} - 1{,}5 \cdot 10^{-3})]\ 1 = 0{,}88 \text{ МПа}.$$

Для обеспечения прочности необходимо, чтобы в рабочем состоянии выполнялось условие $p_р \le [p]_ш$.

ГЛАВА 19

ФЛАНЦЕВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

19.1. Конструкции

В технологических аппаратах для разъемного соединения составных корпусов и отдельных частей применяются фланцевые соединения преимущественно круглой формы. На фланцах присоединяются к аппаратам трубы, арматура и т.д. Фланцевые соединения должны быть прочными, жесткими, герметичными и доступными для сборки, разборки и осмотра. Фланцевые соединения стандартизированы для труб и трубной арматуры и отдельно для аппаратов.

Конструкции стандартных стальных *фланцев для трубной арматуры и труб* показаны на рис. 19.1 и 19.2.

В табл. 19.1 приведены типы и параметры стандартных фланцев для труб, трубной арматуры и корпусов аппаратов, в табл. 19.2—19.4 — основные геометрические размеры стандартных фланцев для труб и трубной арматуры. Соединения со свободными фланцами целесообразно применять для труб, работающих при высоких температурах, и при требовании независимой координации соединяемых частей по отверстиям для болтов и шпилек.

Рекомендуемые материалы для деталей стандартных фланцевых соединений трубопроводной арматуры и труб в зависимости от рабочих условий приведены в табл. 19.5.

Конструкции стандартных стальных *фланцев для аппаратов* показаны на рис. 19.3—19.5, пределы их применения в зависимости от расчетной температуры и материала приведены в табл. 19.6, их основные геометрические размеры — в табл. 19.7—19.10. Рекомендуемые материалы для крепежных деталей стандартных фланцевых соединений аппаратов даны в табл. 19.11.

Конструкция фланцевого соединения принимается в зависимости от рабочих параметров аппарата: плоские приварные фланцы — при $p \le 2{,}5$ МПа, $t \le 300$°С и числе циклов нагружения за время экс-

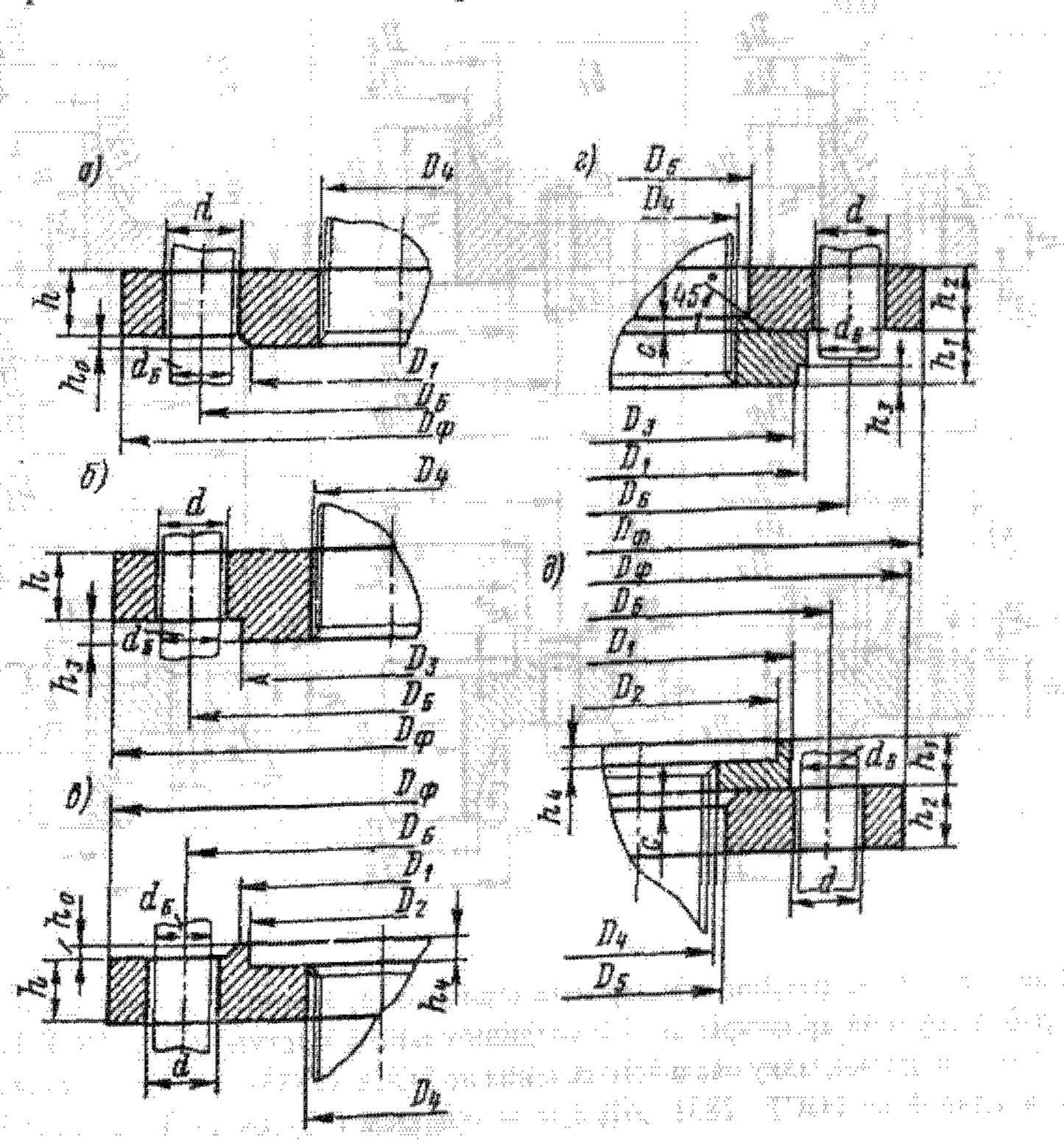


Рис. 19.1. Конструкции стандартных стальных плоских приварных и свободных фланцев для труб и трубной арматуры: *а* — с свободных фланцев для труб и трубной арматуры по ГОСТ 12820—80; *б*, *в* — с выступом и соединительным выступом по ГОСТ 12820—80; *г*, *д* — свободные на приварном кольце впадиной по ГОСТ 12820—80; с выступом и впадиной по ГОСТ 12822—80

плуатации до 2000; приварные встык фланцы — при $p \geq 2{,}5$ МПа, $t > 300$°С и $t \leq -40$°С.

Во фланцевых соединениях при $p \leq 4{,}0$ МПа и $t \leq 300$°С применяются болты, а при $p > 4{,}0$ МПа и $t > 300$°С — шпильки. В соединениях при $p > 6{,}4$ МПа под гайки шпилек устанавливают шайбы по ГОСТ 9065—75 или ОСТ 26-2042—77.

Плоские фланцы исполнения 6—10 (см. рис. 19.3, *е—к*) должны изготовляться с защитой уплотнительной поверхности сталью марок 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т, втулки — из стали марок 12Х18Н10Т или 10Х17Н13М2Т по ГОСТ 5632—72, причем защитный слой или накладка фланца и втулки должны выполняться из стали одной марки. Фланцы исполнения 6—10 применяются при рабочей температуре не более 100°С. При использовании втулки из двухслойной стали фланцы могут применяться до 300°С. Допускается применение фланцев исполнений 6—10 при температуре более 100°С при подтверждении специальным расчетом на прочность, согласованным с головной организацией отрасли.

Материал защитного слоя или защитной накладки фланцев приварных встык — сталь марок 0Х13, 08Х18Н10Т, 12Х18Н10Т, 10Х17Н13М2Т по ГОСТ 5632—72. Допускается применять для облицовки стали других марок исходя из условий эксплуатации с учетом свариваемости, допускаемых температурных пределов и требований ОСТ 26-291—94.

Пределы применения фланцев приварных встык исполнений 5—12 (см. рис. 19.4, *д-м*) и исполнения 2 (см. рис. 19.5, *в, г*) при сварке с обечайкой или днищем из двухслойной стали устанавливаются применительно к материалу основного слоя. При сварке с обечайкой или днищем из сталей аустенитного класса пределы применения устанавливаются специальным расчетом на прочность, согласованным с головной организацией отрасли.

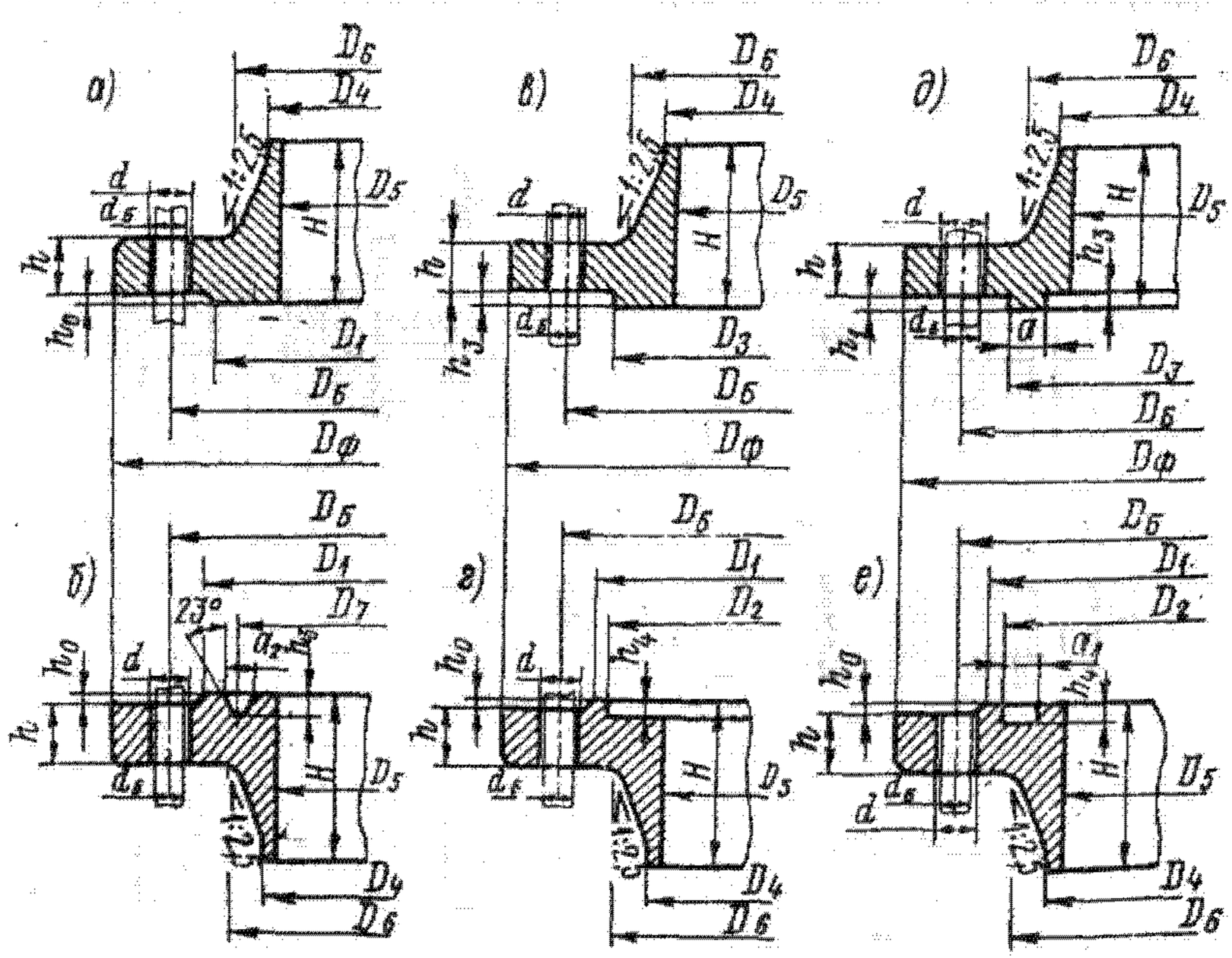


Рис. 19.2. Конструкции стандартных стальных приварных встык фланцев для труб и трубной арматуры: *а* — с соединительным выступом по ГОСТ 12830—67; *б* — под прокладку овального сечения по ГОСТ 12833—67; *в, г* — с выступом и впадиной по ГОСТ 12831—67; *д, е* — с шипом и пазом по ГОСТ 12832—67

Таблица 19.1

Типы и параметры стандартных фланцев для труб, трубной арматуры и аппаратов

Назначение фланцев	Тип фланцев	Стандарт	p_y, МПа	D_y, мм
Для труб и трубной арматуры	Стальные плоские приварные с соединительным выступом (рис. 13.1, *а*)	ГОСТ 12820—80	0,1; 0,25 0,6 1,0; 1,6 2,5	10—1600 10—1000 10—600 10—500
	Стальные плоские приварные с выступом или впадиной (рис. 13.1, *б, в*)	ГОСТ 12820—80	0,1; 0,25; 0,6 1,0; 1,6 2,5	10—800 10—600 10—500
	Стальные свободные на приварном кольце с выступом или впадиной (рис. 13.1, *г, д*)	ГОСТ 12822—80	0,1; 0,25; 0,6; 1,0; 1,6; 2,5	10—500
	Стальные приварные встык с соединительным выступом (рис. 13.2, *а*)	ГОСТ 12830—67	0,1; 0,25 0,6 1,0; 1,6 2,5 4,0 6,4; 10,0 16,0 20,0	10—1600 10—1400 10—1200 10—800 10—500 10—400 15— 300 15—250
	Стальные приварные встык с выступом или впадиной (рис. 13.2, *в, г*)	ГОСТ 12831—67	0,1; 0,25; 0,6 1,0; 1,6; 2,5 4,0 6,4; 10,0 16,0 20,0	10—800 10—800 10—500 10—400 15—300 15—250
	Стальные приварные встык с шипом или пазом (рис. 13.2, *д, е*)	ГОСТ 12832—67	0,1; 0,25; 0,6 1,0; 1,6; 2,5 4,0 6,4; 10,0	10—800 10—800 10—500 10—400
	Стальные приварные встык под прокладку овального сечения (рис. 13.2, *б*)	ГОСТ 12821—80	6,4; 10,0 16,0 20,0	10—400 15—300 15—200
Для аппаратов	Стальные плоские приварные с гладкой уплотнительной поверхностью (соединительным выступом — рис. 13.3, *а, е, л*), с шипом и пазом (рис. 13.3, *б, в, ж, з, м, н*), с выступом и впадиной (рис. 13.3, *г, д, и, к, о, п*)	ГОСТ 28759.2—90	0,3 0,6; 1,0 1,6	600—4000 400—3200 400—2400
	Стальные приварные встык с впадиной и выступом (рис. 13.4, *а, б, д, е, и, к*), с пазом и шипом (рис. 13.4, *в, г, ж, з, л, м*)	ГОСТ 28759.3—90	0,6 1,0 1,6 2,5 4,0; 6,4	3400—4000 400—4000 400—3200 400—2000 400—1600
	Стальные приварные встык под металлическую прокладку восьмиугольного сечения (рис. 13,5)	ГОСТ 28759.8—90	6,4; 8,0; 10,0; 16,0	400—1600

Таблица 19.2

Фланцы для труб и трубной арматуры стальные плоские приварные с соединительным выступом (рис. 19.1, *а*), с выступом или впадиной (рис. 19.1, *б*, *в*) и свободные на приварном кольце с выступом или впадиной (рис. 19.1, *г*, *д*)

P_y, МПа	Размеры, мм											Число отверстий *z*
	D_y	$D_ф$	$D_б$	D_1	D_2	D_4	D_5	h	h_1	h_2	d	
≤ 0,25	10	75	50	35	30	15	16	8	8	10	12	4
	15	80	55	40	34	19	20	8	8	10	12	4
	20	90	65	50	44	26	27	10	10	10	12	4
	25	100	75	60	52	33	34	10	10	12	12	4
	32	120	90	70	60	39	41	10	10	12	14	4
	40	130	100	80	70	46	48	10	10	12	14	4
	50	140	110	90	81	59	61	10	12	12	14	4
	65	160	130	110	101	78	80	11	14	14	14	4
	80	185	150	128	116	91	93	11	14	14	18	4
	100	205	170	148	138	110	112	11	14	14	18	4
	125	235	200	178	167	135	138	11	14	14	18	8
	150	260	225	202	192	161	164	13	16	16	18	8
	200	315	280	258	250	222	225	15	18	18	18	8
	250	370	335	312	304	273	279	18	18	20	18	12
	300	435	395	365	357	325	331	18	20	24	23	12
	350	485	445	415	407	377	383	18	20	28	23	12
	400	535	495	465	457	426	433	18	24	32	23	16
	500	640	600	570	562	530	537	20	26	38	23	16
	600	755	705	670	662	630	—	20	—	—	27	20
	800	975	920	880	868	820	—	21	—	—	30	24
	1000	1175	1120	1080	—	1020	—	25	—	—	30	28
	1200	1375	1320	1280	—	1220	—	25	—	—	30	32
	1400	1575	1520	1480	—	1420	—	27	—	—	30	36
	1600	1785	1730	1690	—	1620	—	27	—	—	30	40
0,6	10	75	50	35	30	15	16	10	8	10	12	4
	15	80	55	40	34	19	20	10	8	10	12	4
	20	90	65	50	44	26	27	12	10	10	12	4
	25	100	75	60	52	33	34	12	10	12	12	4
	32	120	90	70	60	39	41	13	10	12	14	4
	40	130	100	80	70	46	48	13	10	12	14	4
	50	140	110	90	81	59	61	13	12	12	14	4
	65	160	130	110	101	78	80	13	14	14	14	4
	80	185	150	128	116	91	93	15	14	14	18	4
	100	205	170	148	138	110	112	15	14	14	18	4
	125	235	200	178	167	135	138	17	14	14	18	8
	150	260	225	202	192	161	164	17	16	16	18	8
	200	315	280	258	250	222	225	19	18	18	18	8
	250	370	335	312	304	273	279	20	18	20	18	12
	300	435	395	365	357	325	331	20	20	24	23	12
	350	485	445	415	407	377	383	22	20	28	23	12
	400	535	495	465	457	426	433	24	24	32	23	16
	500	640	600	570	562	530	537	25	26	38	23	16
	600	755	705	670	662	630	—	25	—	—	27	20
	800	975	920	880	868	820	—	27	—	—	30	24
	1000	1175	1120	1080	—	—	—	31	—	—	30	28
1,0	10	90	60	40	35	15	16	10	10	12	14	4
	15	95	65	45	40	19	20	10	10	12	14	4
	20	105	75	58	51	26	27	12	12	14	14	4
	25	115	85	68	58	33	34	12	12	14	14	4
	32	135	100	78	66	39	41	14	12	16	18	4
	40	145	110	88	76	46	48	15	12	18	18	4
	50	160	125	102	88	59	61	15	14	18	18	4
	65	180	145	122	110	78	80	17	16	20	18	4

Продолжение табл.19.2

p_y, МПа	Размеры, мм											Число отверстий z
	D_y	$D_ф$	$D_б$	D_1	D_2	D_4	D_5	h	h_1	h_2	d	
1,0	80	195	160	138	121	91	93	17	16	22	18	4
	100	215	180	158	150	110	112	19	16	24	18	8
	125	245	210	188	176	135	138	21	18	26	18	8
	150	280	240	212	204	161	164	21	18	26	23	8
	200	335	295	268	260	222	225	21	20	26	23	8.
	250	390	350	320	313	273	279	23	22	28	23	12
	300	440	400	370	364	325	331	24	22	30	23	12
	350	500	460	430	422	377	383	24	24	32	23	16
	400	565	515	482	474	426	433	26	26	31	27	16
	500	670	620	585	576	530	537	28	28	38	27	20
	600	780	725	685	678	630	—	31	—	—	30	20
1,6	10	90	60	40	35	15	16	12	12	14	14	4
	15	95	65	45	40	19	20	12	12	14	14	4
	20	105	75	58	51	26	27	14	14	16	14	4
	25	115	85	68	58	33	34	16	14	16	14	4
	32	135	100	78	66	39	41	16	16	18	18	4
	40	145	110	88	76	46	48	17	16	20	18	4
	50	160	125	102	88	59	61	19	16	20	18	4
	65	180	145	122	110	78	80	21	18	22	18	4
	80	195	160	138	121	91	93	21	18	24	18	4
	100	215	180	158	150	110	112	23	20	26	18	8
	125	245	210	188	176	135	138	25	20	28	18	8
	150	280	240	212	204	161	164	25	22	28	23	8
	200	335	295	268	260	222	225	27	22	28	23	12
	250	405	355	320	313	273	279	28	24	30	27	12
	300	460	410	378	364	325	331	28	24	32	27	12
	350	520	470	438	422	377	383	30	26	34	27	16
	400	580	525	490	474	426	433	34	28	36	20	16
	500	710	650	610	576	530	537	44	30	42	33	20
	600	840	770	720	678	630	—	45	—	—	40	20
2,5	10	90	60	40	35	15	16	14	14	16	14	4
	15	95	65	45	40	19	20	14	14	16	14	4
	20	105	75	58	51	26	27	16	16	18	14	4
	25	115	85	68	58	33	34	16	16	18	14	4
	32	135	100	78	66	39	41	16	16	18	18	4
	40	145	110	88	76	46	48	17	16	20	18	4
	50	160	125	102	88	59	61	19	16	20	18	4
	65	180	145	122	110	78	80	21	18	22	18	4
	80	195	160	138	121	91	93	21	18	24	18	4
	100	230	190	162	150	110	112	23	20	26	18	8
	125	270	220	188	176	135	138	25	20	28	18	8
	150	300	250	218	204	161	164	25	22	28	23	8
	200	360	310	278	260	222	225	27	22	28	23	12
	250	425	370	335	313	273	279	28	24	30	27	12
	300	485	430	390	364	325	331	28	24	32	27	12
								30	26	34	27	16
								32	26	34	30	16
								32	26	36	30	20
								34	28	38	33	20
								36	30	42	36	20

Продолжение табл. 19.2

p_y, МПа	Размеры, мм											Число отверстий z
	D_y	$D_ф$	$D_Б$	D_1	D_2	D_4	D_5	h	h_1	h_2	d	
2,5	350	550	490	450	422	377	383	38	28	38	33	16
	400	610	550	505	474	426	433	40	30	42	33	16
	500	730	660	615	576	530	537	48	32	50	40	20

Примечания. 1. Для всех фланцев $D_3 = D_2 - 1$ мм. 2. Для всех фланцев значения h_0, h_3 и h_4 в зависимости от D_y:

D_y, мм	≤ 32	40—250	300—500	≥ 600
h_0, мм	2	3	4	5
h_3, мм	4	4	5	6
h_4, мм	3	3	4	5

3. Для свободных фланцев на все p_y значение c в зависимости от D_y:

D_y, мм	≤ 20	25—50	65—150	200	250—300	350—500
c, мм	4	5	6	8	11	12

4. Диаметр резьбы болтов (шпилек) $d_Б$ для всех фланцев при соответствующих d:

d, мм	12	14	18	23	27	30	33	40
$d_Б$, мм	М 10	М 12	М 16	М 20	М 24	М 27	М 30	М 36

Примеры условного обозначения: стальной плоский приварной фланец с соединительным выступом с $D_y = 50$ мм на $p_y = 1{,}0$ МПа:

Фланец 50-10 ГОСТ 12820—80;

стальной плоский приварной фланец с выступом с $D_y = 100$ мм на Ру = 1,6 МПа:

Фланец I-100-16 ГОСТ 12820—80;

то же с впадиной:

Фланец II-100-16 ГОСТ 12820—80;

стальной свободный фланец на приварном кольце с выступом с $D_y = 300$ мм на $p_y = 0{,}6$ МПа:

Фланец I-300-6 ГОСТ 12822—80;

то же с впадиной:

Фланец II-300-6 ГОСТ 12822—80.

Таблица 19.3

Фланцы для труб и трубной арматуры стальные приварные встык с соединительным выступом (рис.19.2, *а*), с выступом или впадиной (рис. 19.2, *в*, *г*), с шипом или пазом (рис.19.2, *д*, *е*)

p_y, МПа	Размеры, мм											Число отверстий *z*
	D_y	$D_ф$	$D_б$	D_1	D_2	D_4	D_5	D_6	H	h	d	
≤ 0,25	10	75	50	35	30	15	8	22	25	8	12	4
	15	80	55	40	34	19	12	28	28	8	12	4
	20	90	65	50	44	26	18	36	30	8	12	4
	25	100	75	60	52	33	25	42	30	8	12	4
	32	120	90	70	60	39	31	50	30	8	14	4
	40	130	100	80	70	46	38	60	36	9	14	4
	50	140	110	90	81	58	49	70	36	9	14	4
	65	160	130	110	101	77	66	88	36	9	14	4
	80	185	150	128	116	90	78	102	38	11	18	4
	100	205	170	148	138	110	96	122	40	11	18	4
	125	235	200	178	167	135	121	148	40	11	18	8
	150	260	225	202	192	161	146	172	41	11	18	8
	200	315	280	258	250	222	202	235	48	13	18	8
	250	370	335	312	304	278	254	288	48	16	18	12
	300	435	395	365	357	330	303	340	49	16	23	12
	350	485	445	415	407	382	351	390	49	16	23	12
	400	535	495	465	457	432	398	440	49	16	23	16
	500	640	600	570	562	535	501	545	54	19	23	16
	600	755	705	670	662	636	602	650	60	19	27	20
	800	975	920	880	868	826	792	844	65	19	30	24
	1000	1175	1120	1080	—	1028	992	1044	65	21	30	28
	1200	1375	1320	1280	—	1228	1192	1244	70	23	30	32
	1400	1575	1520	1480	—	1428	1392	1445	70	23	30	36
	1600	1785	1730	1690	—	1628	1592	1646	70	23	30	40
0,6	10	75	50	35	30	15	8	22	25	10	12	4
	15	80	55	40	34	19	12	28	30	10	12	4
	20	90	65	50	44	26	18	36	32	10	12	4
	25	100	75	60	52	33	25	42	32	12	12	4
	32	120	90	70	60	39	31	50	35	12	14	4
	40	130	100	80	70	46	38	60	38	12	14	4
	50	140	110	90	81	58	49	70	38	12	14	4
	65	160	130	110	101	77	66	88	38	12	14	4
	80	185	150	128	116	90	78	102	40	13	18	4
	100	205	170	148	138	110	96	122	41	13	18	4
	125	235	200	178	167	135	121	148	43	15	18	8
	150	260	225	202	192	161	146	172	46	15	18	8
	200	315	280	258	250	222	202	235	53	17	18	8
	250	370	335	312	304	278	254	288	53	18	18	12
	300	435	395	365	357	330	303	340	54	18	23	12
	350	485	445	415	407	382	351	390	54	18	23	12
	400	535	495	465	457	432	398	440	54	18	23	16
	500	640	600	570	562	535	501	545	54	19	23	16
	600	755	705	670	662	636	602	650	60	19	27	20
	800	975	920	880	868	826	792	844	65	19	30	24
	1000	1175	1120	1080	—	1028	992	1044	65	21	30	28
	1200	1400	1340	1295	—	1228	1192	1248	75	23	33	32
	1400	1620	1560	1510	—	1428	1392	1456	90	27	33	36

Продолжение табл. 19.3

P_y, МПа	Размеры, мм											Число отверстий
	D_y	$D_ф$	$D_Б$	D_1	D_2	D_4	D_5	D_6	H	h	d	
1,0	10	90	60	40	35	15	8	25	35	10	14	4
	15	95	65	45	40	19	12	30	35	10	14	4
	20	105	75	58	51	26	18	38	38	12	14	4
	25	115	85	68	58	33	25	45	40	12	14	4
	32	135	100	78	66	39	31	55	42	13	18	4
	40	145	110	88	76	46	38	62	45	13	18	4
	50	160	125	102	88	58	49	76	45	13	18	4
	65	180	145	122	110	77	66	94	48	15	18	4
	80	195	160	138	121	90	78	105	50	15	18	4
	100	215	180	158	150	110	96	128	51	17	18	8
	125	245	210	188	176	135	121	156	60	19	18	8
	150	280	240	212	204	161	146	180	60	19	23	8
	200	335	295	268	260	222	202	240	61	19	23	8
	250	390	350	320	313	278	254	290	63	21	23	12
	300	440	400	370	364	330	303	345	64	22	23	12
	350	500	460	430	422	382	351	400	64	22	23	16
	400	565	515	482	474	432	398	445	64	22	27	16
	500	670	620	585	576	535	501	550	69	24	27	20
	600	780	725	685	678	636	602	650	70	24	30	20
	800	1010	950	905	878	826	792	850	80	27	33	24
	1000	1220	1160	1110	—	1028	992	1050	85	29	33	28
	1200	1455	1380	1325	—	1228	1192	1256	95	33	40	32
1,6	10	90	60	40	35	15	8	26	35	12	14	4
	15	95	65	45	40	19	12	30	35	12	14	4
	20	105	75	58	51	26	18	38	38	12	14	4
	25	115	85	68	58	33	25	45	40	12	14	4
	32	135	100	78	66	39	31	55	42	13	18	4
	40	145	110	88	76	46	38	64	45	13	18	4
	50	160	125	102	88	58	49	76	48	13	18	4
	65	180	145	122	110	77	66	94	50	15	18	4
	80	195	160	138	121	90	78	110	53	17	18	4
	100	215	180	158	150	110	96	130	53	17	18	8
	125	245	210	188	176	135	121	156	60	19	18	8
	150	280	240	212	204	161	146	180	60	19	23	8
	200	335	295	268	260	222	202	240	61	21	23	12
	250	405	355	320	313	278	254	292	68	23	27	12
	300	460	410	378	364	330	303	346	70	24	27	12
	350	520	470	438	422	382	351	400	74	28	27	16
	400	580	525	490	474	432	398	450	79	32	30	16
	500	710	650	610	576	535	501	559	94	38	33	20
	600	840	770	720	678	636	602	660	95	41	40	20
	800	1020	950	900	878	826	792	850	100	45	40	24
	1000	1255	1170	1110	—	1028	992	1060	115	49	46	28
	1200	1485	1390	1325	—	1228	1192	1268	130	51	52	32

Продолжение табл.19.3

p_y, МПа	Размеры, мм											Число отверстий z
	D_y	$D_ф$	$D_Б$	D_1	D_2	D_4	D_5	D_6	H	h	d	
2,5	10	90	60	40	35	15	8	26	35	14	14	4
	15	95	65	45	40	19	12	30	35	14	14	4
	20	105	75	58	51	26	18	38	36	14	14	4
	25	115	85	68	58	33	25	45	38	14	14	4
	32	135	100	78	66	39	31	56	45	16	18	4
	40	145	110	88	76	46	38	64	48	16	18	4
	50	160	125	102	88	58	48	76	48	17	18	4
	65	180	145	122	110	77	66	96	53	19	18	8
	80	195	160	138	121	90	78	112	58	21	18	8
	100	230	190	162	150	110	96	132	61	21	23	8
	125	270	220	188	176	135	121	160	68	23	27	8
	150	300	250	218	204	161	146	186	71	25	27	8
	200	360	310	278	260	222	202	245	78	27	27	12
	250	425	370	335	313	278	254	300	78	29	30	12
	300	485	430	390	364	330	303	352	84	32	30	16
	350	550	490	450	422	382	351	406	89	36	33	16
	400	610	550	505	474	432	398	464	104	40	33	16
	500	730	660	615	576	535	500	570	104	44	40	20
	600	840	770	720	678	636	600	670	120	49	40	20
	800	1075	990	930	878	826	790	874	140	55	46	24
4,0	10	90	60	40	35	15	8	26	35	14	14	4
	15	95	65	45	40	19	12	30	35	14	14	4
	20	105	75	58	51	26	18	38	36	14	14	4
	25	115	85	68	58	33	25	45	38	14	14	4
	32	135	100	78	66	39	31	56	45	16	18	4
	40	145	110	88	76	46	38	64	48	16	18	4
	50	160	125	102	88	58	48	76	48	17	18	4
	65	180	145	122	110	77	66	96	53	19	18	8
	80	195	160	138	121	90	78	112	58	21	18	8
	100	230	190	162	150	110	96	138	68	23	23	8
	125	270	220	188	176	135	120	160	68	25	27	8
	150	300	250	218	204	161	145	186	71	27	27	8
	200	375	320	280	260	222	200	250	88	35	30	12
	250	445	385	345	313	278	252	310	101	39	33	12
	300	510	450	410	364	330	301	368	116	42	33	16
	350	570	510	465	422	382	351	418	120	48	33	16
	400	655	585	535	474	432	398	480	139	54	40	16
	500	755	670	615	576	535	495	580	139	58	46	20
6,4	10	100	70	50	35	15	8	34	48	16	14	4
	15	105	75	55	40	19	12	38	48	16	14	4
	20	125	90	68	51	26	18	48	56	18	18	4
	25	135	100	78	58	33	25	52	58	20	18	4
	32	150	110	85	66	39	31	64	62	21	23	4
	40	165	125	96	76	46	37	74	68	21	23	4
	50	175	135	108	88	58	47	86	70	23	23	4
	65	200	160	132	110	77	64	106	75	25	23	8
	80	210	170	142	121	90	77	120	75	27	23	8
	100	250	200	170	150	110	94	140	80	29	27	8
	25	295	240	205	176	135	118	172	98	33	30	8
	150	340	280	240	204	161	142	206	108	35	33	8
	200	405	345	300	260	222	198	264	113	41	33	12
	250	470	400	355	313	278	246	316	118	45	40	12
	300	530	460	415	364	330	294	370	124	50	40	16
	350	595	525	475	422	382	342	430	144	56	40	16
	400	670	585	525	474	432	386	484	159	62	46	16

Продолжение табл. 19.3

p_y, МПа	Размеры, мм											Число отверстий
	D_y	$D_ф$	$D_Б$	D_1	D_2	D_4	D_5	D_6	H	h	d	
10.0	10	100	70	50	35	15	8	34	45	16	14	4
	15	105	75	55	40	19	12	38	48	18	14	4
	20	125	90	68	51	26	18	48	53	20	18	4
	25	135	100	78	58	33	25	52	58	22	18	4
	32	150	110	85	66	39	31	64	62	22	23	4
	40	165	125	96	76	46	37	76	70	23	23	4
	50	195	145	115	88	58	45	86	71	25	27	4
	65	220	170	140	110	77	62	110	83	29	27	8
	80	230	180	150	121	90	75	124	90	31	27	8
	100	265	210	175	150	110	92	146	100	35	30	8
	125	310	250	210	176	135	112	180	115	39	33	8
	150	350	290	250	204	161	136	214	128	43	33	12
	200	430	360	315	260	222	190	276	143	51	40	12
	250	500	430	380	313	278	236	340	163	57	40	12
	300	585	500	445	364	330	284	400	184	66	46	16
	350	655	560	500	422	382	332	460	199	72	52	16
	400	715	620	560	474	432	376	510	204	76	52	16
16.0	15	105	75	55	40	19	12	38	52	18	14	4
	20	125	90	68	51	26	18	48	58	20	18	4
	25	135	100	78	58	33	25	52	58	22	18	4
	32	150	110	85	66	39	31	64	67	22	23	4
	40	165	125	96	76	46	37	76	75	25	23	4
	50	195	145	115	88	58	45	86	78	27	27	4
	65	220	170	140	110	77	62	110	88	31	27	8
	80	230	180	150	121	90	75	124	93	33	27	8
	100	265	210	175	150	110	92	146	103	37	30	8
	125	310	250	210	176	135	112	180	118	41	33	8
	150	350	290	250	204	161	136	214	133	47	33	12
	200	430	360	315	260	222	190	276	148	57	40	12
	250	500	430	350	313	278	236	340	168	65	40	12
	300	585	500	445	364	330	284	400	189	74	46	16
20.0	15	120	82	55	28	23	14	40	54	24	23	4
	20	130	90	63	35	29	19	46	57	26	23	4
	25	150	102	73	42	36	25	54	62	28	27	4
	32	160	115	86	50	43	31	64	67	30	27	4
	40	170	124	91	56	49	36	74	75	31	27	4
	50	210	160	129	70	61	46	105	98	37	27	8
	65	260	203	167	97	90	68	138	121	45	30	8

Продолжение табл. 19.3

p_y, МПа	Размеры, мм											Число отверстий z
	D_y	$D_ф$	$D_б$	D_1	D_2	D_4	D_5	D_6	H	h	d	
20,0	80	290	230	190	116	110	80	162	135	51	33	8
	100	360	292	245	138	135	102	208	178	63	40	8
	125	385	318	271	170	170	130	234	178	73	40	12
	150	440	360	306	190	196	150	266	193	79	46	12
	200	535	440	380	245	248	192	340	233	89	52	12
	250	670	572	508	319	330	254	460	303	107	58	16

Примечания: 1. Для всех фланцев $D_3 = D_2 - 1$ мм. 2. Для всех фланцев значения h_0, h_3 и h_4 в зависимости от D_y:

D_y, мм	≤ 32	40—250	300—500	≥ 600
h_0, мм	2	3	4	5
h_3, мм	4	4	5	6
h_4, мм	3	3	4	5

3. Для фланцев с пазом значение a_1 в зависимости от p_y для соответствующих D_y:

p_y, МПа	a_1 для D_y, мм					
	10; 15	20; 25; 32	40—80	100—300	300—500	≥ 600
≤ 0,6	6	6	8	11	11	14
≥ 1,0	6	8	8	11	14	14

4. Для всех фланцев с шипом $a = a_1 - 1$ мм. 5. Диаметр резьбы болтов (шпилек) $d_б$ для всех фланцев при соответствующих d:

d, мм	12	14	18	23	27	30	33	40	46	52
$d_б$, мм	М 10	М 12	М 16	М 20	М 24	М 27	М 30	М 36	М 42	М 48

6. Размер h_1 на рис. 13.2, *д* определяется в зависимости от D_y:

D_y, мм	≤ 250	300—500	600—800
h_1, мм	4	5	6

Примеры условного обозначения: стальной плоский приварной фланец с соединительным выступом с $D_y = 50$ мм на $p_y = 1,0$ МПа:

Фланец 50-10 ГОСТ 1830—67;

стальной приварной встык фланец с выступом с $D_y = 100$ мм на ру = 2,5 МПа:

Фланец I-100-25 ГОСТ 12831—67;

то же с впадиной:

Фланец II-100-25 ГОСТ 12831—67;

стальной приварной встык фланец с шипом с $D_y = 300$ мм на $p_y = 4,0$ МПа:

Фланец (I)-300-40 ГОСТ 12832—67;

то же с пазом:

Фланец (II)-300-40 ГОСТ 12832—67.

Таблица 19.4

Фланцы стальные приварные встык под прокладку овального сечения (рис.19.2, *б*)

p_y, МПа	Размеры, мм													Число отверстий z
	D_y	$D_ф$	$D_б$	D_1	D_4	D_5	D_6	D_7	H	h	h_3	a_2	d	
6,4	10	100	70	50	15	8	34	35	48	16	6,5	9	14	4
	15	105	75	55	19	12	38	35	48	16	6,5	9	14	4
	20	125	90	68	26	18	48	45	56	18	6,5	9	18	4
	25	135	100	78	33	25	52	50	58	20	6,5	9	18	4
	32	150	110	85	39	31	64	65	62	21	6,5	9	23	4
	40	165	125	96	46	37	74	75	68	21	6,5	9	23	4
	50	175	135	108	58	47	86	85	70	23	8	12	23	4
	65	200	160	132	77	64	106	110	75	25	8	12	23	8
	80	210	170	142	90	77	120	115	75	27	8	12	23	8
	100	250	200	170	110	94	140	145	80	29	8	12	27	8
	125	295	240	205	135	118	172	175	98	33	8	12	30	8
	150	340	280	240	161	142	206	205	108	35	8	12	33	8
	200	405	345	300	222	198	264	265	113	41	8	12	33	12
	250	470	400	355	278	246	316	320	118	45	8	12	40	12
	300	530	460	415	330	294	370	375	124	50	8	12	40	16
	350	595	525	475	382	342	430	420	144	56	8	12	40	16
	400	670	585	525	432	386	484	480	159	62	8	12	46	16
10,0	10	100	70	50	15	8	34	35	45	16	6,5	9	14	4
	15	105	75	55	19	12	38	35	48	18	6,5	9	14	4
	20	125	90	68	26	18	48	45	53	20	6,5	9	18	4
	25	135	100	78	33	25	52	50	58	22	6,5	9	18	4
	32	150	110	85	39	31	64	65	62	22	6,5	9	23	4
	40	165	125	96	46	37	76	75	70	23	6,5	9	23	4
	50	195	145	115	58	45	86	85	71	25	8	12	27	4
	65	220	170	140	77	62	110	110	83	29	8	12	27	8
	80	230	180	150	90	75	124	115	90	31	8	12	27	8
	100	265	210	175	110	92	146	145	100	35	8	12	30	8
	125	310	250	210	135	112	180	175	115	39	8	12	33	8
	150	350	290	250	161	136	214	205	128	43	8	12	33	12
	200	430	360	315	222	190	276	265	143	51	8	12	40	12
	250	500	430	380	278	236	340	320	163	57	8	12	40	12
	300	585	500	415	330	284	400	375	184	66	8	12	46	16
	350	655	560	500	382	332	460	420	199	72	11	17	52	16
	400	715	620	560	432	376	510	480	204	76	11	17	52	16
16,0	15	105	75	55	19	12	38	35	52	18	6,5	9	14	4
	20	125	90	68	26	18	48	45	58	20	6,5	9	18	4
	25	135	100	78	33	25	52	50	58	22	6,5	9	18	4
	32	150	110	85	39	31	64	65	67	22	6,5	9	23	4
	40	165	125	96	46	37	76	75	75	25	6,5	9	23	4
	50	195	145	115	58	45	86	95	78	27	8	12	27	4
	65	220	170	140	77	62	110	110	88	31	8	12	27	8
	80	230	180	150	90	75	124	130	93	33	8	12	27	8
	100	265	210	175	110	92	146	160	103	37	8	12	30	8
	125	310	250	210	135	112	180	190	118	41	8	12	33	8
	150	350	290	250	161	136	214	205	133	47	10	14	33	12
	200	430	360	315	222	190	276	275	148	57	11	17	40	12
	250	500	430	380	278	236	340	330	168	65	11	17	40	12
	300	585	500	445	330	284	400	380	189	74	14	23	46	16

Продолжение табл. 19.4

p_y, МПа	Размеры, мм													Число отверстий z
	D_y	$D_ф$	$D_б$	D_1	D_4	D_5	D_6	D_7	H	h	h_3	a_2	d	
20,0	15	120	82	55	23	14	40	40	54	24	6,5	9	23	4
	20	130	90	63	29	19	46	45	57	26	6,5	9	23	4
	25	150	102	73	36	25	54	50	62	28	6,5	9	27	4
	32	160	115	86	43	31	64	65	67	30	6,5	9	27	4
	40	170	124	91	49	36	74	75	75	37	6,5	9	27	4
	50	210	160	129	61	46	105	95	98	37	8	12	27	8
	65	260	203	167	90	68	138	130	121	45	8	12	30	8
	80	290	230	190	110	80	162	160	135	51	8	12	33	8
	100	360	292	245	135	102	208	190	178	63	8	12	40	8
	125	385	318	271	170	130	234	205	178	73	10	14	40	12
	150	440	360	306	196	150	266	240	193	79	11	17	46	12
	200	535	440	380	248	192	340	305	233	89	11	17	52	12

Примечания. 1. Значение h_0 в зависимости от D_y:

D_y, мм	≤ 32	40—250	≥ 300
h_0, мм	2	3	4

4. Диаметр резьбы болтов (шпилек) $d_б$ для всех фланцев при соответствующих d:

d, мм	14	18	23	27	30	33	40	46	52
$d_б$, мм	М 12	М 16	М 20	М 24	М 27	М 30	М 36	М 42	М 48

Пример условного обозначения стального приварного встык фланца под прокладку овального сечения с D_y = 125 мм на p_y = 16 МПа:

Фланец 125-160 ГОСТ 12833—67.

Таблица 19.5

Рекомендуемые материалы для деталей стальных стандартных фланцевых соединений труб и трубной арматуры

Деталь	Рабочие условия		Марка стали	Технические требования
	p, МПа	t, °С		
Фланец плоский приварной	≤ 2,5	От 0 до +300	Ст3сп3; Ст3пс3; Ст3Гпс3	ГОСТ 14637—89
		От —20 до +300	Ст3сп4; Ст3пс4; Ст3Гпс4	
			20К	ГОСТ 5520—79
		От —40 до +300	16ГС	
			08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т	ГОСТ 7350—77, группа А

Продолжение табл. 19.5

Деталь	Рабочие условия		Марка стали	Технические требования
	p, МПа	t, °С		
Фланец плоский приварной	≤ 2,5	От —70 до +300	09Г2С	ГОСТ 8479—70, группа IV, КП 25
			12Х18Н9Т; 12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т; 06ХН28МДТ	ГОСТ 7350—77, группа А
Фланец свободный		От —20 до +300	Ст4сп3	ГОСТ 14637—89
		От —40 до +300	16ГС; 09Г2С	ГОСТ 5520—79
Кольцо приварное		От 0 до +300	Ст3сп3; Ст3пс3; СтГпс3	ГОСТ 14637—89
		От —20 до +300	Ст3сп4; Ст3пс4; Ст3Гпс4	
			20К	ГОСТ 5520—79, группа А
		От —40 до +300	12Х18Н9Т; 12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т 10Х17Н13М3Т	ГОСТ 7350—77, группа А
Фланец приварной встык	≤ 16,0	От 0 до +560	15ХМ	ГОСТ 8479—70, группа IV, КП 28С
		От —40 до +600	15Х5М	ОСТ 704—72, группы IV и IVк
		От —40 до +300	08Х22Н6Т; 08Х21Н6М2Т	
		От —253 до +600	12Х18Н9Т; 12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т	
		От —70 до —30	10Г2	ГОСТ 8479—70, группа IV, КП 22
		От —70 до +475	09Г2С	ГОСТ 8479—70, группа IV, КП 25

Продолжение табл. 19.5

Деталь	Рабочие условия		Марка стали	Технические требования
	p, МПа	t, °С		
Болты, шпильки	≤ 2,5	От —40 до +300	35	ГОСТ 1759—70
	≤ 16,0	От —40 до +540	25Х2М1Ф	ГОСТ 20072—74
		От —70 до —40	20ХН3А	ГОСТ 4543—71
		От —70 до +400	35Х; 38ХА	
		От —70 до +450	30ХМА	
		От —70 до +600	45Х14Н14В2М	ГОСТ 20072—74
		От —253 до +600	12Х13Н10Т; 10Х17Н13М2Т	ГОСТ 1759—70
Гайки	≤ 2,5	От —40 до +300	25	ГОСТ 1759—70, КП 5 или КП 6
	≤ 16,0	От —40 до +540	25Х1МФ	ГОСТ 20072—74
		От —70 до —40	20ХН3А; 10Г2	ГОСТ 4543—71
		От —40 до +450	40Х	
		От —40 до +510	30ХМА	
		От —40 до +450	37Х12Н8Г8МФБ	ГОСТ 20072—74
		От —253 до +600	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т	ГОСТ 5949—75

Примечание. Здесь КП — класс прочности.

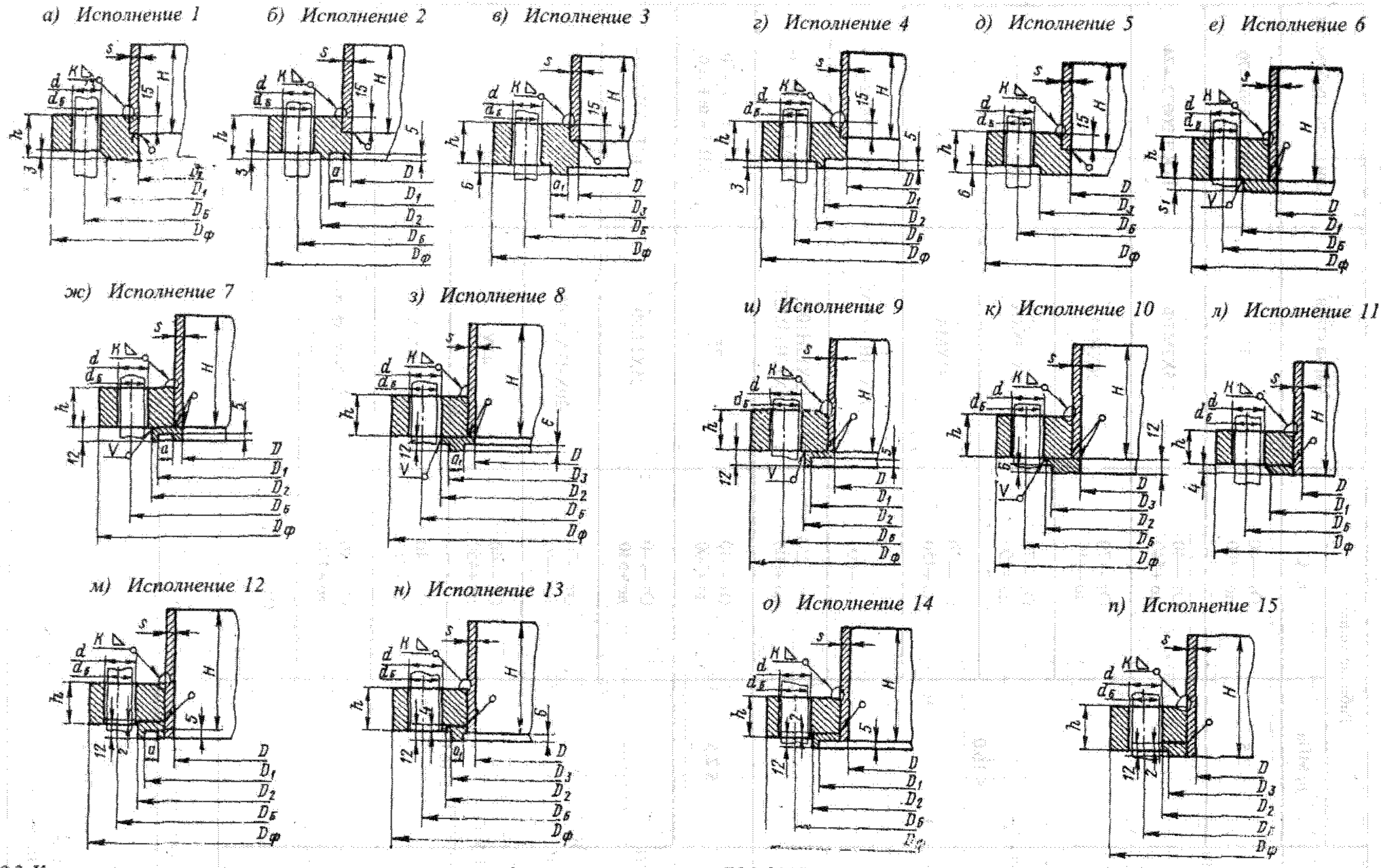


Рис. 19.3. Конструкции стандартных стальных плоских приварных фланцев для аппаратов по ГОСТ 28759.2—90: *а* — с гладкой уплотнительной поверхностью соединительным выступом; *б* — с пазом; *в* — с шипом; *г* — с впадиной; *д* — с выступом; *е* — с гладкой уплотнительной поверхностью, облицованные листом из коррозионностойкой стали; *ж* — с пазом, облицованные листом из коррозионностойкой стали; *з* — с шипом, облицованные листом из коррозионностойкой стали; *и* — с впадиной, облицованные листом из коррозионностойкой стали; *к* — с выступом, облицованные листом из коррозионностойкой стали; *л* — с гладкой уплотнительной поверхностью, наплавленные коррозионностойкой сталью; *м* — с пазом, наплавленные коррозионностойкой сталью; *н* — с шипом, наплавленные коррозионностойкой сталью; *о* — с впадиной, наплавленные коррозионностойкой сталью; *п* — с выступом, наплавленные коррозионностойкой сталью

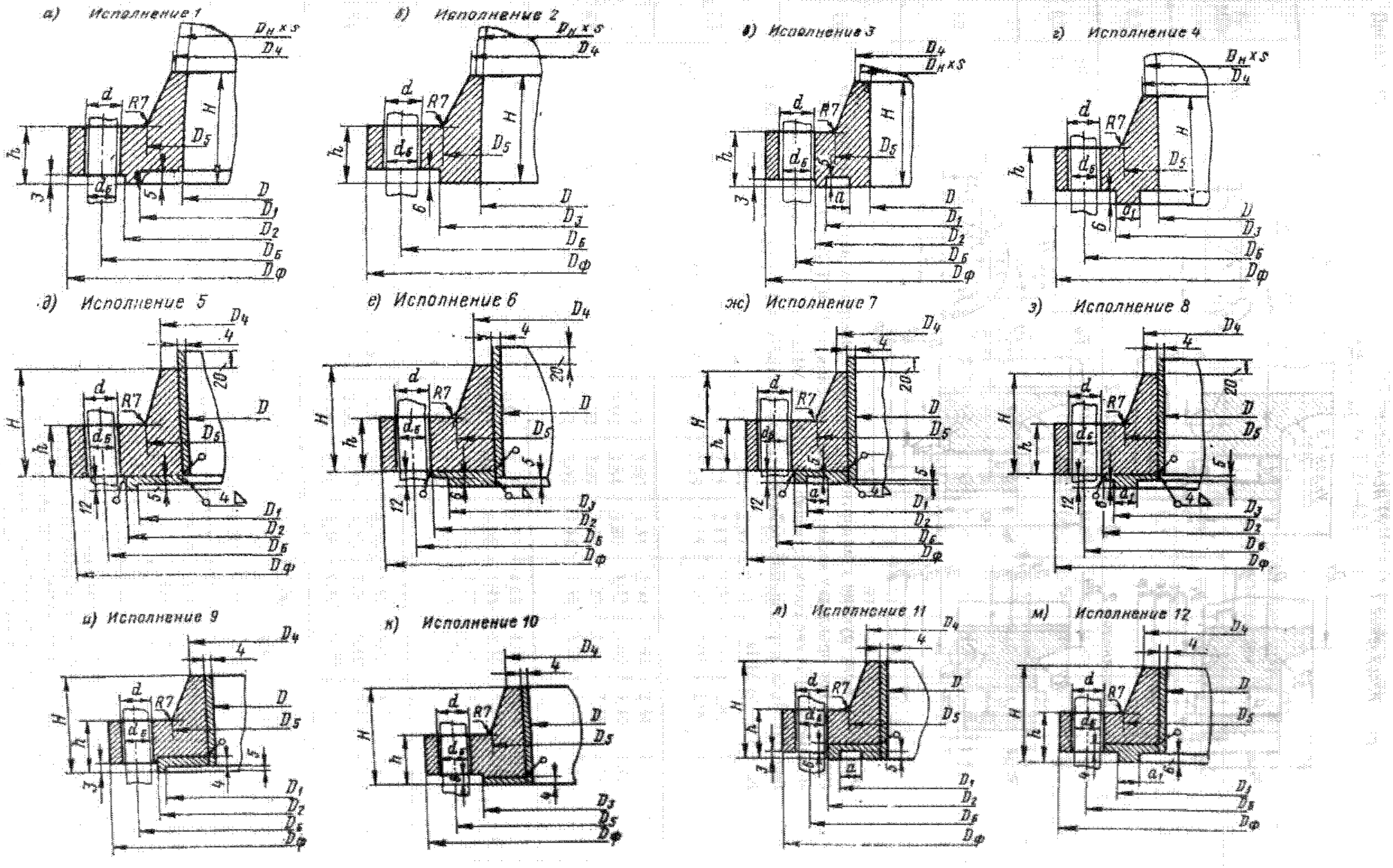


Рис. 19.4. Конструкции стандартных стальных приварных встык фланцев для аппаратов по ГОСТ 28759.3—90: *а* — с впадиной; *б* — с выступом; *в* — с пазом; *г* — с шипом; *д* — с впадиной, облицованные листом из коррозионностойкой стали; *е* — с выступом, облицованные листом из коррозионностойкой стали; *ж* — с пазом, облицованные листом из коррозионностойкой стали; *з* — с выступом, облицованные листом из коррозионностойкой стали; *и* — с впадиной, наплавленные коррозионностойкой сталью; *к* — с выступом, наплавленные коррозионностойкой сталью; *л* — с пазом, наплавленные коррозионностойкой сталью; *м* — с шипом, наплавленные коррозионностойкой сталью

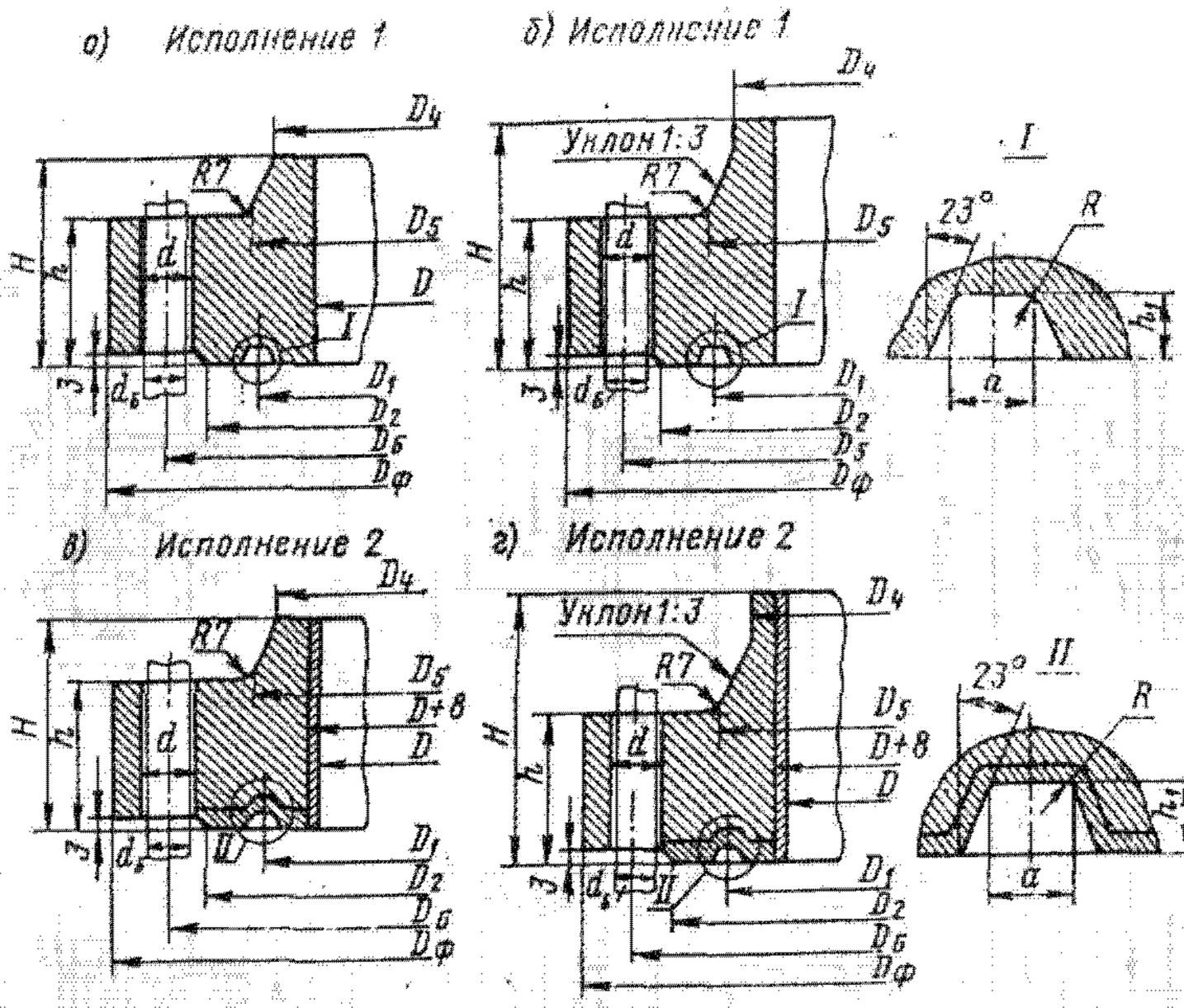


Рис. 19.5. Конструкции стандартных стальных приварных встык фланцев для аппаратов под прокладку восьмиугольного сечения по ГОСТ 28759.4—90: *а*, *б* — монометаллические соответственно на $p_у$ = 6,4 МПа и $p_у$ = 8 — 16 МПа; *в*, *г* — наплавленные коррозионностойкой сталью соответственно на $p_у$ = 6,4 МПа и $p_у$ = 8 — 16 МПа

Таблица 19.6

Пределы применения фланцев для аппаратов в зависимости от расчетной температуры и материалы, ОСТ 26-425 – 79

p_r МПа	Марка стали фланца	Давление избыточное рабочее наибольшее, МПа, при температуре, °С, не более											
		≤ 100	200	250	300	350	400	425	450	475	500	520	540
0,3	20; 20К; 12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т	0,30	0,28	0,24	0,23	—	—	—	—	—	—	—	—
0,6	20; 20К; 16ГС; 10Г2; 09Г2С	0,60	0,56	0,54	0,50	0,44	0,38	0,35	0,26	0,20	—	—	—
	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т	0,60	0,56	0,54	0,52	0,50	0,49	0,45	0,43	0,41	0,37	0,34	0,30
1,0	20; 20К; 10Г2; 16ГС; 09Г2С	1,00	0,93	0,90	0,83	0,73	0,63	0,58	0,43	0,33	—	—	—
	15ХМ	1,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,90	0,85	0,78	0,75	0,60	0,45	0,33
	15Х5М	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,72	0,67	0,63	0,57	0,49	0,33
	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т	1,00	0,93	0,90	0,86	0,84	0,82	0,76	0,72	0,69	0,62	0,56	0,50
1,6	20; 20К; 10Г2; 16ГС; 09Г2С	1,60	1,50	1,44	1,33	1,17	1,01	0,94	0,69	0,53	—	—	—
	15ХМ	1,60	1,57	1,54	1,52	1,49	1,44	1,36	1,25	1,15	0,96	0,72	0,53
	15Х5М	1,60	1,52	1,44	1,36	1,28	1,20	1,15	1,07	1,01	0,91	0,78	0,53
	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т	1,60	1,49	1,44	1,38	1,34	1,31	1,21	1,15	1,10	0,99	0,90	0,80
2,5	20; 16ГС; 09Г2С; 10Г2	2,50	2,33	2,25	2,08	1,83	1,58	1,46	1,08	0,83	—	—	—
	15ХМ	2,50	2,45	2,40	2,37	2,32	2,25	2,12	1,95	1,80	1,50	1,12	0,83
	15Х5М	2,50	2,38	2,25	2,12	2,00	1,87	1,80	1,67	1,57	1,43	1,22	0,83
	10Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т	2,50	2,32	2,25	2,15	2,10	2,05	1,90	1,80	1,72	1,55	1,40	1,25
4,0	20; 16ГС; 09Г2С; 10Г2	4,00	3,74	3,60	3,34	2,94	2,54	2,34	1,73	1,33	—	—	—
	15ХМ	4,00	3,92	3,84	3,80	3,72	3,60	3,40	3,12	2,88	2,40	1,80	1,32
	15Х5М	4,00	3,80	3,60	3,40	3,20	3,00	2,88	2,68	2,52	2,28	1,96	1,32
	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т	4,00	3,72	3,60	3,44	3,36	3,28	3,04	2,88	2,76	2,48	2,24	2,00
6,4	20; 16ГС; 10Г2; 09Г2С	6,40	6,00	5,76	5,33	4,69	4,06	3,74	2,78	2,13	—	—	—
	15ХМ	6,40	6,27	6,14	6,08	5,95	5,76	5,44	5,00	4,60	3,84	2,88	2,11
	15Х5М	6,40	6,08	5,76	5,44	3,12	4,80	4,61	4,28	4,03	3,65	3,14	2,10
	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т; 10Х17Н13М3Т	6,40	5,95	5,76	5,50	5,37	5,25	4,86	4,61	4,42	3,97	3,58	3,20
8,0	20; 10Г2; 16ГС	8,00	7,00	6,80	6,00	5,50	5,00	4,20	3,20	—	—	—	—
	15ХМ	8,00	8,00	7,70	7,20	7,00	6,80	6,40	6,00	5,60	4,50	3,90	2,50
	12Х18Н10Т	8,00	7,00	6,80	6,50	6,40	6,00	—	—	—	—	—	—
10,0	20; 10Г2; 16ГС	10,00	9,00	8,60	7,70	7,00	6,30	5,20	4,10	—	—	—	—
	15ХМ	10,00	10,00	9,60	9,20	8,80	8,50	8,00	7,50	7,00	6,00	4,50	3,20
	12Х18Н10Т	10,00	8,80	8,60	8,20	7,90	7,60	—	—	—	—	—	—
16,0	20; 10Г2; 16ГС	16,00	14,00	13,50	12,00	11,00	10,00	8,30	6,60	—	—	—	—
	15ХМ	16,00	16,00	15,40	14,70	14,00	13,60	12,80	12,00	11,20	9,10	7,80	5,10
	12Х18Н10Т	16,00	14,00	13,70	13,10	12,70	12,10	—	—	—	—	—	—

Примечания. 1. Плоские фланцы разрешается применять до температуры 300 °С. 2. Первая ступень рабочего давления (при температуре до 100 °С) распространяется и на минусовые температуры, но не ниже пределов, которые допускаются для сталей по ОСТ 26-291—94 (см. гл.2). 3. Допускается применение других марок сталей, предусмотренных ОСТ 26-291—94, с механическими свойствами, обеспечивающими работу фланцевых соединений аппаратов в пределах давлений и температур, указанных в табл. 19.5. 4. Расчет фланцевых соединений проведен по ОСТ 26-373—78 при температуре 100 °С с учетом прибавки на коррозию $c = 2$ мм и без учета внешнего изгибающего момента для всех категорий аппаратов, предусмотренных ОСТ 26-291—94. Расчет плоских фланцев проводился при наличии паронитовой прокладки, для приварных встык фланцев под плоскую прокладку принималась асбостальная прокладка.

Таблица 19.7

Фланцы для аппаратов стальные плоские приварные (рис.19.3), ГОСТ 28759.2—90

D, мм	p_y, МПа	Размеры, мм										Число отверстий z
		$D_ф$	$D_б$	D_1	D_2	D_3	h	a	a_1	s	d	
400	0,6	520	480	444	452	443	25	13,5	12	6	23	16
	1,0 1,6	535	495	458	466	457	30 35			8		20
(450)	0,6	570	530	494	502	493	25			8		20
	1,0 1,6	590	550	514	522	513	30 40			8 10		24
500	0,6	620	580	544	552	543	25			8		20
	1,0 1,6	640	600	564	572	563	35 40			8 10		24
(550)	0,6	670	630	594	602	593	25			8		20
	1,0 1,6	690	650	614	622	613	35 40			8 10		28
600	0,3 0,6	720	680	644	652	643	25 30			8		20 24
	1,0 1,6	740	700	664	672	663	35 40			10		28
(650)	0,3 0,6	770	730	694	702	693	25 30			8		24 28
	1,0 1,6	790	750	714	722	713	35 45			10 12		32
700	0,3 0,6	820	780	744	752	743	25 35	14		8		24 28
	1,0 1,6	840	800	764	772	763	35 50			10 12		32
800	0,3 0,6	920	880	842	852	841	25 35			8		28 32
	1,0 1,6	945	905	866	876	865	40 55			10 12		40
900	0,3 0,6	1030	990	952	962	951	30 35			8		32 36
	1,0 1,6	1045	1005	966	976	965	50 60			10 12		40

Продолжение табл. 19.7

D, мм	p_y, МПа	Размеры, мм										Число отверстий z
		$D_ф$	$D_б$	D_1	D_2	D_3	h	a	a_1	s	d	
1000	0,3 0,6	1130	1090	1052	1062	1050	30 40	15,5	13	8 10	23	36
	1,0 1,6	1145	1105	1066	1076	1064	50 65			12		44
1100	0,3 0,6	1230	1190	1150	1162	1148	30 40			8 10		40
	1,0 1,6	1250	1210	1168	1180	1166	55 70			12		52
1200	0,3 0,6	1330	1290	1248	1260	1246	35 45			8 10		44
	1,0 1,6	1350	1310	1268	1280	1266	60 75			12 14		56
(1300)	0,3 0,6	1430	1390	1348	1360	1346	35 45			8 10		44 48
	1,0 1,6	1450	1410	1368	1380	1366	60 75			12 14		60
1400	0,3 0,6	1530	1490	1448	1460	1446	35 50			8 10		48 52
	1,0 1,6	1550	1510	1470	1484	1468	60 80			14		68
(1500)	0,3 0,6	1630	1590	1548	1560	1545	35 55	16,5	14	8 10	23	52 56
	1,0 1,6	1650 1680	1610 1630	1570 1582	1584 1598	1568 1580	65 80			14 16	23 27	68
1600	0,3 0,6	1730	1690	1648	1660	1645	35 55	17,5		10	23	60
	1,0 1,6	1780	1730	1682	1696	1679	70 85			16	27	68 76
(1700)	0,3 0,6	1830	1790	1748	1760	1745	40 60			10	23	64
	1,0 1,6	1880	1830	1782	1795	1779	75 90			16	27	80 84
1800	0,3 0,6	1930	1890	1848	1860	1845	40 60			10	23 23	64 68
	1,0 1,6	1980	1930	1882	1896	1879	80 95			16	27	84

Продолжение табл. 19.7

D, мм	p_y, МПа	Размеры, мм										Число отверстий z
		$D_ф$	$D_Б$	D_1	D_2	D_3	h	a	a_1	s	d	
(1900)	0,3 0,6	2030	1990	1946	1960	1943	45 65	17,5	14	10 12	23	64 68
	1,0 1,6	2085	2035	1986	2000	1983	85 95			16 18	27	84 92
2000	0,3 0,6	2130	2090	2046	2060	2043	50 70	17,5	14	10 12	23	68 72
	1,0 1,6	2185	2135	2086	2100	2083	85 100	21,5	18	16 18	27	84 92
2200	0,3 0,6	2330	2290	2246	2260	2243	55 70	17,5	14	10 12	23	72 80
	1,0 1,6	2385	2335	2286	2300	2283	90 100	21,5	18	18 20	27	80 104
2400	0,3 0,6	2530	2490	2446	2460	2443	60 80	17,5	14	10 12	23	80 88
	1,0 1,6	2595 2610	2540 2550	2490 2496	2505 2510	2487 2493	100 130	21,5	18	18 20	30 33	92 88
2600	0,3 0,6	2750	2705	2656	2670	2653	65 95	22	18	10 12	27	84 88
	1,0	2800	2745	2695	2710	2692	115			18	30	90
2800	0,3 0,6	2950	2905	2856	2870	2853	65 105			12	27	88 92
	1,0	3000	2945	2895	2910	2892	120			20	30	10
3000	0,3 0,6	3150	3105	3056	3070	3053	70 115			12	27	92 100
	1,0	3220	3160	3106	3120	3103	135			20	33	96
3200	0,3 0,6	3350	3305	3256	3270	3253	80 130			12	27	100 108
	1,0	3420	3360	3306	3320	3303	145	27	23	20	33	104
3400 3600 3800 4000	0,3	3580 3780 3980 4180	3520 3720 3920 4120	3466 3666 3866 4066	3480 3680 3880 4080	3463 3663 3863 4063	95 105 115 125	22 22 22 22,5	18	12	33	88 92 96 104

Примечания. 1. Для всех фланцев $H \geq 150$ мм; $s_1 \geq s$; $K = s$. 2. Фланцы с диаметром, заключенным в скобки, должен применяться только для рубашек аппаратов. 3. Фланцы с диаметром 1300 и 1500 мм применяются для кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с плавающей головкой. 4. Фланец диаметром 450 мм применяется для люков. 5. При использовании прокладок из фторопласта-4 принимают $D_1 = D_3$ и $a = a_1$. 6. Допускается вместо втулки приваривать фланец непосредственно к обечайке, днищу и другим элементам при условии, что толщина их стенки будет не менее s. 7. Диаметр расточки фланца под втулку должен быть больше фактического наружного диаметра привариваемой втулки на величину до 3 мм при $D \leq 1000$ мм и до 5 мм при $D > 1000$ мм. 8. Диаметр резьбы болтов (шпилек) $d_б$ для всех фланцев при соответствующих d:

d, мм	23	27	30	33
$d_б$, мм	М 20	М 24	М 27	М30

Пример условного обозначения фланца исполнения 3 (рис. 19.3, *в*) диаметром 1200 мм на $p_y = 0{,}6$ МПа при высоте втулки $H = 150$ мм:

Фланец 3-1200-6-150 ГОСТ 28759.2—90.

При заказе фланца без втулки высота втулки в обозначении не указывается. Материал фланца оговаривается при заказе.

Таблица 19.8

Фланцы для аппаратов стальные приварные встык (рис.19.4), ГОСТ 28759.3—90

D_y, мм	p_y МПа	Размеры, мм												Число отверстий z
		$D_Ф$	$D_Б$	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	h	H	a	a_1	d	
400	1,0	535	495	458	466	457	412	432	35	65	13,5	12	23	20
	1,6						412	436	35	70				20
	2,5						418	440	40	75				24
	4,0	590	530				424	454	50	95	15,5	14	33	20
	6,4						428	460	70	120				
450	1,0	590	550	514	522	513	464	482	35	65	13,5	12	23	24
	1,6						464	486	35	70				
	2,5						472	490	45	75				
	4,0	640	580	508		507	474	510	50	105	15,5	14	33	20
	6,4						478		75	120				
500	1,0	640	600	564	572	563	514	532	35	65	13,5	12	23	24
	1,6						514	536	35	70				24
	2,5						522	544	45	80				28
	4,0	695	635	558		557	524	560	60	115	15,5	14	33	24
	6,4						532	568	75	130				
600	1,0	740	700	664	672	663	614	634	35	65	14	12	23	28
	1,6						616	640	35	70				28
	2,5						624	648	50	85				32
	4,0	795	735	658	672	657	630	664	65	115	16	14	33	28
	6,4	820	750	670	685	669	640	680	85	145				
700	1,0	840	800	764	772	763	716	736	35	65	14	12	23	32
	1,6						718	740	45	80				
	2,5	850	810	774	782	773	728	754	50	90	14	12	23	40
	4,0	895	835	758	772	757	732	766	75	125	16	14	33	32
	6,4	945	875	775	790	774	744	792	95	165	16	14	40	28
800	1,0	945	905	866	876	865	818	838	40	70	14	12	23	40
	1,6							846	45	85				
	2,5	955	915	876	886	875	830	860	55	100	14	12	23	48
	4,0	1005	945	870	886	868	838	876	75	130	20,5	18	33	36
	6,4	1055	985	885	910	883	848	904	95	180	20,5	18	40	36
900	1,0	1045	1005	966	976	965	918	940	45	80	14	12	23	40
	1,6						920	948	50	95				
	2,5	1070	1020	978	988	977	932	962	55	100	14	12	27	48
	4,0	1110	1050	970	988	968	940	980	80	140	20,5	18	33	40
	6,4	1180	1110	990	1005	988	952	1020	105	205	20,5	18	40	40
1000	1,0	1145	1105	1066	1076	1064	1020	1044	50	85	15,5	13	23	44
	1,6						1024	1050	55	95				
	2,5	1175	1125	1080	1092	1078	1036	1066	60	105	15,5	13	27	52
	4,0	1240	1170	1075	1092	1073	1042	1088	90	160	20,5	18	40	40
	6,4	1300	1220	1095	1110	1093	1056	1126	115	220	20,5	18	46	40
1100	1,0	1250	1210	1168	1180	1166	1120	1144	50	85	15,5	13	23	52
	1,6						1124	1152	60	100				
	2,5	1285	1235	1190	1205	1188	1136	1172	65	120	15,5	13	27	56
	4,0	1345	1275	1190	1205	1188	1144	1192	100	170	28	25	40	44
	6,4	1410	1330	1206	1224	1203	1164	1236	120	225	28	25	46	44

Продолжение табл. 19.8

D, мм	p_y, МПа	Размеры, мм												Число отверстий z
		$D_Ф$	$D_б$	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	h	H	a	a_1	d	
1200	1,0 1,6	1350	1310	1268	1280	1266	1220 1224	1248 1256	50 60	95 110	15,5	13	23	56
	2,5	1400	1345	1296	1310	1294	1238	1276	70	130	15,5	13	30	56
	4,0	1455	1385	1290	1310	1287	1248	1302	105	185	28	25	40	48
	6,4	1520	1440	1310	1326	1307	1268	1346	120	235	28	25	46	48
1300	1,0 1,6	1450	1410	1368	1380	1366	1320 1326	1352 1360	55 65	105 115	15,5	13	23	60
	2,5	1505	1450	1400	1414	1398	1338	1380	70	135	15,5	13	30	60
	4,0	1560	1490	1390	1414	1387	1350	1408	105	190	28	25	40	52
	6,4	1655	1565	1418	1435	1415	1372	1456	130	255	28	25	52	48
1400	1,0 1,6	1550	1510	1470	1484	1468	1420 1430	1452 1460	55 65	105 110	15,5	13	23	68
	2,5	1610	1555	1506	1520	1504	1438	1484	75	145	15,5	13	30	64
	4,0	1670	1600	1495	1520	1492	1454	1516	105	200	28	25	40	56
	6,4	1770	1675	1522	1545	1519	1476	1562	145	275	28	25	58	44
1500	1,0	1650	1610	1570	1584	1568	1524	1558	55	105	16,5	14	23	68
	1,6	1680	1630	1582	1598	1580	1532	1564	65	115	16,5	14	27	68
	2,5	1720	660	1608	1620	1606	1542	1593	75	145	17	14	33	64
	4,0	1815	1730	1604	1620	1601	1560	1632	115	215	28,5	25	46	56
	6,4	1880	1785	1627	1645	1624	1580	1672	150	285	28,5	25	58	52
1600	1,0 1,6	1780	1730	1682	1696	1679	1626 1634	1660 1668	55 65	105 115	17,5	14	27	68 76
	2,5	1820	1760	1708	1720	1705	1642	1690	80	155	17,5	14	33	68
	4,0	1915	1830	1708	1720	1705	1664	1732	125	225	28,5	25	46	60
	6,4	1995	1900	1732	1750	1729	1686	1784	155	300	28,5	25	58	56
1800	1,0 1,6	1980	1930	1882	1896	1879	1828 1836	1864 1872	60 70	115 125	17,5	14	27	80 84
	2,5	2025	1965	1910	1928	1907	1842	1896	90	170			33	80
2000	1,0 1,6	2185	2135	2086	2100	2083	2028 2036	2064 2074	65 80	130 140			27	84 92
	2,5	2235	2175	2116	2130	2113	2044	2104	105	195			33	80
2200	1,0 1,6	2385	2335	2286	2300	2283	2228 2236	2270 2278	70 85	135 150	21,5		27	88 104
2400	1,0	2595	2540	2490	2505	2487	2432	2470	80	135			30	92
	1,6	2610	2550	2496	2510	2493	2440	2480	110	170		18	33	88
2600	1,0 1,6	2800 2815	2745 2755	2695 2700	2710 2715	2692 2697	2632 2644	2676 2684	85 115	150 175			30 33	96
2800	1,0 1,6	3000 3020	2945 2960	2895 2906	2910 2920	2892 2905	2836 2848	2876 2884	90 125	150 180	22		30 33	108 104
3000	1,0 1,6	3220	3160	3106	3120	3103	3036 3048	3080 3090	100 135	160 200			33	96 116

Продолжение табл. 19.8

D, мм	p_y МПа	Размеры, мм												Число отверстий z
		$D_Ф$	$D_Б$	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	h	H	a	a_1	d	
3200	1,0 1,6	3420	3360	3306	3320	3303	3236 3252	3284 3292	105 145	175 205	27	23	33	104 124
3400	0,6 1,0	3600 3620	3540 3560	3486 3506	3500 3520	3483 3503	3440	3466 3486	75 115	115 185				100 108
3600	0,6 1,0	3800 3820	3740 3760	3686 3706	3700 3720	3683 3703	3640 3644	3666 3686	75 125	115 190				104 112
3800	0,6 1,0	4010 4030	3950 3970	3896 3916	3910 3930	3893 3913	3840 3848	3870 3890	85 125	130 185				108 120
4000	0,6 1,0	4220 4230	4160 4175	4106 4116	4120 4130	4103 4113	4040 4050	4080 4096	90 125	150 185	27,5			112 128

Примечания. 1. Фланцы диаметром 1300 и 1500 мм применяются для кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с плавающей головкой. 2. Фланец диаметром 450 мм применяется для люков 3. При использовании прокладок из фторопласта-4 принимают $D_1 = D_3$ и $a = a_1$ 4. Диаметр резьбы болтов (шпилек) $d_б$ для всех фланцев при соответствующих d:

d, мм	23	27	30	33	40	46	52	58
$d_б$, мм	М20	М24	М27	М30	М36	М42	М48	М52

Пример условного обозначения фланца исполнения 1 диаметром 1200 мм на p_y = 2,5 МПа:

Фланец 1-1200-25 ГОСТ 28759—90

Таблица 19.9

Фланцы стальные приварные встык для обечаек и днищ аппаратов с наружным базовым диаметром (рис.19.4, *а – г*), ГОСТ 28759.3—90

$D_Н \times 3$, мм	p_y, МПа	Размеры, мм													Число отверстий z
		D	$D_Ф$	$D_Б$	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	h	H	a	a_1	d	
426 × 10	2,5 4,0	402	535 590	495 530	485	466	457	426 432	444 460	40 50	70 90	13,5 15,5	12 14	23 33	24 20
426 × 12	6,4		590	530				432	462	70	115	15,5	14	33	20
480 × 12	2,5 4,0	456	590 640	550 580	514 508	522 516	513 507	480 482	494 510	45 55	70 100	13,5 15,5	12 14	23 33	24 20
530 × 10 530 × 12	2,5 4,0	510 506	640 695	600 635	564 558	572	563 557	532 535	550 566	45 60	70 105	13,5 15,5	12 14	23 33	28 24
630 × 10 630 × 14	2,5 4,0	610 602	740 795	700 735	664 658	672	663 657	635 632	650 662	50 70	75 115	14 16	12 14	23 33	32 28
720 × 10 720 × 12	1,6 2,5	700 696	840 850	800 810	764 774	772 782	763 773	720 724	740 750	45 50	75 95	14	12	23	32 40

Примечания. 1. При использовании прокладок из фторопласта-4 принимают $D_1 = D_3$ и $a = a_1$. 2. Диаметр резьбы болтов (шпилек) $d_б$ для всех фланцев при соответствующих d:

d, мм	23	33
$d_б$, мм	М 20	М 30

Пример условного обозначения фланца для аппарата, имеющего обечайку из трубы и днища с наружным базовым диаметром 530 мм, исполнения 2, на p_y = 4,0 МПа:

Фланец 2-530-40 ГОСТ 28759.3—90

Таблица 19.10

Фланцы для аппаратов стальные приварные встык под прокладку восьмиугольного сечения (рис.19.5), ГОСТ 28759.4—90

D, мм	p_y, МПа	Размеры, мм												Число отверстий z
		$D_Ф$	$D_Б$	D_1	D_2	D_4	D_5	h	H	h_1	a	R	d	
400	6,4	590	530	430	490	428	460	70	120	8	7	1,6	33	20
	8,0	620	555	475	516	436	472	70	135	8	7		33	24
	10,0	630	565	475	526	442	484	76	155	8	7		33	24
	16,0	715	630	475	578	462	526	104	220	12	10		46	20
450	6,4	640	580	510	540	478	510	75	120	8	7	1,6	33	20
	8,0	675	610	525	571	488	528	72	145	8	9	1,6	33	24
	10,0	690	625	525	588	496	542	84	170	8	9	1,6	33	24
	16,0	775	690	525	638	518	586	110	235	13	12	2,4	46	20
500	6,4	695	635	560	590	532	568	75	130	8	7	1,6	33	24
	8,0	735	670	575	631	542	586	76	155	10	9	1,6	33	28
	10,0	750	685	575	646	550	602	88	185	10	9	1,6	33	28
	16,0	840	755	575	703	576	652	115	255	15	13	2,4	46	24
600	6,4	820	750	685	710	640	680	85	145	8	9	1,6	33	28
	8,0	845	780	675	741	648	698	85	175	12	9	1,6	33	32
	10,0	885	810	675	762	658	718	102	210	12	9	1,6	40	28
	16,0	985	890	675	832	688	776	130	290	15	15	2,4	52	24
700	6,4	945	875	785	825	744	792	95	165	8	9	1,6	40	28
	8,0	980	905	775	859	754	812	95	200	12	10	1,6	40	32
	10,0	1020	935	775	883	766	832	116	240	12	10	1,6	46	28
	16,0	1140	1030	790	962	800	902	152	340	17	20	2,4	60	24
800	6,4	1055	985	890	935	848	904	95	180	12	9	1,6	40	36
	8,0	1095	1020	875	974	860	924	106	225	13	12	2,4	40	36
	10,0	1140	1055	875	1003	874	950	125	265	13	12	2,4	46	32
	16,0	1290	1170	910	1094	914	1030	175	390	19	23	2,4	70	24
900	6,4	1180	1110	1025	1060	952	1020	105	205	12	9	1,6	40	40
	8,0	1230	1145	990	1093	968	1038	122	250	15	15	2,4	46	36
	10,0	1275	1180	990	1122	982	1064	145	295	15	15	2,4	52	32
	16,0	1485	1300	1015	1220	1028	1156	188	425	21	25	2,4	74	28
1000	6,4	1300	1220	1070	1165	1056	1126	115	220	13	12	2,4	46	40
	8,0	1340	1255	1090	1203	1074	1152	130	270	16	16		46	40
	10,0	1390	1295	1090	1237	1090	1180	156	325	16	16		52	36
	16,0	1550	1425	1120	1345	1140	1280	200	460	22	26		74	32

Продолжение табл. 19.10

D_y, мм	p_y, МПа	Размеры, мм												Число отверстий z
		$D_Ф$	$D_б$	D_1	D_2	D_4	D_5	h	H	h_1	a	R	d	
1100	6,4	1410	1330	1170	1275	1164	1236	125	230	13	12		46	44
	8,0	1475	1380	1190	1322	1180	1264	142	296	16	19		52	40
	10,0	1525	1420	1190	1358	1198	1298	170	355	16	19		58	36
	16,0	1695	1560	1235	1472	1252	1404	222	500	23	29		82	32
1200	6,4	1520	1440	1280	1385	1268	1346	130	245	15	13		46	48
	8,0	1590	1495	1290	1437	1286	1376	148	310	17	20		52	44
	10,0	1645	1535	1290	1469	1304	1408	180	370	17	20		60	40
	16,0	1840	1695	1350	1603	1366	1532	238	545	25	31		86	32
1300	6,4	1655	1565	1365	1485	1372	1456	135	260	15	13	2,4	52	48
	8,0	1700	1605	1400	1547	1392	1488	158	335	19	23		52	48
	10,0	1760	1650	1400	1584	1412	1524	194	400	19	23		58	44
1400	6,4	1770	1675	1460	1610	1476	1562	155	285	16	16		58	44
	8,0	1825	1720	1500	1658	1498	1598	172	355	20	24		58	48
	10,0	1890	1775	1500	1703	1520	1640	205	425	20	24		66	44
1500	6,4	1880	1785	1600	1720	1580	1672	155	290	16	19		58	52
	8,0	1950	1840	1610	1774	1604	1710	186	380	22	26		60	48
	10,0	2015	1895	1610	1819	1628	1756	222	460	22	26		70	44
1600	6,4	1990	1900	1705	1835	1686	1784	160	305	16	19		58	56
	8,0	2060	1950	1710	1884	1710	1820	196	410	22	26		60	52

Примечания. 1. Фланец диаметром 450 мм применяется для люков. 2. Фланцы диаметром 1300 и 1500 мм применяются для кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с плавающей головкой. 3. Диаметр резьбы шпилек $d_б$ для всех фланцев при соответствующих d:

d, мм	3	40	46	52	58	60	66	70	74	82	86
$d_б$, мм	M33	M36	M42	M48	M52	M56	M60	M64	M68	M76	M80

Пример условного обозначения фланца для аппарата исполнения 1 диаметром 1200 мм на p_y = 6,4 МПа:

Фланец 1-1200-64 ГОСТ 28759.4—90

Таблица 19.11

Рекомендуемые материалы для крепежных деталей стандартных фланцевых соединений аппаратов, ОСТ 26-429 – 79

Крепежные детали	Максимально допустимые рабочие параметры		Максимально допустимый диаметр фланца $D_ф$, мм	Марки сталей для крепежных деталей	
	p_y, МПа	t, °С		Фланцы из углеродистых и легированных сталей	Фланцы из сталей аустенитного класса
Болты по ГОСТ 7798—70, ОСТ 26-2037—77; шпильки по ГОСТ 22032—76, ОСТ 26-2039—77	<2,5	От —70 до —40	В пределах ГОСТ 28759.2—90, ГОСТ 28759.3—90	20ХН3А	—
	0,3	От —40 до +300	3600	35; 40	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т
	0,6		1500		
	1,0; 1,6		800		
	2,5		600		
Гайки по ГОСТ 5915—70, ОСТ 26-2038—77	≤2,5	От —70 до —40	В пределах ГОСТ 28759.2—90, ГОСТ 28759.3—90	10Г2	—
		От —40 до +300		25; 30; 35; 40	—
		От —70 до +300		—	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т
Шпильки по ОСТ 26-2040—77, типы 1*** и 2	≤ 16,0	От —40 до +400 **	В пределах ГОСТ 28759.2—90, ГОСТ 28759.3—90, ГОСТ 28759.4—90	35Х; 38ХА; 30ХМА	—
		От —40 до +450		—	37Х12Н8Г8МФБ
		От —40 до +540		25Х2М1Ф; 20Х1М1Ф1ТР; 20Х1М1Ф1БР	08Х14Н20В2ТР; 18Х12ВМБФР
		От —70 до —40		20ХН3А	—
Гайки по ОСТ 26-2041—77; шайбы **** по ГОСТ 9065—75, ОСТ 26-2042—77	≤ 16,0	От —40 до +400		35; 40	—
		От —40 до+510		—	37Х12Н8Г8МФБ
		От —40 до +540		40Х; 30ХМА; 25Х1МФ	—
		От —70 до —40		—	45Х14Н14В2М; 12Х18Н10Т
				20ХН3А; 10Г2	—

Примечания. 1. Допускается применение сталей других марок, не указанных в таблице, если их механические свойства не ниже, чем для сталей марок, приведенных в таблице. 2. Механические свойства болтов, шпилек, гаек и шайб должны соответствовать указанным в ГОСТ 1759—70 и ОСТ 26-2043—77.

* Для фланцев из сталей аустенитного класса от —70 °С.

** Для фланцев из сталей типа 15ХМ и 15Х5М до 300 °С.

*** Шпильки типа 1 применяются при температуре до 300 °С.

**** Шайбы устанавливаются под гайки для фланцев по ГОСТ 28759.4—90 при $p_y > 6,4$ МПа.

19.2. Прокладки для герметизации фланцевых соединений

Для уплотнения во фланцевых соединениях применяются *прокладки:*

1) неметаллические, асбометаллические и комбинированные на соединительном выступе фланцев;
2) неметаллические и асбометаллические в уплотнении выступ—впадина;
3) неметаллические и асбометаллические в уплотнении шип—паз для сред с высокой проникающей способностью (водород, гелий, легкие нефтепродукты, сжиженные газы);
4) металлические плоские в уплотнении шип—паз;
5) металлические овального и восьмиугольного сечений.

Указанные прокладки стандартизированы (рис. 19.6 и табл. 19.12—19.16).

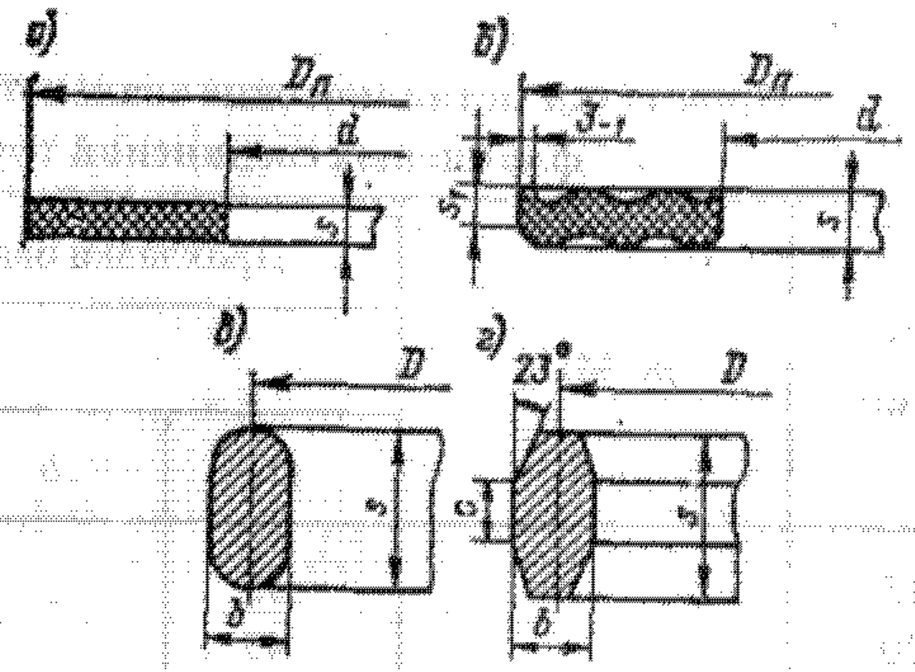


Рис. 19.6. Конструкции прокладок фланцевых соединений: *а* — плоская из неметаллических материалов ($s \leq 2$ мм); *б* — асбометаллическая гофрированная с оболочкой из стали ($s = 4{,}3$ мм; $s_1 = 3{,}4$ мм) и с оболочкой из латуни или алюминия ($s = 4{,}5$ мм; $s_1 = 3{,}6$ мм); *в* — металлическая овального сечения; *г* — металлическая восьмиугольного сечения

Примечание: металлические прокладки овального сечения применяются только в старой арматуре.

Таблица 19.12

Прокладки плоские эластичные из паронита для стандартных фланцевых соединений труб и трубной арматуры (рис. 19.6, *а*), ГОСТ 15180 – 70

D_y, мм	$D_п$, мм, для прокладок типа									d, мм, для прокладок типа					
	A на p_y, МПа						$Б$ и $В$ на p_y, МПа			$А$ и $Б$ на $p_y \leq 6{,}4$ МПа	$В$ на p_y, МПа				
	≤ 0,25	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	≤ 0,6	1—4	6,4		≤ 0,6	1—4	6,4		
10	38	38	45	45	45	45	29	34	34	14	19	24	24		
15	43	43	50	50	50	50	33	39	39	20	23	29	29		
20	53	53	60	60	60	60	43	50	50	25	33	36	36		
25	63	63	69	69	69	69	51	57	57	29	41	43	43		
32	75	75	81	81	81	81	59	65	65	38	49	51	51		
40	85	85	91	91	91	91	69	75	75	45	55	61	61		
50	95	95	106	106	106	106	80	87	87	57	66	73	73		
65	115	115	126	126	126	126	100	109	109	75	86	95	95		
80	132	132	141	141	141	141	115	120	120	87	101	106	106		
100	151	151	161	161	166	166	137	149	149	106	117	129	129		
125	181	181	191	191	191	191	166	175	175	132	146	155	155		
150	206	206	216	216	222	222	191	203	203	161	171	183	183		
200	261	261	271	271	282	288	249	259	259	216	229	239	239		
250	318	318	327	327	338	350	303	312	312	264	283	292	292		
300	372	372	376	382	398	415	356	363	363	318	336	343	343		
350	421	421	436	442	455	475	406	421	421	372	386	395	395		
400	473	473	487	495	515	543	456	473	473	421	436	447	447		
500	576	576	592	615	620	620	561	575	575	528	541	549	549		
600	677	677	693	728	728	739	661	677	677	620	635	651	651		
800	888	888	915	908	942	970	867	877	—	820	841	851	—		
1000	1088	1088	1125	1122	1150	—	—	—	—	1020	—	—	—		
1200	1288	1305	1338	1334	1360	—	—	—	—	1220	—	—	—		

Примечания. 1. Прокладки типа *А* — для фланцев с соединительным выступом (см. рис. 19.1, *а*; 19.2, *а* и табл. 19.2, 19.3), прокладки типа *Б* — для фланцев с выступом и впадиной (см. рис. 19.1, *б—д*; 19.2, *в, г* и табл. 19.2, 19.3), прокладки типа *В* — для фланцев с шипом и пазом (см. рис. 19.2, *д, е* и табл. 19.2; 19.3). 2. Толщина всех прокладок $s = 2$ мм.

Пример условного обозначения прокладки типа *Б* для фланца с $D_y = 100$ мм на $p_y = 1{,}0$ МПа:

Прокладка Б-100-10 ГОСТ 15180—70

Таблица 19.13

Прокладки металлические овального и восьмиугольного сечений для стандартных фланцевых соединений труб и трубной арматуры (рис. 19.6, *в*, *г*)

D_y, мм	p_y, МПа	Прокладки овального сечения			Прокладки восьмиугольного сечения			
		Размеры, мм						
		D	b	s	D	b	s	c
15 20 25 32 40	6,4; 10,0; 16,0	35 45 50 65 75	8	14	—	—	—	—
50	6,4; 10,0 16,0	85 95	11	18				
65	6,4—16,0	110						
80	6,4; 10,0 16,0	115 130						
100	6,4; 10,0 16,0 ,	145 160						
125	6,4; 10,0 16,0	175 190						
150	6,4; 10,0	205						
	16,0		13	20				
200	6,4; 10,0	265	11	18				
	16,0	275	16	22	275	16	22	10
250	6,4; 10,0 16,0	320 330	11 16	18 22	— 330	— 16	— 22	— 10
300	6,4 10,0	375	11	18	— 375	— 11	— 18	— 8
	16,0	380	22	30	380	22	30	12
350	6,4	420	11	18	—	—	—	—
	10,0 16,0		16 22	22 30	420	16 22	22 30	10 12
400	6,4	480	11	18	—	—	—	—
	10,0 16,0		16 22	22 30	480	16 22	22 30	10 12

Примечание: прокладки восьмиугольного сечения регламентированы ОСТ 26-432—79.

Таблица 19.14

Прокладки из неметаллических материалов для стандартных фланцевых соединений стальных аппаратов (рис. 19.6, *а*), ОСТ 26-430 – 79

D_y, мм	$D_п$, мм, для прокладок исполнений 1 и 2 на p_y, МПа							d, мм, для прокладок исполнения										
								1 на p_y, МПа							2 на p_y, МПа			
	0,3	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	0,3	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	0,3	0,6	1,0	1,6
400	443	443	457	457	457	457	457	418	418	432	432	432	428	428	413	413	427	427
450	493	493	513	513	513	507	507	468	468	488	488	488	478	478	463	463	483	483
500	543	543	563	563	563	557	557	518	518	538	538	538	528	528	513	513	533	533
550	593	593	613	613	—	—	—	568	568	588	588	—	—	—	563	563	565	565
600	643	643	663	663	663	657	669	617	617	637	637	637	627	639	613	613	633	633
650	693	693	713	713	—	—	—	667	667	687	687	—	—	—	663	663	683	683
700	743	743	763	763	773	757	774	717	717	737	737	747	727	744	713	713	733	733
800	841	841	865	865	875	869	884	815	815	839	839	849	831	846	811	811	835	835
900	951	951	965	965	977	969	989	925	925	939	939	951	931	951	921	921	935	935
1000	1051	1051	1065	1065	1079	1074	1094	1022	1022	1036	1036	1050	1036	1056	1021	1021	1029	1029
1100	1149	1149	1167	1167	1189	1189	1205	1120	1120	1138	1138	1160	1135	1151	1119	1119	1130	1130
1200	1247	1247	1267	1267	1295	1289	1309	1218	1218	1238	1238	1266	1235	1255	1217	1217	1230	1230
1300	1347	1347	1367	1367	1398	1388	1416	1318	1318	1338	1338	1371	1336	1364	1317	1317	1334	1334
1400	1447	1447	1469	1469	1504	1493	1520	1418	1418	1440	1440	1477	1441	1468	1417	1417	1434	1434
1500	1547	1547	1568	1580	1606	1602	1625	1516	1516	1539	1551	1576	1549	1572	1507	1507	1539	1539
1600	1646	1646	1680	1680	1706	1706	1730	1615	1615	1649	1649	1675	1653	1677	1607	1607	1638	1638
1700	1746	1746	1780	1780	—	—	—	1715	1715	1749	1749	—	—	—	1707	1707	1737	1737
1800	1846	1846	1880	1880	1908	—	—	1815	1815	1849	1849	1877	—	—	1807	1807	1837	1837
1900	1944	1944	1984	1984	—	—	—	1913	1913	1953	1953	—	—	—	1905	1905	1940	1940
2000	2044	2044	2084	2084	2114	—	—	2013	2013	2045	2045	2075	—	—	2005	2005	2040	2040
2200	2244	2244	2284	2284	—	—	—	2213	2213	2245	2245	—	—	—	2205	2205	2240	2240
2400	2444	2444	2488	2494	—	—	—	2413	2413	2449	2455	—	—	—	2405	2405	2450	2450
2600	2654	2654	2693	2698	—	—	—	2614	2614	2653	2658	—	—	—	2610	2610	2655	2655
2800	2854	2854	2893	2902	—	—	—	2814	2814	2853	2862	—	—	—	2810	2810	2851	2851
3000	3054	3054	3104	3104	—	—	—	3014	3014	3064	3064	—	—	—	3010	3010	3070	3070
3200	3254	3254	3304	3304	—	—	—	3214	3214	3254	3254	—	—	—	3210	3210	3260	3260
3400	3464	3484	3504	—	—	—	—	3424	3434	3454	—	—	—	—	3415	—	—	—
3600	3664	3684	3704	—	—	—	—	3624	3634	3654	—	—		—	3615	—	—	—
3800	3864	3894	3914	—	—	—	—	3824	3844	3864	—	—	—	—	3815	—	—	—
4000	4064	4104	4114	—	—	—	—	4024	4053	4063	—	—	—	—	4015	—	—	—

Примечания. 1. Материал прокладок: паронит по ГОСТ 481—71, резина по ГОСТ 7338—77, картон асбестовый по ГОСТ 2850—80, фторопласт-4 по ГОСТ 10007—80. 2. Прокладки исполнения 1 — для фланцев с уплотнительной поверхностью «выступ—впадина» и «шип—паз», исполнения 2 — для фланцев с гладкой уплотнительной поверхностью (соединительным выступом). 3. Толщина прокладок из паронита $s = 2$ мм, из резины — $s = 3$ мм.

Пример условного обозначения прокладки исполнения 1 для фланца диаметром 1000 мм, на $p_y = 1{,}6$ МПа:

Прокладка 1-1000-16 ОСТ 26-430—79.

Таблица 19.15

Прокладки асбометаллические для стандартных фланцевых соединений стальных аппаратов (рис. 19.6, *б*) ОСТ 26-431 – 79

D_y, мм	$D_п$, мм, на p_y, МПа					d, мм, на p_y, МПа				
	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4
400	457	457	457	457	457	433	433	433	429	429
450	513	513	513	507	507	489	489	489	479	479
500	563	563	563	557	557	539	539	539	529	529
600	663	663	663	657	669	639	639	639	629	641
700	763	763	773	757	774	739	739	749	729	746
800	865	865	875	869	884	841	841	851	833	848
900	965	965	977	969	989	941	941	953	933	953
1000	1065	1065	1079	1074	1094	1037	1037	1051	1038	1058
1100	1167	1167	1189	1189	1205	1139	1139	1161	1139	1155
1200	1267	1267	1295	1289	1309	1237	1237	1267	1239	1259
1300	1366	1366	1398	1388	1416	1338	1338	1370	1338	1366
1400	1468	1468	1504	1493	1520	1442	1442	1476	1443	1470
1500	1568	1580	1606	1602	1625	1540	1540	1574	1552	1575
1600	1680	1680	1706	1706	1730	1648	1648	1674	1656	1680
1700	1780	1780	—	—	—	1748	1748	—	—	—
1800	1881	1881	1908	—	—	1849	1849	1876	—	—
1900	1985	1985	—	—	—	1953	1953	—	—	—
2000	2084	2084	2114	—	—	2044	2044	2074	—	—
2200	2284	2284	—	—	—	2244	2244	—	—	—
2400	2488	2488	—	—	—	2448	2448	—	—	—
2600	2693	2698	—	—	—	2657	2662	—	—	—
2800	2893	2902	—	—	—	2857	2866	—	—	—
3000	3104	3104	—	—	—	3064	3064	—	—	—
3200	3304	3304	—	—	—	3264	3264	—	—	—
3400	3504	—	—	—	—	3464	—	—	—	—
3600	3704	—	—	—	—	3664	—	—	—	—
3800	3914	—	—	—	—	3874	—	—	—	—
4000	4114	—	—	—	—	4074	—	—	—	—

Примечания. 1. Прокладки применяются к фланцам по табл. 19.8. 2. Материал оболочек прокладок выбирают в зависимости от условий эксплуатации по следующей таблице:

Исполнение прокладки	Материал	Толщина оболочки, мм
1	Алюминий АД, ГОСТ 13726—97	0,3
2	Латунь Л63, ГОСТ 2208—91	0,3
3	Сталь ЮХ13М, ГОСТ 4986—79	0,2
4	Сталь 08Х18Н9М, ГОСТ 4986— 79	0,2
5	Сталь 08Х18Н12БМ, ГОСТ 4986—79	0,2

Материал наполнителя прокладок: картон асбестовый по ГОСТ 2850—75 или бумага асбестовая по ГОСТ 23779—79.

Пример условного обозначения прокладки для фланцев диаметром 1400 мм на $p_y = 2,5$ МПа:

Прокладка 1400-25 ОСТ 26-431—79.

Таблица 19.16

Прокладки металлические восьмиугольного сечения для стандартных фланцевых соединений стальных аппаратов (рис. 19.6, *г*), ОСТ 26-432 – 79

D_y, мм	p_y, МПа	Размеры, мм				D_y, мм	p_y, МПа	Размеры, мм			
		D	*s*	*b*	*c*			*D*	*s*	*b*	*c*
400	6,4 8,0; 10,0 16,0	430 475 475	16 16 25	12 12 20	7 7 9	1000	6,4 8,0; 10,0 16,0	1070 1090 1120	26 34 50	22 28 42	10 14 18
450	6,4 8,0; 10,0 16,0	510 525 525	18 18 26	12 14 22	7 8 10	1100	6,4 8,0; 10,0 16,0	1170 1190 1235	26 36 54	22 30 46	10 15 18
500	6,0 8,0; 10,0 16,0	560 575 575	16 20 30	12 16 24	7 8 12	1200	6,4 8,0; 10,0 16,0	1280 1290 1350	30 38 58	24 32 50	12 16 20
600	6,4 8,0; 10,0 16,0	685 675 675	18 23 32	14 18 26	8 8 13	1300	6,4 8,0; 10,0	1365 1400	30 42	24 36	12 16
700	6,4 8,0; 10,0 16,0	785 775 790	18 25 38	14 20 32	8 9 16	1400	6,4 8,0; 10,0	1460 1500	34 44	27 38	14 16
800	6,4 8,0; 10,0 16,0	890 875 910	23 26 42	18 22 36	8 10 16	1500	6,4 8,0; 10,0	1600 1610	36 50	30 42	15 18
900	6,4 8,0; 10,0 16,0	1025 990 1015	23 32 48	18 26 40	8 13 24	1600	6,4 8,0; 10,0	1705 1710	36 50	30 42	15 18

Примечания. 1. Материал прокладок:

Шифр	Материал
1	Сталь 08кп, ГОСТ 9045—93, и Э12, ГОСТ 11036—75
2	Сталь 08Х13, ГОСТ 5632—72
3	Сталь 08Х18Н10Т, ГОСТ 5632—72

2. Прокладки из высоколегированных и коррозионностойких сталей должны подвергаться термообработке.

Пример условного обозначения прокладки для фланца диаметром 1200 мм на p_y = 8,0 МПа из стали марки 08Х13:

Прокладка 1200-80-2 ОСТ 26-432—79.

19.3. Фланцевые бобышки

Присоединение трубной арматуры и труб к аппарату осуществляется большей частью с помощью *фланцевых штуцеров*, а когда штуцер по каким-либо соображениям применить невозможно или нецелесообразно (например, из-за отсутствия места и др.), на аппарате приваривается *фланцевая бобышка*, к которой непосредственно и присоединяется арматура или труба с соответствующим фланцем. Фланцевые бобышки стандартизированы (рис. 19.7 и табл. 19.17—19.19).

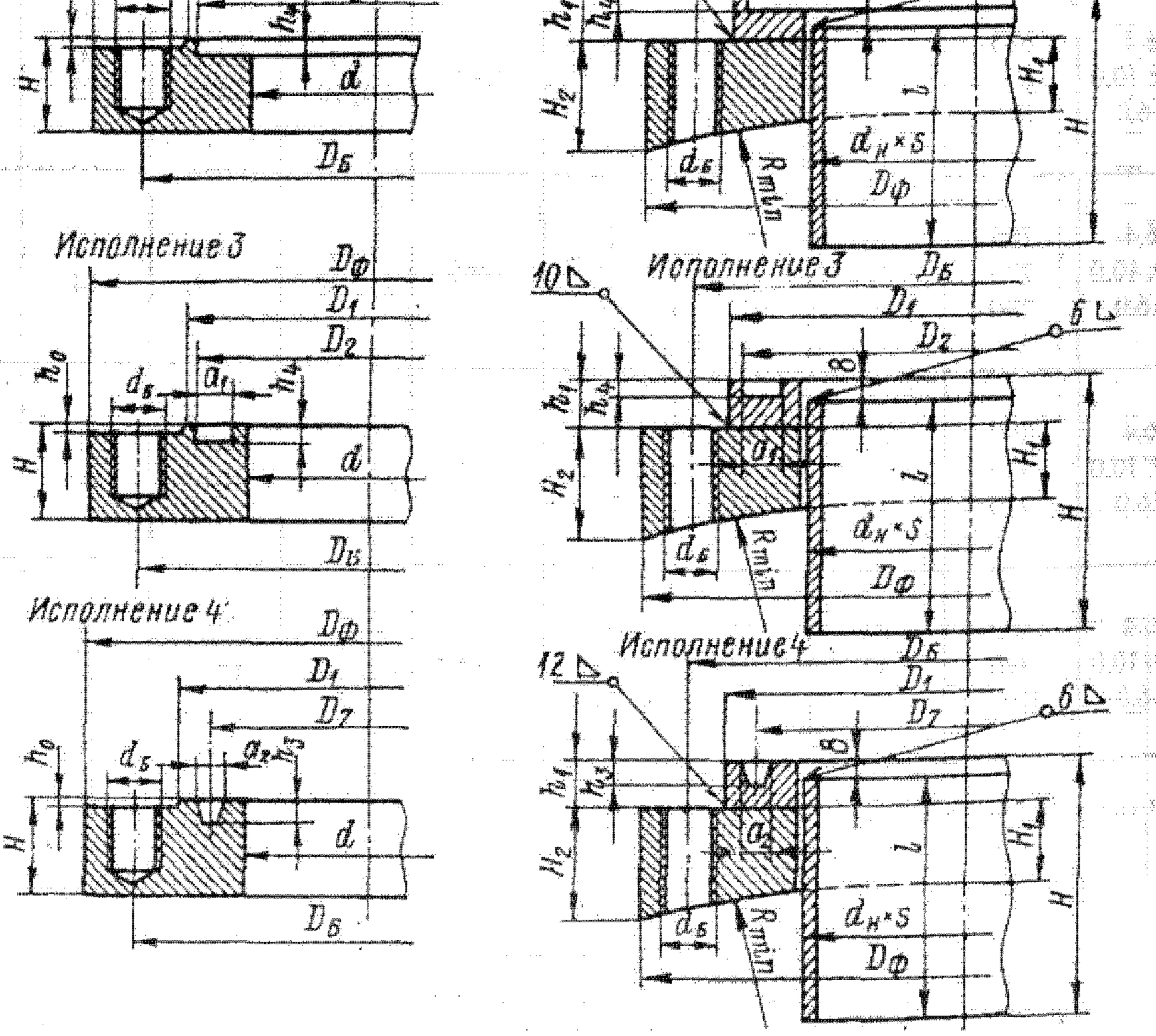


Рис. 19.7. Конструкции стандартных стальных приварных бабышек для присоединения трубной арматуры и труб по ОСТ 26-01-748—73: *а* — тип *А*, врезные (исполнения: 1 — с соединительным выступом; 2 — с впадиной; 3 — с пазом; 4 — под прокладку овального и восьмиугольного сечений); *б* — тип *Б*, накладные с приварным кольцом и втулкой (исполнения: 1 — с гладким кольцом; 2 — с впадиной на кольце; 3 — с пазом на кольце; 4 — под прокладку овального и восьмиугольного сечений)

Таблица 19.17

Типы и параметры стандартных фланцевых бобышек стальных аппаратов (рис.19.7), ОСТ 26-01-748 – 73

Тип	Исполнение	Параметры		
		D_y, мм	p_y, МПа	t_p, °С
А (врезные)	1 2 3 4	10—200	1,0; 1,6; 2,5 2,5; 4,0; 6,4 1,0; 1,6; 2,5; 4,0 6,4	От —70 до +600
Б (накладные)	1 2 3 4	50—200	1,0; 1,6; 2,5 2,5; 4,0; 6,4 1,0; 1,6; 2,5; 4,0 6,4	От —70 до +425

Таблица 19.18

Стандартные стальные приварные фланцевые бобышки врезные (тип *А*) для трубной арматуры и труб (рис. 19.7, *а*, исполнения 1 – 4), ОСТ 26-01-748 – 73, мм

D_y	d	p_y, МПа							
		1,0; 1,6		2,5		4,0		6,4	
		D	H	D	H	D	H	D	H
10	8	400—3800	32	400—2400 2600—3200 3400—4000	32 40 50	400—1500 1600—1900 2000—2800 3000—4000	32 40 55 85	400—1000 1100—1500 1600—2000 2200—2600	36 50 65 85
15	12								
20	18							400—1000 1100—1400 1500—2000 2200—2600	36 50 65 85
25	25					400—1400 1500—1900 2000—2800 3000—4000	32 40 55 85	400—1100 1200—1600 1700—2000 2200—2600	40 55 70 85
32	31	400—4000	36	400—2800 3000—4000	36 50	400—1600 1700—2200 2400—3200 3400—4000	36 45 65 85	400—1400 1500—1900 2000—2600	50 65 85
40	38								

Продолжение табл. 19.18

D_y	d	p_y, МПа							
		1,0; 1,6		2,5		4,0		6,4	
		D	H	D	H	D	H	D	H
50	49					400—1600 1700—2200 2400—3200 3400—4000	36 45 65 85	400—1300 1400—1900 2000—2600	50 65 85
65	66	400—4000	36	400—2600 2800—4000	36 50	400—1500 1600—2000 2200—3200 3400—4000	36 45 65 85	400—1300 1400—1800 1900—2600	50 65 85
80	78					400—1400 1500—2000 2200—3200 3400—4000	36 45 65 85		
100	96			400—3400 3600—4000	45 55	400—2200 2400—3200 3400—4000	50 65 85	400 450—1800 1900—2400	55 65 85
125	121	500—4000	36	450—4000	55	450—2000 2200—2800 3000—4000	55 65 85	400; 450 500; 550 600—1200 1300—1800 1900—2400	85 70 60 70 85
150	146	550—4000	45	550—4000	55	400; 450 500; 550 600—1500 1600—2800 3000—3800	85 65 55 65 85	500—600 650—1400 1500—2200	85 70 85
200	202	800—4000 * 650; 700** 800—2200 ** 2400—3800 **	45 55 45 55	600—700 800—2000 2200—4000	70 55 70	600—700 800—1600 1700—3800	85 65 85	800—1500	85

Примечания. 1. Значения $D_ф$, $D_б$, D_1, D_2, a_1, h_0, h_4, $d_б$ и z (число болтов или шпилек) см. в табл. 19.2 и 19.3 для соответствующих p_y, значения $D_т$, a_2 и h_3 см. в табл. 19.4. 2. В случае применения бобышек при рабочей температуре выше 200 °С они должны быть проверены расчетом при рабочих условиях (рабочей температуре и рабочем давлении) по формулам, приведенным в ОСТ 26-01-748—73.

Пример условного обозначения бобышки типа А, исполнения 3 на D_y — 100 мм, p_y = 4,0 МПа толщиной H = 65 мм:

Бобышка А-3-100-40-65 ОСТ 26-01-748—72.

* Только для p_y = 1,0 МПа.
** Только для p_y = 1,6 МПа.

Таблица 19.19

Стандартные стальные приварные фланцевые бобышки накладные (тип Б) с втулками и кольцами для трубной арматуры и труб (рис. 19.7, *б*, исполнения 1 – 4), ОСТ 26-01-748 – 73, мм

D_y	$D_n \times s$	R_{min}	p_y, МПа	H	H_1	H_2	h_1	l
50	57×6	200	1,0	53	20	37	10	45
			1,6	63	20	37	10	55
			2,5	78	20	37	10	70
			4,0	113	20	37	10	105
			6,4	153	24	45	12	145
65	76×6	225	1,0	53	20	39	10	45
			1,6	63	20	39	10	55
			2,5	78	20	39	10	70
			4,0	113	20	39	10	105
			6,4	153	24	48	12	145
80	89×6	225	1,0	53	20	42	10	45
			1,6	63	20	42	10	55
			2,5	78	20	42	10	70
			4,0	113	20	42	10	105
			6,4	153	24	50	12	145
100	108×7	275	1,0	53	20	42	10	45
			1,6	63	20	42	10	55
			2,5	83	24	50	10	75
			4,0	113	24	50	10	105
			6,4	158	30	60	12	150
125	133×7	325	1,0	53	20	44	12	45
			1,6	63	20	44	12	55
			2,5	93	30	60	12	85
			4,0	123	30	60	12	115
			6,4	163	32	68	14	155
150	159×7	400	1,0	58	24	50	12	50
			1,6	68	24	50	12	60
			2,5	93	30	60	12	85
			4,0	123	30	60	12	115
			6,4	168	36	74	14	160
200	219×10	550	1,0	58	24	50	12	50
			1,6	68	24	50	12	60
			2,5	93	30	60	12	85
			4,0	123	32	65	12	115
			6,4	168	36	74	14	160

Примечания. 1. Значения $D_ф$, $D_б$, D_1, D_2, a_1, h_4, $d_б$ и z (число болтов или шпилек) см. в табл. 19.2 и 19.3 для соответствующих p_y, значения D_7, a_2 и h_3 см. в табл. 19.4. 2. Накладные бобышки предназначены для аппаратов из двухслойных сталей. 3. Материал собственно бобышки такой же, как материал основного слоя двухслойной стали, а кольца и втулки — как материал плакированного слоя. 4. В случае применения бобышек при рабочей температуре выше 200 °С они должны быть проверены расчетом при рабочих условиях (рабочей температуре и рабочем давлении) по формулам, приведенным в ОСТ 26-01-748—73.

Пример условного обозначения бобышки типа *Б* исполнения 3 на $D = 150$ мм, $p_y = 1{,}6$ МПа:

Бобышка Б-3-150-16 ОСТ 26-01-748—73.

Наряду с указанными выше основными стандартными фланцевыми соединениями аппаратов на рабочие параметры $p \le 1{,}6$ МПа и $t \le 300°C$ при диаметрах аппарата $D = 400 - 2000$ мм могут применяться также менее металлоемкие стандартные *фланцевые соединения на зажимах* (рис. 19.8, 19.9 и табл. 19.20).

При конструировании аппаратов, как правило, применяют стандартные фланцевые соединения для аппаратов, труб и трубной арматуры. Специальные фланцевые соединения подлежат разработке только в обоснованных случаях, когда отсутствуют стандартные фланцевые соединения (по рабочим условиям или каким-либо другим соображениям).

Таблица 19.20

Элементы стандартных фланцевых соединений на зажимах для стальных сварных аппаратов, ОСТ 26-01-396–78 и ОСТ 26-01-385 – 78, мм

D	p_y, МПа	Фланец (рис. 19.8, исполнения 1—6)												Зажим (рис. 19.9)				
		D_1	D_2	D_3	D_4	H	h	h_1	h_2	a	a_1	R	s	H_1	B	L	d_6	z
400	0,6 1,0 1,6	465	458	457	475	40	28	30	6	13	12	6	6	52	25	75	M16	32 44 44
500	0,6 1,0 1,6	575	564	563	590	45	30	35										40 44 52
600	0,6 1,0 1,6	675	664	663	690													44 52 60
700	0,6 1,0 1,6	775	764	763	795	50	35	40										24 28 32
800	0,6 1,0 1,6	875	866	865	895				8			8	8	66	38	99	M24	28 32 36
900	0,6 1,0 1,6	975	966	965	995	56	40	45										28 32 36
1000	0,6 1,0 1,6	1075	1066	1064	1095					15	13							32 36 40
1100	0,6 1,0 1,6	1180	1168	1166	1195	56	45	50	8	15	13	8	8	66	38	99	M24	36 40 48
1200	0,6 1,0 1,6	1280	1268	1266	1295													40 48 52
1400	0,6 1,0 1,6	1485	1472	1470	1510	56 56 65	45 45 56	50 50 60		15	13							52 56 64
1600	0,6 1,0 1,6	1695	1684	1681	1710	60 60 65	50 50 56	56 56 60	8	17	14	8	12	66	38	99	M24	60 72 82
1800	0,6 1,0 1,6	1895	1882	1879	1910	65 65 70	56 56 60	60 60 65										76 86 100
2000	0,6 1,0 1,6	2100	2086	2083	2110	65 70 70	56 60 60	60 65 65		21	18							90 96 108

Примечания. 1. Материал фланцев и болтов — согласно табл. 19.5 и 19.11, деталей зажимов — по ОСТ 26-01-385—78. Зажимы могут быть выполнены из углеродистых и аустенитных сталей. 2. Пределы применения фланцев в зависимости от материала и температуры должны соответствовать табл. 19.6.

Примеры условного обозначения: фланец для аппарата, не содержащего взрыво- или пожароопасной среды, исполнения 1, диаметром $D = 1200$ мм на $p_y = 0{,}6$ МПа:

Фланец 1-1-1200-6 ОСТ 26-01-396—78;

то же для аппарата, содержащего взрыво- или пожароопасную среду:

Фланец 2-1-1200-6 ОСТ 26-01-396—78.

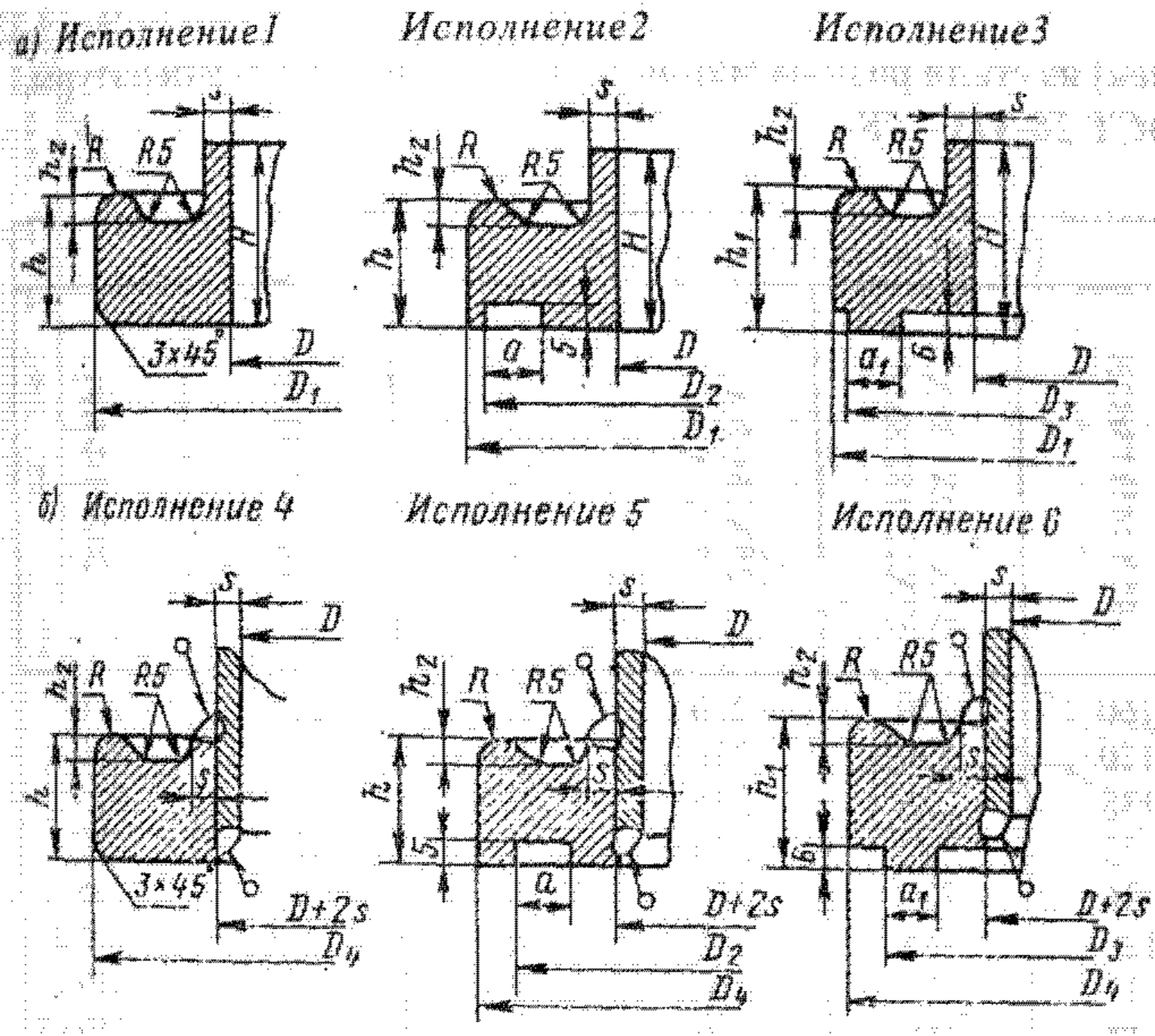


Рис. 19.8. Конструкция стандартных стальных приварных фланцев под зажимы для аппаратов по ОСТ 26-01-396—78: *а* — приварные встык; *б* — приварные внахлестку (исполнения: 1 и 4 — с гладкой уплотнительной поверхностью (без ограничительного выступа); 2 и 5 — с пазом; 3 и 6 — с выступом)

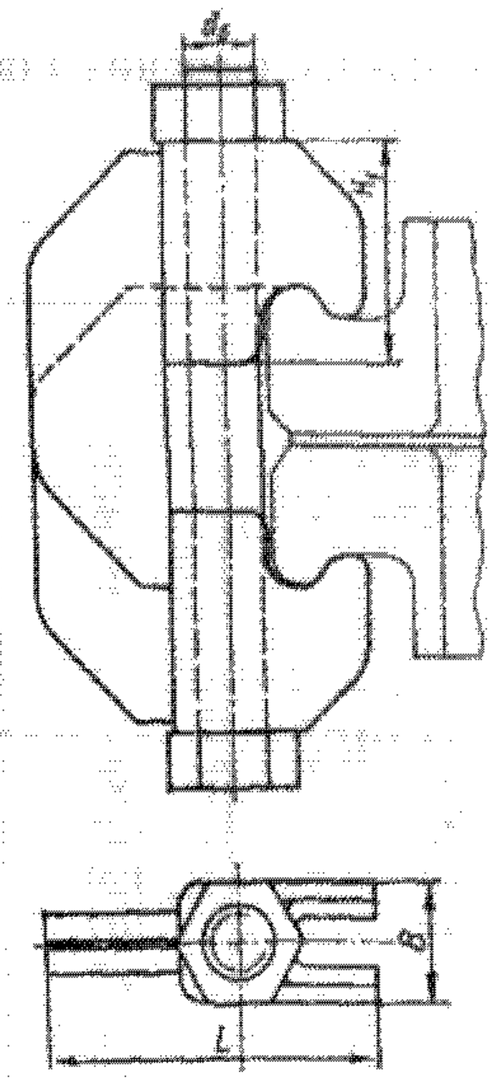


Рис. 19.9. Конструкция стандартного зажима по ОСТ 26-01-385—78

19.4. Расчет фланцевых соединений

Расчетная температура фланцевого соединения принимается по табл. 19.21, допускаемые напряжения болтов (шпилек) — по табл.19.22. Для сталей марок, не указанных в таблице, допускаемые напряжения определяются по формулам:

а) для углеродистых сталей при расчетной температуре $t_R \le 380°C$, для низколегированных сталей при $t_R \le 420°C$ и для высоколегированных аустенитных сталей при $t_R \le 525°C$

$$[\sigma_Б] = \sigma_т / n_т; \qquad (19.1)$$

б) при бо́льших расчетных температурах

$$[\sigma_Б] = \min \{\sigma_т/n_т;\ \ \sigma_{д\cdot 10^5}/n_д;\ \ \sigma_{1\%\cdot 10^5}/n_п\}, \qquad (19.2)$$

где $\sigma_{д\cdot 10^5}$ — среднее значение предела длительной прочности за 10^5 ч при расчетной температуре, МПа; $\sigma_{1\%\cdot 10^5}$ — средний 1%-ный предел ползучести за 10^5 ч при расчетной температуре, МПа.

Запасы прочности для болтов принимаются по табл. 19.23. Допускаемые напряжения для условия предварительного затяга могут быть увеличены не более чем на 10%.

Допускаемые напряжения для приварных фланцев (МПа):

а) для сечения s_1 (в месте соединения втулки с плоскостью фланца)

$$[\sigma_{ф1}] = \sigma_{т.ф};$$

Таблица 19.21

Расчетная температура элементов фланцевого соединения, в зависимости от температуры среды *t*, ОСТ 26-373 – 78

Тип фланцевого соединения	Изолированные элементы			Не изолированные элементы		
	$t_ф$	$t_к$	$t_б$	$t_ф$	$t_к$	$t_б$
С приварными плоскими и приварными встык фланцами	t	—	$0{,}97t$	$0{,}96\,t$	—	$0{,}95\,t$
Со свободными фланцами	t	$0{,}97\,t$	$0{,}90\,t$	$0{,}96\,t$	$0{,}90\,t$	$0{,}81\,t$

Таблица 19.22

Допускаемые напряжения для болтов (шпилек) из стали разных марок в зависимости от температуры, ОСТ 26-373 – 78

Расчетная температура, °С	[σ], МПа, для стали марок							
	35; ВСт5	12Х18Н10Т; 10Х17Н13М2Т	45Х14Н13В2Н	35Х; 40Х; 38ХА; 37Х12Н8Г8МФБ	25Х2МФА; 25Х1МФ	25Х2М1Ф	18Х12ВМБФР	20ХНФБР
20	130	110	160	230	230	230	230	230
100	126	105	150	230	230	230	230	230
200	120	98	138	225	225	225	230	225
250	107	95	132	222	220	220	225	220
300	97	90	126	220	215	215	220	215
350	86	86	120	185	215	215	215	215
375	80	85	117	175	210	210	210	210
400	75	83	114	160	210	210	210	210
425	68	82	110	—	182	195	190	195
450	—	80	107	—	156	180	165	180
475	—	79	104	—	127	165	143	165
500	—	78	100	—	96	150	120	150
510	—	—	95	—	84	137	110	140
520	—	—	90	—	74	120	98	130
530	—	—	85	—	65	100	88	118
540	—	—	80	—	55	75	75	105
550	—	—	75	—	—	64	—	90

Таблица 19.23

Запасы прочности для болтов, ОСТ 26-373 – 78

Материал болта	$n_т$		$n_д$	$n_в$
	Затяг не контролируется	Затяг контролируется		
Углеродистые стали:				
$\sigma_т/\sigma_в \geq 0{,}7$	2,8	2,4	1,8	1,1
$\sigma_т/\sigma_в < 0{,}7$	2,3	2,1	1,8	1,1
Аустенитные стали	1,9	1,8	1,8	1,1

б) для сечения s_0 (в месте соединения втулки с обечайкой) при $p < 4{,}0$ МПа и числе циклов нагружения $N \leq 2000$

$$[\sigma_{\phi 0}] = 0{,}003E; \qquad (19.3)$$

в) то же при числе циклов нагружения $N > 2000$

$$[\sigma_{\phi 0}] = \min\left\{\frac{E}{8\sqrt{N}}\ln\frac{100}{100-\psi}+\frac{\sigma_{-1}}{2};\ \frac{E}{12\sqrt{N}}\ln\frac{100}{100-\psi}+\sigma_{-1}\right\}, \qquad (19.4)$$

где ψ — относительное поперечное сужение материала обечайки при расчетной температуре, %; σ_{-1} — предел усталости материала обечайки при расчетной температуре, МПа (значение $[\sigma_{\phi 0}]$ можно также определить по рис. 19.10);

г) для свободного фланца (кольца)

$$[\sigma_{ф.к}] = \sigma_{т.к}.$$

При $p \geq 4{,}0$ МПа допускаемые напряжения $[\sigma_{\phi 0}]$ уменьшаются в 1,5 раза.

Допускаемые напряжения для всех элементов фланцевого соединения при расчетной температуре менее 20°С принимаются такими же, как и при температуре +20°С (при условии применимости материала при заданной расчетной температуре).

Общий порядок расчета. Конструирование и

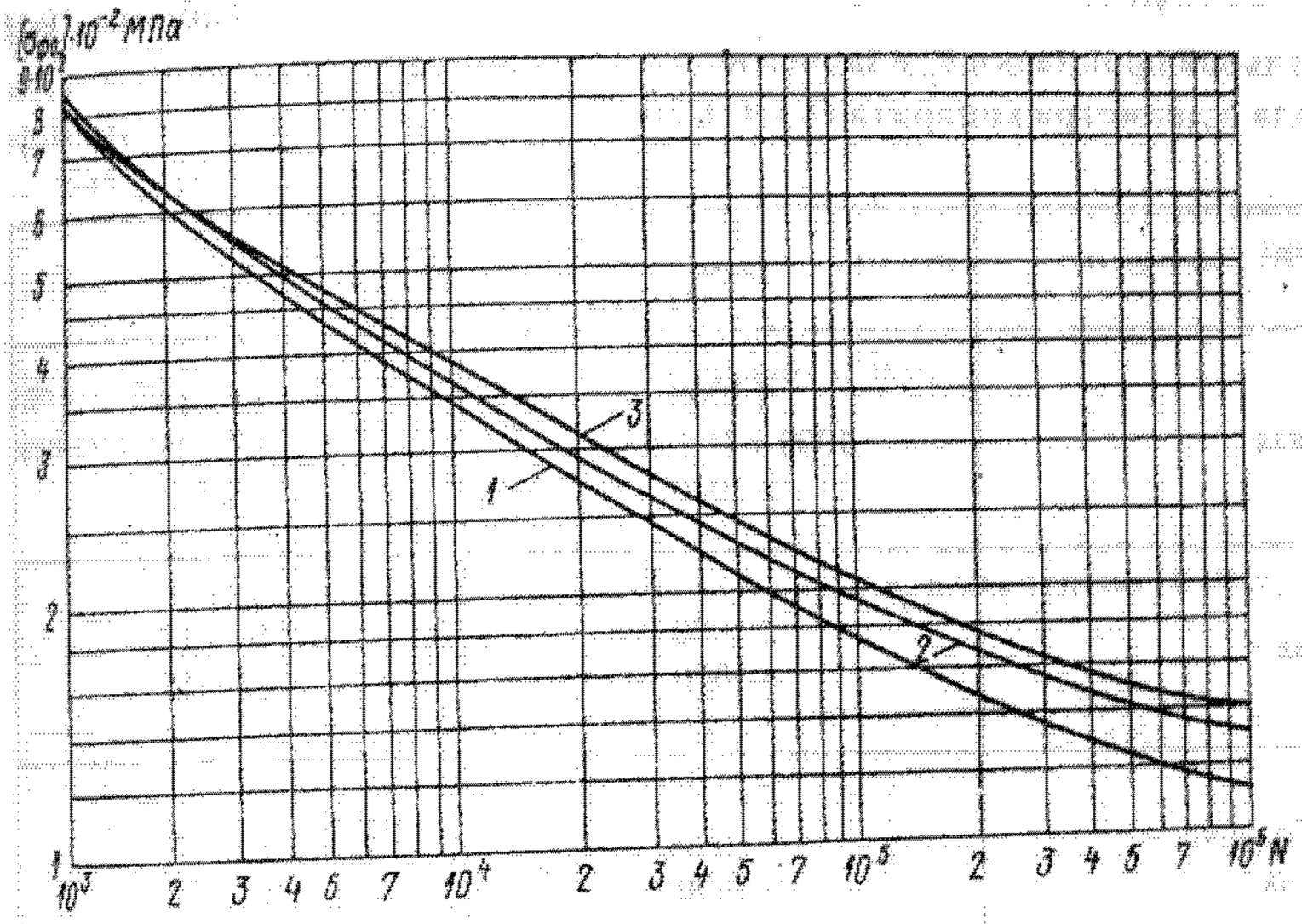


Рис. 19.10. Графики для определения $[\sigma_{ф0}]$ при температуре 20°С: *1* — для углеродистых сталей; *2* — для низколегированных сталей; *3* — для аустенитных сталей

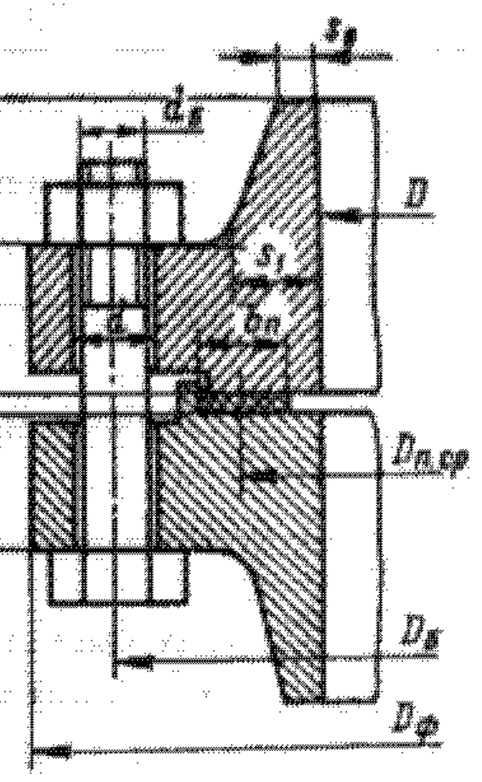


Рис. 19.11. Фланцевое соединение

Таблица 19.24

Рекомендации по выбору прокладок, ОСТ 26-373 – 78

Конструкция прокладки	Материал	p, МПа	t, °С
Плоская неметаллическая	Резина	≤ 0,6	От —30 до 100
	Асбестовый картон	≤ 1,6	До 550
	Паронит	≤ 2,5	От —200 до 400
	Фторопласт	Независимо	От —200 до 250
Плоская металлическая *	Алюминий, латунь, сталь	≥ 2,5	От —200 до 300
Плоская составная	Асбест в металлической оболочке из алюминия, меди, латуни, стали	≤ 6,4	От —200 до 550
Восьмиугольного сечения	Сталь	≥ 6,4	

* Только для уплотнения шип—паз.

Расчет фланцевого соединения рекомендуется выполнять в следующей последовательности (ОСТ 26--373—78).

Принимаемые конструктивные и определяемые расчетом размеры фланцевого соединения приведены на рис. 19.11.

Задаются: конструкционный материал фланцев и болтов (шпилек), давление p, внутренний диаметр соединения D и толщина стенки аппарата s.

Выбирают конструкцию и материал прокладки по табл.19.24.

Определяют ширину прокладки $b_п$ по табл. 19.25 (меньшее значение). Выбирают тип фланцевого соединения в зависимости от p и t (см. выше для стандартных фланцевых соединений).

Находят расчетные величины:

а) меньшая толщина конической втулки фланца

Таблица 19.25

Ширина уплотнительной прокладки $b_п$ в зависимости от ее конструкции, материала и диаметра аппарата D, ОСТ 26-373 – 78

Конструкция и материал прокладки	D, мм	$b_п$, мм
Плоская неметаллическая	≤ 1000 1000 < D ≤ 2000 > 2000	12—15 15—25 25
Плоская металлическая	≤ 1000 > 1000	10—12 12—15
Плоская в металлической оболочке и зубчатая металлическая	≤ 1600 > 1600	12—18 13—25
Восьмиугольного сечения металлическая	≤ 600 600 < D ≤ 800 800 < D ≤ 1000 1000 < D ≤ 1600	12—18 16—22 18—28 22—42

$s_0 \geqslant 1{,}35\ s$, но $s_0 - s \geqslant 0{,}005$ м; (19.5)

б) отношения бóльшей толщины втулки фланца к меньшей $\beta = s_1/s_0$ для приварных встык фланцев и буртов выбирают по рис. 19.12, для плоских приварных фланцев $\beta = 1$;

в) бóльшая толщина втулки фланца $s_1 = \beta s_0$; для плоских приварных фланцев принимают $s_1 = s_0$;

г) длина втулки приварного встык фланца

$$l \geqslant 3\,(s_1 - s_0). \qquad (19.6)$$

Выбирают диаметр болтов (шпилек) $d_б$ по табл. 19.26 (при двух значениях принимают меньшее).

Диаметр болтовой окружности (м):

а) для приварных встык фланцев

$$D_б \geqslant D + 2\,(s_1 + d_б + 0{,}006); \qquad (19.7)$$

б) для плоских приварных фланцев

$$D_б \geqslant D + 2\,(2s_0 + d_б + 0{,}006); \qquad (19.8)$$

в) для свободных фланцев

$$D_б \geqslant D_{ок} + 2\,(d_б + 0{,}008), \qquad (19.9)$$

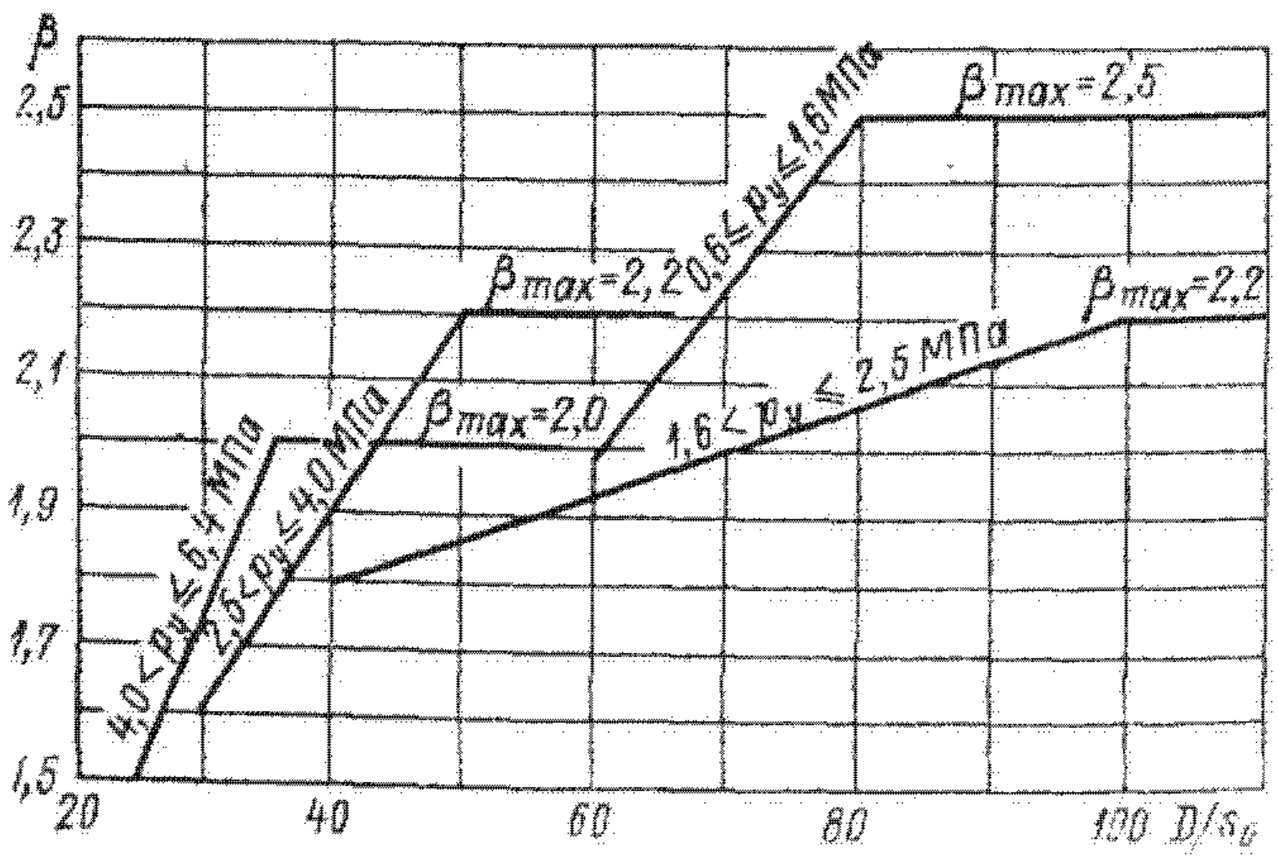


Рис. 19.12. Графики для определения β. Для $p_y \leq 0{,}6$ МПа $\beta \leq 2{,}2$; для $p_y \geq 10$ МПа $\beta = 2$. Во всех случаях $\beta_{min} \geq 1{,}5$

где $D_{ок}$ — внутренний диаметр кольца (свободного фланца); размер $D_б$ — принимают с окончанием на 0 или кратным 5 мм.

Наружный диаметр фланца

$$D_ф \geqslant D_б + a, \qquad (19.10)$$

где a — по табл. 19.27; размер $D_ф$ принимают с окончанием на 0 или кратным 5 мм.

Наружный диаметр прокладки

$$D_п = D_б - e, \qquad (19.11)$$

где e — по табл. 19.27.

Средний диаметр прокладки

$$D_{п.ср} = D_п - b_п. \qquad (19.12)$$

Таблица 19.26

Рекомендуемые диаметры болтов $d_б$ в зависимости от $p_у$ и D, ОСТ 26-373 – 78, мм

D, мм	p_y, МПа							
	≤ 0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,4	8,0	10,0
800	М20	М20	М20	М20	М30	М36	М30—М36	М30—М42
1000						М42	М42	М48
1200			М24—М30	М24—М30	М36		М48	М52—М56
1400						М48	М52—М56	М56—М64
1600		М30						
1800 2000				М30	М42	М52	—	—
2200 2400	М24—М30			—	—	—		

Таблица 19.27

Диаметр болтов (шпилек), расчетная площадь их поперечного сечения $f_б$, диаметр отверстий под болт d, значения величин a и e, ОСТ 26-373 – 78

$d_б$, мм	$f_б \cdot 10^4$, м^2	d, мм	a, мм		e_{min}, мм	
			Шестигранная гайка	Шестигранная гайка с уменьшенным размером «под ключ»	Плоская прокладка	Прокладка восьмиугольного и овального сечения
М20	2,35	23	40	36	30	53
(М22)	2,95	25	42	40	32	55
М24	3,4	27	47	42	34	57
(М27)	4,45	30	52	47	37	60
М30	5,4	33	58	52	41	64
М36	7,9	40	60	63	48	71
М42	10,9	46	80	69	55	78
М48	14,4	52	92	80	61	84
М52	18,2	58	97	86	65	88
М56	19,6	60	110	—	—	195
М60	23,0	66	115	—	—	240
М64	26,0	70	120	—	—	240

Примечание. Размеры, заключенные в скобки, применять не рекомендуется.

Эффективная ширина прокладки (м):

а) для плоских прокладок:

$$b_E = 0{,}5b_п \quad \text{при} \quad b_п \leqslant 15 \text{ мм}; \qquad (19.13)$$

$$b_E = 1{,}9\sqrt{b_п} \quad \text{при} \quad b_п > 15 \text{мм}; \qquad (19.14)$$

б) для прокладок восьмиугольного и овального сечений:

$$b_E = 0{,}125\, b_п . \qquad (19.15)$$

По табл. 19.28 в зависимости от конструкции и материала прокладки выбирают ее расчетные параметры m и q.

Ориентировочное число болтов (шпилек)

$$z_Б = \pi D_Б / t_Б, \qquad (19.16)$$

где $t_Б$ — шаг болтов, выбираемый по табл. 19.29 (меньшее значение).

Таблица 19.28

Расчетные параметры прокладок, ОСТ 26-373 – 78

Конструкция прокладки	Материал прокладки	m	q	$[q]$	$E_п$
			МПа		
Плоская неметаллическая	Резина по ГОСТ 7338—77 с твердостью по прибору ТШР, МПа:				
	0,76—1,2	0,5	2,0	18	$3\left(1+\frac{b_п}{2h_п}\right)$
	>1,2	1,0	4,0	20	$4\left(1+\frac{b_п}{2h_п}\right)$
	Картон асбестовый по ГОСТ 2850—80 толщиной 3 мм	2,5	20	130	2000
	Паронит* по ГОСТ 481—71 толщиной ≥ 1 мм	2,5	20	130	2000
	Фторопласт-4 по ГОСТ 10007—80 толщиной 1—3 мм	2,5	10	40	2000
Плоская металлическая	Алюминий АД по ГОСТ 13726—97	4,0	60		
	Латунь Л63 по ГОСТ 2208—91	4,75	90		
	Сталь 05кп по ГОСТ 1050—91	5,5	125		
	Сталь по ГОСТ 5632—72:				
	08Х13	5,5	125		
	08Х18Н10Т	6,5	180		
Плоская составная	Асбест по ГОСТ 2850—80. Оболочка толщиной 0,2—0,3 мм:			—	—
	алюминиевая	3,25	38		
	медная	3,5	46		
	латунная	3,5	46		
	из стали 05кп	3,75	53		
	из стали 12Х18Н10Т	3,75	63		
Овального или восьмиугольного сечения металлическая	Сталь 05кп; 08Х13	5,5	125		
	Сталь 08Х18Н10Т	6,5	180		

* Для сред с высокой проникающей способностью (водород, гелий, легкие нефтепродукты, сжиженные газы и т.п.).

Таблица 19.29

Рекомендуемый шаг болтов $t_б$ в зависимости от $p_у$, ОСТ 26-373 – 78

$p_у$, МПа	$t_б$	$p_у$, МПа	$t_б$
≤ 0,3	(4,2—5) $d_б$	2,5	(2,7—3,5) $d_б$
0,6	(3,8—4,8) $d_б$	4,0	(2,3—3,0) $d_б$
1,0	(3,5—4,2) $d_б$	6,4—10,0	(2,1—2,8) $d_б$
1,6	(3,0—3,8) $d_б$		

Принимается ближайшее большее кратное четырем значение $z_б$.

Определяются вспомогательные величины:

а) коэффициент $\varkappa$ — по рис.19.13:

$$\varkappa = 1 + (\beta - 1)\frac{x}{x + (1 + \beta)/4},$$

где $x = l/\sqrt{Ds_0}$;

б) эквивалентная толщина втулки фланца

$$s_E = \varkappa s_0; \qquad (19.17)$$

для плоского приварного фланца $s_E = s_0$;

в) ориентировочная толщина фланца

$$h = \lambda\sqrt{Ds_E}, \qquad (19.18)$$

где λ — коэффициент, определяемый по рис. 19.14;

г) безразмерный параметр

$$\omega = [1 + 0{,}9\lambda(1 + \psi_1 j^2)]^{-1}, \qquad (19.19)$$

где $j = h/s_E$; $\psi_1 = 1{,}28 \lg K$; $K = D_ф/D$ — для плоских приварных фланцев (см. рис. 19.1, *а—в*; 19.3) и приварных встык фланцев (см. рис. 19.2; 19.4; 19.5); $K = D_1/D_4$ — для буртов свободных фланцев (см. рис. 19.1, *г, д*); $K = D_ф/D_5$ — для колец свободных фланцев (см. рис. 19.1, *г, д*); значение параметра ψ_1 можно также определить по рис. 19.15;

д) безразмерные параметры T — по рис. 19.16, ψ_2 — по рис. 19.17, ψ_3 — по рис. 19.18. T и ψ_2 можно рассчитать по зависимостям:

$$T = \frac{K^2(1 + 8{,}55 \lg K) - 1}{(1{,}05 + 1{,}945K^2)(K - 1)}; \quad \psi_2 = \frac{K + 1}{K - 1}.$$

Угловая податливость фланца [1/(МН·м)]

$$y_ф = \frac{[1 - \omega(1 + 0{,}9\lambda)]\psi_2}{h^2 E_ф}, \qquad (19.20)$$

где $E_ф$ — модуль продольной упругости материала фланца, МПа.

Угловая податливость плоской фланцевой крышки [1/(МН·м)]

$$y_{кр} = x_{кр}/(h_{кр}^2 E_{кр}). \qquad (19.21)$$

Здесь

$$x_{кр} = \frac{0{,}67[K_{кр}^2(1 + 8{,}55 \lg K_{кр}) - 1]}{(K_{кр} - 1)\left[K_{кр}^2 - 1 + (1{,}857K_{кр}^2 + 1)\left(\frac{\delta_{кр}}{h_{кр}}\right)^3\right]}; \qquad (19.22)$$

где $\delta_{кр}$ — толщина плоской крышки; $h_{кр}$ — толщина фланцевой части крышки; $K_{кр} = D_ф/D_{п\ ср}$; $E_{кр}$ — модуль продольной упругости материала фланцевой крышки.

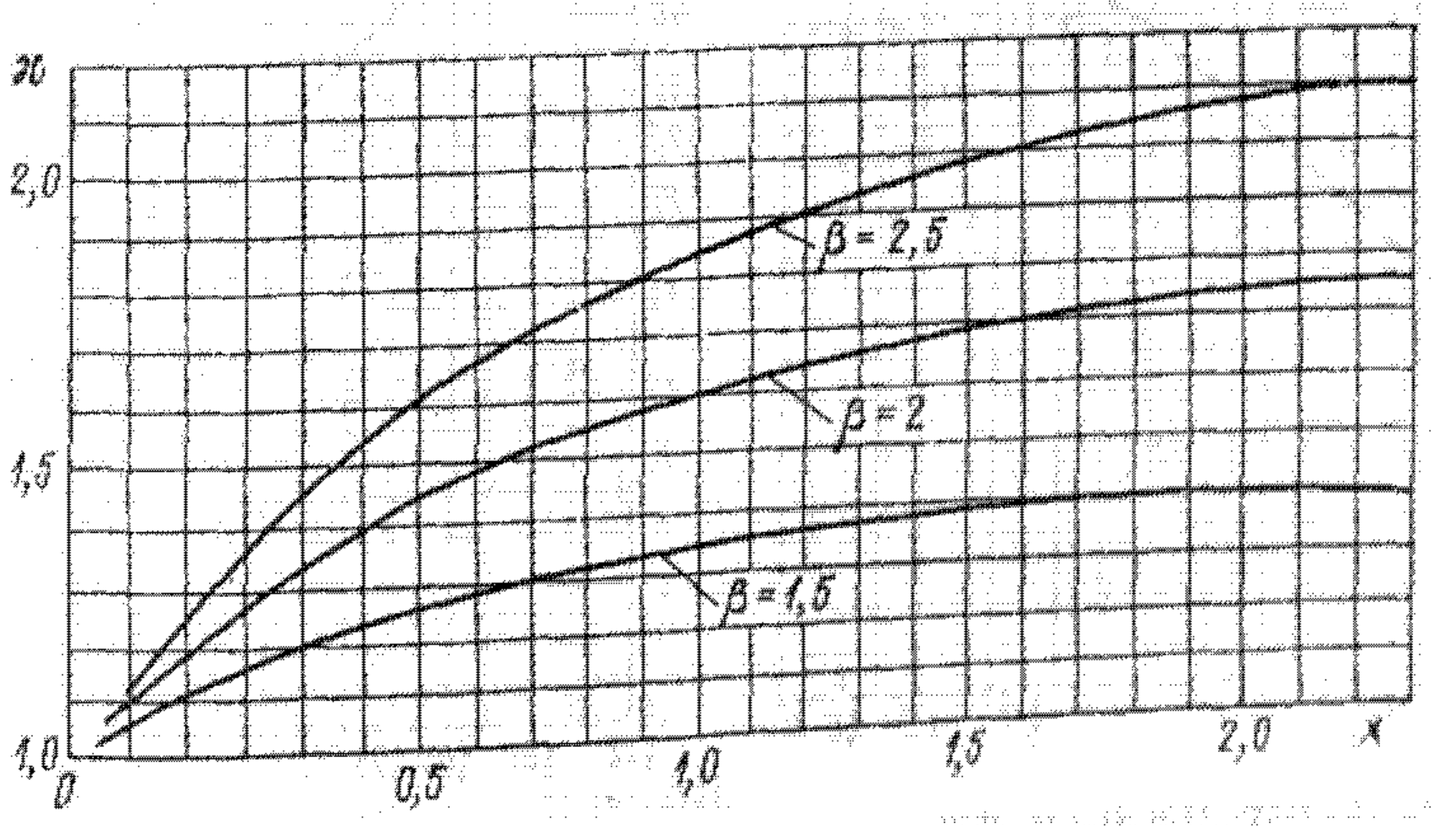


Рис. 19.13. График для определения коэффициента $\varkappa$

Линейная податливость прокладки (м/МН)

$$y_{\text{п}} = s_{\text{п}}/(\pi D_{\text{п.ср}} b_{\text{п}} E_{\text{п}}), \qquad (19.23)$$

где $E_{\text{п}}$ — модуль продольной упругости материала прокладки.

Расчетная длина болта

$$l_{\text{Б}} = l_{\text{Б0}} + 0{,}28d, \qquad (19.24)$$

где $l_{\text{Б0}}$ — длина болта между опорными поверхностями головки болта и гайки.

Расчетная длина шпильки с двумя гайками

$$l_{\text{Б}} = l_{\text{Б0}} + 0{,}56d, \qquad (19.25)$$

где $l_{\text{Б0}}$ — длина шпильки между опорными поверхностями гаек.

Линейная податливость болтов (шпилек), м/Н

$$y_{\text{Б}} = l_{\text{Б}}/(E_{\text{Б}} f_{\text{Б}} z_{\text{Б}}), \qquad (19.26)$$

где $f_{\text{Б}}$ — расчетная площадь поперечного сечения болта (шпильки) по внутреннему диаметру резьбы (см. табл. 19.27); $E_{\text{Б}}$ — модуль продольной упругости материала болта (шпильки), МПа.

Коэффициент жесткости фланцевого соединения

$$\alpha = A\,[y_{\text{Б}} + 0{,}25\,(B_1 + B_2)\,(D_{\text{Б}} - D_{\text{п.ср}})]. \qquad (19.27)$$

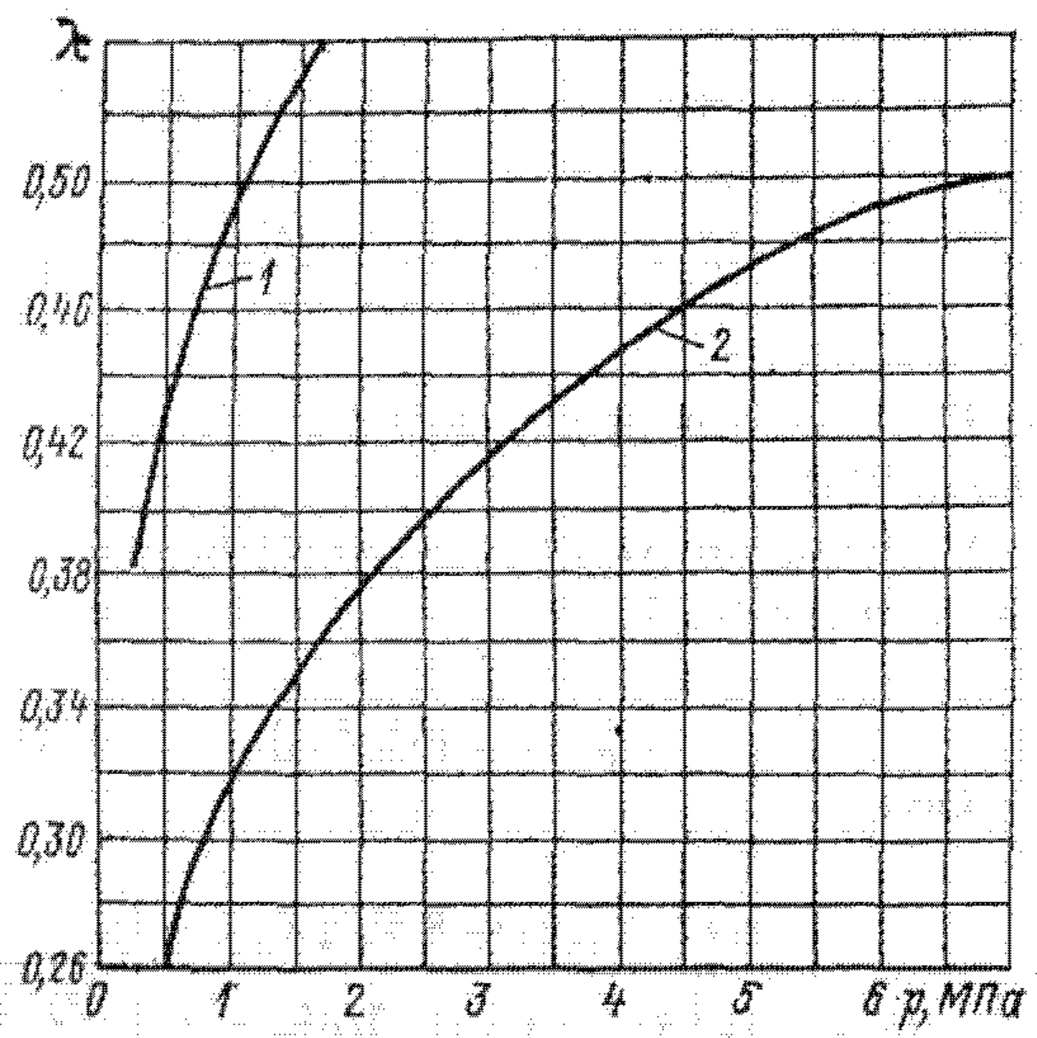


Рис. 19.14. График для определения коэффициента λ:
1 — для плоских приварных фланцев; 2 — для приварных встык фланцев

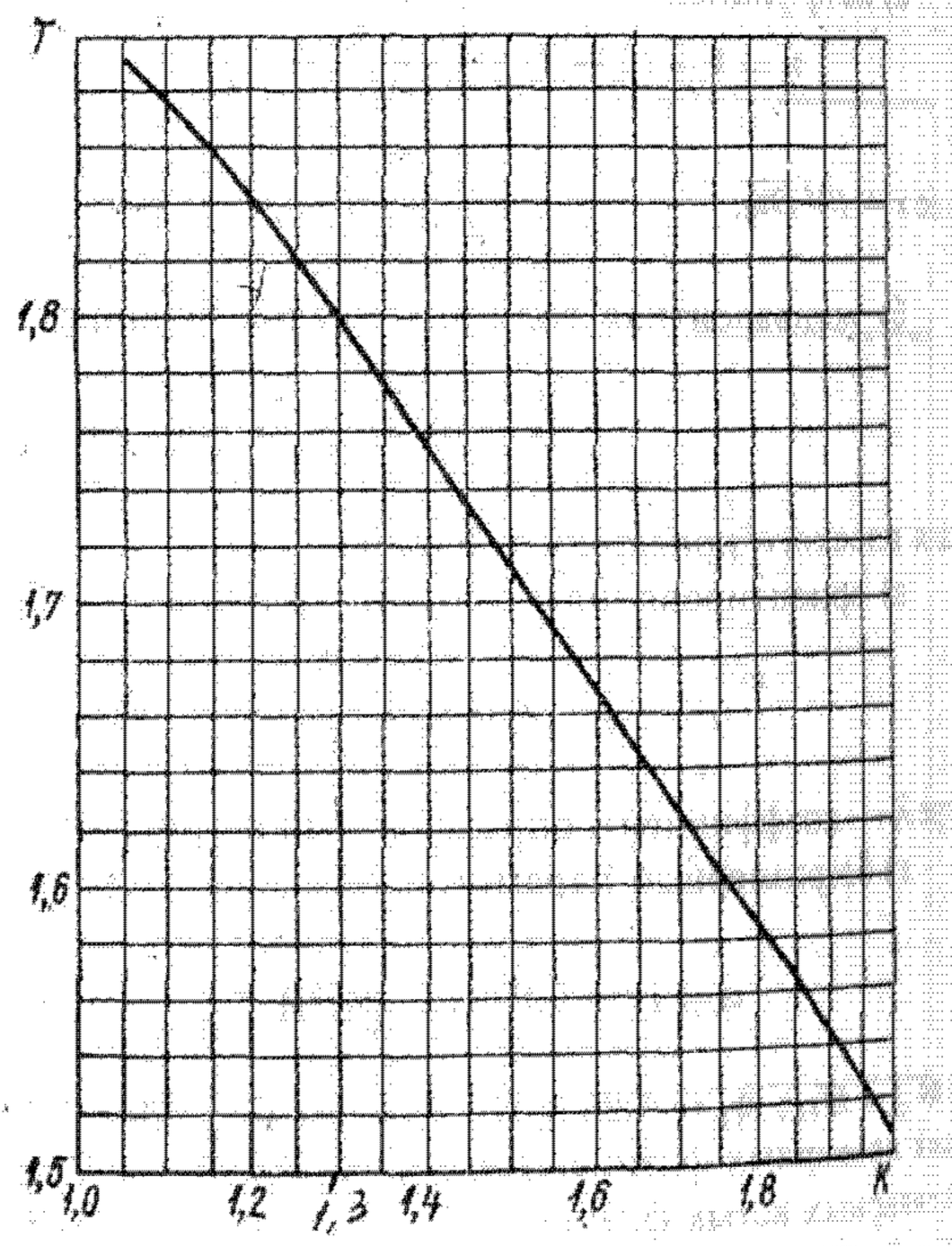


Рис. 19.16. График для определения T

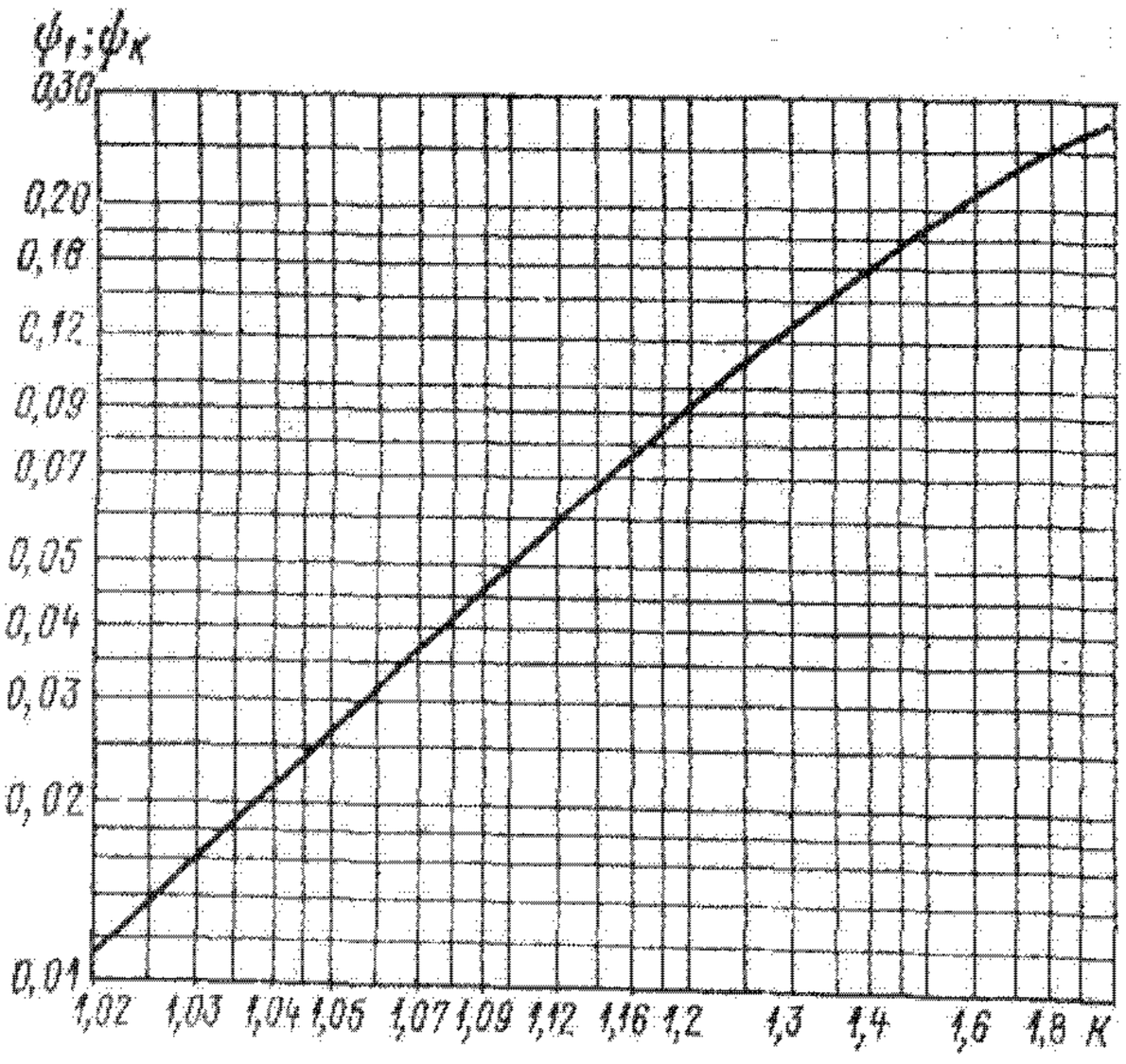


Рис. 19.15. График для определения ψ_1 и $\psi_{\text{к}}$

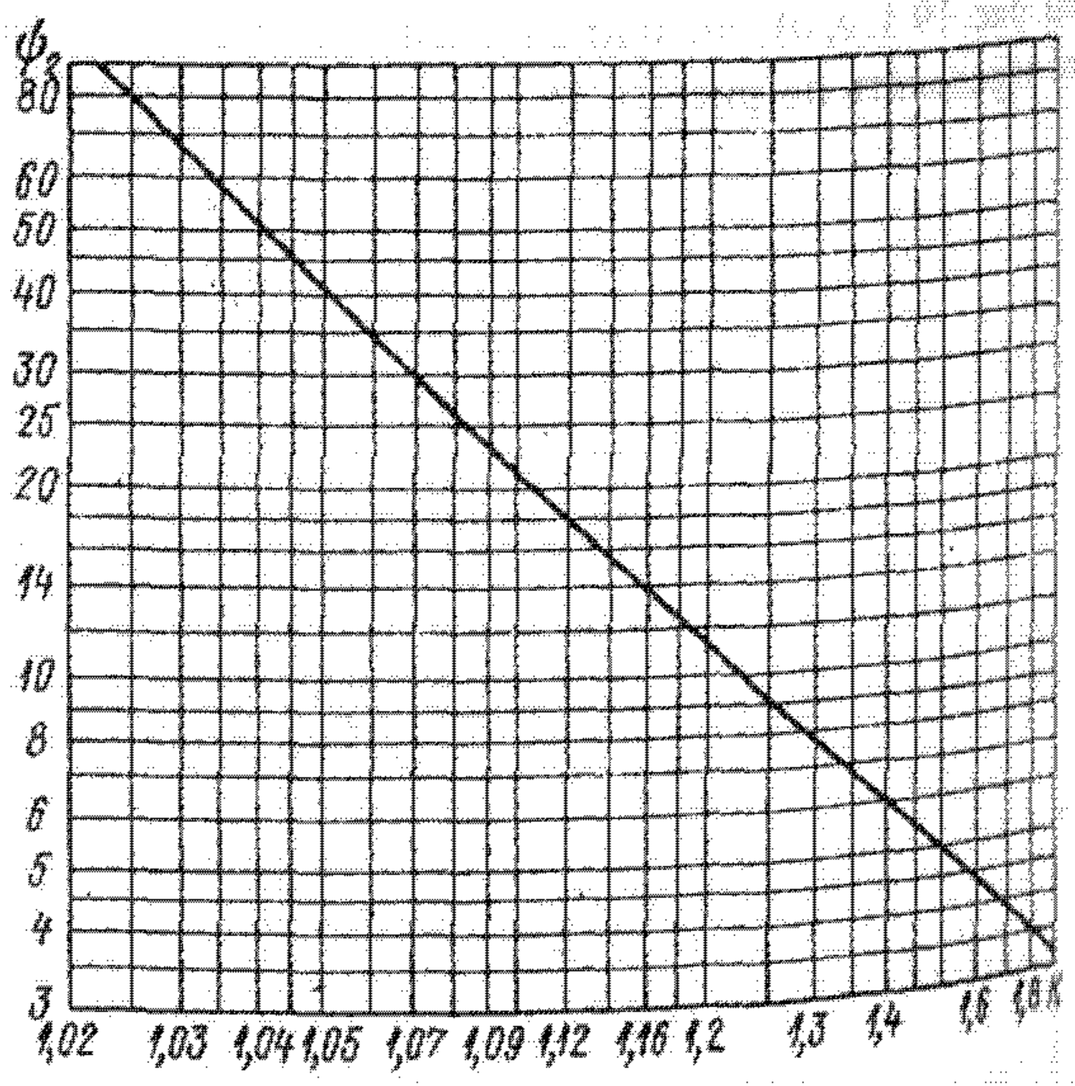


Рис. 19.17. График для определения Ψ_2

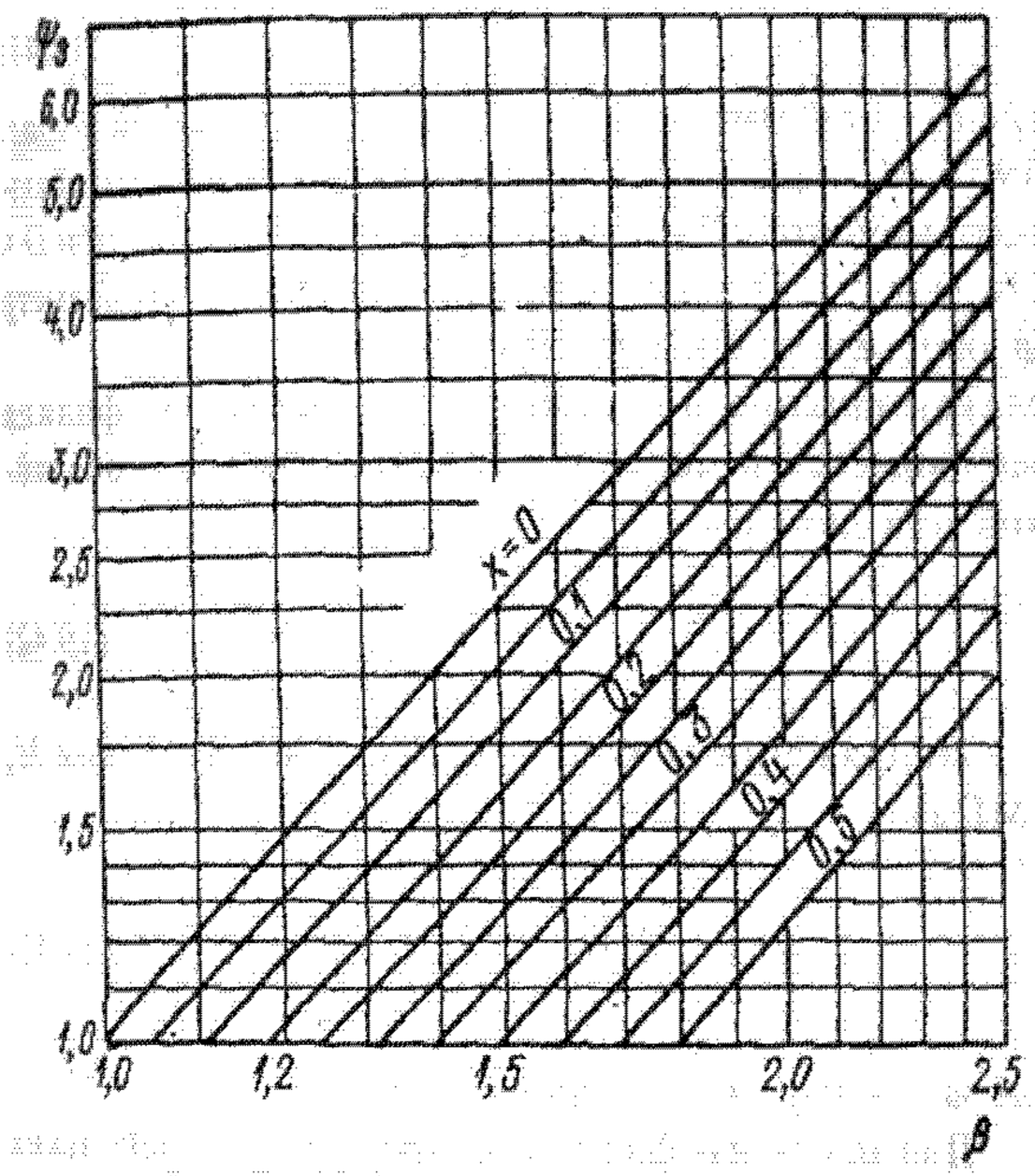


Рис. 19.18. График для определения ψ_3

Здесь

$$A = [y_{\text{п}} + y_{\text{Б}} + 0{,}25\,(y_{\text{ф}1} + y_{\text{ф}2})\,(D_{\text{Б}} - D_{\text{п.ср}})^2]^{-1};$$

$$B_1 = y_{\text{ф}1}\,(D_{\text{Б}} - D_1 - s_{E1}); \quad B_2 = y_{\text{ф}2}\,(D_{\text{Б}} - D_2 - s_{E2}),$$

где D_1 и D_2 — внутренние диаметры D фланцев 1 и 2.

При стыковке одинаковых фланцев:

$$y_{\text{ф}1} = y_{\text{ф}2}; \quad B_1 = B_2.$$

При стыковке фланца с плоской крышкой:

$$y_{\text{ф}1} = \frac{[1 - \omega\,(1 + 0{,}9\lambda)]\,\psi_2}{h_1^3 E}; \quad y_{\text{ф}2} = y_{\text{кр}};$$

$$B_1 = y_{\text{ф}1}\,(D_{\text{Б}} - D_1 - s_{E1}); \quad B_2 = 0{,}25 y_{\text{кр}}\,(D_{\text{Б}} - D_{\text{п.ср}}).$$

Для фланцев с овальными и восьмиугольными прокладками и фланцев со свободными кольцами $\alpha = 1$.

Безразмерный коэффициент γ:

а) для соединений с приварными фланцами

$$\gamma = A y_{\text{Б}}, \qquad (19.28)$$

б) для фланцев со свободными кольцами

$$\gamma = A_1 y_{\text{Б}}. \qquad (19.29)$$

Здесь

$$A_1 = [y_{\text{п}} + y_{\text{Б}} + 0{,}5 y_{\text{ф}}\,(D_s - D_{\text{п.ср}})^2 + 0{,}5 y_{\text{к}}\,(D_{\text{Б}} - D_s)^2]^{-1},$$

где $y_{\text{к}} = 6/(E_{\text{к}} h^3 \psi_{\text{к}})$; $\psi_{\text{к}}$ — параметр, определяемый по рис. 19.15 в зависимости от отношения $K = D_{\text{ф}}/D_s$;

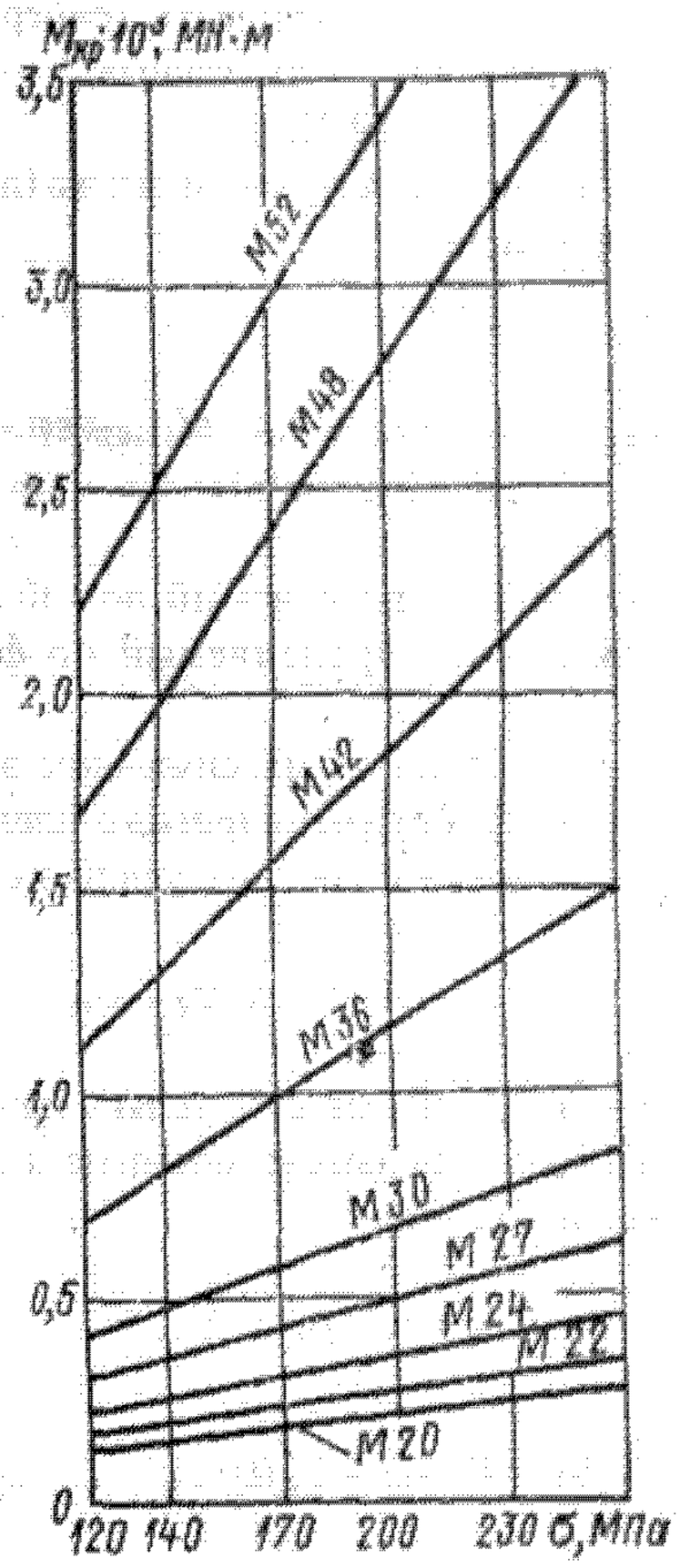


Рис. 19.19. График для определения $M_{\text{кр}}$

D_s — наружный диаметр контактной поверхности бурта (на рис. 13.1, *г* $D_s = D_3$); h — толщина свободного кольца (на рис. 19.1, *г* $h = h_1$).

Расчет фланцевого соединения, работающего под действием внутреннего давления. Нагрузка, действующая на фланцевое соединение от внутреннего избыточного давления:

$$Q_{\text{g}} = 0{,}785 D_{\text{п.ср}}^2 p_R. \qquad (19.30)$$

Реакция прокладки в рабочих условиях

$$R_{\text{п}} = 2\pi D_{\text{п.ср}} b_E m p_R, \qquad (19.31)$$

где m — коэффициент, принимаемый по табл. 19.28.

Усилие, возникающее от температурных деформаций:

а) для приварных фланцев из одного материала

$$Q_t = \gamma z_{\text{Б}} l_{\text{Б}} E_{\text{Б}}\,(\alpha_{\text{ф}} t_{\text{ф}} - \alpha_{\text{Б}} t_{\text{Б}}); \qquad (19.32)$$

б) то же из разных материалов

$$Q_t = \gamma z_{\text{Б}} l_{\text{Б}} E_{\text{Б}}\,[0{,}5\,(\alpha_{\text{ф}1} + \alpha_{\text{ф}2})\,t_{\text{ф}} - \alpha_{\text{Б}} t_{\text{Б}}]; \qquad (19.33)$$

в) для фланцев со свободными кольцами

$$Q_t = \gamma z_{\text{Б}} l_{\text{Б}} E_{\text{Б}}\,[0{,}5\,(\alpha_{\text{ф}} t_{\text{ф}} + \alpha_{\text{к}} t_{\text{к}}) - \alpha_{\text{Б}} t_{\text{Б}}]. \qquad (19.34)$$

Здесь $\alpha_{ф1}$ и $\alpha_{ф2}$ — коэффициенты температурного линейного расширения разных фланцев; $f_б$ — по табл. 19.27; $t_ф$, $t_к$, $t_б$ — по табл. 19.21.

Болтовая нагрузка в условиях монтажа (до подачи внутреннего давления):

а) при $p \le 0{,}6$ МПа

$$P_{б1} = \max\{\alpha Q_g + R_п;\ \pi D_{п.ср} b_E q;\ 0{,}4[\sigma_б]^{20} z_б f_б\}, \quad (19.35)$$

где q — параметр, определяемый по табл. 19.28; α — коэффициент, определяемый по формуле (19.27);

б) при $p > 0{,}6$ МПа — максимальное значение по формуле (19.35) (без учета третьего члена).

Болтовая нагрузка в рабочих условиях

$$P_{б2} = P_{б1} + (1-\alpha) Q_g + Q_t, \quad (19.36)$$

причем величина Q_t учитывается только при $Q_t > 0$.

Приведенные изгибающие моменты в диаметральном сечении фланца:

$$M_{01} = 0{,}5 P_{б1} (D_б - D_{п.ср}); \quad (19.37)$$

$$M_{02} = 0{,}5 [P_{б2} (D_б - D_{п.ср}) + Q_g (D_{п.ср} - D - s_E)] \frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t}. \quad (19.38)$$

При расчете бурта фланца со свободным кольцом вместо $D_б$ следует подставлять D_s (на рис. 19.1, *г* $D_s = D_3$).

За расчетное значение M_0 принимают большее из значений M_{01} и M_{02}.

Условия прочности болтов (шпилек):

$$\frac{P_{б1}}{z_б f_б} \le [\sigma_б]^{20}; \quad \frac{P_{б2}}{z_б f_б} \le [\sigma_б]^t. \quad (19.39)$$

В случае несоблюдения любого из условий (19.39) следует увеличить число болтов, но так, чтобы оно оставалось кратным четырем.

Крутящий момент на ключе при затяжке болтов (шпилек) $M_{кр}$ определяется по рис. 19.19.

Условия прочности прокладки (только для неметаллических прокладок)

$$P_{б1}/(\pi D_{п.ср} b_п) \le [q], \quad (19.40)$$

где $[q]$ — по табл. 19.28.

В случае несоблюдения условия (19.40) следует увеличить ширину прокладки в пределах значений, приведенных в табл. 19.25.

Расчет плоских приварных фланцев и приварных встык фланцев и буртов. Максимальное напряжение в сечении s_1 фланца (бурта) наблюдается в месте соединения втулки с плоскостью фланца (бурта):

$$\sigma_1 = \frac{T M_0 \omega}{D^* (s_1 - c_1)^2}, \quad (19.41)$$

где T — безразмерный параметр, определяемый по рис. 19.16; M_0 — расчетное значение приведенного изгибающего момента; $D^* = D$ при $D \ge 20 s_1$; $D^* = D + s_0$ при $D < 20 s_1$ и $\psi_3 > 1$; $D^* = D + s_1$ при $D < 20 s_1$ и $\psi_3 = 1$ (параметр ψ_3 определяется по рис. 19.18).

Максимальное напряжение в сечении s_0 фланца наблюдается в месте соединения втулки с обечайкой или днищем:

$$\sigma_0 = \psi_3 \sigma_1. \quad (19.42)$$

Напряжение в кольце фланца от действия M_0 (МПа)

$$\sigma_к = \frac{M_0 [1 - \omega (1 + 0{,}9\lambda)] \psi_2}{D h^2}, \quad (19.43)$$

где ψ_2 — параметр, определяемый по рис. 19.17.

Для плоского фланца, сваренного из нескольких частей, в знаменатель выражения (19.43) вводится множитель $\varphi_к$ — коэффициент прочности сварного шва.

Напряжение во втулке фланца от внутреннего давления:

$$\sigma_x = \frac{pD}{2(s_0 - c)}; \quad (19.44)$$

$$\sigma_y = \frac{pD}{4(s_0 - c)}. \quad (19.45)$$

Условия прочности фланца (бурта):

а) в сечении s_1

$$\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_к^2 - \sigma_1 \sigma_к} \le [\sigma_1]; \quad (19.46)$$

б) в сечении s_0

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_y)^2 + \sigma_x^2 - (\sigma_0 + \sigma_y)\sigma_x} \le \varphi [\sigma_0]. \quad (19.47)$$

В случае несоблюдения любого из условий следует увеличить толщину фланца h или бурта h_1.

Угол поворота фланца (бурта)

$$\theta = \sigma_к D/(E_ф h) \le [\theta], \quad (19.48)$$

где θ — рад.

Из условий герметичности фланцевого соединения для плоских приварных фланцев (буртов) и приварных встык фланцев при $D > 2000$ мм $[\theta] = 0{,}013$; для приварных встык фланцев (буртов) при $D \le 2000$ мм $[\theta] = 0{,}009$.

При $Q_t < 0$ должно выполняться условие

$$[\sigma_б]^t z_б f_б - |Q_t| > P_{б2}. \quad (19.49)$$

Расчет свободного кольца. Приведенные изгибающие моменты в диаметральном сечении свободного кольца:

$$M_{01} = 0{,}5P_{Б1}(D_Б - D_б); \qquad (19.50)$$

$$M_{02} = 0{,}5P_{Б2}(D_Б - D_б)\frac{[\sigma_к]^{20}}{[\sigma_к]^t}. \qquad (19.51)$$

За расчетное значение M_0 принимается большее из значений M_{01} и M_{02}.

Условие прочности свободного кольца

$$\sigma_к = \frac{M_0\psi_2}{D_к h_к^2} \leqslant [\sigma_к]. \qquad (19.52)$$

Условие герметичности соединения

$$\theta = \frac{\sigma_к}{E_к}\frac{D_к}{h_к} \leqslant [\theta_к] = 0{,}026, \qquad (19.53)$$

где $D_к$ — внутренний диаметр кольца (на рис. 19.1, *г* $D_к = D_5$); $h_к$ — толщина кольца (на рис. 19.1, *г* $h_к = h_2$).

Расчет фланцевого соединения, работающего под совместным действием внутреннего избыточного давления, внешней осевой силы P и изгибающего момента M. Болтовая нагрузка в условиях монтажа (до подачи внутреннего избыточного давления)

$$P_{Б1} = \max\left\{\alpha(Q_g \pm P) + R_п + \frac{4M}{D_{п.ср}};\right.$$

$$\left.\pi D_{п.ср} b_E q;\ 0{,}4[\sigma_Б]^{20} z_Б f_Б\right\}. \qquad (19.54)$$

Последний член учитывается только при $p \leq 0{,}6$ МПа; $P < 0$ в случае сжимающей силы и $P \geq 0$ в случае растягивающей силы.

Болтовая нагрузка в рабочих условиях

$$P_{Б2} = P_{Б1} + (1-\alpha)(Q_g \pm P) + Q_t + \frac{4M}{D_{п.ср}}. \qquad (19.55)$$

Условие прочности болтов (шпилек) — по формуле (19.39), неметаллических прокладок — по формуле (19.40).

Расчет фланцевого соединения, работающего под действием внешнего давления. Болтовая нагрузка в условиях монтажа (до подачи наружного давления)

$$P_{Б1} = \max\{\pi D_{п.ср} b_E q;\ 0{,}4[\sigma_Б]^{20} z_Б f_Б\}. \qquad (19.56)$$

Болтовая нагрузка в рабочих условиях

$$P_{Б2} = P_{Б1} - Q_g + Q_t. \qquad (19.57)$$

Условие прочности болтов (шпилек) — по формуле (19.39), неметаллических прокладок — по формуле (19.40).

Приведенные изгибающие моменты в диаметральном сечении фланца:

$$M_{01} = 0{,}5P_{Б1}(D_Б - D_{п.ср}); \qquad (19.58)$$

$$M_{02} = 0{,}5\left[P_{Б2}(D_Б - D_{п.ср}) - Q_g(D_{п.ср} - D - s_g)\right]\frac{[\sigma]^{20}}{[\sigma]^t}; \qquad (19.59)$$

расчетным является большее значение.

В случае внесенных в процессе расчета изменений величин $z_Б$, h, $b_п$ следует указанные изменения учесть при определении окончательных значений других величин и параметров, откорректировать расчет в целом.

В расчетной практике широко используется упрощенный вариант расчета фланцевых соединений. Пример расчета фланцевых соединений по этому варианту приведен ниже.

Пример

Рассчитать на прочность и герметичность фланцевое соединение аппарата.

Исходные данные. Внутренний диаметр $D = 1600$ мм, толщина обечайки $s = 34$ мм, внутреннее давление $p_р = 4$ МПа, температура $t = 113{,}5$°С. Материал фланца — сталь 12Х18Н10Т, материал болтов — сталь 35Х. Фланцы неизолированные, приварные встык, имеют уплотнительную поверхность типа «шип—паз». Внешние изгибающий момент и осевая сила отсутствуют. Коэффициент прочности сварных швов $\varphi = 1$.

Решение. Заданная конструкция фланца представлена на рис. 19.20, *а*, а тип уплотнительной поверхности — на рис. 19.20, *б*.

1. Конструктивные размеры фланца. Толщина втулки принята $s_0 = 38$ мм, что удовлетворяет условию:

$$s < s_0 < 1{,}3s \quad (34 < 38 < 1{,}3 \cdot 34)$$

и

$$s_0 - s < 5 \text{ мм} \quad (38 - 34 = 4 \text{ мм} < 5 \text{ мм}),$$

Толщина s_1 втулки по формуле

$$s_1 = \beta_1 s_0 = 2 \cdot 38 = 76 \text{ мм},$$

где $\beta_1 = 2$ при $D/s_0 = 1600/38 = 42{,}1$ (см. рис. 19.12).

Высота втулки принимается по формуле:

$$h_в \geqslant \frac{1}{i}(s_1 - s_0) = \frac{1}{1/3}(76 - 38) = 114 \text{ мм}.$$

Принимаем $h_в = 120$ мм = 0,12 м.

Эквивалентная толщина втулки фланца

$$s_{эк} = s_0\left[1 + \frac{h_в(\beta_1 - 1)}{h_в + 0{,}25(\beta_1 + 1)\sqrt{Ds_0}}\right] = 38\left[1 + \frac{120(2-1)}{120 + 0{,}25(2+1)\sqrt{1600 \cdot 38}}\right] = 52{,}95 \text{ мм}.$$

Диаметр болтовой окружности по формуле:

$$D_б \geqslant D + 2(s_1 + d_б + u) = 1600 + 2(76 + 48 + 6) = 1860 \text{ мм},$$

где $u = 6$ мм; $d_б = 48$ мм при $p_р = 4$ МПа и $D = 1600$ мм (см. табл. 19.26). Принимаем $D_б = 1870$ мм = 1,87 м.

Наружный диаметр фланца

$$D_н \geqslant D_б + a = 1870 + 92 = 1962 \text{ мм},$$

где $a = 92$ мм — для шестигранных гаек М48 (см. табл. 19.27). Принимаем $D_н = 1970$ мм = 1,97 м.

Наружный диаметр прокладки по формуле:

$$D_{н.п} = D_б - e = 1870 - 61 = 1809 \text{ мм},$$

где $e = 61$ мм — для плоских прокладок при $d_б = 48$ мм (см. табл. 19.27).

Средний диаметр прокладки

$$D_{с.п} = D_{н.п} - b = 1809 - 20 = 1789 \text{ мм} = 1{,}789 \text{ м},$$

где $b = 20$ мм — ширина плоской неметаллической прокладки для диаметра аппарата $D = 1600$ мм (см. табл. 19.25).

Количество болтов по формуле:

$$n_б \geqslant \pi D_б / t_ш = 3{,}14 \cdot 1870/105{,}8 = 55{,}53,$$

где $t_ш = 2{,}2 d_б = 2{,}2 \cdot 48 = 105{,}8$ мм — шаг расположения болтов при $p_р = 4$ МПа, выбранный по табл. 19.29. Принимаем $n_б = 56$, кратное четырем.

Высота (толщина) фланца по формуле:

$$h_ф \geqslant \lambda_ф \sqrt{Ds_{эк}} = 0{,}447\sqrt{1600 \cdot 52{,}95} = 130{,}11 \text{ мм},$$

где $\lambda_ф = 0{,}447$ — для $p_р = 4$ МПа и приварных встык фланцев (см. рис. 19.14). Принимаем $h_ф = 140$ мм = =0,14 м.

Расстояние между опорными поверхностями гаек для фланцевого соединения с уплотнительной поверхностью типа «шип—паз» (ориентировочно)

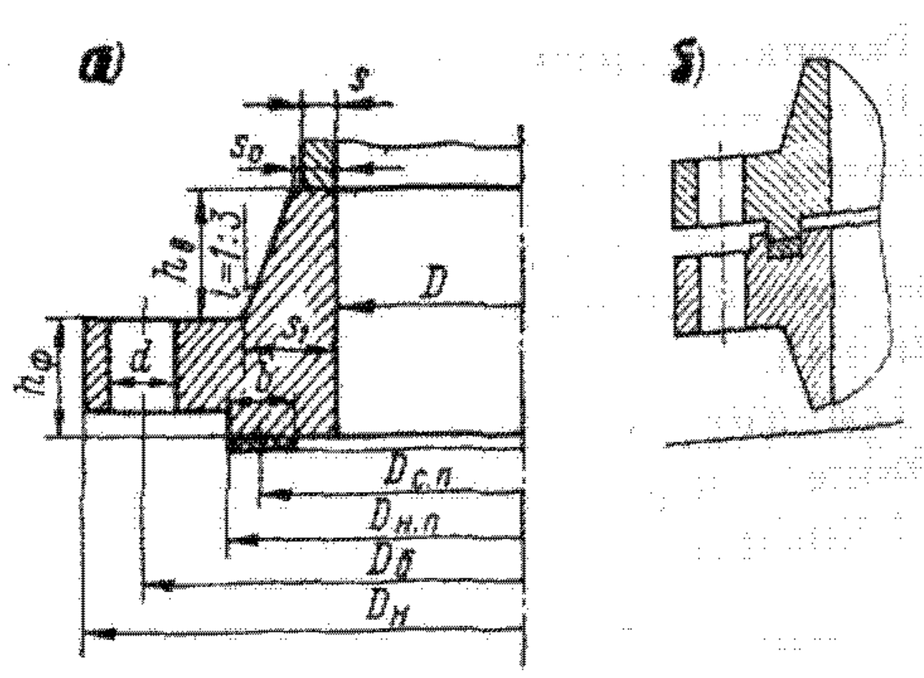


Рис. 19.20. Конструкция фланца и тип уплотнительной поверхности

$$l_{б.\,о} \approx 2\,(h_ф + h_п) = 2\,(140 + 2) = 284 \text{ мм} = 0{,}284 \text{ м},$$

где $h_п = 2$ мм — высота (толщина) стандартной прокладки.

2. Нагрузки, действующие на фланец. Равнодействующая внутреннего давления

$$F_д = p_р \pi D^2_{с.\,п}/4 = 4 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}789^2/4 = 10{,}05 \text{ МН}.$$

Реакция прокладки по формуле:

$$R_п = \pi D_{с.\,п} b_0\, m\, p_р = 3{,}14 \cdot 1{,}789 \cdot 16{,}97 \cdot 10^{-3} \cdot 2{,}5 \cdot 4 = 0{,}95 \text{ МН},$$

где $m = 2{,}5$ — для паронита (см. табл. 19.28); b_0 — эффективная ширина прокладки ($b_0 = 1{,}9\sqrt{b} = 1{,}9\sqrt{20 \cdot 10^{-3}} = 16{,}9 \cdot 10^{-3}$ м).

Усилие, возникающее от температурных деформаций, по формуле:

$$F_t = \frac{y_б n_б f_б E_б (\alpha_ф t_ф - \alpha_б t_б)}{y_п + y_б + 0{,}5 y_ф (D_б - D_{с.\,п})^2},$$

где $\alpha_ф = 16{,}6 \cdot 10^{-6}$ 1/°С и $\alpha_б = 13{,}3 \cdot 10^{-6}$ 1/°С — соответственно коэффициенты линейного расширения материала фланцев (12Х18Н10Т) и болтов (35Х); $t_ф = 0{,}96t = 0{,}96 \cdot 113{,}5 = 109$°С — расчетная температура неизолированных фланцев (см. табл. 19.21); $t_б = 0{,}95t = 0{,}95 \cdot 113{,}5 = 107{,}8$°С — расчетная температура болтов (см. табл. 19.21); $E_б = 1{,}9 \cdot 10^5$ МПа — для болтов из стали 35Х; $f_б = 14{,}4 \cdot 10^{-4}$ м² — для болтов диаметром $d_б = 48$ мм; $n_б$ — количество болтов ($n_б = 56$); $y_б$, $y_п$, $y_ф$ — податливости, соответственно болтов, прокладки, фланцев, вычисляемые по формулам:

$$y_б = l_б/(E_б f_б n_б) = 0{,}297/(1{,}9 \cdot 10^5 \cdot 14{,}4 \cdot 10^{-4} \cdot 56) = 19{,}34 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН},$$

где $l_б = l_{б.\,о} + 0{,}28 d_б = 0{,}284 + 0{,}28 \cdot 0{,}048 = 0{,}297$ м — расчетная длина болта;

$$y_п = h_п/(E_п \pi D_{с.\,п} b) = 2 \cdot 10^{-3}/(2000 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}789 \cdot 20 \cdot 10^{-3}) = 8{,}9 \cdot 10^{-6} \text{ м/МН},$$

где $E_п = 2000$ МПа — для прокладки из паронита (см. табл. 19.28);

$$y_ф = \left[1 - \nu\left(1 + 0{,}9\lambda'_ф\right)\right] \psi_2/(h^3_ф E) =$$

$$= [1 - 0{,}561\,(1 + 0{,}9 \cdot 0{,}481)]\, 9{,}6/(0{,}14^3 \cdot 2 \cdot 10^5) = 3{,}46 \cdot 10^{-3} \text{ 1/(МН·м)},$$

где

$$\lambda'_ф = h_ф/\sqrt{D s_{эк}} = 0{,}14/\sqrt{1{,}6 \cdot 52{,}95 \cdot 10^{-3}} = 0{,}481;$$

$$\psi_2 = (D_н + D)/(D_н - D) = (1{,}97 + 1{,}6)/(1{,}97 - 1{,}6) = 9{,}6;$$

$$\nu = \frac{1}{1 + 0{,}9\lambda'_ф\left(1 + \psi_1 h^2_ф/s^2_{эк}\right)} = \frac{1}{1 + 0{,}9 \cdot 0{,}481\,(1 + 0{,}116 \cdot 0{,}14^2/0{,}053^2)} = 0{,}561$$

при $\psi_1 = 1{,}28 \lg (D_н/D) = 1{,}28 \lg (1{,}97/1{,}6) = 0{,}116$; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа — для фланца из стали 12Х18Н10Т.

Тогда

$$F_t = \frac{19{,}34 \cdot 10^{-6} \cdot 56 \cdot 14{,}4 \cdot 10^{-4} \cdot 1{,}9 \cdot 10^5\,(16{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 109 - 13{,}3 \cdot 10^{-6} \cdot 107{,}8)}{8{,}9 \cdot 10^{-6} + 19{,}34 \cdot 10^{-6} + 0{,}5 \cdot 3{,}46 \cdot 10^{-3}\,(1{,}87 - 1{,}789)} = 2{,}69 \text{ МН}.$$

Коэффициент жесткости фланцевого соединения по формуле:

$$k_{ж} = \frac{y_б + 0{,}5y_ф(D_б - D - s_{эк})\,(D_б - D_{с.\,п})}{y_п + y_б + 0{,}5y_ф\,(D_б - D_{с.\,п})^2} =$$

$$= \frac{19{,}34\cdot 10^{-6} + 0{,}5\cdot 3{,}46\cdot 10^{-3}\,(1{,}87 - 1{,}6 - 52{,}95\cdot 10^{-3})\,(1{,}87 - 1{,}789)}{8{,}9\cdot 10^{-6} + 19{,}34\cdot 10^{-6} + 0{,}5\cdot 3{,}46\cdot 10^{-3}\,(1{,}87 - 1{,}789)^2} = 1{,}26.$$

Болтовая нагрузка в условиях монтажа до подачи внутреннего давления

$$F_{б1} = \max\left\{\begin{array}{c} k_{ж}F_д + R_п = 1{,}26\cdot 10{,}05 + 0{,}95 = 13{,}61\ \text{МН} \\ 0{,}5\pi D_{с.\,п} b_0\ q = 0{,}5\cdot 3{,}14\cdot 1{,}789\cdot 16{,}97\cdot 10^{-3}\cdot 20 = 0{,}96\ \text{МН} \end{array}\right\} = 13{,}61\ \text{МН},$$

где q = 20 МПа для паронитовой прокладки (см. табл. 19.28).

Болтовая нагрузка в рабочих условиях по формуле:

$$F_{б2} = F_{б1} + (1 - k_{ж})\,F_д + F_t = 13{,}61 + (1 - 1{,}26)\,10{,}05 + 2{,}69 = 13{,}69\ \text{МН}.$$

Приведенный изгибающий момент по формуле:

$$M_0 = \max\left\{\begin{array}{c} 0{,}5\,(D_б - D_{с.\,п})\,F_{б1} = 0{,}5\,(1{,}87 - 1{,}789)\,13{,}61 = 0{,}55\ \text{МН}\cdot\text{м} \\ 0{,}5\,[(D_б - D_{с.\,п})\,F_{б2} + (D_{с.\,п} - D - s_{эк})\,F_д]\,[\sigma]_{20}/[\sigma] = \\ = 0{,}5\,[(1{,}87 - 1{,}789)\,13{,}69 + (1{,}789 - 1{,}6 - 52{,}95\cdot 10^{-3})\,10{,}05]\times \\ \times\,160/150{,}4 = 1{,}32\ \text{МН}\cdot\text{м} \end{array}\right\} =$$

$$= 1{,}32\ \text{МН}\cdot\text{м},$$

где $[\sigma]_{20}$ = 160 МПа; $[\sigma]$ = 150 МПа — соответственно допускаемые напряжения для материала фланца при 20°С и расчетной температуре t = 113,5°С.

3. Проверка прочности и герметичности соединения. Условия прочности болтов выполняются:

$$F_{б1}/(n_б f_б) < [\sigma]_{б\,20}\quad 13{,}61/(56\cdot 14{,}4\cdot 10^{-4}) = 168{,}8\ \text{МПа} < 230\ \text{МПа};$$
$$F_{б2}/(n_б f_б) < [\sigma]_б\quad 13{,}69/(56\cdot 14{,}4\cdot 10^{-4}) = 169{,}8\ \text{МПа} < 229\ \text{МПа},$$

где $[\sigma]_{620}$ = 230 МПа; $[\sigma]_б$ = 229 МПа — для материала болтов при +20°С и расчетной температуре $t_б$ = 107,8°С (см. табл. 19.22).

Условие прочности неметаллической прокладки из паронита выполняется:

$$F_{б\ max}/(\pi D_{с.\,п} b) < [q_{пр}]\ 13{,}69/(3{,}14\cdot 1{,}789\cdot 20\cdot 10^{3}) = 121{,}85\ \text{МПа} < 130\ \text{МПа},$$

где $[q_{пр}]$ = 130 МПа — для прокладки из паронита (см. табл. 19.22); $F_{б\ max} = \max\{F_{б1}; F_{б2}\} = \max\{13{,}61\ \text{МПа}; 13{,}69\ \text{МПа}\} = 13{,}69$ МПа.

Максимальное напряжение в сечении фланца, ограниченном размером s_1, по формуле:

$$\sigma_1 = T_ф M_0 v/[D^*\,(s_1 - c)^2] = 1{,}82\cdot 1{,}32\cdot 0{,}561/[1{,}6\,(0{,}076 - 0{,}001)^2] = 149{,}23\ \text{МПа},$$

где $D^* = D = 1{,}6$ м при $D > 20s_1$ $(1600 > 20\cdot 76 = 1520)$;

$$T_ф = \frac{D_н^2\,[1 + 8{,}55\lg(D_н/D)] - D^2}{(1{,}05D^2 + 1{,}945D_н^2)\,(D_н/D - 1)} =$$

$$= \frac{1{,}97^2\,[1 + 8{,}55\lg(1{,}97/1{,}6)] - 1{,}6^2}{(1{,}05\cdot 1{,}6^2 + 1{,}945\cdot 1{,}97^2)\,(1{,}97/1{,}6 - 1)} = 1{,}82.$$

Максимальное напряжение в сечении, ограниченном размером s_0:

$$\sigma_0 = \psi_3\,\sigma_1 = 1{,}25\cdot 149{,}23 = 186{,}54\ \text{МПа},$$

где ψ_3 = 1,25 при $\beta = 2$ и $x = h_в/\sqrt{Ds_0} = 120/\sqrt{1600\cdot 38} = 0{,}487$ (см. рис. 19.18).

Окружное напряжение в кольце фланца по формуле:

$$\sigma_к = M_0 [1 - \nu (1 + 0{,}9\lambda'_ф)] \psi_2/(Dh_ф^2) =$$
$$= 1{,}32 [1 - 0{,}561 (1 + 0{,}9 \cdot 0{,}481)] 9{,}6/(1{,}6 \cdot 0{,}14^2) = 80{,}05 \text{ МПа}.$$

Напряжение во втулке от внутреннего давления:

тангенциальное

$$\sigma_t = p_р D/[2 (s_0 - c)] = 4 \cdot 1{,}6/[2 (38 - 1) 10^{-3}] = 86{,}49 \text{ МПа};$$

меридиональное

$$\sigma_m = p_р D/[4 (s_0 - c)] = 4 \cdot 1{,}6/[4 (38 - 1) 10^{-3}] = 43{,}24 \text{ МПа}.$$

Условие прочности для сечения фланца, ограниченного размером $s_1 = 76$ мм, выполняется:

$$\sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_к^2 - \sigma_t \sigma_к} < [\sigma]_1;$$
$$\sqrt{149{,}23^2 + 80{,}05^2 - 149{,}23 \cdot 80{,}05} = 129{,}35 \text{ МПа} < 228 \text{ МПа},$$

где $[\sigma]_1 = \sigma_т = 228$ МПа — допускаемое напряжение, равное пределу текучести стали 12Х18Н10Т при $t = 107{,}8$°С.

Условие прочности для сечения, ограниченного размером $s_0 = 38$ мм, выполняется:

$$\sqrt{(\sigma_0 + \sigma_m)^2 + \sigma_t^2 - (\sigma_0 + \sigma_m) \sigma_t} < \varphi [\sigma]_0;$$
$$\sqrt{(186{,}54 + 43{,}24)^2 + 86{,}49^2 - (186{,}54 + 43{,}24) 86{,}49} = 174{,}56 \text{ МПа} < 1 \cdot 400 \text{ МПа},$$

где $[\sigma]_0 = 0{,}002 E = 0{,}002 \cdot 2 \cdot 10^5 = 400$ МПа — для фланца из стали 12Х18Н10Т в сечении s_0 при $p_р = 4$ МПа.

Условие герметичности, определяемое углом поворота фланца, выполняется:

$$\theta = (\sigma_к/E) (D/h_ф) < [\theta];$$
$$\theta = (80{,}05/2 \cdot 10^5) (1{,}6/0{,}14) = 0{,}0046 < 0{,}009 \text{ рад},$$

где $[\theta] = 0{,}009$ рад — допускаемый угол поворота приварного встык фланца при $D = 1600$ мм < 2000 мм.

ГЛАВА 20

ОПОРЫ АППАРАТОВ

20.1. Конструкции

Установка технологических аппаратов на фундаменты или специальные несущие конструкции осуществляется большей частью с помощью опор. Непосредственно на фундаменты устанавливаются лишь аппараты с плоским днищем, предназначенные главным образом для работы под наливом.

В зависимости от рабочего положения аппарата различают опоры для вертикальных аппаратов и опоры для горизонтальных аппаратов.

Вертикальные аппараты обычно устанавливаются или на стойках, когда их размещают внизу помещения, или на подвесных лапах, когда аппарат размещают между перекрытиями в помещении или на специальных стальных конструкциях.

Аппараты с соотношением высоты к диаметру $H/D > 5$, размещаемые на открытой площадке, устанавливают на так называемых юбочных (цилиндрических и конических) опорах.

Горизонтальные аппараты независимо от их размещения (в помещении или на открытой площадке) устанавливают на седловых опорах.

Все указанные опоры для стальных сварных аппаратов стандартизированы.

Конструкции стандартных *опор для вертикальных аппаратов* приведены на рис. 20.1, а их основные характеристики — в табл. 20.1—20.4. Тип 1 (лапы) служит для аппаратов без теплоизоляции, тип 2 (лапы) — для аппаратов с теплоизоляцией, тип 3 (стойки) — для аппаратов с эллиптическими и коническими (с углом при вершине конуса $2\alpha \leq 120°$)

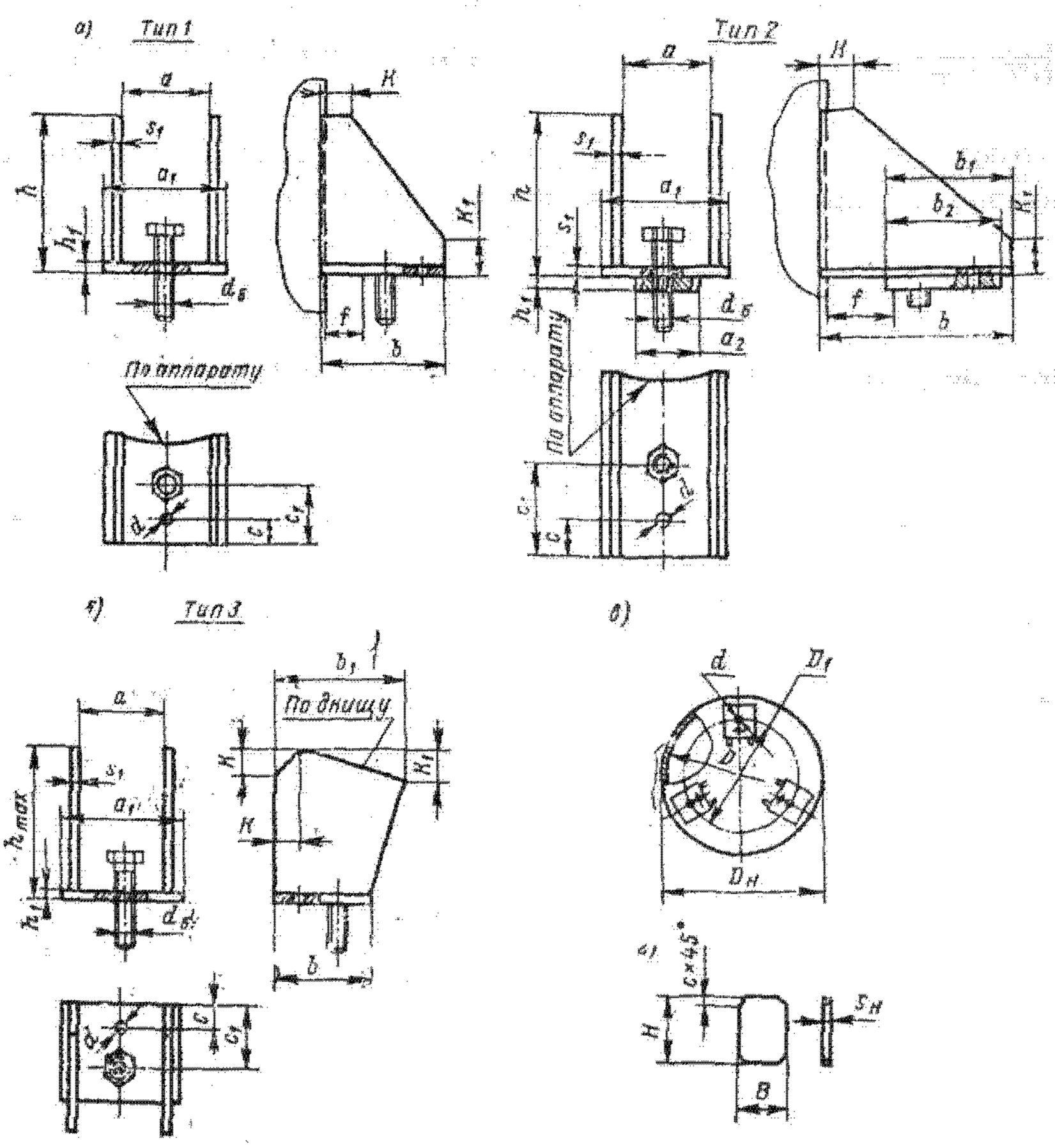


Рис. 20.1. Конструкции стандартных опор (лап и строек) для стальных сварных вертикальных цилиндрических аппаратов: *а* — типы 1 и 2 (лапы); *б* — тип 3 (стойки); *в* — схема расположения опор на днище аппарата; *г* — накладной лист

днищами. В зависимости от толщины стенки корпуса аппарата лапы привариваются или непосредственно к корпусу, или к накладному листу.

Материал деталей этих опор выбирается из условий эксплуатации. Накладной лист приваривается к корпусу аппарата сплошным швом. Если опоры выполнены из углеродистой стали, а аппарат — из коррозионностойкой стали, накладные листы должны выполняться из стали той же марки, что и корпус аппарата.

Число опор определяется расчетом и конструктивными соображениями: лап должно быть не менее двух, стоек — не менее трех.

На рис. 20.2 приведены конструкции седловых опор, а их основные характеристики — в табл. 20.5 и 20.6. Тип 1 предназначен для аппаратов с наружным диаметром $D_н$ = 159 – 630 мм (исполнение 1 — с одним отверстием под фундаментный болт; исполнение 2 — с двумя овальными отверстиями под фундаментные болты), тип 2 для аппаратов с D = 800 – 2000 мм (исполнение 1 — с допускаемой нагрузкой на опору Q = 80 – 250 кН; исполнение 2 — Q = 160 – 400 кН); тип 3 для аппаратов с

Таблица 20.1

Опоры (лапы) для вертикальных аппаратов (рис.14.1, а, типы 1 и 2), ОСТ 26-665–79, мм

Q, кН	Тип опоры	a	a_1	a_2	b	b_1	b_2	c	c_1	h	h_1	h_2	d	d_b	K_1	K	s_1	f_{max}
1,6	1	45	65	— 40	60 100	— 50	— 45	15	40	85 120	8	—	12	M12	15 25	10	4	10 40
	2																	
4,0	1	75	95	— 60	95 160	— 70	— 65	20	50	140 190	10	—			25 40	15	5	25 80
	2																	
10,0	1	90	115	— 80	115 195	— 85	— 80		85	170 235	14	—		M16	30 50	20	6	30 105
	2												24					
25,0	1	125	155	— 100	155 255	— 120	— 115		90	230 310	16	—		M20	40 65	25	8	40 140
	2							45										
40,0	1	150	190	— 120	185 315	— 150	— 140			295 390	20	—		M24	60 80	30	10	50 160
	2												35					
63,0	1	185	230	— 150	230 380	— 170	— 160	60	130	360 470	24	—		M30	70 100	35	12	60 210
	2																	
100,0	1	250	310	— 200	310 520	— 230	— 220	63	160	475 620	30	—		M36	95 130	40	16	80 280
	2												42					
160,0	1	300	380	— 250	390 650	— 290	— 280		200	585 780	36	—		—	115 180	60	20	100 350
	2																	
250,0	1	360	455	— 300	480 800	— 360	— 350		240	695 940	40	—		—	135 220	75	24	120 435
	2																	
400,0	1	430	540	— 375	520 890	— 420	— 410	70	280	810 1100	45	—	50	—	150 255	85	30	145 470
	2																	
630,0	1	540	690	— 460	680 1150	— 550	— 540	80	400	1100 1420	55	—		—	170 280	110	40	180 600
	2																	

Примечание. Величина зазора между аппаратом и подпорной рамой f принимается конструктивно, но не более f_{max}.
Пример условного обозначения опоры типа 1 с допускаемой нагрузкой Q = 25 кН:

Опора 1-2500 ОСТ 26-665—79

D = 2200 – 4000 мм (исполнение 1 — с Q = 250 – 630 кН; исполнение 2 — Q = 500 – 1400 кН).

Скольжение опоры от температурных удлинений аппарата, устанавливаемого на бетонном фундаменте, должно происходить по опорному листу (ОСТ 26-1267—75), а для аппарата, устанавливаемого на металлоконструкции, — по листу, предусматриваемому в последней. Опорный лист (табл. 20.7) приваривается к аппарату прерывистым угловым швом с катетом, равным меньшему из значений толщины корпуса или опорного листа. Если корпус аппарата подлежит термообработке, проварка опорного листа осуществляется до термообработки, а опора к корпусу приваривается после нее.

Материал седловых опор выбирается в зависимости от температуры рабочей среды, емкости аппарата и температуры самой холодной пятидневки в месте его установки (табл. 20.8).

Таблица 20.2

Накладные листы под опоры (лапы) типов 1 и 2 для вертикальных аппаратов (рис.20.1, *г*), ОСТ 26-665 – 79, мм

Q, кН	Тип опоры	B	H	c	$s_н$
1,6	1 2	75	120 155	8	4; 6; 8; 10
4,0	1 2	125	200 255	10	6; 8; 10; 12
10,0	1 2	150	250 310	12	
25,0	1 2	200	330 410	16	8; 10; 12; 16
40,0	1 2	250	405 510	20	
63,0	1 2	300	490 620	24	10; 12; 16; 20
100,0	1 2	400	650 820	32	10; 12; 16; 20
160,0	1 2	500	810 1020	40	12; 16; 20; 24
250,0	1 2	600	970 1230	48	16; 20; 24; 28
400,0	1 2	700	1140 1440	50	20; 24; 28
630,0	1 2	900	1480 1860	55	

Примечания: 1. Размер $s_н$ определяется расчетом и округляется до ближайшего большего значения по табл. 20.2, но должен быть не менее толщины обечайки. 2. Сторона накладного листа с размером B изгибается по наружному диаметру аппарата.

Пример условного обозначения накладного листа для опоры типа 1 с допускаемой нагрузкой Q = 25 кН и толщиной 12 мм:

Накладной лист 1-2500-8 ОСТ 26-665—79.

Таблица 20.3

Опоры (стойки) для вертикальных аппаратов (рис.20.1, *б*, тип 3), ОСТ 26-665 – 79, мм

Q, кН	a	a_1	b	b_1	c	c_1	h_{max}	h_1	s_1	K	K_1	d	$d_Б$
4,0	75	110	85	120	22	30	220	10	6	6	60	19	М12
10,0	90	125	115	160	22	60	295	14	8	10	80	19	М16
25,0	125	165	140	200	22	80	365	16	10	10	105	24	М20
40,0	150	205	180	240	40	100	440	20	12	12	125	35	М24
63,0	185	245	210	280	40	120	515	24	14	15	150	35	М30
100,0	250	325	250	360	40	160	660	30	18	20	180	42	М36
160,0	300	390	340	480	60	200	875	36	24	25	250	42	—
250,0	360	480	490	680	60	240	1240	40	34	35	350	42	—

Примечание. Размеры b_1 и K_1 в опорах для конических днищ справочные.

Пример условного обозначения опоры типа 3 с допускаемой нагрузкой Q = 63 кН:

Опора 3-6300 ОСТ 26-665—79.

Таблица 20.4

Расположение фундаментальных болтов в плане для вертикальных аппаратов с опорами-стойками (рис.20.1, *в*), ОСТ 26-665 – 79, мм

D	D_1	D	D_1	D	D_1	D	D_1	D	D_1
219*	160	550	480	1100	1000	1800	1610	3000	2810
273*	215	600	520	1200	1100	1900	1710	3200	2960
325*	265	650	570	1300	1200	2000	1810	3400	3160
377*	320	700	620	1400	1260	2200	2010	3600	3360
400	340	800	720	1500	1360	2400	2210	3800	3560
450	390	900	820	1600	1410	2600	2410	4000	3760
500	430	1000	920	1700	1510	2800	2610	4500	4260
								5000	4760

Примечания: 1. На рис. 20.1, *в* показаны три опоры как возможный вариант исполнения. 2. Диаметры отверстия под фундаментные болты d — по табл. 20.3.

* Наружный диаметр аппарата $D_н$ (см. рис. 20.1, *в*), остальные диаметры внутренние.

Число седловых опор, располагаемых вдоль аппарата, определяется расчетом в зависимости от длины и массы аппарата и может быть равно двум и более. При этом одна опора должна быть неподвижной, остальные подвижными. Расстояние между неподвижной и подвижной опорами выбирается так, чтобы температурные удлинения аппарата между смежными опорами не превышали 35 мм.

Регулировочные болты, предусмотренные в стандартных седловых опорах, допускают нагрузку на одну опору (при незаполненном аппарате) не более 160 кН. После выверки аппарата на фундаменте и затвердении бетонной подливки регулировочные болты и болты, предназначенные для крепления подкладного листа к опоре на время установки аппарата на фундамент, удаляются.

Сварка деталей седловых опор между собой выполняется сплошными односторонними угловыми или тавровыми швами, а опоры и опорного листа — прерывистым двусторонним угловым швом. Приварка опоры сплошным односторонним угловым швом без опорного листа непосредственно к корпусу аппарата допускается только для опоры типа 1, при этом $R = 0{,}5D_н$.

Фундаментные болты у подвижной опоры должны быть снабжены контргайками и не затягиваться (устанавливаться с зазором 1—2 мм). Расположение фундаментных болтов в опорах должно обеспечивать свободное перемещение их вследствие температурного удлинения.

Конструкции стандартных опор для колонных аппаратов приведены на рис. 20.3 и 20.4, пределы применения стандартных опор в зависимости от диаметра колонны и минимальной приведенной нагрузки — в табл. 20.9, а основные размеры — в табл. 20.10—20.13.

Высота цилиндрических опор H_1 должна быть не менее 600 мм и выбирается по условиям эксплуатации аппарата.

Материал деталей опор должен выбираться исходя из условий эксплуатации и в соответствии с техническими требованиями ОСТ 26-291—94.

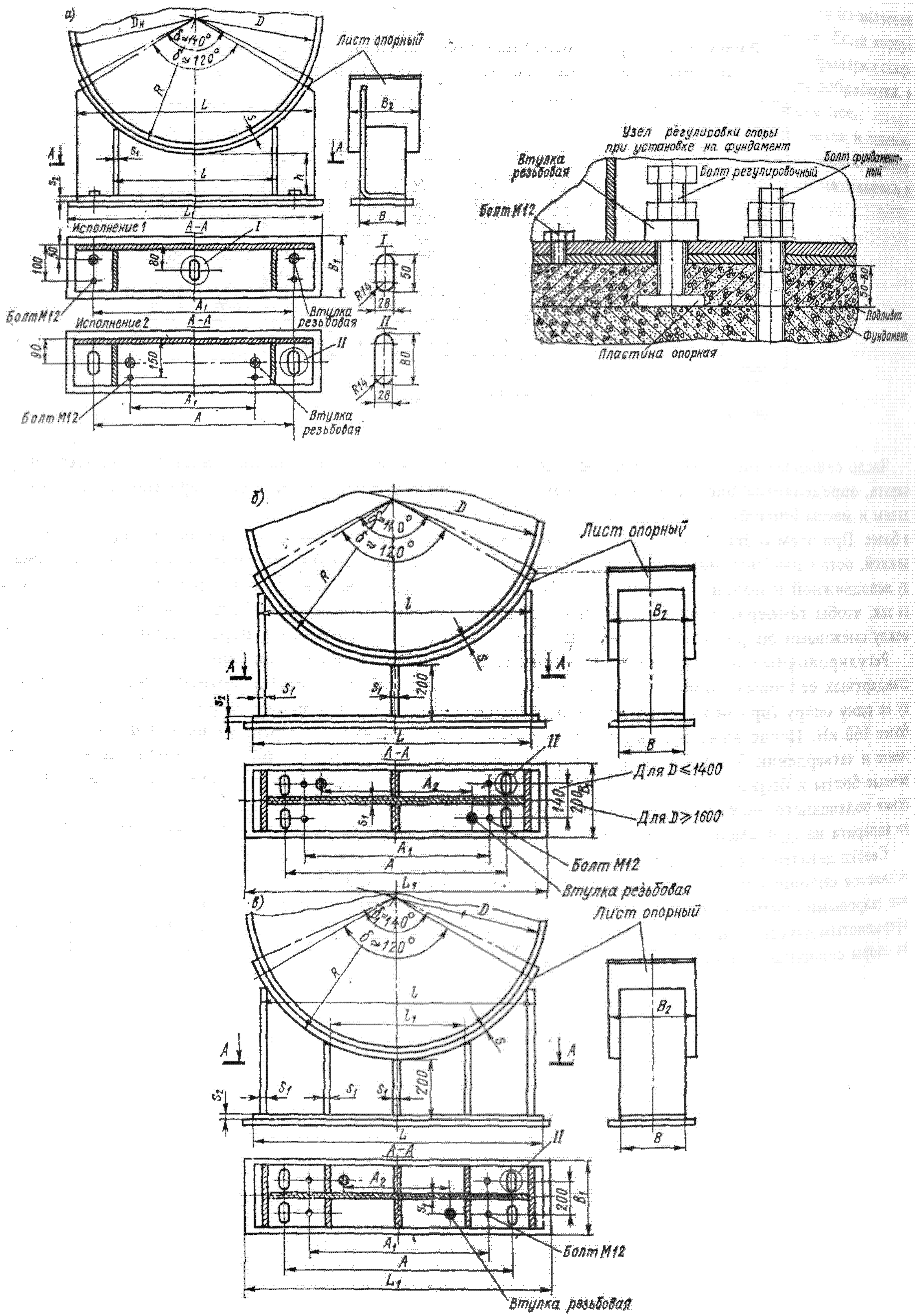


Рис. 20.2 Конструкции стандартных седловых опор под стальные сварные горизонтальные цилиндрические аппараты
а — тип 1; *б* — тип 2; *в* — тип 3

Таблица 20. 5

Опоры седловые типа 1 (рис. 20.2, *а*), ОСТ 26-1265 – 75, мм

$D_н$	Q, кН	s_1	s_2	R	L	l	h	A	A_1
159	16	6	10	84	180	90	75	—	140
219	20			114	240	140	75		200
273	20			141	290	190	100		250
325	20	6	10	167	400	240	125		
377	50	8	14	193			135	330	130
400*				214; 222; 230					
426				217	450	250	135		
480				244			145		
500*	60	10	16	264; 272; 282	500	300	200	380	160
530				271					
600*	80			314; 322; 332	600	340		450	200
630				325					

Примечания. 1. Для аппаратов с $D_н \le 273$ мм $B = 120$ мм; для аппаратов с $D_н \ge 325$ мм $B = 180$ мм. 2. Размеры опорной плиты $L_1 = L + 20$ мм; $B_1 = B + 80$ мм. 3. Втулки резьбовые: для $D_н \le 325$ мм d = М16; для $D_н$ = 377–480 мм d = М24; для $D_н$ = 500–630 мм d = М36. 4. Размер B_2 см. в табл. 20.7.

Примеры условного обозначения опоры типа 1 исполнения 1 с $Q = 20$ кН, $R = 167$ мм, исполнения по материалу 1 (см. табл. 20.8), без опорного листа:

Опора 20-167-1 ОСТ 26-1265—75;

то же с опорным листом:

Опора 20-167-1-II ОСТ 26-1265—75;

* *Внутренний диаметр D.*

Таблица 20.6

Опоры седловые типа 2 и 3 (рис. 20.2, *б*, *в*), ОСТ 26-1265—75, мм

D	Q, кН		s_1		s_2		R	L	l_1	A	A_1	A_2
	Исполнение											
	1	2	1	2	1	2						
800	80	160	8	14	14	18	414; 422; 432; 442	740	—	50	400	250
1000	125	200		14	14	18	514; 522; 532; 546	1000		650	550	400
1200	125	200		12	14	18	614; 622; 630; 638	1100		800	700	550

Продолжение табл. 20.6

D	Q, кН		s_1		s_2		R	L	l_1	A	A_1	A_2
	Исполнение											
	1	2	1	2	1	2						
1400	160	250		12	14	20	714; 722; 732; 744	1250		950	850	700
1600	160	300	8	12	14	20	814; 822; 832	1420	—	1100	1000	850
1800	160	300		12	14	20	914; 922; 930; 936	1600		1100	1000	850
2000	250	400		12	16	20	1014; 1022; 1032; 1042	1770		1500	1400	1250
2200	250	500	8	14	14	20	1116; 1124; 1132; 1146	1940	940	1500	1300	750
2400	400	630	10	18	18	22	1216; 1224; 1232; 1246	2120	1050	1800	1600	750
2600	400	750	10	18	18	22	1316; 1324; 1332; 1346	2290	1100	1800	1600	750
2800	400	750	10	18	18	22	1416; 1424; 1432; 1446	2460	1200	2200	2000	1000
3000	630	900	14	18	20	22	1520; 1528; 1540	2640	1300	2200	2000	1000
3200	630	900	14	18	20	22	1620; 1628; 1634; 1640	2810	1360	2200	2000	1200
3400	630	1400	12	24	20	26	1720; 1726; 1732; 1740	2990	1470	2390	2190	1200
3600	630	1400	12	24	18	26	1820; 1828; 1834	3160	1570	2800	2600	1400
3800	630	1400	12	22	18	24	1920; 1928; 1934	3330	1650	2800	2600	1400
4000	630	1400	12	20	18	24	2020; 2028; 2034	3510	1740	2800	2600	1400

Примечания. 1. Для всех опор $l = L - 20$ мм. 2. Ширина опоры: для $D \le 1400$ мм $B = 250$ мм; для $D \ge 1600$ мм $B = 300$ мм. 3. Размеры опорной плиты: $L_1 = L + 20$ мм; $B_1 = B + 100$ мм. 4. Втулки резьбовые для всех опор имеют диаметр d = М48. 5. Размер B_2 см. в табл. 20.7.

Примеры условного обозначения опоры типа 2 исполнения 2 с $Q = 200$ кН, $R = 630$ мм, исполнения по материалу 2 (см. табл. 20.8), без опорного листа:

Опора 200-630-2-I ОСТ 26-1265—75;

то же с опорным листом:

Опора 200-630-2-II ОСТ 26-1265—75.

Таблица 20.7

Опорные листы к седловым опорам (рис. 20.2), ОСТ 26-1267 – 75, мм

D	R	s	B_2	D	R	s	B_3
159*	84	4	140	325*	167	4	220
219*	114			377*	193		
273*	141						

Продолжение табл. 20.7

D	R	s	B_2	D	R	s	B_2
400	214 222	10; 8; 6; 4	220	1600	814	10; 8; 6	400
	230	10; 8; 6			822	12; 10; 8; 6	
426 * 480 *	217 244	4			832	14; 12; 10; 8; 6	
500	264 272	10; 8; 6; 4		1800	914	10; 8; 6	
	282	12; 10; 8; 6			922	12; 10; 8; 6	
530 *	271	6			930 936	12; 10; 8	
600	314	10; 8; 6		2000	1014	10; 8; 6	
	322	12; 10; 8; 6			1022	12; 10; 8; 6	
	332	14; 12; 10; 8; 6			1032	14; 12; 10; 8; 6	
630 *	325	10			1042	14; 12; 10; 6	
800	414	10; 8; 6		2200	1116	10; 8; 6	
	422	12; 10; 8; 6			1124	12; 10; 8	
	432	14; 12; 10; 8; 6			1132	14; 12; 10; 8	
	442	14; 12; 10; 6			1146	20; 18; 16; 14; 10	
1000	514	10; 8; 6	360	2400	1216	10; 8; 6	
	522	12; 10; 8; 6			1224	12; 10; 8	
	532	14; 12; 10; 8; 6			1232	14; 12; 10; 8	450
	546	18; 16; 14; 10; 6			1246	20; 18; 16; 14; 10	
1200	614	10; 8; 6		2600	1316	10; 8; 6	
	622 630	12; 10; 8; 6			1324	12; 10; 8	
	638	12; 10; 8			1332	14; 12; 10; 8	
1400	714	10; 8; 6	400		1346	20; 18; 16; 14; 10	
	722	12; 10; 8; 6		2800	1416	10; 8; 6	
	732	14; 12; 10; 8; 6			1424	12; 10; 8	
	744	16; 14; 12; 8			1432	14; 12; 10; 8	
3400	1720 1726 1732	12; 10; 8	500		1446	20; 18; 16; 14; 10	
	1740	14; 12; 10		3000	1520	12; 10; 8	500
3600	1820	12; 10; 8	540		1528	14; 12; 10; 8	
	1828 1834	14; 12; 10			1540	18; 16; 14; 12; 10	
				3200	1620	12; 10; 8	
					1628 1634 1640	14; 12; 10	
				3800	1920	12; 10; 8	540
					1928 1934	14; 12; 10	
				4000	2020	12; 10; 8	
					2028 2034	14; 12; 10	

Пример условного обозначения опорного листа толщиной s = 12 мм, радиусом $R = 722$ мм:

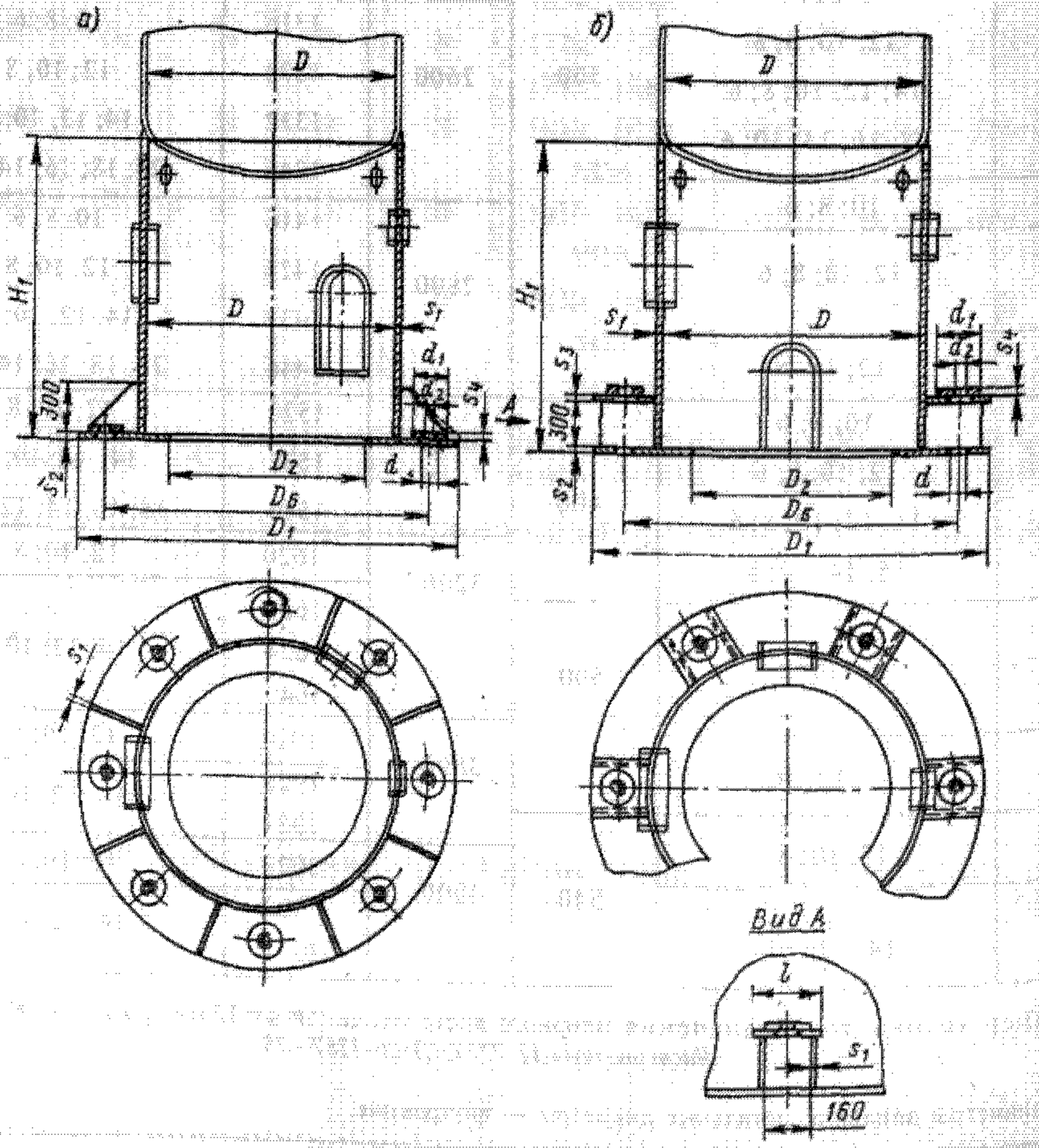
Лист опорный 12-722 ОСТ 26-1267—75.

* Наружные диаметры аппарата, остальные диаметры — внутренние.

Таблица 20.8.

Материал седловых опор в зависимости от вместимости аппарата, температуры рабочей среды и температуры самой холодной пятидневки, ОСТ 26-1265 – 75

Использование по материалу	Вместимость аппарата, $м^3$	Температура, °С		Марка стали
		рабочей среды	самой холодной пятидневки	
1	≤ 100	От — 30 до 350	— 30	Ст3кп2, ГОСТ 380—94
2	≤ 100	От — 40 до 350	— 40	Ст3пс3, ГОСТ 380—94
2	> 100	От — 30 до 350	— 30	Ст3пс3, ГОСТ 380—94
3	> 100	От — 40 до 350	— 40	Ст3пс4, ГОСТ 380—94
4	Не ограничено	От — 40 до 450	— 40	16ГС, ГОСТ 5520—79
5	Не ограничено	Ниже — 40 до — 70	Ниже — 40 до — 65	09Г2С, ГОСТ 5520—79



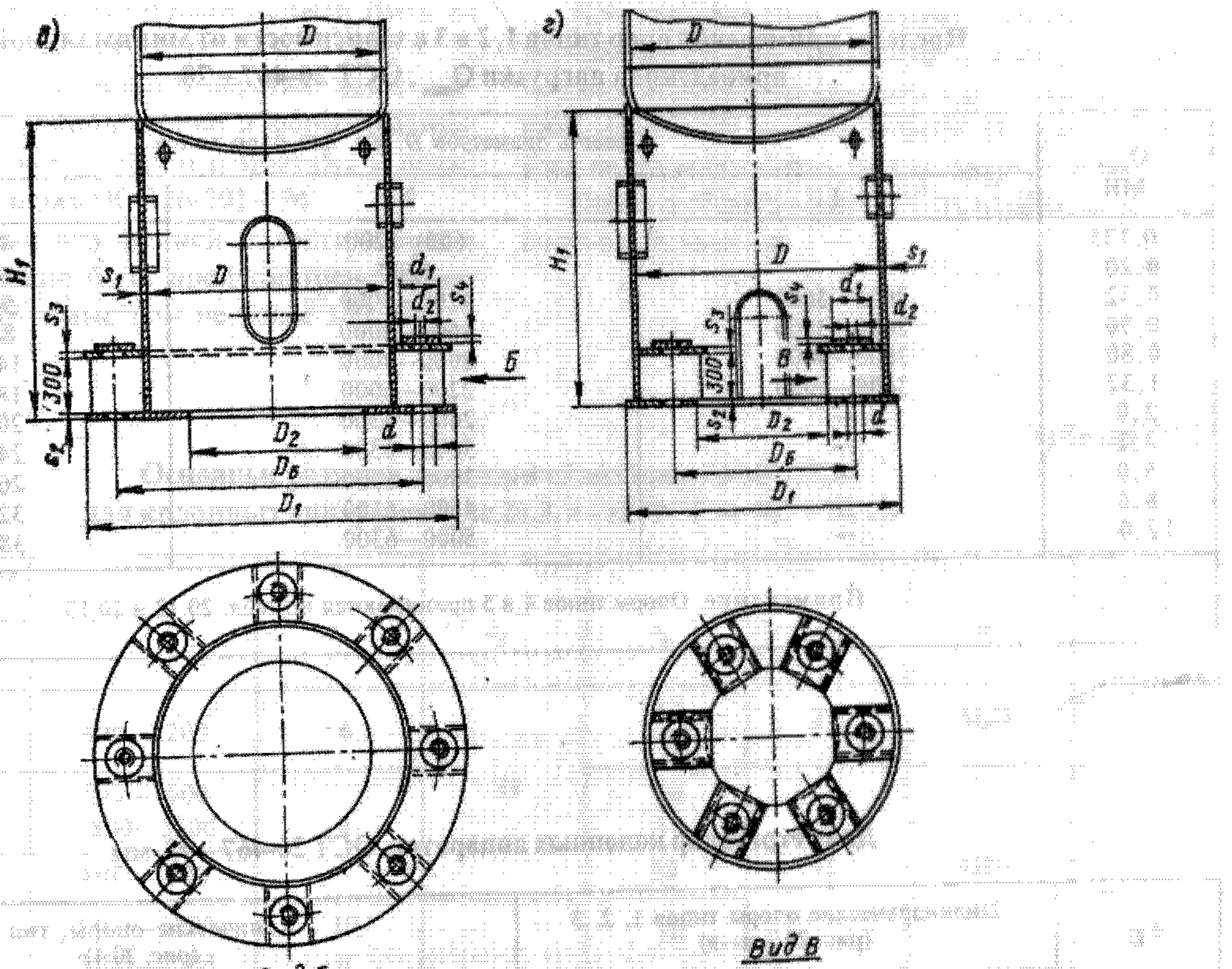


Рис. 20.3. Конструкции стандартных цилиндрических опор для стальных сварных колонных аппаратов: *а* — тип 1 (с местными косынками); *б* — тип 2 (с наружными стойками под болты); *в* — тип 3 (с кольцевым опорным поясом); *г* — тип 5 (с внутренними стойками под болты)

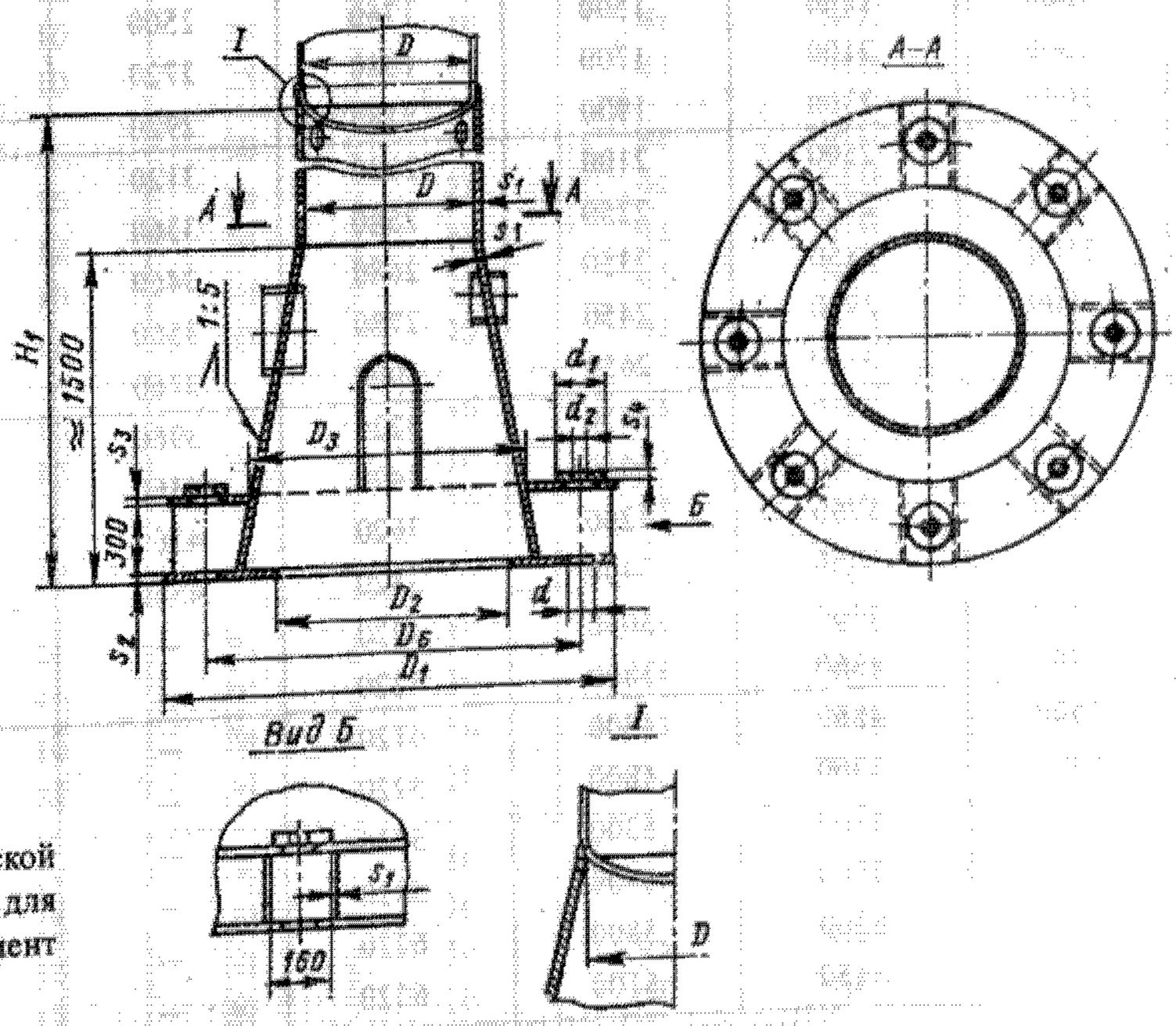


Рис. 20.4. Конструкция стандартной конической опоры (тип 4) с кольцевым опорным поясом для стальных сварных колонных аппаратов (элемент I указан для опор при H ≈ 1500 мм)

Таблица 20.9

Пределы применения опор типов 1, 2 и 3 в зависимости от минимальной приведенной нагрузки Q_{min}, ОСТ 26-467 – 78

Q_{min}, МН	Область диаметров D, мм, для опор типов		
	1	2	3
0,125	—	600—1200	400—1200
0,20	—	1200	400—1200
0,32	2000—3000	1200—3000	500—1800
0,50	2600—3000	1600—3000	800—2500
0,80	3000—4000	2000—4000	1400—2800
1,32	3600—5000	2200—5000	1800—3400
2,0	—	2600—6300	2000—6300
3,2	—	3000—6300	2400—6300
5,0	—	3800—6300	2600—6300
8,0	—	4500—6300	3200—6300
12,0	—	5000—6300	3800—6300

Примечание. Опоры типов 4 и 5 принимаются по табл. 20.12 и 20.13.

Таблица 20.10

Диаметры опор колонных аппаратов, ОСТ 26-467 – 78, мм

D	Цилиндрические опоры типов 1, 2, 3 (рис. 20.3, а—в)			Конические опоры, тип 4 (рис. 20.4)			
	D_1	D_2	D_6	D_1	D_2	D_3	D_6
400	600	350	520	1280	950	1000	1160
500	700	450	620	1380	1050	1100	1260
600	800	550	720	1480	1150	1200	1360
800	1080	750	960	1680	1300	1400	1560
1000	1280	950	1160	1880	1500	1600	1760
1200	1480	1150	1360	2100	1700	1800	1980
1400	1680	1300	1560	2300	1900	2000	2180
1600	1880	1500	1760	2500	2100	2200	2380
1800	2100	1700	1980	2720	2250	2400	2580
2000	2300	1900	2180	2920	2450	2600	2780
2200	2500	2100	2380	3120	2650	2800	3000
2400	2720	2250	2580	3360	2850	3000	3220
2500	2850	2350	2680	3460	2950	3100	3320
2600	2920	2450	2780	3560	3050	3200	3420
2800	3120	2650	3000	3760	3200	3400	3620
3000	3360	2850	3220	3960	3400	3600	3820
3200	3560	3050	3420	4160	3600	3800	4020
3400	3760	3200	3620	4360	3800	4000	4220
3600	3960	3400	3820	4560	4000	4200	4420
3800	4160	3600	4020	—	—	—	—
4000	4360	3800	4220	—	—	—	—
4500	4860	4300	4720	—	—	—	—
5000	5360	4800	5220	—	—	—	—
5500	5860	5300	5720	—	—	—	—
5600	5960	5400	5820	—	—	—	—
6000	6360	5800	6220	—	—	—	—
6300	6650	6100	6520	—	—	—	—

Предел текучести материала должен быть не менее 210 МПа при температуре 20°С.

Необходимое количество отверстий, лазов (люков), их размеры, расположение и форма выбираются из условий эксплуатации и монтажа и должны отвечать требованиям ОСТ 26-291—94.

Для вентиляции внутренней полости опоры в верхней части должно быть предусмотрено не менее двух отверстий диаметром не более 100 мм.

При приварке опор к днищам, сваренным из отдельных частей, в обечайках опор должны быть предусмотрены вырезы, позволяющие иметь доступ к сварным радиальным швам на днищах. В этом случае отверстия для вентиляции не предусматриваются.

Опорная обечайка должна быть проверена на прочность в зоне вырезов.

Таблица 20.11

Основные размеры цилиндрических опор типов 1, 2, 3 для колонных аппаратов (рис.20.3, *а – в*), ОСТ 26-467 – 78, мм

Приведенная нагрузка, МН		D	s_1	s_2	s_3	d_2	d_6	Число болтов z_k
Q_{max}	Q_{min}							
0,25	До 0,125	400—1200	6	20	12	28	M24	6
	» 0,20				16			
0,63	До 0,32	500—1600	8		20	35	M30	6
		1800—3000			16			8
	До 0,50	800—3000			20			8
1,6	До 0,80	1400—1800	10	25	20			16
		2000—4000	8					
	До 1,32	1800	10		25	42	M36	16
		2000—3600	8		25	42	M36	16
		3800; 4000	8		20	35	M30	24
2,5	До 1,32	1800; 2000	12	30	25	42	M36	16
		2200—2500	10	30	25	42	M36	16
		2600—3800	10	25	25	42	M36	16
		4000—5000	10	25	20	35	M30	24
	До 2,0	2000	12	30	30	48	M42	16
		2200—2500	10	30	30	48	M42	16
		2600—5000	10	25	25	42	M36	24
4,0	До 2,0	2000—2500	16	30	30	48	M42	16
		2600	16	30	25	42	M36	24
		2800—3200	12	30	25	42	M36	24
		3400; 3600	10	30	25	42	M36	24
		3800—6300	10	25	25	42	M36	24
	До 3,2	2400; 2500	16	30	30	48	M42	16
		2600—3200	12	30	30	48	M42	16
		3400; 3600	10	30	30	48	M42	16
		3800—6300	10	25	25	42	M36	32
6,3	До 3,2	2600	20	36	30	48	M42	24
		2800—3600	16	30	30	48	M42	24
		3800	16	30	30	48	M42	24
		4000—6300	12	30	25	42	M36	32
	До 5,0	2600	20	36	36	56	M48	24
		2800; 3000	16	30	36	56	M48	24
		3200—3800	16	30	30	48	M42	32
		4000—6300	12	30	30	48	M42	32

Продолжение табл.20.11

Приведенная нагрузка, МН		D	s_1	s_2	s_3	d_2	$d_б$	Число болтов $z_б$
Q_{max}	Q_{min},							
10,0	До 5,0	2800 3000—6300	20	36	36 30	56 48	M48 M42	24 32
	До 8,0	3200—6300			36	62	M56	32
16,0	До 8,0	3400 3600—6300	25 20	40	36	62	M56	32
	До 10,0	3800—6300	20		40			36

Примечания. 1. Размеры d и d_1 в зависимости от D для опор типов 1,2 и 3:

D, мм	400 – 600	800 – 1600	1800 – 6300
d, мм	45	60	70
d_1, мм	70	90	100

2. При всех значениях D принимают $s_4 \geq 0{,}5s_2$; для опор типа 2 при всех значениях D принимают $l = 160+4s_1$.

Пример условного обозначения опоры типа 2 при диаметре колонны 1000 мм, $Q_{max} = 0{,}25$ МН, $Q_{min} = 0{,}2$ МН, $H_1 = 1200$ мм:

Опора 2-1000-25-20-1200 ОСТ 26-467—78.

Таблица 20.12

Основные размеры конических опор (типа 4) для колонных аппаратов (рис.20.4), ОСТ 26-467 –78, мм

Приведенная нагрузка, МН		D	s_1	s_2	s_3	d_2	$d_б$	Число болтов $z_б$
Q_{max}	Q_{min},							
4,0	До 2,0	2000—2500	16	30	30	48	M42	16
		2600	16	30	25	42	M36	24
		2800—3200	12	30	25	42	M36	24
		3400;3600	10	30	25	42	M36	24
		3800—6300	10	25	25	42	M36	24
	До 3,2	2400—2600	16	30	30	48	M42	24
		2800—3200	12	30	30	48	M42	24
		3400; 3600	10	30	30	48	M42	24
		3800—6300	10	25	25	42	M36	32
6,3	До 3,2	2600	20	36	30	48	M42	24
		2800—3600	16	30	30	48	M42	24
		3800	16	30	25	42	M36	32
		4000—6300	12	30	25	42	M36	32
	До 5,0	2600	20	36	36	56	M48	24
		2800; 3000	16	30	36	56	M48	24
		3200—3800	16	30	30	48	M42	32
		4000—6300	12	30	30	48	M42	32

Продолжение табл. 20.12

Приведенная нагрузка, МН		D	s_1	s_2	s_3	d_1	d_2	Число болтов z_2
Q_{max}	Q_{min}							
10,0	До 5,0	2800 3000—6300	20	36	36 30	56 48	M48 M42	24 32
	До 8,0	3200—6300			36	62	M56	32
16,0	До 8,0	3400 3600—6300	25 20	40	36	48	M42	32
	До 10,0	3800—6300	20		40	62	M56	36

Примечание. При всех значениях D $d = 70$ мм; $d_1 = 100$ мм; $s_4 \geq 0{,}5s_2$.

Пример условного обозначения опоры типа 4 при диаметре колонны 3200 мм, $Q_{max} = 6{,}3$ МН, $Q_{min} = 3{,}2$ МН, $H_1 = 3000$ мм:

Опора 4-3200-630-320-3000 ОСТ 26-467—78.

Таблица 20.13

Основные размеры цилиндрических опор типа 5 для колонных аппаратов (рис. 20.3, *г*), ОСТ 26-467 – 78, мм

D	Диаметры опор				
	D_1	D_2	D_6	d	d_1
3000	3120	2650	2840	70	100
3200	3360	2850	3020		
3400	3560	3050	3220		
3600	3760	3200	3420		
3800	3960	3400	3620		
4000	4160	3600	3820		

Приведенная нагрузка, МН		D	s_1	s_2	s_3	d_1	d_2	Число болтов z_2
Q_{min}	Q_{max}							
0,63	До 0,125	3000—3400	8	20	12	35	M30	8
1,6	До 0,32	3000—4000		25	16			
2,5	До 0,50	3000—4000	10		20			
4,0	До 0,80	3000; 3200	12	30	20			16
		3400; 3600	10					
		3800; 4000		25				
6,3	До 1,32	3000—4000	16	30	25	42	M36	16
10,0	До 2,0	3000—4000	20	36				24

Примечание. При всех значениях D принимают $s_4 \geq 0{,}5s_2$ и $l = 160 + 4s_1$.

Пример условного обозначения опоры типа 5 при диаметре колонны 3600 мм, $Q_{max} = 1{,}6$ МН, $Q_{min} = 0{,}32$ МН, $H_1 = 1500$ мм:

Опора 5-3600-160-32-1500 ОСТ 26-467—78.

20.2. Расчет опор для вертикальных аппаратов

Собственно опоры расчетом не проверяются, а выбираются стандартные на требуемую нагрузку. Расчету подлежит обечайка цилиндрического аппарата, на которую действуют местные нагрузки, вызываемые опорными лапами.

Ниже приведен метод расчета цилиндрических обечаек в местах установки опорных лап. Данный метод не является нормативным, но он широко вошел в научно-техническую и учебную литературу, отличается простотой и наглядностью, поэтому автор посчитал необходимым включить его в справочник. Метод расчета может быть использован на этапах технического проектирования при последующем согласовании результатов со специализированной научно-исследовательской организацией.

Нормативный метод расчета регламентирован ГОСТ 26202—84 (СТ СЭВ 2574—80), он приведен в приложении № 1 справочника.

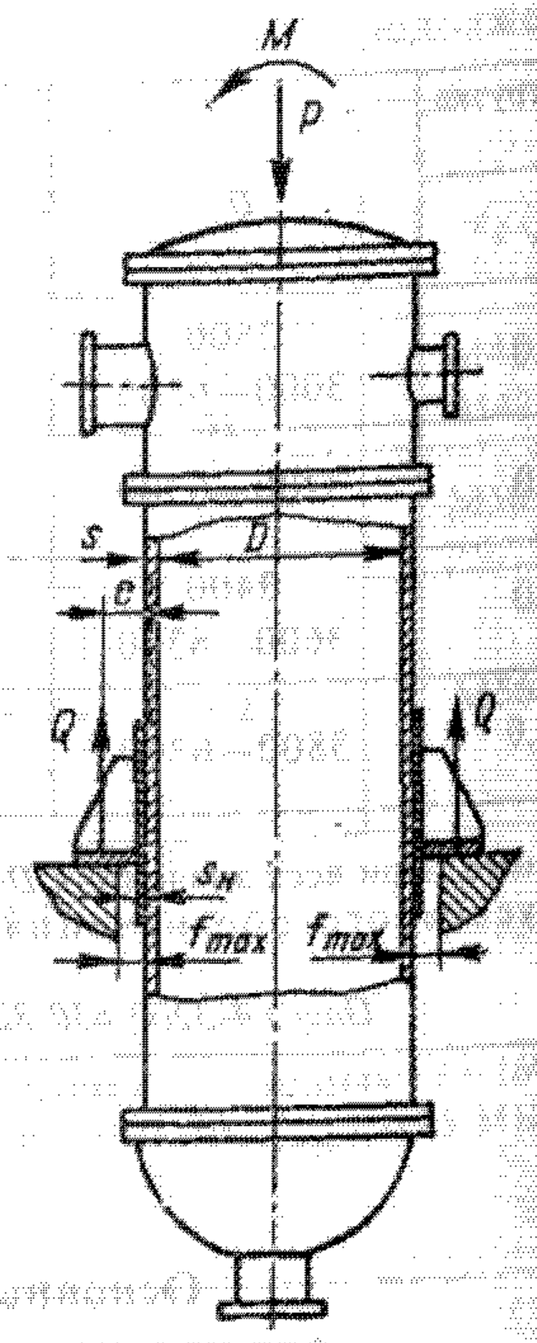


Рис. 20.5. Нагрузки, действующие на аппарат

Расчетные нагрузки. При определении нагрузки на опору-лапу действующие на аппарат нагрузки приводятся к осевой силе P и моменту M относительно опорной поверхности лапы. Расчетные нагрузки показаны на рис. 20.5.

Нагрузка на одну опору определяется по формуле:

$$Q = \lambda_1 P/z + \lambda_2 M/(D + 2e), \qquad (20.1)$$

где $e = 0{,}5\,(b + f_{max} + s_0 + s_н)$; f_{max}, b — по табл. 20.1; $s_0 = s - c - c_1$ — толщина стенки аппарата в конце срока службы; s — исполнительная толщина стенки аппарата; c — прибавка для компенсации коррозии; c_1 — дополнительная прибавка; λ_1, λ_2 — коэффициенты, зависящие от числа опор z:

z	2	3	4
λ_1	1	1	2**
λ_2	1*	1,3	1

* Момент передается только в плоскости опор.

** Допускается принимать $\lambda_1 = 1$ в технически обоснованных случаях, обеспечивающих равномерное распределение нагрузки между опорами.

Проверка прочности стенки вертикального цилиндрического аппарата под опорой-лапой без накладного листа. Осевое напряжение от внутреннего давления p и изгибающего момента определяется по формуле:

$$\sigma_{m0x} = pD/(4s_0) + 4M/(\pi D^2 s_0). \qquad (20.2)$$

Окружное напряжение от внутреннего давления

$$\sigma_{m0y} = pD/(2s_0). \qquad (20.3)$$

Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок определяется из соотношения:

$$\sigma_{m0} = \max\{\sigma_{m0x};\ \sigma_{m0y}\}. \qquad (20.4)$$

Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции опоры определяется по формуле:

$$\sigma_m = \sigma_{m0} \pm K_1 Qe/(Ds_0^2), \qquad (20.5)$$

где коэффициент K_1 принимается по рис. 20.6 в зависимости от параметров $\gamma = D/(2s_0)$ и h/D (h — высота опоры — см. рис. 20.1).

Максимальное напряжение изгиба от реакции опоры определяется по формуле:

$$\sigma_и = K_2 Qe/(hs_0^2), \qquad (20.6)$$

где коэффициент K_2 принимается по рис. 20.7 в зависимости от тех же параметров γ и h/D.

Условие прочности имеет вид:

$$(\sigma_m/\sigma_т)^2 + \frac{0{,}8}{A}\,\frac{\sigma_и}{\sigma_т} \leqslant 1, \qquad (20.7)$$

где

$A = 1{,}0$ — для эксплуатационных условий;

$A = 1{,}2$ — для условий транспортирования, монтажа и гидравлических испытаний.

(20.8)

Если условие (20.7) не выполняется, требуется применить накладной лист.

Проверка прочности стенки вертикального цилиндрического аппарата под опорой-лапой с накладным листом. Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции опоры определяется по формуле:

$$\sigma_m = \sigma_{m0} \pm K_3 Q_e / [D(s_0 + s_н)^2] \qquad (20.9)$$

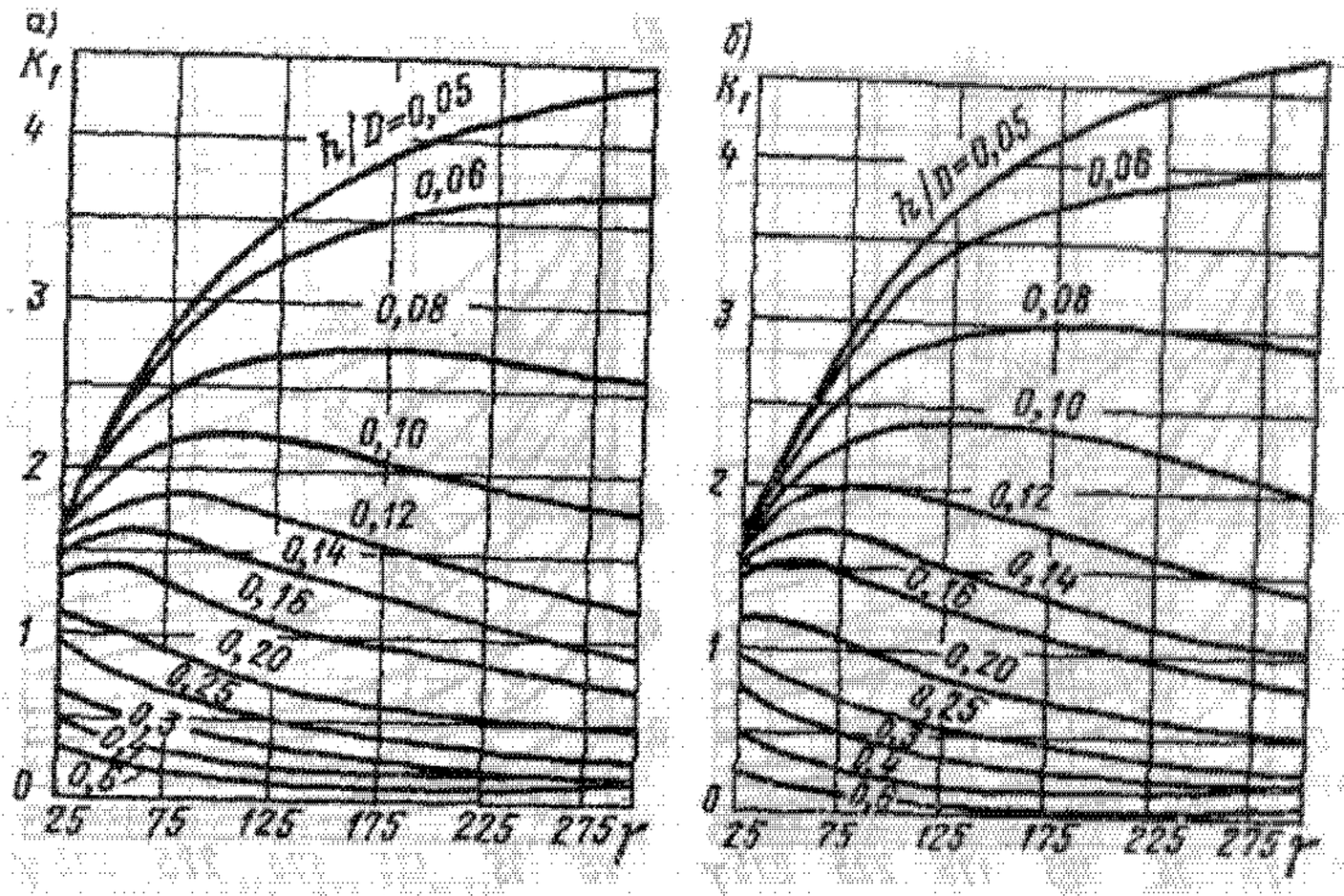


Рис. 20.6. Коэффициент K_1: *а* — для опор-лап типа 1; *б* — для опор-лап типа 2

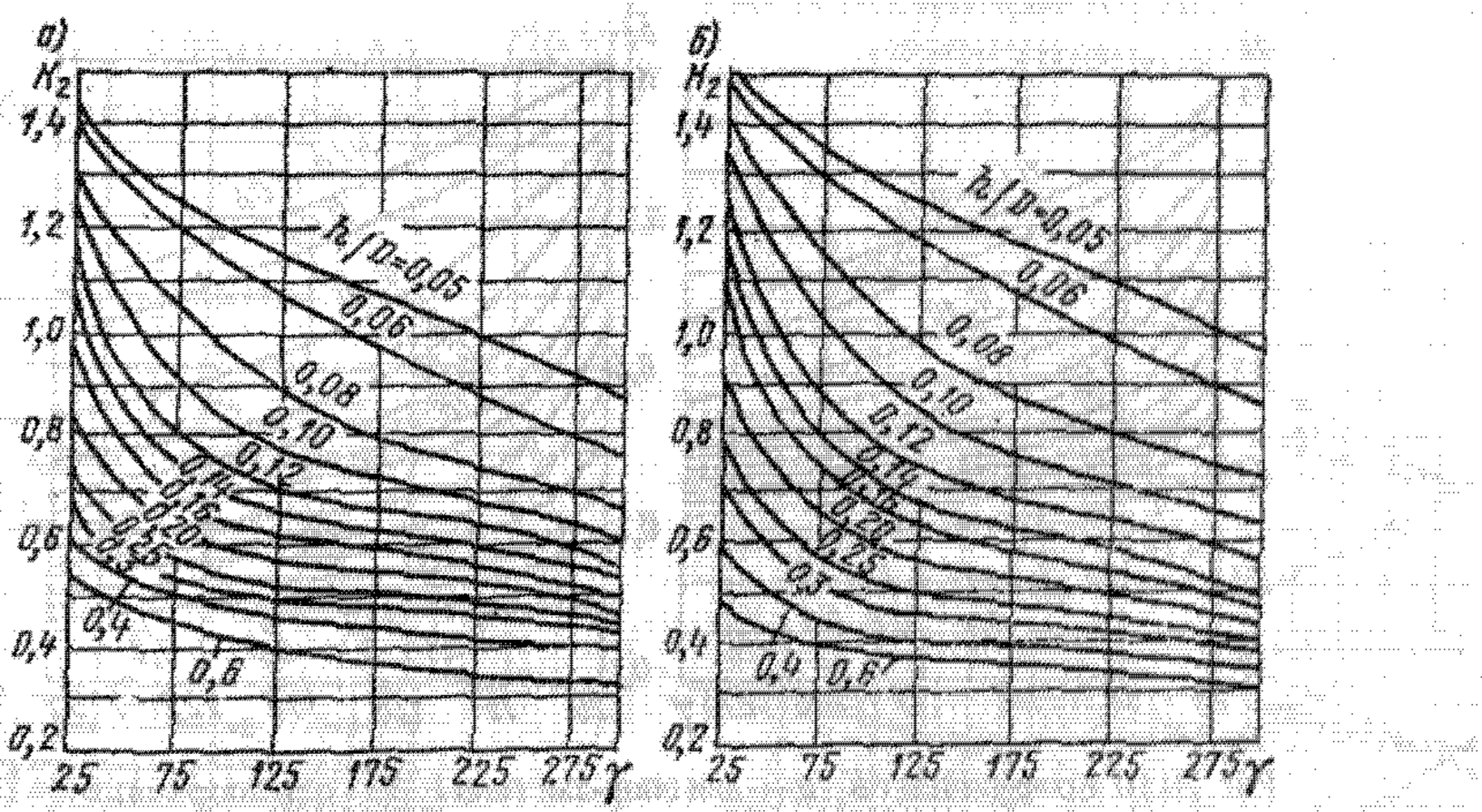


Рис. 20.7. Коэффициент K_2: *а* — для опор-лап типа 1; *б* — для опор-лап типа 2

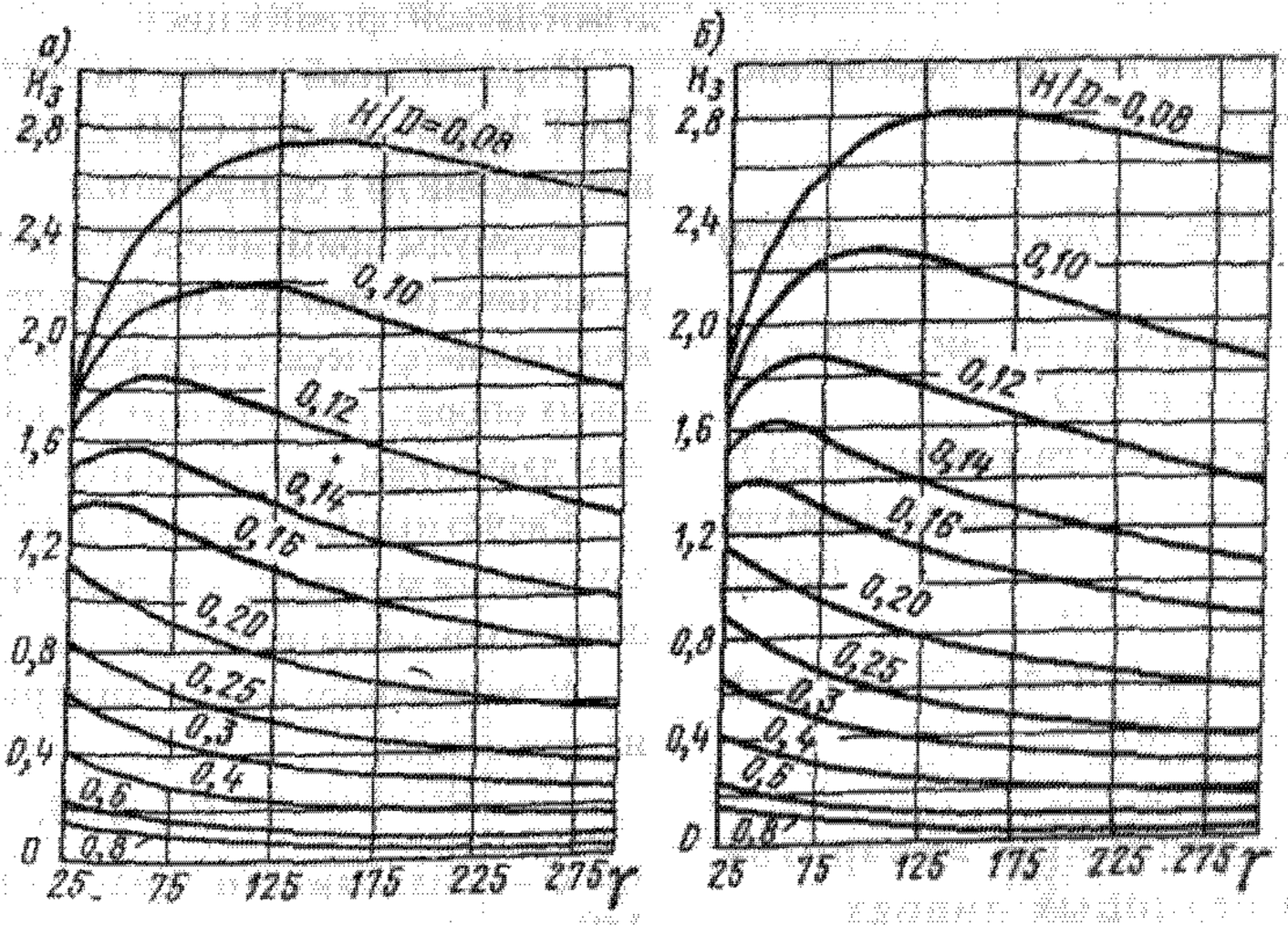


Рис. 20.8. Коэффициент K_3: *а* — для опор-лап типа 1; *б* — для опор-лап типа 2

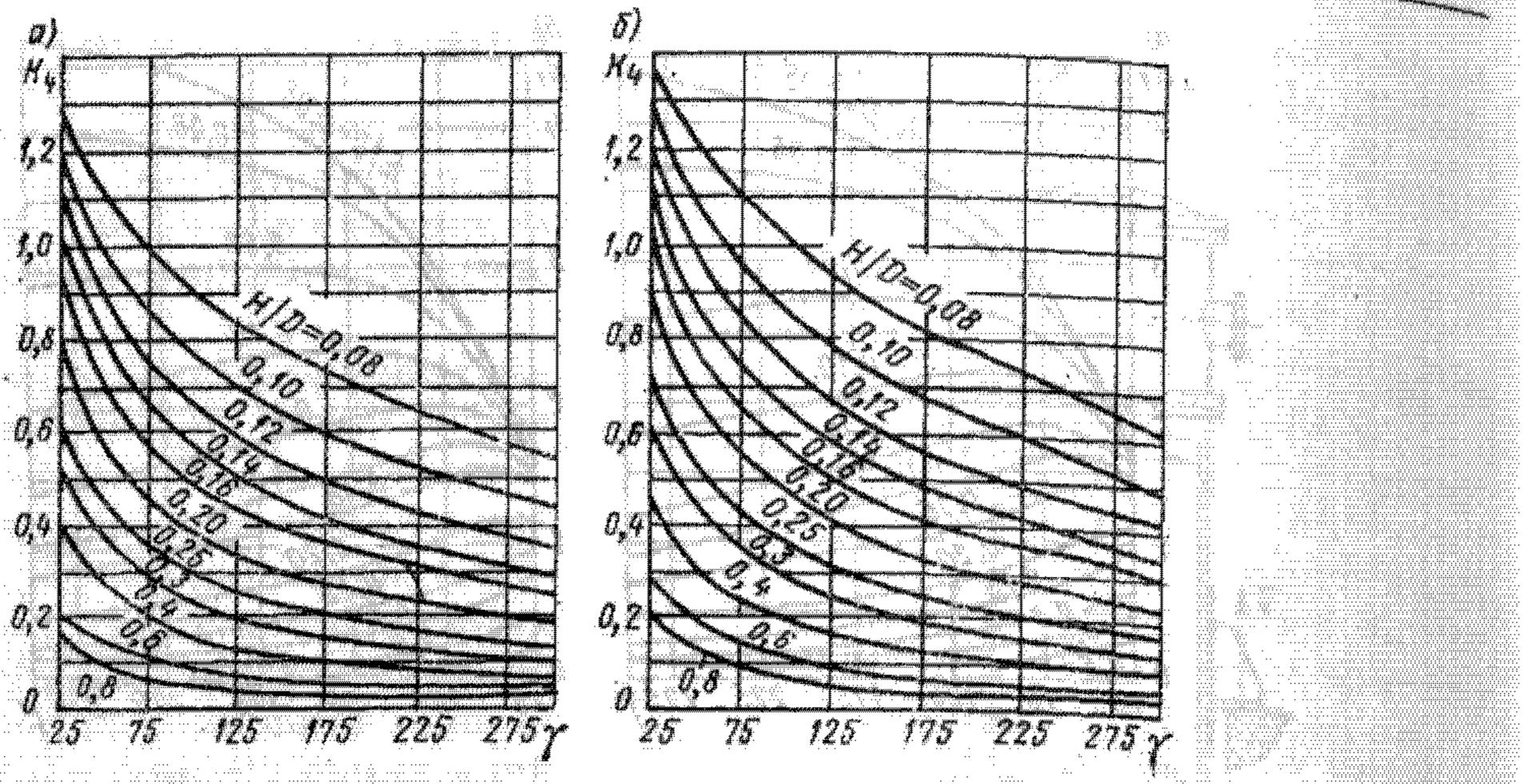


Рис. 20.9. Коэффициент K_4: *а* — для опор-лап типа 1; *б* — для опор-лап типа 2

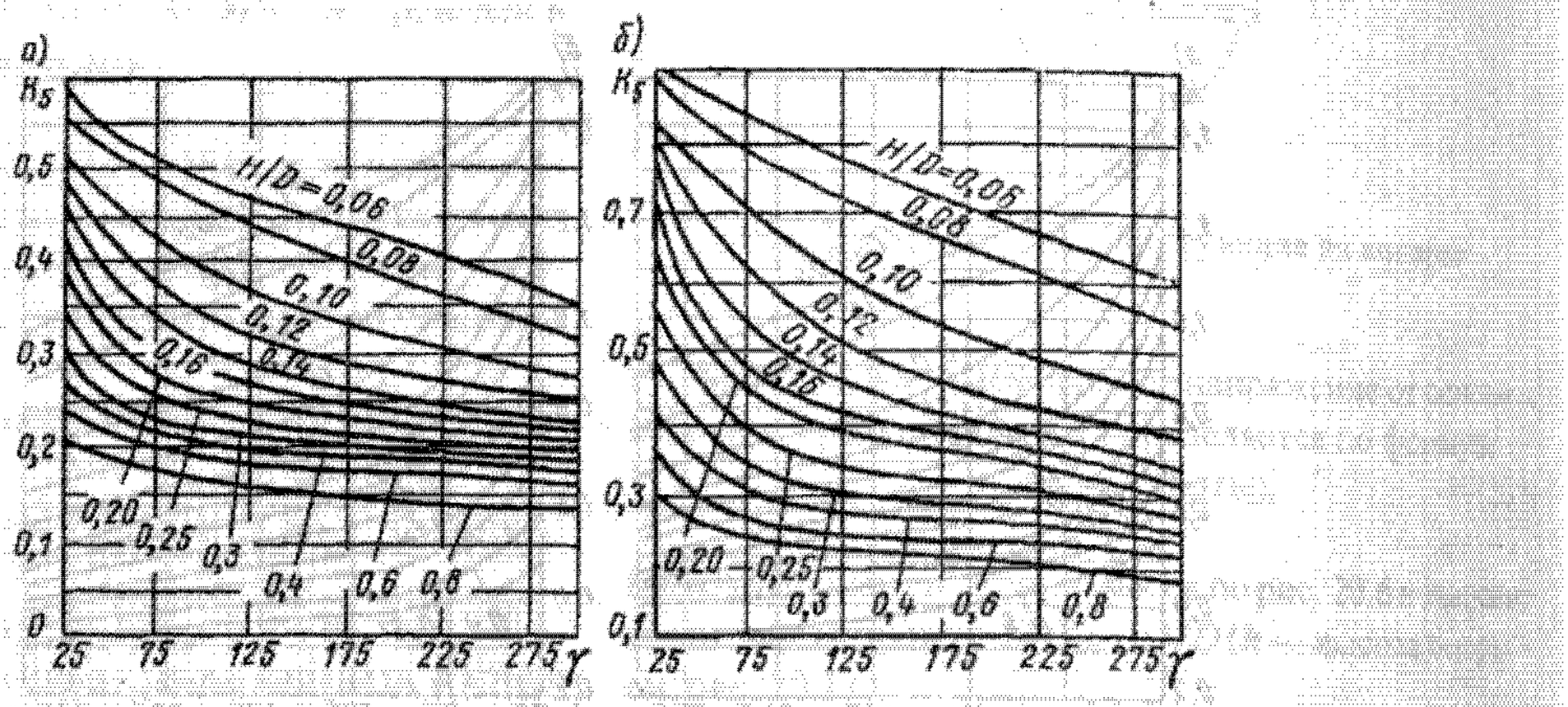


Рис. 20.10. Коэффициент K_5: *а* — для опор-лап типа 1; *б* — для опор-лап типа 2

где коэффициент K_3 принимается по рис. 20.8 в зависимости от параметров γ и H/D (H — высота опоры — см. рис. 20.1, *г*).

Максимальное напряжение изгиба от реакции опоры определяется по формуле:

$$\sigma_и = K_4 Q_c / [H(s_0 + s_и)^2], \qquad (20.10)$$

где коэффициент K_4 принимается по рис. 20.9 в зависимости от параметров γ и H/D.

Условие прочности определяется выражением (20.7).

Толщину накладного листа определяют по формуле:

$$s_н = \sqrt{K_5 Q / (A\sigma_т)}, \qquad (20.11)$$

где коэффициент K_5 принимается по рис. 20.10, а коэффициент A — по условиям (20.8).

20.3. Расчет горизонтальных аппаратов, установленных на седловых опорах

Приведенный метод расчета не является нормативным, но он может быть использован на этапах технического проектирования при последующем согласовании результатов со специализированной научно-исследовательской организацией.

Нормативный метод расчета регламентирован ГОСТ 26202—84 (СТ СЭВ 2574—80), он приведен в приложении № 1 справочника.

Формулы применимы для расчета на прочность и устойчивость гладких и подкрепленных кольцами жесткости цилиндрических аппаратов, установленных на седловых опорах, работающих под внутренним избыточным давлением, вакуумом или под налив.

Расчетные нагрузки. Расчетные нагрузки в горизонтальном аппарате, установленном на двух седловых опорах, показаны на рис. 20.11.

Реакция опоры для аппарата, установленного на двух опорах:

$$Q = 0{,}5G, \qquad (20.12)$$

где G — сила тяжести аппарата в рабочем состоянии, МН.

Реакция опоры для аппарата, установленного на нескольких опорах:

$$Q_1 = \psi_1 G / z, \qquad (20.13)$$

где z — число опор; ψ_i — коэффициент, определяемый по рис. 20.12.

Изгибающий момент в середине аппарата

$$M_1 = Q(f_1 L - a), \qquad (20.14)$$

Изгибающий момент в сечении над опорой

$$M_2 = \frac{Qa}{f_3}(1 - a/L + 0{,}5 f_3 D/a - f_2) \quad \text{при} \quad z = 2; \qquad (20.15)$$

$$M_2 = 0{,}125 G l_1^2 / \left(L + \frac{4}{3} H\right) \quad \text{при} \quad z \geqslant 3, \qquad (20.16)$$

где f_1, f_2, f_3 — коэффициенты, принимаемые по рис. 20.13—20.15 в зависимости от параметров L/D и H/D, $a \approx 0{,}2D$ для аппаратов без колец жесткости и $a \approx 0{,}2L$ для аппаратов, подкрепленных кольцами жесткости.

Изгибающий момент в сечении над приварной седловой опорой в случае ее скольжения по опорной плите определяется по формуле:

$$M_2' = M_2 + 0{,}08Q(h_1 + h_2), \qquad (20.17)$$

где h_1, h_2 — высота ребер опоры (см. рис. 20.24).

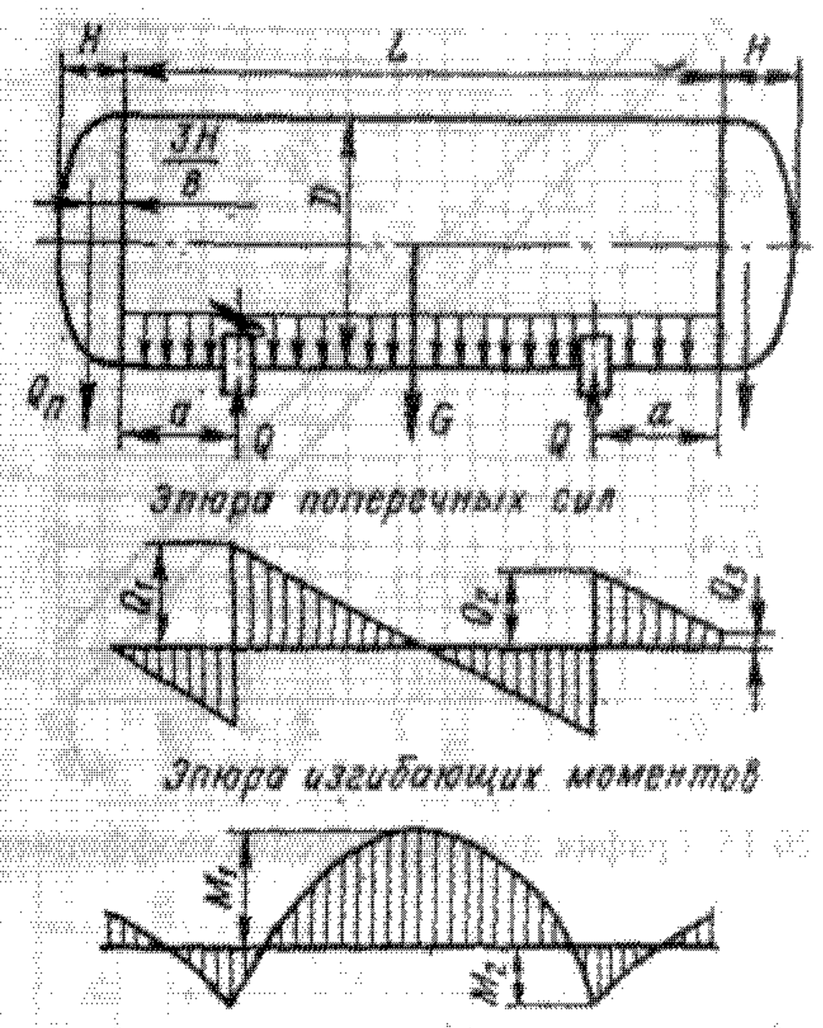


Рис. 20.11. Расчетные нагрузки в горизонтальном аппарате, установленном на двух седловых опорах

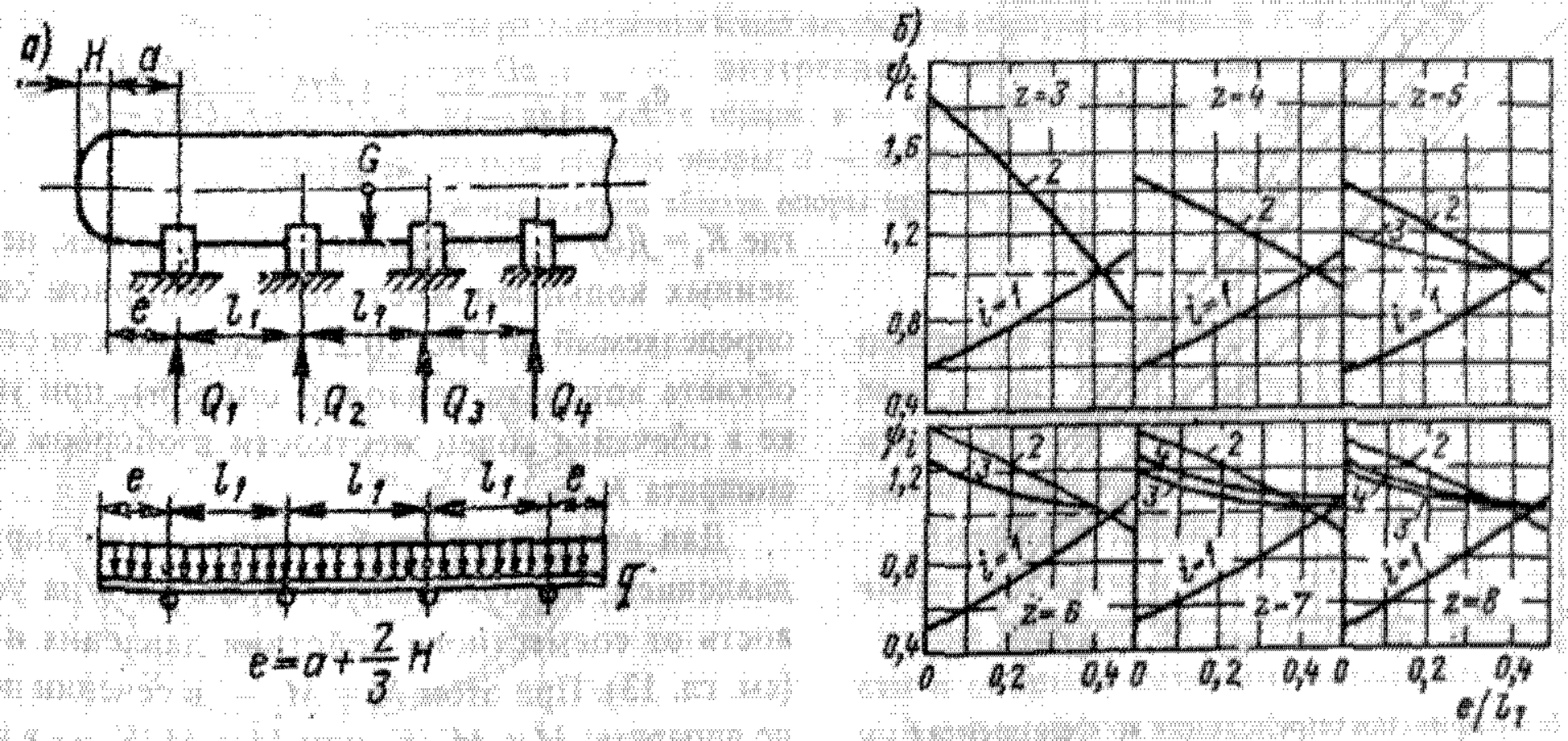


Рис. 20.12. Графики для определения коэффициента ψ_i (i — порядковый номер опоры): *а* — схема распределения нагрузок; *б* — расчетные графики

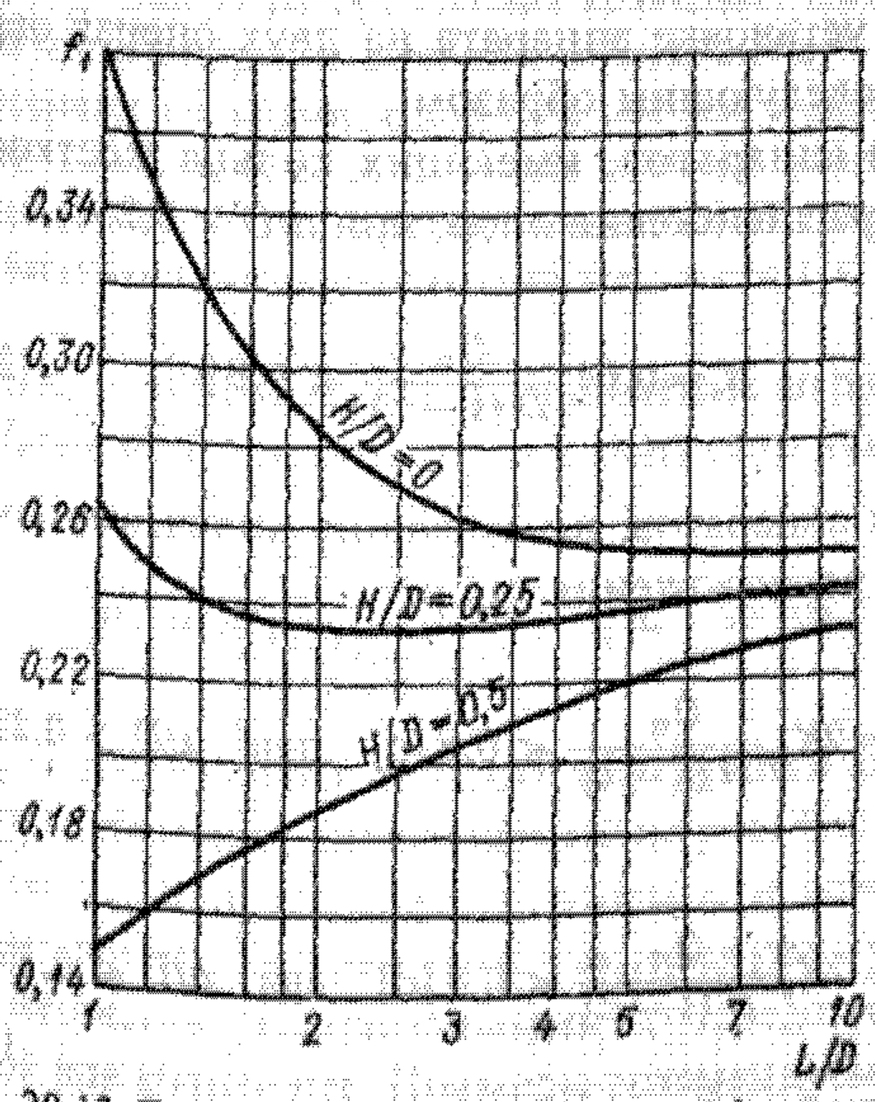


Рис. 20.13. График для определения коэффициента f_1

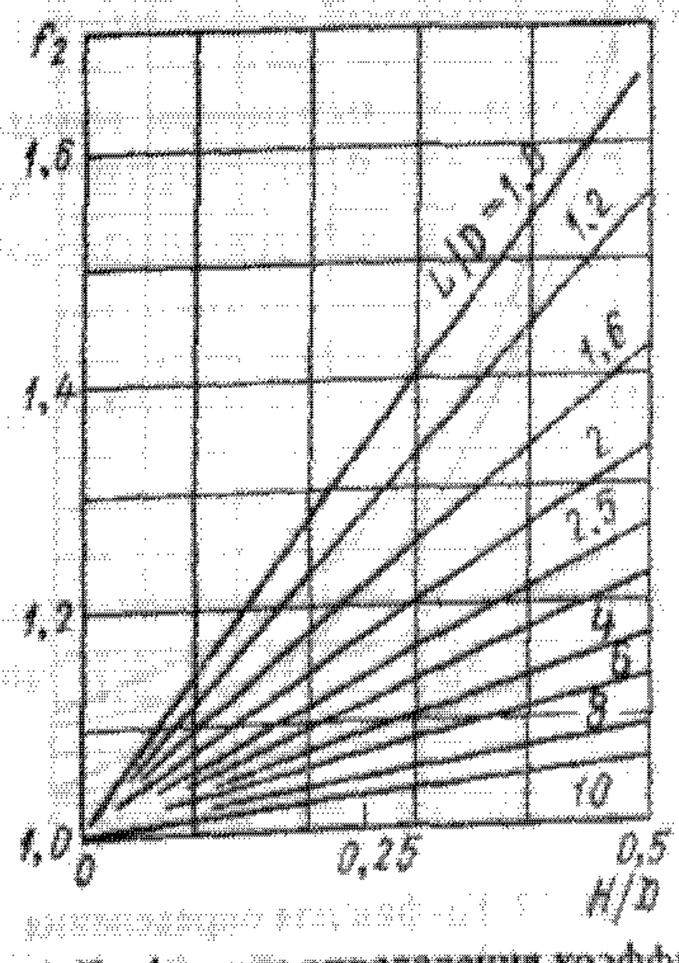


Рис. 20.14. График для определения коэффициента f_2

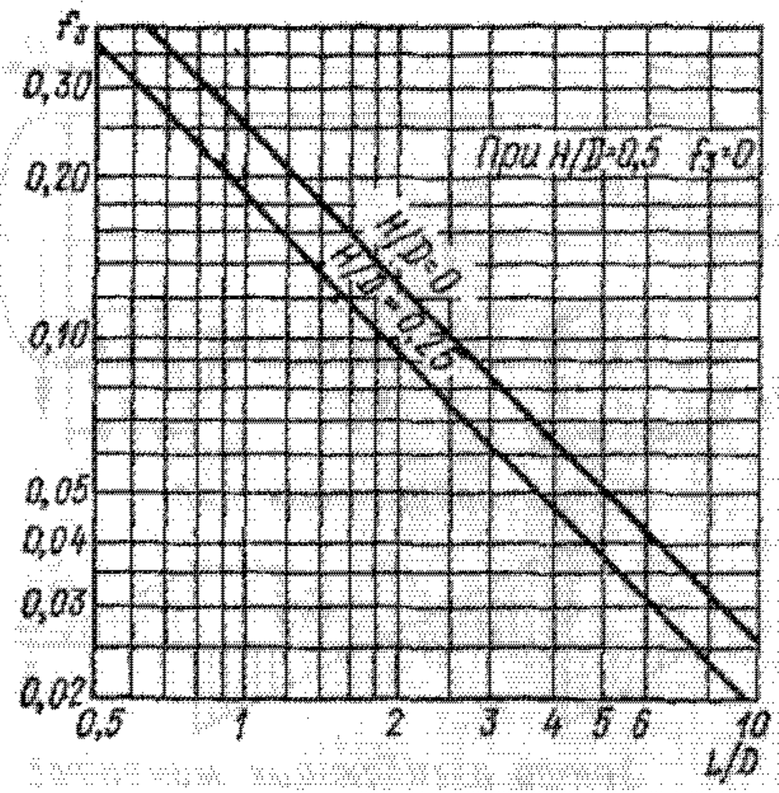


Рис. 20.15. График для определения коэффициента f_3

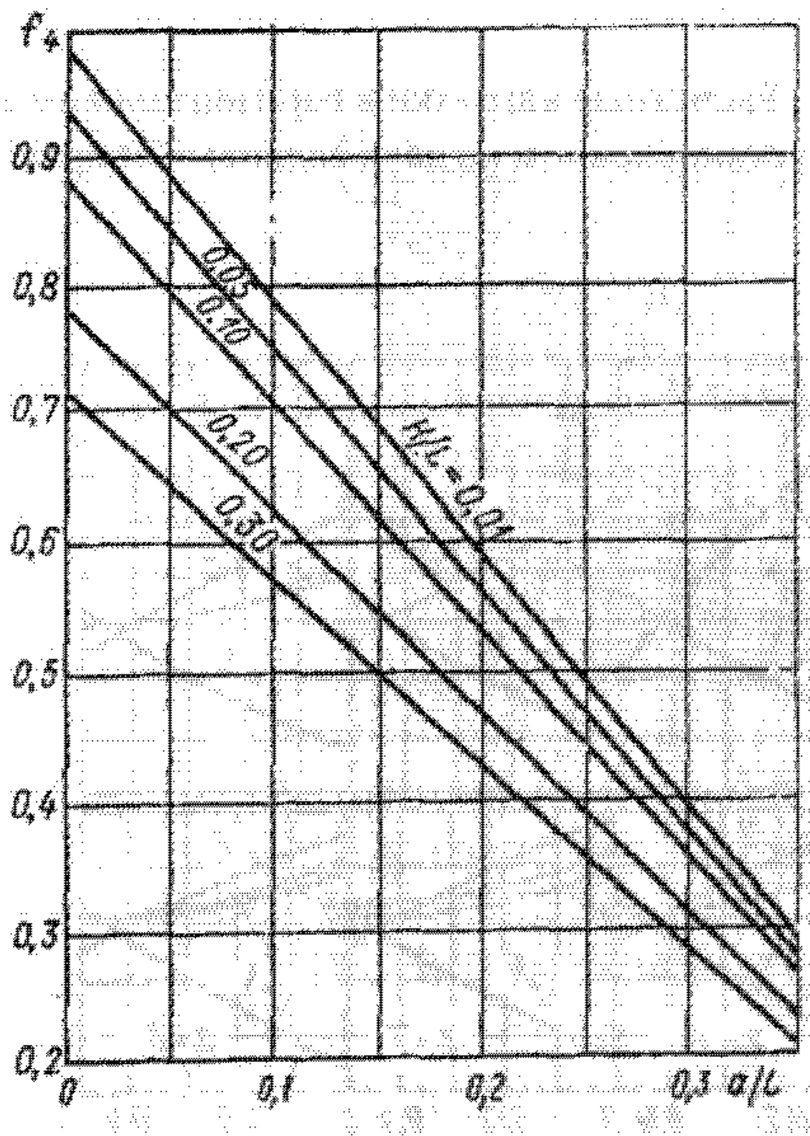


Рис. 20.16. График для определения коэффициента f_4

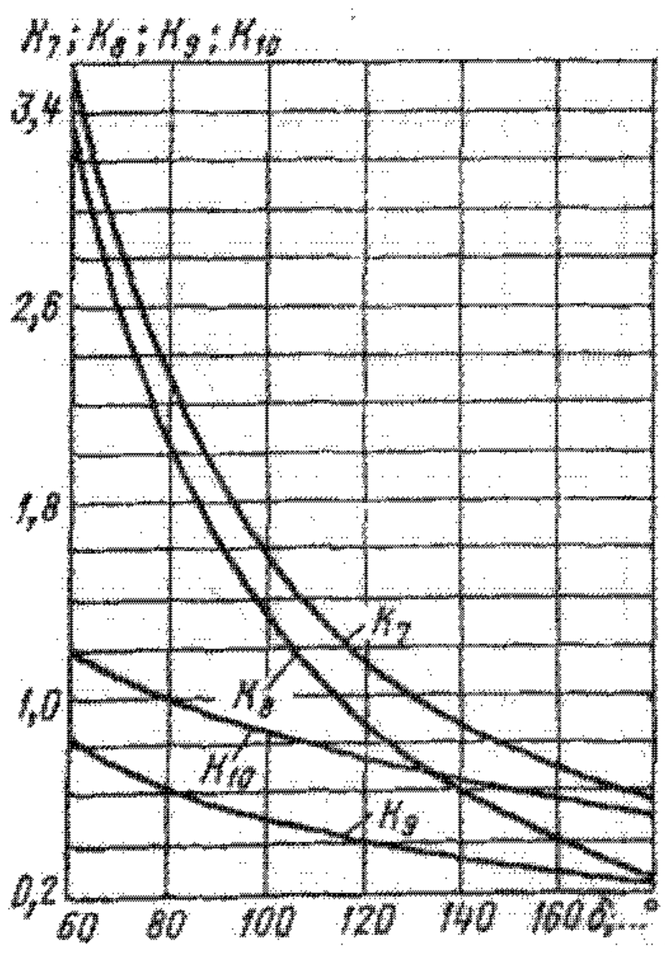


Рис. 20.17. График для определения коэффициентов K_7—K_{10}

Перерезывающая сила для аппарата, устанавливаемого на двух опорах:

$$Q_{\text{п}} = f_4 Q, \qquad (20.18)$$

где f_4 — коэффициент, определяемый по рис. 20.16 в зависимости от параметров a/L и H/L.

Расчет корпуса на прочность. Корпус аппарата, толщина стенки которого определялась по данным гл. 13, необходимо проверить на прочность: от совместного действия внутреннего давления p в аппарате и изгиба от реакции опор, от действия перерезывающей силы и кольцевых напряжений в опорном сечении корпуса.

Прочность стенки от *совместного действия внутреннего давления и изгиба от реакции опор* проверяется в двух сечениях: посредине пролета (σ_1) и над опорой (σ_2):

$$\sigma_1 = \frac{pD}{4(s-c)} + 1{,}275\,\frac{|M_1|}{D^2(s-c)} \leqslant \varphi[\sigma]; \qquad (20.19)$$

$$\sigma_2 = \frac{pD}{4(s-c)} + 1{,}275\,\frac{|M_2|}{K_6 D^2(s-c)} \leqslant \varphi[\sigma], \qquad (20.20)$$

где $K_6 = f(\delta)$ — коэффициент для обечаек, не укрепленных кольцами жесткости в опорном сечении, определяемый по рис. 20.21 в зависимости от δ (угла обхвата аппарата седловой опорой), при установке в обечайке колец жесткости в опорном сечении аппарата $K_6 = 1$.

Для аппаратов, работающих под наружным давлением, корпус следует проверить на устойчивость от совместного действия давления и изгиба (см. гл. 13). При этом $M = M_1$ — в сечении посредине аппарата; $M = M'_2/K_6$ или $M = M_2/K_6$ — в сечении над опорой.

Напряжение среза τ в опорном сечении обечайки при установке аппарата на двух опорах определяется следующим образом.

Для аппаратов, имеющих кольца жесткости в местах расположения опор, при $a/D > 0{,}25$:

$$\tau = 0{,}64\,\frac{Q_{\text{п}}}{D(s-c)} \leqslant 0{,}8[\sigma]. \qquad (20.21)$$

Для аппаратов, не имеющих колец жесткости в местах расположения опор:

$$\tau = 2K_7\,\frac{Q_{\text{п}}}{D(s-c)} \leqslant 0{,}8[\sigma] \quad \text{при} \quad a/D > 0{,}25; \qquad (20.22)$$

$$\tau = 2K_8\,\frac{Q_{\text{п}}}{D(s-c)} \leqslant 0{,}8[\sigma] \quad \text{при} \quad a/D \leqslant 0{,}25. \qquad (20.23)$$

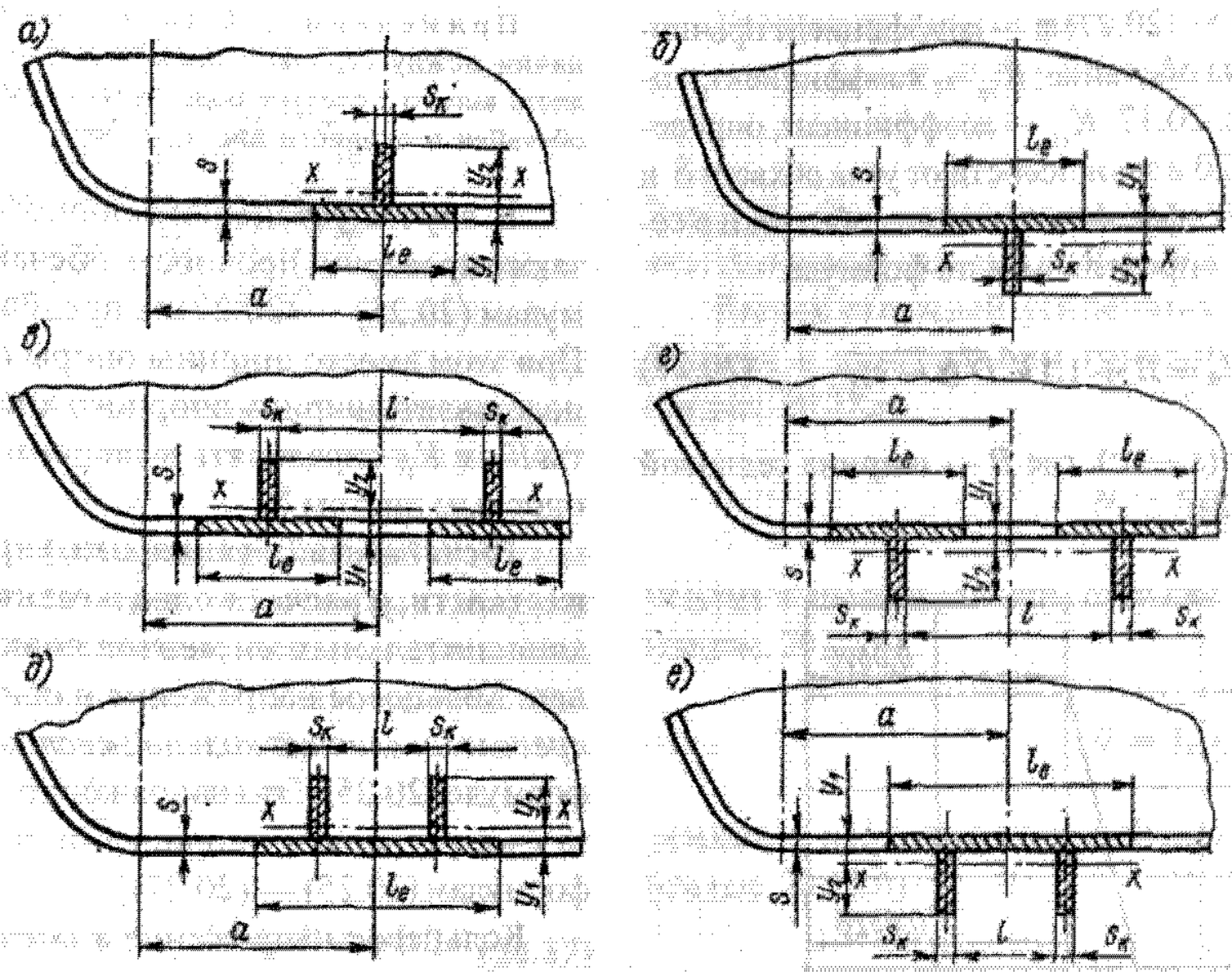


Рис. 20.18. Примеры расположения колец жесткости в корпусах аппаратов относительно седловых опор: *а* — внутреннее кольцо в месте опоры; *б* — наружное кольцо в месте опоры; *в* — внутреннее кольцо вблизи опоры; *г* — наружные кольца вблизи опоры; *д* — внутренние кольца вблизи опоры при $l < l_c$; *е* — наружные кольца вблизи опоры при $l < l_c$

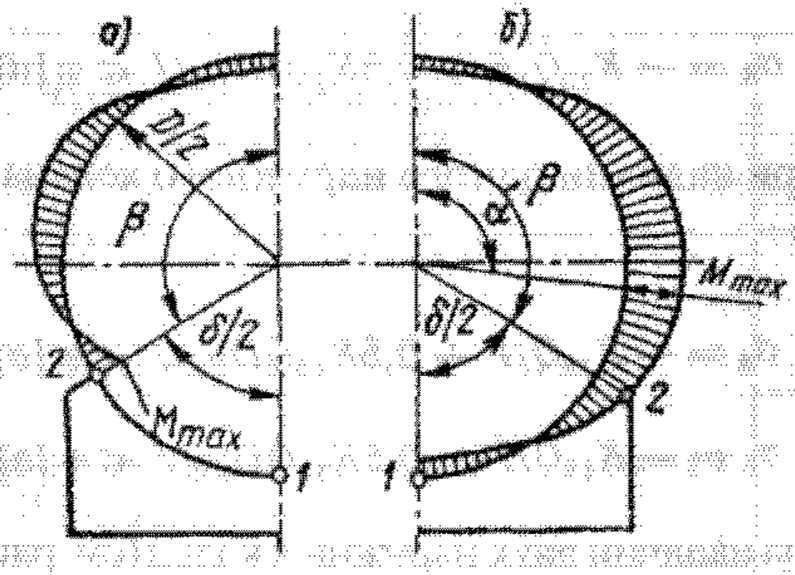


Рис. 20.19. Эпюра распределения кольцевых изгибающих моментов в опорном сечении обечайки: *а* — для не укрепленных кольцами жесткости обечаек и для обечаек по рис. 20.18, *а*, *б*, *д*, *е*; *б* — для обечаек, укрепленных кольцами жесткости, расположенными вблизи опоры, если расстояние между кольцами жесткости $l_c < l < 0{,}5D$

где K_7, K_8 — коэфициенты, определяемые по рис. 20.17.

Напряжение растяжения в выпуклом днище

$$\sigma_3 = 2K_9 \frac{Q}{D(s-c)} + \sigma_4 \leqslant 1{,}25\,[\sigma], \quad (20.24)$$

где σ_4 — напряжение в днище от внутреннего давления; K_9 — коэффициент, определяемый по рис. 20.17.

Корпус аппарата при необходимости может быть подкреплен как внутренними, так и наружными кольцами жесткости, расположенными непосредственно над опорой или вблизи нее. Примеры рекомендуемого расположения колец жесткости в корпусах аппаратов показаны на рис. 20.18, а эпюра распределения кольцевых изгибающих моментов в гладких обечайках, укрепленных кольцами жесткости, — на рис. 20.19.

Кольцевые напряжения в опорном сечении обечайки определяют следующим образом.

Для обечаек, не укрепленных кольцами жесткости в опорном сечении, кольцевое напряжение в нижней точке опорного сечения (точка *1* на рис. 20.19, $\beta = \pi$) находится по формуле:

$$\sigma_{5\,(1)} = K_{10} \frac{Q}{(s-c)\,l_e} \leqslant \varphi\,[\sigma]. \quad (20.25)$$

Кольцевое напряжение на гребне седловой опоры (точка *2* на рис. 20.19, $\beta = \pi - \delta/2$) для двух- и многоопорных аппаратов при $L/D < 4$

$$\sigma_{5\,(2)} = \frac{Q}{(s-c)^2}\left[\frac{(s-c)}{4l_e} + 1{,}5K_{11}\right] \leqslant \varphi\,[\sigma]. \quad (20.26)$$

Кольцевое напряжение в точке 2 для двухопорных аппаратов при $L/D < 4$

$$\sigma_{5\,(2)} = \frac{Q}{(s-c)^2}\left[\frac{(s-c)}{4l_e} + 6K_{11}\frac{D}{L}\right] \leqslant \varphi\,[\sigma]. \quad (20.27)$$

В формулах (20.25) — (20.27) φ — коэффициент прочности сварного шва на обечайке; K_{10} — коэффициент, определяемый по рис. 20.17; K_{11} — коэффициент, определяемый по рис. 20.20 в зависимости от угла обхвата δ и параметра a/D; l_e — эффективная длина обечайки в сечении над опорой, определяемая по формуле:

$$l_e = B + 1{,}1\sqrt{D\,(s-c)}, \qquad (20.28)$$

но не более $B + 30\,(s - c)$, где B — ширина седловой опоры (см. рис. 20.2).

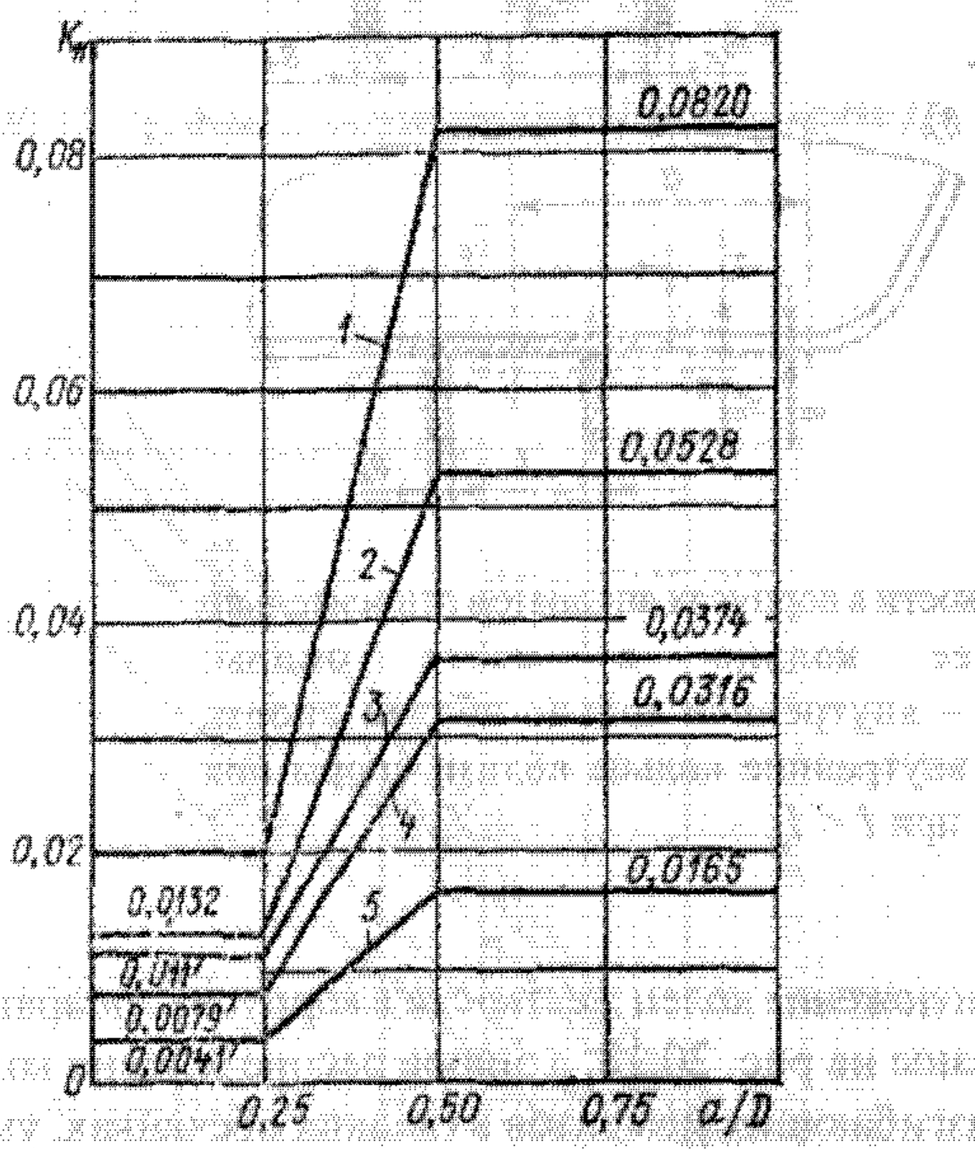


Рис. 20.20. График для определения коэффициента K_{11}: *1* — $\delta = 90°$; *2* — $\delta = 120°$; *3* — $\delta = 140°$; *4* — $\delta = 150°$; *5* — $\delta = 180°$

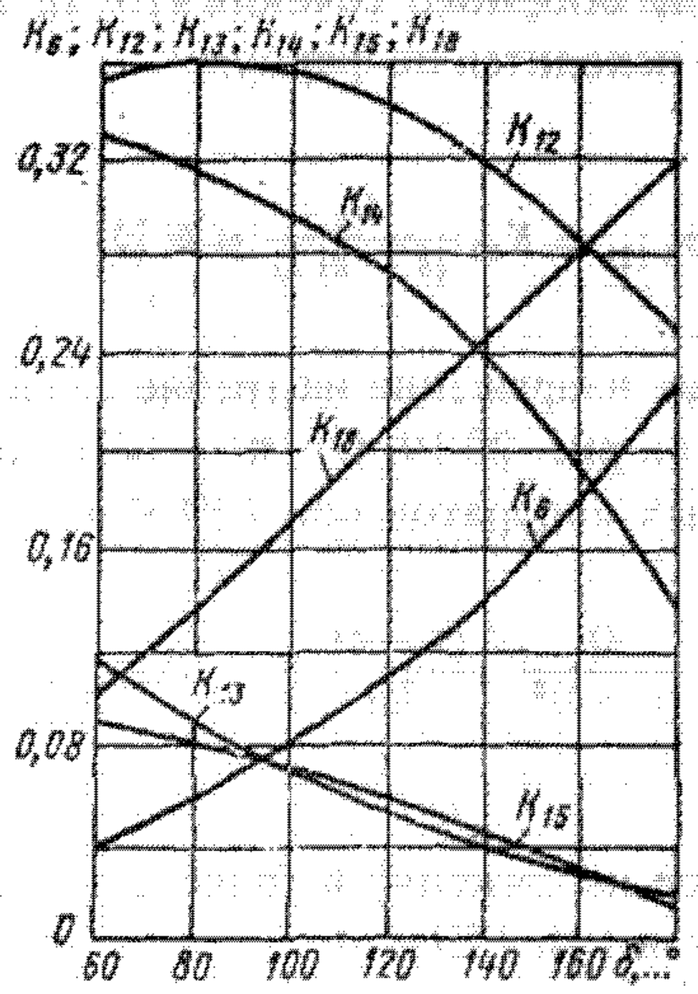


Рис. 20.21. График для определения коэффициентов K_6, K_{12} — K_{15}, K_{16}

Примечание. В формулах (20.25) — (20.27) при наличии между седловой опорой и стенкой обечайки опорного листа вместо s следует подставлять суммарную толщину стенки обечайки и опорного листа, но не более $2s$.

В случае установки опорного листа наобходимо также проверить прочность обечайки аппарата по формулам (20.25) — (20.27) за пределами опорного листа. При этом вместо ширины опоры B в формулы следует подставлять ширину опорного листа B_2, а коэффициенты K_{10} и K_{11} определять в зависимости от угла обхвата опорным листом δ_1.

Расчет обечайки аппарата, укрепленной кольцами жесткости, и расчет колец жесткости при отсутствии дополнительных элементов подкрепления самих колец. Кольцевое напряжение в *обечайке* над опорой *за пределами влияния кольца жесткости* определяют по формуле (20.25). Это напряжение может быть снижено за счет установки опорного листа [см. примечание к формулам (20.25) — (20.27)].

Кольцевое напряжение *в обечайке в зоне влияния кольца жесткости* σ_6 и кольцевые напряжения в кольце жесткости $\sigma_к$ находят по следующим формулам:

а) при наличии одного внутреннего кольца (см. рис. 20.18, *а*) или двух внутренних колец при $l \le l_e$ (см. рис. 20.18, *д*)

$$\sigma_в = -K_{12}Q/F - 0{,}5K_{13}QDy_1/J \le \varphi\,[\sigma]; \qquad (20.29)$$

$$\sigma_к = -K_{12}Q/F + 0{,}5K_{13}QDy_2/J \le \varphi\,[\sigma]; \qquad (20.30)$$

б) при наличии одного наружного кольца (см. рис. 20.18, *в*)

$$\sigma_6 = -K_{12}Q/F + 0{,}5K_{13}QDy_1/J \le \varphi\,[\sigma]; \qquad (20.31)$$

$$\sigma_к = -K_{12}Q/F - 0{,}5K_{13}QDy_2/J \le \varphi\,[\sigma]; \qquad (20.32)$$

в) при наличии двух наружных колец (см. рис. 20.18, *г*)

$$\sigma_в = -K_{14}Q/F - 0{,}5K_{15}QDy_1/J \le \varphi\,[\sigma]; \qquad (20.33)$$

$$\sigma_к = -K_{14}Q/F + 0{,}5K_{15}QDy_2/J \le \varphi\,[\sigma]; \qquad (20.34)$$

г) при наличии двух внутренних колец, расположенных на расстоянии l, удовлетворяющем соотношению $l_e < l < 0{,}5D$ (см. рис. 20.18, *в*),

$$\sigma_в = -K_{14}Q/F + 0{,}5K_{15}QDy_1/J \le \varphi\,[\sigma]; \qquad (20.35)$$

$$\sigma_к = -K_{14}Q/F - 0{,}5K_{15}QDy_2/J \le \varphi\,[\sigma]. \qquad (20.36)$$

В формулах (20.29) — (20.36) F — расчетная площадь поперечного сечения обечайки; J — эффективный момент инерции площади F относительно оси $x - x$; y_1, y_2 — расстояние от центра тяжести расчетного сечения до обечайки и кольца жесткости соответственно (см. рис. 20.18); K_{12}, K_{13}, K_{14}, K_{15} — коэффициенты, определяемые по рис. 20.21.

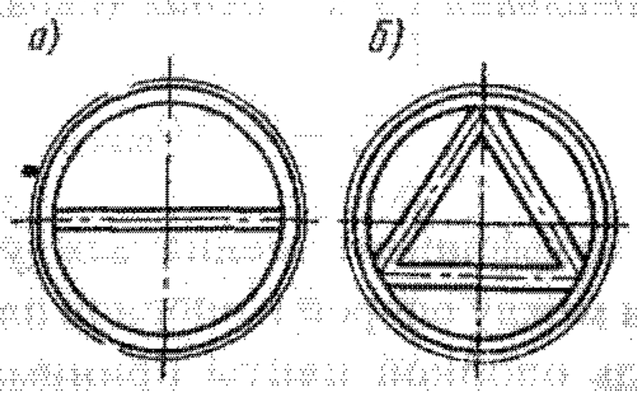


Рис. 20.22. Конструкции усиленных опорных колец жесткости: *а* — с центральным стержнем; *б* — с треугольной рамой.

Расчет обечайки аппарата, укрепленной кольцами жесткости, и расчет кольца жесткости при наличии дополнительных элементов подкрепления самого кольца. Рекомендуемые варианты усиленных опорных колец жесткости показаны на рис. 20.22.

Условие прочности обечайки с усиленным кольцом жесткости:

$$\sigma_6 = K_{16}Q/F - 0{,}5K_{17}QDy_1/J \leqslant \varphi\,[\sigma]. \quad (20.37)$$

Условие прочности усиленного кольца жесткости:

$$\sigma_к = K_{16}Q/F + 0{,}5K_{17}QDy_2/J \leqslant \varphi\,[\sigma]. \quad (20.38)$$

Здесь K_{16}, K_{17} — коэффициенты, приведенные с соответствующими знаками в табл. 20.14.

Расчет стержней усиленных колец жесткости. **Усилие** в центральном горизонтальном стержне (см.рис. 20.22,*а*)

$$N = f_6 Q; \quad (20.39)$$

усилие в горизонтальном стержне треугольной рамы (см.рис. 20.22,*б*)

$$N = f_8 Q; \quad (20.40)$$

усилие в наклонных стержнях треугольной рамы (см.рис. 20.22,*б*)

$$N = f_7 Q, \quad (20.41)$$

Таблица 20.14

Коэффициенты K_{16} и K_{17} в формулах (20.37) и (20.38)

Конструкция усиленного кольца жесткости	σ, ... °	β, ... °	Коэффициенты K_{16}	Коэффициенты K_{17}
С центральным горизонтальным стержнем (см. рис. 20.22, *а*)	60	90	−0,254	+0,0440
		120	−0,579	−0,0510
		180	−0,560	+0,0570
	90	90	−0,254	+0,0369
		120	−0,477	−0,0337
		180	−0,572	+0,0350
	120	90	−0,254	+0,0254
		120	−0,445	−0,0178
		180	−0,572	+0,0127
С треугольной рамой (см. рис. 20.22, *б*)	60	0	+0,144	+0,0166
		90	+0,165	−0,0079
		120	−0,616	+0,0289
		150	−0,776	−0,0148
		180	−0,787	+0,0176
	90	0	+0,156	−0,0196
		90	−0,153	−0,0100
		120	−0,558	+0,0191
		150	−0,695	−0,0020
		180	−0,734	+0,0024
	120	0	+0,161	−0,0220
		90	−0,146	−0,0110
		120	−0,499	+0,0148
		150	−0,630	−0,0004
		180	−0,674	−0,0013

Примечание. Здесь σ — угол обхвата аппарата опорой; β — угол расположения расчетных точек на обечайке.

Таблица 20.15

Коэффициенты f_5, f_6 и f_7 в формулах (20.39) — (20.41)

$\delta, \ldots°$	f_5	f_6	f_7
60	+0,598	+0,561	—0,0982
90	+0,347	+0,440	—0,1120
120	+0,280	+0,320	—0,0752

где f_5, f_6, f_7 — коэффициенты, приведенные в табл. 20.15.

Условие прочности стержней при $N > 0$:

$$N/F_{ст} \leqslant [\sigma], \qquad (20.42)$$

где $F_{ст}$ — площадь поперечного сечения стержня.

Гибкость сжатых стержней определяется по формуле:

$$\lambda = 0{,}866 \frac{D}{r_0} \sqrt{\sigma_т/E}, \qquad (20.43)$$

где r_0 — минимальный радиус инерции поперечного сечения стержня; во всех случаях принимают $\lambda \leq 4$.

Условие устойчивости стержня при $N < 0$:

$$N/(\varphi_l F_{ст}) \leqslant [\sigma], \qquad (20.44)$$

где $\varphi_l = \min\{\varphi_1; \varphi_2\}$; φ_1, φ_2 — коэффициенты, определяемые по рис. 13.6, *а*, *б*.

Расчет седловой опоры. На опору действует вертикальная сила Q (реакция опоры), горизонтальная сила P_1 (перпендикулярная к оси аппарата) и горизонтальная сила трения P_2 (параллельная оси аппарата).

Реакция опоры определяется по формулам (20.12) и (20.13), в которых учитывается максимальная сила тяжести аппарата (в том числе и при гидравлическом испытании):

а) для аппарата, установленного на двух опорах:

$$Q_{max} = 0{,}5G_{max}; \qquad (20.45)$$

а) для аппарата, установленного на нескольких опорах:

$$Q_{max} = \psi_l G_{max}/z. \qquad (20.46)$$

Горизонтальная сила (перпендикулярная к оси аппарата)

$$P_1 = K_{18} Q_{max}, \qquad (20.47)$$

где K_{18} — коэффициент, определяемый по рис. 20.21.

Горизонтальная сила трения (параллельная оси аппарата):

$$P_2 = 0{,}15\, Q_{max}, \qquad (20.48)$$

где 0,15 — коэффициент трения между аппаратом и опорой (или между опорой и опорной плитой).

Площадь опорной плиты принимается конструктивно и должна удовлетворять условию

$$F_{пR} = Q_{max}/[\sigma_{бет}], \qquad (20.49)$$

где $[\sigma_{бет}]$ — допускаемое напряжение сжатия бетона фундамента, принимаемое в зависимости от марки бетона (СНиП В-1—62):

Марка бетона	500	300	200
$[s_{бет}]$, МПа	10	8	6

В случае, если принятая площадь опорной плиты $F_п > F_{пR}$, напряжение сжатия бетона определяют по формуле:

$$\sigma_{бет} = [\sigma_{бет}]\, F_{пR}/F_п. \qquad (20.50)$$

Расчетная толщина опорной плиты

$$s_{пR} = 2{,}45b\sqrt{K_{19}\sigma_{бет}/(1{,}1\,[\sigma_п])}, \qquad (20.51)$$

где K_{19} — коэффициент, определяемый по рис. 20.23 в зависимости от отношения b/a; b — ширина поперечных ребер; a — расстояние между поперечными ребрами (рис. 20.24); $[\sigma_п]$ — допускаемое напряжение для материала опорной плиты.

Исполнительная толщина опорной плиты

$$s_п = s_{пR} + c; \qquad (20.52)$$

во всех случаях $s_п \geq 10$ мм.

Расчетная толщина ребра *1* (рис. 20.24) из условия прочности на изгиб и растяжение определяется по формуле:

$$s_{pR} \geqslant 42P_1/(1{,}1\,[\sigma]\,D). \qquad (20.53)$$

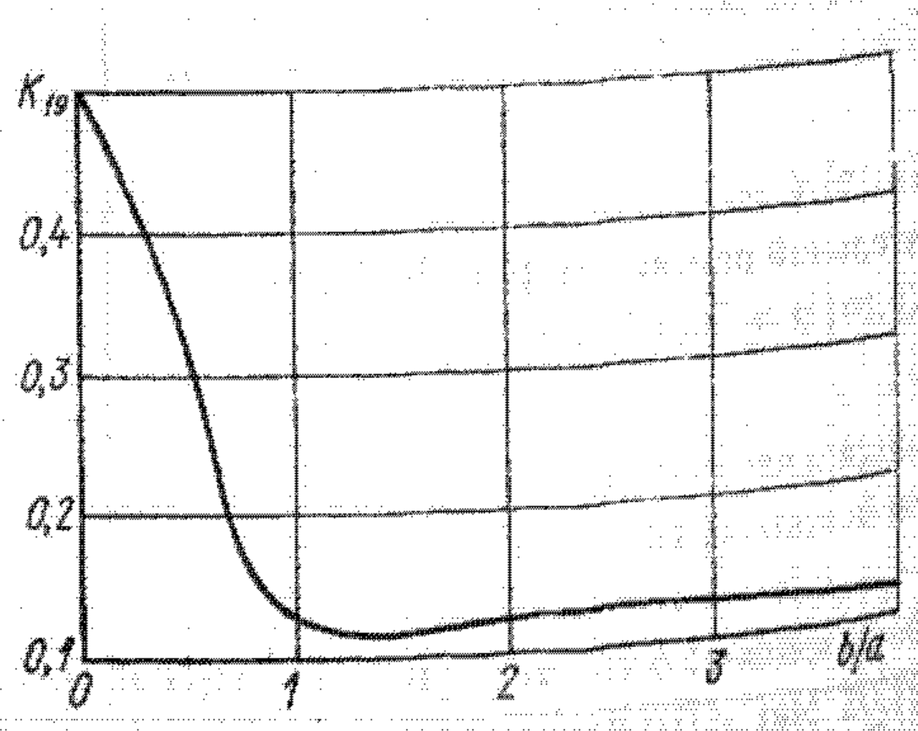


Рис. 20.23. График для определения коэффициента K_{19}



Рис. 20.24. Конструктивные элементы седловой опры: *I* — с поперечными ребрами *2*, расположенными по одну сторону продольного ребра *1*; *II* — с поперечными ребрами *2*, расположенными симметрично по обе стороны продольного ребра *1*

Толщины ребер *1* и *2* (рис. 20.24) проверяют на устойчивость от действия сжимающей нагрузки q. Нагрузка на единицу длины ребра

$$q = 1{,}2Q_{max}/l_{общ}. \qquad (20.54)$$

Здесь $l_{общ}$ — общая длина всех ребер на опоре:

а) для опоры с расположением ребер по схеме *I* (рис. 20.24)

$$l_{общ} = a(m-1) + bm; \qquad (20.55)$$

б) для опор с расположением ребер по схеме *II*

$$l_{общ} = a(m-1) + 2bm, \qquad (20.56)$$

где m — число ребер на опоре.

Расчетная толщина ребер из условия устойчивости

$$s_{pR} \geqslant q/[\sigma_{кр}], \qquad (20.57)$$

где $[\sigma_{кр}]$ — допускаемое напряжение на устойчивость, принимаемое из условия

$$[\sigma_{кр}] = \min\{\sigma_т/3;\ \sigma_{кр}/5\}. \qquad (20.58)$$

Критическое напряжение находят по формуле:

$$\sigma_{кр} = 3{,}6E(s_p/h_2)^2, \qquad (20.59)$$

где s_p — большее из значений s_{pR}, найденных по формулам (20.53) и (20.57); h_2 — высота крайнего наружного ребра (рис. 20.24).

Условие прочности опоры при действии изгибающей силы P_2

$$\sigma = P_2 h_1/W \leqslant \varphi[\sigma]; \qquad (20.60)$$

в случае приварной опоры

$$\sigma = 0{,}5P_2(h_1 + h_2)/W \leqslant \varphi[\sigma], \qquad (20.61)$$

где W — момент сопротивления горизонтального сечения по ребрам у основания опоры (на рис. 20.24 — заштрихованное сечение ребер); h_1 — высота среднего ребра опоры.

20.4. Расчет опор колонных аппаратов на ветровую нагрузку и сейсмические воздействия, ГОСТ Р 51274—99

Толщину стенок цилиндрического корпуса, конических переходов и днищ определяют по данным гл. 13 исходя из внутреннего избыточного или наружного давления.

Толщину цилиндрической стенки опоры исходя из совместного действия осевой нагрузки на нее, силы тяжести аппарата, его среды и опирающихся на него внешних устройств (трубопроводов, площадок, лестниц, изоляции и др.), изгибающих моментов от ветровых и эксцентрических нагрузок, а также от сейсмического воздействия для районов с сейсмичностью более 7 баллов (при 12-балльной шкале) определяют по данным настоящей главы.

Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровой нагрузки и сейсмических воздействий проводят по ГОСТ Р 51273—99.

Область применения расчетных формул. Расчету на ветровую нагрузку подлежат все колонные аппараты, устанавливаемые на открытой площадке, если их высота $H > 10$ м и $H \geq 1{,}5D_{min}$, где D_{min} — наименьший из наружных диаметров аппарата. Расчет проводится отдельно на рабочие условия, условия испытания и условия монтажа.

Расчетная схема аппарата принимается в виде консольного упругого защемленного стержня (рис. 20.25).

Аппарат по высоте H разбивают на z участков.

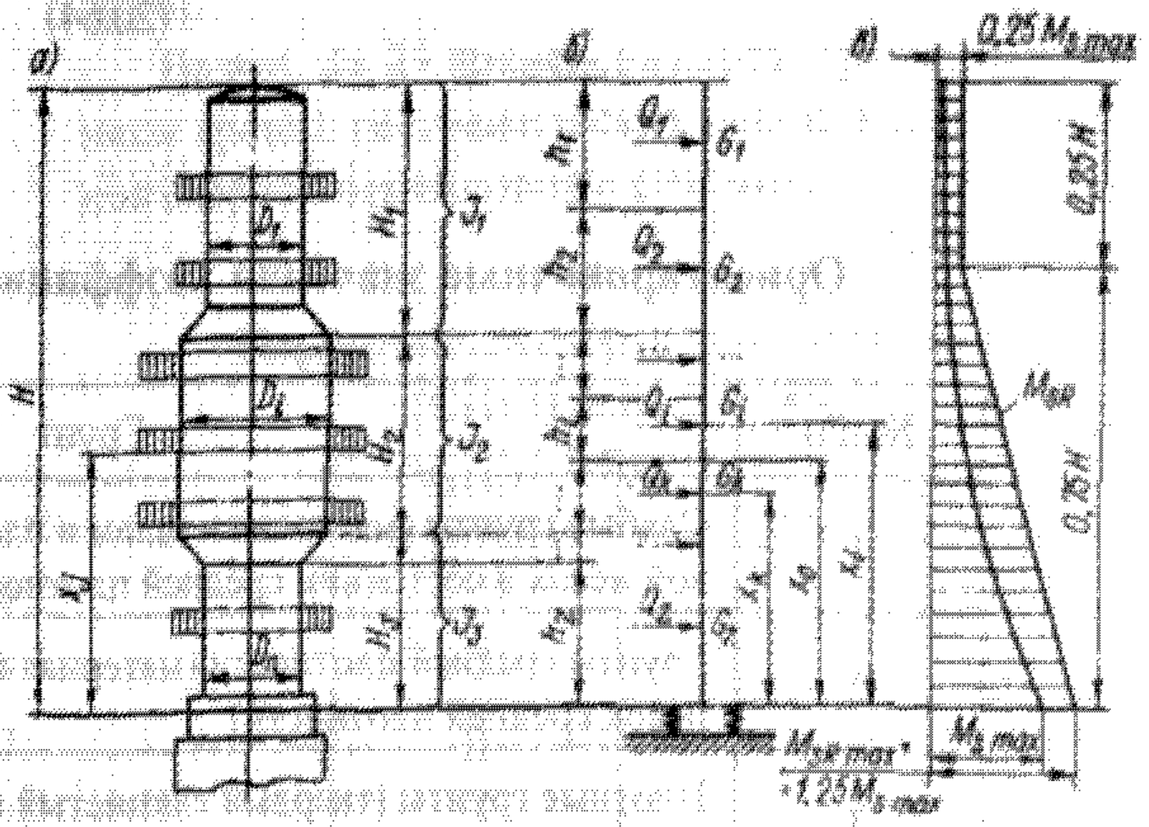


Рис. 20.25. Расчетная схема колонного аппарата при определении ветровых нагрузок и сейсмических воздействий: *а* — схема аппарата; *б* — схема ветровых нагрузок; *в* — эпюра изгибающих моментов от сейсмических воздействий

Но во всех случаях высота участка $h_i \le 10$ м (рис. 20.25, *б*). Силу тяжести каждого участка G_i принимают сосредоточенной в середине участка. Ветровую нагрузку, действующую по высоте аппарата, заменяют сосредоточенными силами Q_i, действующими в горизонтальном направлении и приложенными в серединах участков. Сейсмические силы прикладываются также горизонтально в серединах участков.

Определение периода собственных колебаний. Период основного тона собственных колебаний *аппарата постоянного сечения* с приблизительно равномерно распределенной по высоте массой, с

$$T = T_0 \sqrt{1 + 4EJ/(HC_F J_F)}\,. \quad (20.62)$$

Здесь J — момент инерции верхней части основного металлического сечения аппарата относительно центральной оси, м^4; J_F — минимальный момент инерции площади подошвы фундамента, м^4; C_F — коэффициент неравномерности сжатия грунта, Н/м^3, определяемый по данным инженерной геологии (при отсутствии таких данных C_F выбирают по табл. 20.16); T_0 — величина, определяемая по формуле:

$$T_0 = 1{,}8H\sqrt{mH/(EJ)}, \quad (20.63)$$

где m — общая масса аппарата.

При отсутствии данных о фундаменте в первом приближении допускается принимать $T \approx T_0$.

Период основного тона собственных колебаний *аппарата переменного сечения* (по диаметру и толщине стенки корпуса), с

$$T = 2\pi H\left(\sum_{i=1}^{z} G_i\alpha_i^2\right)^{1/2}\left[g\left(\frac{H}{2EJ_1}\nu + \frac{1}{C_F J_F}\right)\right]^{-1/2} \quad (20.64)$$

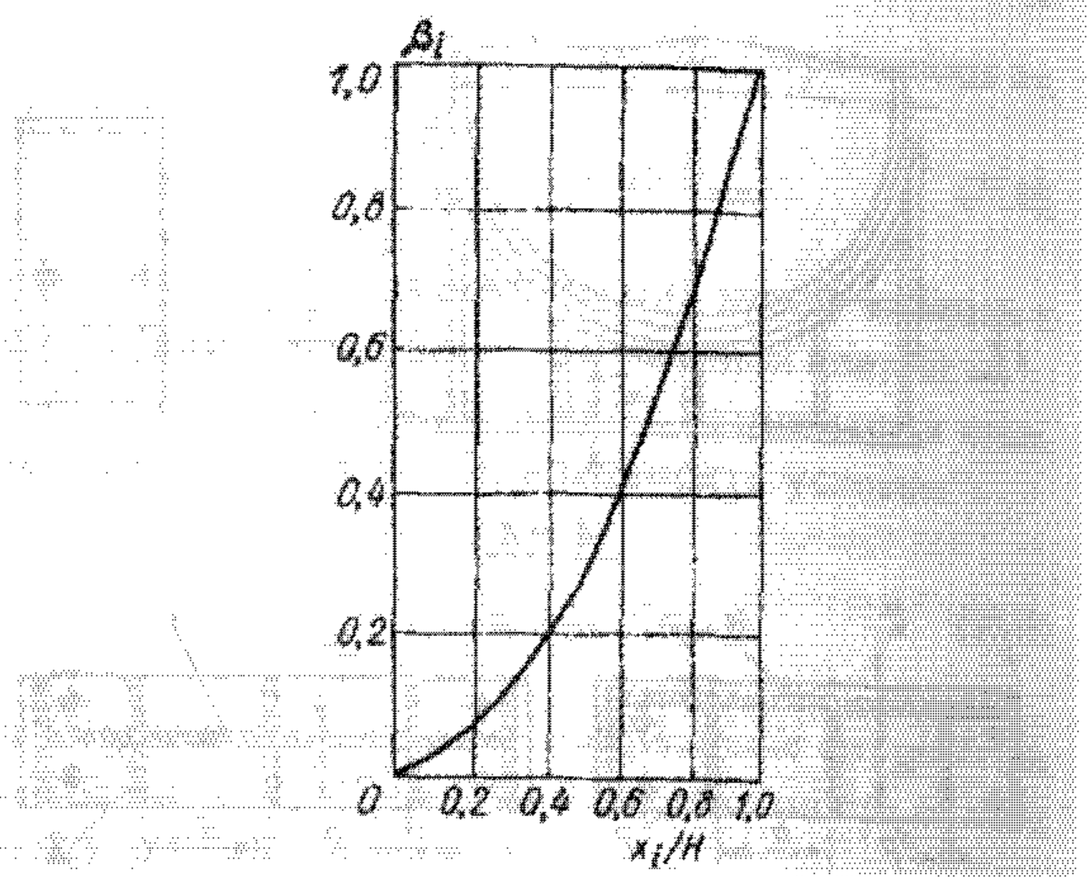


Рис. 20.26. Коэффициент β_i

Здесь J_1 — момент инерции площади поперечного сечения части аппарата диаметром D_1 и высотой H_1 (см. рис. 20.25, *а*); α_i — относительное перемещение центров тяжести участков, 1/(Н · м)

$$\alpha_i = \nu\frac{H}{2EJ_1}\beta_i + \frac{x_i}{HC_F J_F}, \quad (20.65)$$

где β_i — коэффициент, определяемый по рис. 20.26; x_i — расстояние от поверхности земли до центра тяжести рассматриваемого i-го участка (см. рис. 20.25,*б*).

Коэффициент ν, входящий в формулы (20.64) и (20.65), определяют по следующей формуле:

$$\nu = \frac{2}{H^3}\left[H_1^3(\Delta + \lambda) + H_2^3\mu + 2\frac{J_1}{J_3}H_1H_2H_3\right], \quad (20.66)$$

где H_1, H_2, H_3, J_1, J_3 — высоты и моменты инерции площади поперечного сечения частей аппарата (см. рис. 20.25, *а*); Δ, λ, μ — коэффициенты, определяемые по рис. 20.27 или вычисляемые по формулам:

Таблица 20.16

Ориентировочные значения коэффициента неравномерности сжатия грунта

№ п/п	Грунт	C_F, МН/м^3
1	Слабые грунты (материал и шлам в пластичном состоянии, пылевой песок в состоянии средней плотности)	60
2	Грунты средней плотности (материал и шлам на границе течения и песок средней плотности)	60—100
3	Плотные грунты (твердый глинистый шлам, гравий и гравийный песок, плотный лёсс)	100—200
4	Скальные грунты	200

$$\Delta = \frac{1}{3} + \frac{J_1}{J_2}\frac{H_2}{H_1}\left[\frac{1}{3}\left(\frac{H_2}{H_1}\right)^2 + \frac{H_2}{H_1} + 1\right];$$
$$\lambda = \frac{J_1}{J_3}\frac{H_2}{H_1}\left[\frac{1}{3}\left(\frac{H_2}{H_1}\right)^2 + \frac{H_2}{H_1} + 1\right];$$
$$\mu = \frac{J_2}{J_3}\frac{H_2}{H_1}\left(\frac{H_2}{H_1} + 1\right). \qquad (20.67)$$

Для аппаратов с двумя переменными жесткостями J_1 и J_2 в формулах (20.66) и (20.71) следует принимать $H_3 = 0$, то же при определении коэффициентов Δ, λ, и μ по рис. 20.27.

Общий период колебаний для групп аппаратов, установленных на общем фундаменте и жестко связанных в горизонтальном направлении площадками для обслуживания, с

$$T = 3{,}63\left(\sum_{N=1}^{N} G_N H_N^2\right)^{1/2} \times (gC_P J_P)^{-1/2}, \qquad (20.68)$$

где G — вес N-го аппарата; H — высота N-го аппарата; N — число аппаратов.

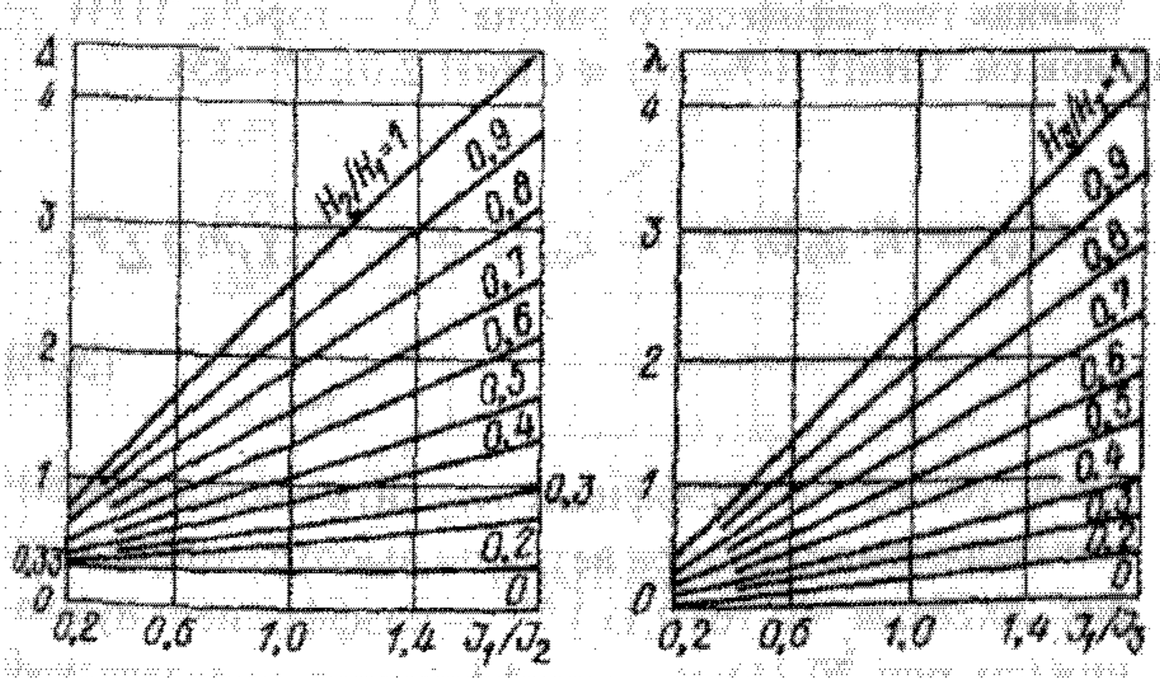


Рис. 20.27. Коэффициенты Δ, λ, μ

Определение изгибающего момента от ветровой нагрузки. Изгибающий момент от ветровой нагрузки в расчетном сечении аппарата на высоте x_0 от поверхности земли (см. рис. 20.25,*б*)

$$M_0 = \sum_{i=1}^{n} Q_i (x_i - x_0) + \sum_{j=1}^{m} M_{0j}, \qquad (20.69)$$

где n — число участков аппарата над расчетным сечением; m — число площадок над расчетным сечением аппарата; M_{0j} — изгибающий момент от действия ветра на j-ю обслуживающую площадку, расположенную на высоте x_0, Н · м.

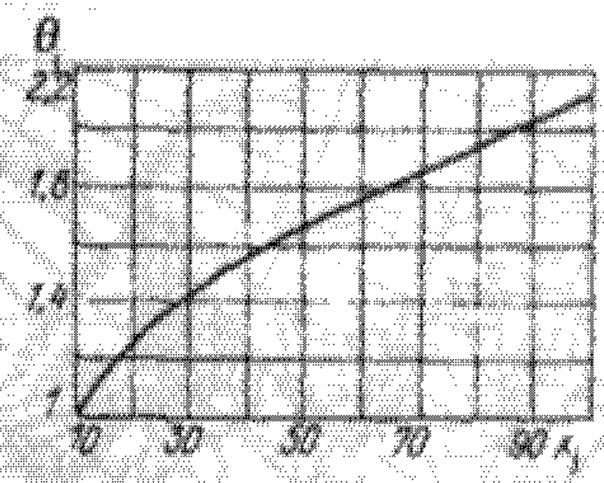


Рис. 20.28. Коэффициенты θ_i

Ветровая нагрузка на j-м участке аппарата

$$Q_i = Q_{i\,ст} + Q_{i\,дин}, \qquad (20.70)$$

где $Q_{i\,ст}$, $Q_{i\,дин}$ — статическая (средняя) и динамическая (пульсационная) составляющие ветровой нагрузки на i-м участке;

$$Q_{i\,ст} = q_{i\,ст} D_i h_i; \qquad Q_{i\,ст} = q_{i\,ст} D_i h_i; \qquad (20.71);\ (20.72)$$

В формуле (20.71) D_i — наружный диаметр i-го участка аппарата (если имеется изоляция, то наружный диаметр изоляции); $q_{i\,ст}$ — нормативное значение статической составляющей ветровой нагрузки на середине i-го участка, Па

$$q_{i\,ст} = q_0 \theta_i K, \qquad (20.73)$$

где q_0 — нормативный скоростной напор ветра на высоте 10 м над поверхностью земли (табл. 20.27); $\theta_i = (0{,}1x_i)^{0{,}31}$ — коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора ветра по высоте аппарата (рис. 20.28); K — аэродинамический коэффициент (табл. 20.18).

На рис. 20. 29 приведена карта стран СНГ с указанием границ географических районов для определения скоростных напоров и сейсмических районов.

Таблица 20.17

Нормативный скоростной напор ветра (СНиП 2.01.07—85)

Район территории СНГ	q_0, Па
Ia	170
I	230
II	300
III	380
IV	480
V	600
VI	790
VII	850

Примечание. Район установки аппарата определяет заказчик в техническом задании.



Рис. 20. 29. Карта СНГ с указанием географических районов для определения скоростных напоров ветра (римскими цифрами указаны географические районы): ——— — граница географического района; О —города; ПППП – граница сейсмического района. (Более точные границы районов см. СНиП II-7—81) и СНиП 2.01.07—85).

В формуле (20.72) ν — коэффициент, учитывающий пульсацию скорости ветра, определяемый по зависимости $\nu = 0{,}968\text{-}0{,}025 \quad H.\sqrt{\quad}$

ξ — коэффициент динамичности при ветровой нагрузке, определяемый в зависимости от безразмерного параметра ε по рис. 20.30; η_i — приведенное относительное ускорение центра тяжести i-го участка,

$$\eta_i = \alpha_i \left(\sum_{k=1}^{z} \alpha_k m_k Q_{k\,ст} \right) \left(\sum_{k=1}^{z} \alpha_k^2 G_k \right)^{-1}, \quad (20.74)$$

где α_i, α_k — относительные перемещения центра тяжести i-го и k-го участков при основном тоне колебаний, определяемые по формуле (20.65); G_k — сила тяжести k-го участка; $m_k = 0{,}76\,(0{,}1x_k)^{-0{,}15}$ — коэффициент пульсации скоростного напора ветра для середины k-го участка, принимаемый по рис. (20.31).

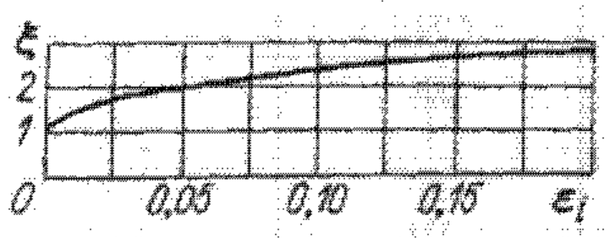


Рис.20.30. Коэффициент динамичности ξ

Изгибающий момент в расчетном сечении аппарата (на высоте x_0 — см. рис. 20.25,*б*) от действия ветра на j-ю площадку для обслуживания рассчитывается по формуле:

$$M_{vj} = K\, q_0\, \theta_j\, (x_j - x_0)(1 + 0{,}75\xi\chi_j m_j) \sum F_j, \quad (20.75)$$

где $\theta_j = (0{,}1x_j)^{0{,}31}$ — коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора ветра по высоте аппарата (см. рис. 20.28); $m_j = 0{,}76\,(0{,}1x_j)^{-0{,}15}$ — коэффициент пульсации (см. рис. 20.31); χ_j — коэффициент, определяемый по рис. 20.32; ΣF_j — сумма площадей проекций профилей j-й площадки на вертикальную плоскость.

При отсутствии данных о форме площадки для обслуживания аппарата изгибающий момент определяют по формуле:

$$M_{vl} = K\, q_0\, \theta_l\, (x_l - x_0)\,(1 + 0{,}75\xi\chi_l m_l) \sum F'_l, \quad (20.76)$$

где F'_j — площадь проекции участка аппарата в месте расположения площадки, включая последнюю, на вертикальную плоскость.

Определение расчетных усилий от сейсмических воздействий. Расчету на сейсмические воздействия подлежат все вертикальные аппараты, устанавливаемые в районах с сейсмичностью не менее 7 баллов (по 12-балльной шкале), независимо от того, находятся они в помещении или на открытой площадке.

Таблица 20.18

Аэродинамический коэффициент

Элемент аппарата	*K*
Корпус цилиндрический	0,7
Корпус цилиндрический с обслуживающими площадками (учитывается проекция площадки на вертикальную плоскость)	0,85
Только площадки для обслуживания аппарата (учитывается сумма всех проекций площадей профилей площадки на вертикальную плоскость)	1,4

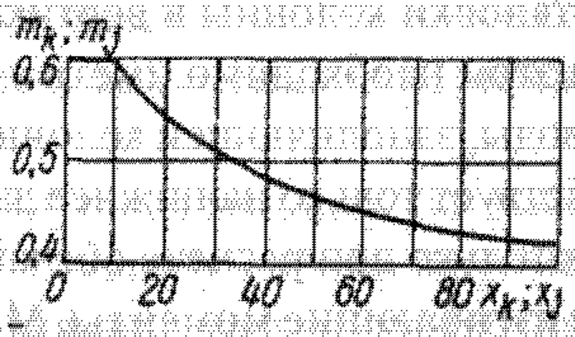


Рис. 20.31. Коэффициенты пульсации m_k и m_j

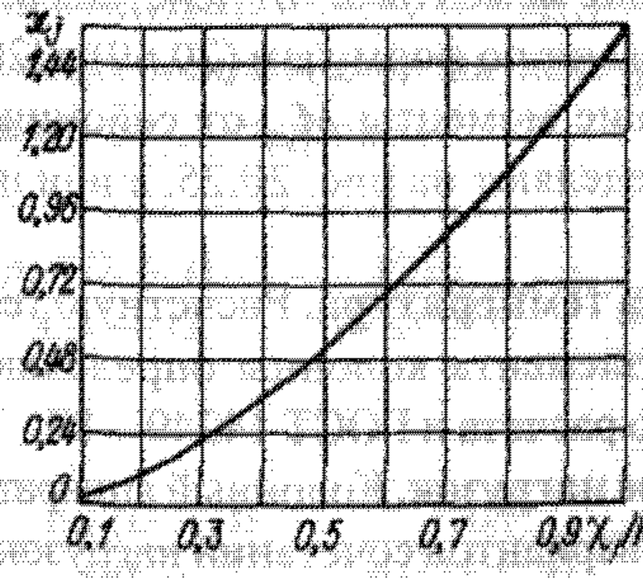


Рис. 20.32. Коэффициент χ_j

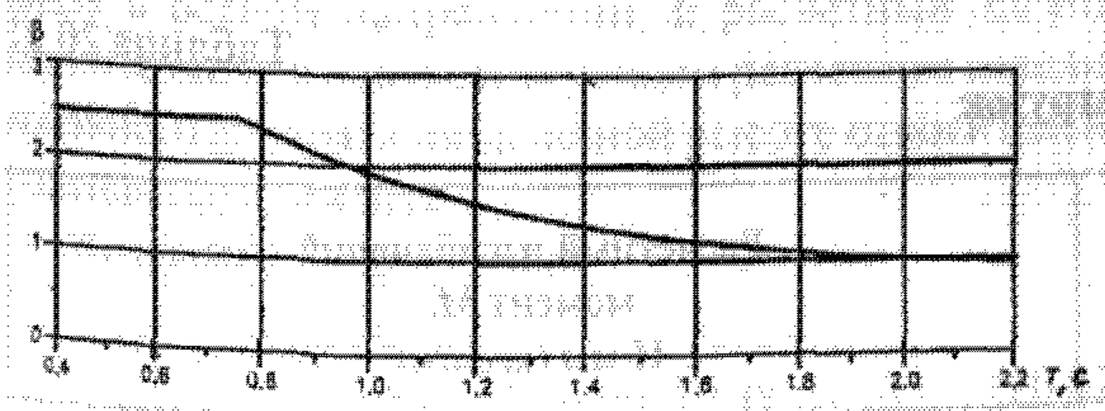


Рис. 20.33. Коэффициент динамичности β

Таблица 20.19

Сейсмический коэффициент K_s (СНиП II-7—81)

Расчетная сейсмичность, баллы	K_s
7	0,1
8	0,2
9	0,4

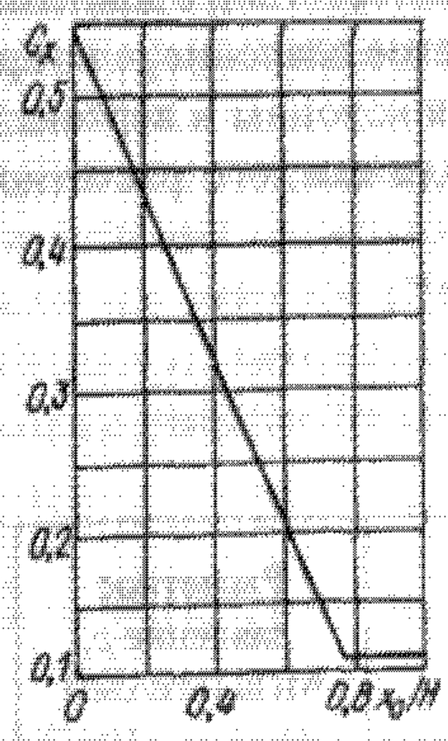


Рис. 20.34. Коэффициент C_x

Расчетную сейсмическую силу в середине i-го участка соответствующую первому тону собственных колебаний аппарата определяют по формуле:

$$Q_{si} = 0{,}375 K_s \beta G_i \alpha_i \left(\sum_{k=1}^{z} G_k \alpha_k \right) \left(\sum_{k=1}^{z} G_k \alpha_k^2 \right)^{-1}, \quad (20.77)$$

где K_s — сейсмический коэффициент (табл. 20.19); β — коэффициент динамичности при сейсмической нагрузке (рис. 20.33) или по зависимости $\beta = 1{,}9/T$, но во всех случаях не менее 0,8 и не более 2,5; α_i, α_k — коэффициенты, определяемые по формуле (20.65).

Максимальный изгибающий момент от сейсмических воздействий в нижнем сечении аппарата при учете только первой формы колебаний

$$M_{s\,max} = \sum_{i=1}^{z} Q_{si} x_i. \quad (20.78)$$

В качестве первого приближения расчетный изгибающий момент M_{sR} в сечении аппарата на расстоянии x_0 от поверхности земли с учетом влияния высших форм колебаний определяется в зависимости от $M_{s\,max}$ по эпюре изгибающих моментов (см. рис. 20.25, *в*).

Общие расчетные нагрузки и расчетная температура

Расчетное давление. Расчетное давление p_R в рабочих условиях для каждого расчетного сечения и пробное давление $p_{пр}$, измеряемое в верхней части колонны, устанавливают в соответствии с данными гл. 12.

Гидростатическое давление $p_г$ во время гидравлического испытания колонны в вертикальном положении определяют для каждого расчетного сечения по формуле:

$$p_г = \gamma (H - x_0), \quad (20.79)$$

где для воды $\gamma = 10^4$ Н/м^3.

При расчете колонн должны быть учтены следующие весовые нагрузки: G_1 — сила тяжести колонны в рабочих условиях, включая площадки для обслуживания, изоляцию, внутренние устройства и рабочую среду, Н; G_2 — сила тяжести колонны при гидравлическом испытании, включая жидкость, заполняющую колонну, Н; G_3 — максимальная нагрузка колонны от собственного веса в условиях монтажа (после установки колонны в вертикальное положение), Н; G_4 — минимальная нагрузка колонны от собственного веса в условиях монтажа (после установки колонны в вертикальное положение), Н. При этом необходимо иметь в виду, что нагрузка от веса воды, заполняющей колонну в условиях испытания, действует только на нижнее днище и должна учитываться только при расчете обечайки опоры.

Расчетные изгибающие моменты. Максимальный изгибающий момент M_G от действия эксцентрически приложенных весовых нагрузок, в том числе от присоединяемых трубопроводов, определяют для каждого расчетного сечения.

Изгибающие моменты M_v от действия ветровых нагрузок определяют по формулам (20.69) и (20.75).

Изгибающие моменты M_{sR} от сейсмических воздействий определяют на рис. 20.25, *в* или по формуле (20.78).

Расчетная температура. Расчетную температуру для каждого элемента колонны определяют по данным теплового расчета и ГОСТ 14249—89.

Сочетание нагрузок. Колонный аппарат рассчитывают для трех вариантов сочетаний нагрузок: для *рабочих условий* для *условий гидравлического испытания* при вертикальном положении колонны; для *условий монтажа* (табл. 20.21).

Таблица 20.21

Сочетание нагрузок

Условия	Расчетное давление p, МПа (кгс/см^2)	Осевое сжимающее усилие P Н (кгс)	Расчетный изгибающий момент M, Н·мм (кгс·см)
Рабочее условие	p_1	$P_1 = G_1$	$M_1 = M_{G1} + M_{v1}$ Для сейсмических районов принимают большее из значений: $M_1 = M_{G1} + M_{v1}$ $M_1 = M_{G1} + M_{R1}$
Условие испытаний	p_2	$P_2 = G_2$	$M_2 = M_{G2} + 0{,}6M_{v2}$
Условие монтажа	0	$P_3 = G_3$	$M_3 = M_{G3} + M_{v3}$ Для сейсмических районов принимают большее из значений: $M_3 = M_{G3} + M_{v3}$ $M_3 = M_{G3} + M_{R3}$
		Для анкерных болтов $P_3 = G_4$	

Если во время эксплуатации в исключительных (аварийных) случаях возможно заполнение колонны рабочей жидкостью, то необходимо рассчитать колонну и для этого случая. Расчетные нагрузки определяют так же, как и для условий испытания.

Проверочный расчет корпуса колонны. *Расчетными сечениями* колонного аппарата являются:

1) нижние поперечные сечения каждой части корпуса, имеющей разные диаметры или толщины стенок;

2) поперечное сечение корпуса в месте присоединения к нему обечайки опоры;

3) сварной шов в месте присоединения обечайки опоры к корпусу;

4) поперечное сечение обечайки опоры в месте наибольших вырезов;

5) поперечное сечение основания обечайки опоры.

Для аппаратов, имеющих по высоте постоянные диаметры и толщину стенки корпуса, расчетными сечениями являются только поперечные сечения корпуса в месте присоединения к нему обечайки опоры и указанные сечения опоры.

Расчетные сечения корпуса проверяют на напряжения в них для рабочих условий ($P=P_1; M=M_1; p=p_R$) и для условий монтажа ($P=P_3; M=M_3; p=0$).

Продольные напряжения на наветренной (σ_{x1}) и подветренной (σ_{x2}) сторонах:

$$\sigma_{x1} = \frac{p_R (D+s)}{4(s-c)} - \frac{P_{1x0}}{\pi D (s-c)} + \frac{4M_{x0}}{\pi D^2 (s-c)}; \quad (20.80)$$

$$\sigma_{x2} = \frac{p_R (D+s)}{4(s-c)} - \frac{P_{1x0}}{\pi D (s-c)} - \frac{4M_{x0}}{\pi D^2 (s-c)}, \quad (20.81)$$

где P_{1x0}, M_{x0} — расчетная сжимающая сила, действующая в осевом направлении, и расчетный изгибающий момент в соответствующем расчетном сечении колонного аппарата на заданной высоте относительно подошвы фундамента.

Кольцевые напряжения

$$\sigma_y = p_R (D+s)/[2(s-c)]. \quad (20.82)$$

Эквивалентные напряжения на наветренной (σ_{E1}) и подветренной (σ_{E2}) сторонах:

$$\sigma_{E1} = \sqrt{\sigma_{x1}^2 - \sigma_{x1}\sigma_y + \sigma_y^2}; \quad (20.83)$$

$$\sigma_{E2} = \sqrt{\sigma_{x2}^2 - \sigma_{x2}\sigma_y + \sigma_y^2}. \quad (20.84)$$

(если $\sigma_{x1}, \sigma_{x2} < 0$, то $\varphi = 1$);

Условия прочности корпуса для каждого расчетного сечения проверяются по формулам:

а) на наветренной стороне

$$\max\{|\sigma_{x1}|; \sigma_{E1}\} \leqslant [\sigma_n]\varphi_т \quad (20.85)$$

(если $\sigma_{x1} < 0$, то $\varphi = 1$);

б) на подветренной стороне

$$\max\{|\sigma_{x2}|; \sigma_{E2}\} \leqslant [\sigma_n]\varphi_т \quad (20.86)$$

(если $\sigma_{x2} < 0$, то $\varphi = 1$).

В формулах (20.83)—(20.86) φ — коэффициент прочности сварного шва на корпусе колонны.

Условие устойчивости корпуса проверяют для каждого расчетного сечения для рабочих условий, а также для условий испытаний и монтажа.

Для аппаратов, работающих под внутренним избыточным давлением и без давления, условие устойчивости проверяют по формуле:

$$P_1/[P_1] + M/[M] \leqslant 1. \quad (20.87)$$

Значения $[P]$ и $[M]$ определяют по данным гл. 13 (ГОСТ 14249—89) соответственно для рабочих условий, условий испытания и монтажа.

Если толщина стенки обечайки опоры меньше или равна толщине стенки корпуса в месте присоединения к нему обечайки опоры и механические свойства материала обечайки опоры не выше соответствующих свойств материала корпуса, то расчет корпуса не проводят, а проверяют прочность и устойчивость только обечайки опоры, являющейся основным элементом.

Для аппаратов, работающих под наружным давлением, для условий испытания и монтажа проверку производят по формуле (20.87). Для рабочих условий устойчивость необходимо проверять для каждого основного расчетного сечения колонны по формуле:

$$p_м/[p] + P_1/[P_1] + M/[M] \leqslant 1, \quad (20.88)$$

где $[p]$, $[P_1]$ и $[M]$ определяют по данным гл. 13 (ГОСТ 14249—89) для рабочих условий.

Расчет элементов опоры колонных аппаратов.

Конструктивные элементы опор колонных аппаратов показаны на рис. 20.35, а узел соединения опоры с обечайкой колонны на рис. 20.36.

Расчет проводится для рабочих условий и для условий гидравлического испытания колонны. Используются расчетные нагрузки в трех сечениях опоры: *x—x* — в основании опоры; *y—y* — в месте сварного соединения опоры с корпусом аппарата; *z—z* — по центрам отверстий в опоре.

На опору действуют: $P = G$ — осевая сжимающая нагрузка от силы тяжести аппарата и среды, вспомога-

тельных устройств, установленных на колонне, изоляции; M — суммарный изгибающий момент от ветровой и сейсмической нагрузок и от эксцентрично приложенных к оси аппарата сил тяжести отдельных внутренних и внешних устройств. Определение P и M по табл. 20.21.

Расчетная температура определяется из теплового расчета опорной обечайки.

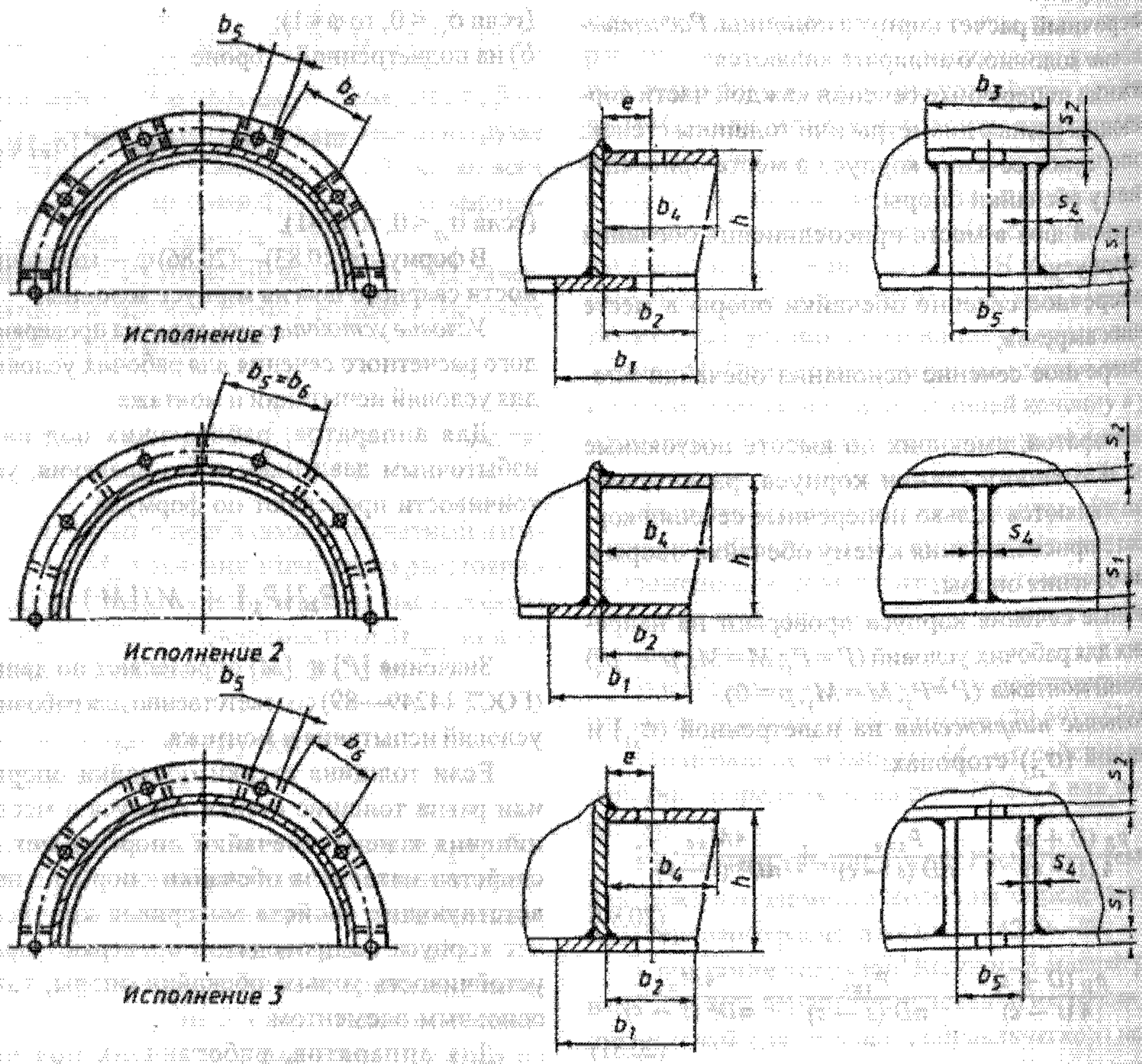


Рис. 20.35. Конструктивные элементы опорного узла:

исполнение 1 — опорный узел выполнен в форме отдельных столиков под каждый анкерный болт;

исполнение 2 — опорный узел выполнен в виде двух горизонтальных колец, подкрепленных ребром в промежутке между двумя смежными анкерными болтами;

исполнение 3 — то же, но подкрепленных двумя ребрами у каждого анкерного болта

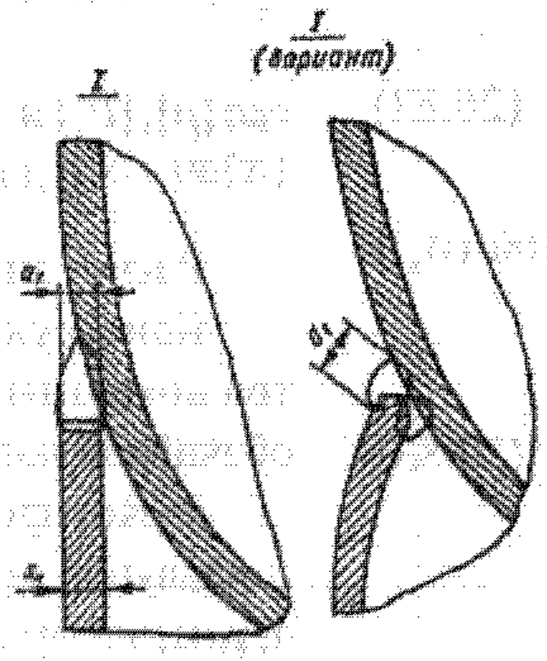


Рис. 20.36. Узел соединения опоры с обечайкой колонны

Обечайка опоры. Прочность сварного соединения опоры с корпусом определяется условием

$$\sigma = \frac{1}{\pi D a_1}\left(\frac{4M_y}{D} + P_u\right) \leqslant 0{,}8\ \min\{[\sigma_0];\ [\sigma_к]\}, \quad (20.89)$$

где M_y — максимальный изгибающий момент в сечении y—y; P_u — осевая сжимающая сила в условиях гидравлического испытания аппарата; a_1 — расчетная толщина сварного шва; $[\sigma_0]$ — допускаемое напряжение для материала опоры; $[\sigma_к]$ — допускаемое напряжение для материала корпуса аппарата.

Показанная на выносном узле *I* конструкция соединения опорной обечайки с корпусом недостаточно надежна, так как сварной шов не может быть выполнен двусторонним и качество исполнения не может быть проверено рентгеноскопией из-за малого острого угла между обечайкой и днищем. Для колонных аппаратов с соотношением $H/D > 20$ рекомендуется конструкция соединения опоры с корпусом с использованием торообразного перехода (вариант узла *I* на рис. 20.36), при котором угол между днищем и обечайкой должен составлять 60—90°. Это решение обеспечивает возможность качественного выполнения двустороннего сварного шва и его рентгеноскопический контроль. Для такой конструкции $\varphi = 1$.

Прочность и устойчивость обечайки опоры в сечении z—z, проходящем по центру наибольшего отверстия в опоре, определяется условием

$$\frac{P_{zu}}{\psi_1 [P]} + \frac{M_z + P_{zu}\psi_3 D}{\psi_2 [M]} \leqslant 1, \quad (20.90)$$

где M_z — максимальный изгибающий момент в сечении z—z; P_{zu} — осевая сжимающая сила в том же сечении в условиях гидравлического испытания; $[P]$, $[M]$ — допускаемые осевая сила и изгибающий момент — см. гл. 13.

Если в сечении z—z имеется несколько отверстий, то расчет ведут для наибольшего из них. Значения коэффициентов ψ_1, ψ_2 и ψ_3 определяют по формулам:

$$\psi_1 = \frac{F_z}{\pi D (s_1 - c)}; \quad \psi_2 = \frac{4W}{\pi D^2 (s_1 - c)}; \quad \psi_3 = J_s/D, \quad (20.91)$$

где F_z — площадь наиболее ослабленного поперечного сечения обечайки опоры; W — наименьший момент сопротивления того же сечения; J_s — эксцентриситет центра тяжести того же сечения.

Нижнее опорное кольцо. Ширина кольца b_1 устанавливается конструктивно и должна удовлетворять условию

$$b_1 \geqslant b_{1R} = \frac{1}{\pi D_Б [\sigma_{бет}]}(4M_z/D_Б + P_z). \quad (20.92)$$

Выступающая наружу от обечайки опоры ширина кольца b_2 принимается из соотношения

$$2d_Б + 30\text{мм} \leqslant b_2 \leqslant {}^1/_3 b_1, \quad (20.93)$$

где $d_Б$ — внутренний диаметр резьбы анкерной шпильки.

Толщину нижнего опорного кольца s_1 следует определять по формуле:

$$s_1 \geq \max\left\{\chi_1 b_2 \sqrt{\frac{\frac{4M}{D_Б} + P}{D_Б b_1 [\sigma]}} + c;\ 1{,}5 s_0\right\}, \quad (20.94)$$

где χ_1 — коэффициент, определенный по формуле:

$$\chi_1 = \left(\frac{1 + 1{,}81\left(\frac{b_3}{b_6}\right)^3}{1 + 2{,}97\left(\frac{b_2}{b_6}\right)^3}\right)^2;$$

$[\sigma]$ — допускаемое напряжение для материала опорного узла при расчетной температуре, МПа;

b_6 — максимальное расстояние между двумя смежными ребрами, мм.

Верхнее опорное кольцо.

Толщину верхнего опорного кольца s_2 следует определять по формуле:

$$s_2 \geq \max\left\{\chi_2 \sqrt{\frac{F_в [\sigma]_в}{[\sigma]_к}} + c;\ 1{,}5 s_0\right\}, \quad (20.95)$$

где $F_в$ — площадь поперечного сечения анкерного болта по внутреннему диаметру резьбы, мм²;

χ_2 — коэффициент, определяемый по формуле

$$\chi_2 = \sqrt{\frac{3\frac{b_4}{b_5}}{1 + \frac{\left(\frac{b_4}{b_5}\right)^2}{1 - \frac{d}{b_5}}}},$$

где $[\sigma]_в$ — допускаемое напряжение для материала анкерных болтов, МПа;

b_4 — ширина верхнего опорного элемента, мм;

b_5 — минимальное расстояние между двумя смежными ребрами, мм;

d — диаметр окружности, вписанной в шестигранник гайки анкерного болта, мм.

При наличии усиливающей пластины толщиной s_3, приваренной к верхнему опорному кольцу, расчет следует проводить по формуле:

$$(s_2 + s_3) \geq \chi_2 \chi_3 \sqrt{\frac{F_в [\sigma]_в}{[\sigma]}} + c, \quad (20.96)$$

где χ_3 — коэффициент, определяемый по формуле:

$$\chi_3 = \frac{b_7}{b_4}\left(\frac{s_3}{s_2}\right)^2.$$

где b_7 — ширина усиливающей пластины, мм.

Толщина ребра

$$s_7 = \max\left\{\frac{F_Б[\sigma_Б]}{\chi_3 b_2} + c;\ 0{,}4s_1\right\}, \qquad (20.97)$$

где $\chi_3 = 2$ для опорных узлов исполнений 1 и 3; $\chi_3 = 1$ для опорного узла исполнения 2.

Для конструкции ребер с соотношением $b_2/s_4 > 20$ их необходимо дополнительно проверять на устойчивость.

Напряжение изгиба в обечайке опоры от действия верхнего кольца должно удовлетворять условию

$$\sigma = \frac{6\chi_4 F_Б [\sigma_Б] e}{(s_1 - c)^2 h_1} \le 1{,}5[\sigma_0], \qquad (20.98)$$

где χ_4 —коэффициент, определяемый по формулам:

$$\chi_4 = -0{,}0248\left\{\ln\left(\frac{N}{1100}\right) - \sqrt{\left[\ln\left(\frac{N}{1100}\right)\right]^2 + 2{,}628}\right\} + K;$$

$$N = \frac{D_0}{2(s_0 - c)}\left(\frac{10b_3}{D_0}\right)^{2{,}05} \qquad (20.99)$$

$$K = \begin{cases} 0, & \text{при } N \le 10^4 \\ -0{,}002\ln\left(10^{-4}N\right), & \text{при } N > 10^4; \end{cases}$$

$$b_3 = \begin{cases} b_4 - \text{для опорного узла исполнения 2} \\ (b_5 + b_6) - \text{для опорного узла исполнения 3.} \end{cases}$$

D_0 — внутренний диаметр опорной обечайки в расчетном сечении, мм.

Анкерные шпильки. Число анкерных шпилек устанавливается конструктивно и может составлять 4, 6, 8, 10, 12 и далее кратно четырем, если $M_3 \le 0{,}44P_3D_Б$.

Внутренний диаметр резьбы шпильки рассчитывается из условий монтажа, если $M_3 > 0{,}44P_3D_Б$:

$$d_Б \ge \chi_5\sqrt{\frac{M_3 - 0{,}44P_3D_Б}{z_Б[\sigma_Б]D_Б}}, \qquad (20.100)$$

где χ_5 — коэффициент, определяется по формуле:

$$\chi_5 = \begin{cases} 2{,}25 + 0{,}3\dfrac{P_3D_Б}{M_3}, & \text{при } \dfrac{P_3D_Б}{M_3} < 0{,}5 \\ 2{,}7 - 2\dfrac{P_3D_Б}{M_3} + 3{,}7\left(\dfrac{P_3D_Б}{M_3}\right)^2 - 2{,}5\left(\dfrac{P_3D_Б}{M_3}\right)^3 + 0{,}65\left(\dfrac{P_3D_Б}{M_3}\right)^4, & \text{при } \dfrac{P_3D_Б}{M_3} \ge 0{,}5, \end{cases}$$

P_3 и M_3 определяются по таблице 20.21.

При конструктивном назначении числа и количества анкерных шпилек следует придерживаться следующих рекомендаций:

D, мм	<1400	<1400—2200	Св. 2200
$D_Б$, мм	М24	М30	М36
$z_Б$, шт	4	6	≥12 (шаг ≤ 1200 мм)

Приведенные значения $d_Б$ и $z_Б$ являются наименьшими для указанных диаметров колонных аппаратов, если даже диаметр шпилек $d_Б$ по формуле (20.100) окажется меньше.

Стандартные опоры колонных аппаратов могут выбираться на основе максимальной приведенной нагрузки Q_{max}. За максимальную приведенную нагрузку принимают большее из значений:

$$Q = 4M_1/D + P_1; \qquad (20.101)$$

$$Q = 4M_2/D + P_2, \qquad (20.102)$$

где M_1, M_2 — расчетные изгибающие моменты в нижнем сечении обечайки соответственно в режиме эксплуатации и гидравлического испытания;

P_1, P_2 — осевые сжимающие силы, действующие в нижнем сечении опорной обечайки соответственно в режимах эксплуатации и гидравлического испытания.

Проверочный расчет опорных балок под тарелки и решетки. Приближенно принимают, что балка свободно оперта на две опоры и воспринимает равномерно распределенную нагрузку от веса части собственно тарелки или решетки, а также от насадки и слоя рабочей жидкости, находящейся на тарелке или на решетке.

Общую массу, воздействующую на балку, определяют по формуле:

$$m_б = \frac{4lb}{\pi D^2}(m_т + \rho_ж h_ж), \qquad (20.103)$$

где $m_т$ — масса всей тарелки или решетки, кг; $h_ж$ — высота слоя рабочей жидкости на тарелке или решетке, м; l — длина балки, м; b — расстояние между осями смежных балок, м; $\rho_ж$ — плотность жидкости, кг/м^3.

Расчетный изгибающий момент балки, Н · м

$$M_б = 0{,}125m_б g l, \qquad (20.104)$$

где $g = 9{,}81$ м/с^2 — ускорение свободного падения.

Расчетный момент сопротивления балки, м^3

$$W_{б\,R} = M_б/[\sigma_б], \qquad (20.105)$$

где $[\sigma_б]$ — допускаемое напряжение материала балки, Па.

Расчетный момент инерции балки при допускаемом относительном прогибе ее, равном 0,0005, м^4

$$J_{б\,R} = 26m_б g l^2/E, \qquad (20.106)$$

где E — модуль продольной упругости материала балки, Па.

По найденным значениям $W_{бR}$ и $J_{бR}$ выбирают профиль и размеры опорной балки.

ГЛАВА 21

УСТРОЙСТВА ДЛЯ СТРОПКИ АППАРАТОВ

21.1. Конструкции

Подъем и перемещение аппаратов при монтаже и демонтаже, осуществляемые различными подъемно-транспортными средствами, производятся с помощью стропки аппаратов канатами, цепями или траверсами.

Для обеспечения надежности и безопасности стропки *вертикальных аппаратов* на них предусматривают специальные строповые устройства, за которые аппарат подвешивается к подъемно-транспортному средству: крюки, цапфы и монтажные штуцера, размещаемые на боковых стенках, а также ушки, размещаемые на крышках аппарата. Крюки, цапфы и монтажные штуцера устанавливают по два на вертикальном аппарате, ушков может быть два, три и иногда четыре на одном аппарате.

Подъем и перемещение *горизонтальных аппаратов* осуществляются обычно с помощью стропки их канатами или цепями, непосредственно охватывающими корпус. В отдельных случаях на горизонтальных аппаратах предусматривают два ушка или четыре цапфы.

Строповые устройства для стальных аппаратов стандартизованы, их конструкции приведены на рис. 21.1 и 21.2, а основные характеристики в табл.21.1—21.3.

Строповые устройства на вертикальных аппаратах следует размещать возможно выше и обязательно выше центра тяжести аппарата. На горизонтальных аппаратах ушки устанавливают сверху по краям цилиндрического корпуса, а цапфы — симметрично по две с каждой стороны в диаметральном сечении корпуса.

21.2. Расчет корпуса аппарата на нагрузки, действующие на строповое устройство, РД РТМ 26-319—79

Строповые устройства расчетом не проверяются, а выбираются стандартные на ближайшую большую грузоподъемность. При этом следует иметь в виду, что для строповых устройств типов 1, 2 и 3 (см. рис.21.1) нагрузка должна прикладываться только вдоль плоскости устройств, для монтажных штуцеров типа 2 (см. рис. 21.2, *б*) — в плоскости, перпендикулярной к продольной оси штуцера.

Действующая сила для монтажных штуцеров типа 1 (см. рис. 21.2, *а*) может отклоняться на угол до 15° от плоскости, перпендикулярной к продольной оси штуцера.

При определении силы, действующей на устройство, учитывают одновременно действие следующих нагрузок: составляющей силы тяжести поднимаемого груза; силы тяжести строповых устройств, оттяжек, прикрепленных к грузу или устройству деталей и т.д.; динамического воздействия (вертикального), равного 10% от силы тяжести поднимаемого груза; усилия в оттяжке, если по условиям выполнения работ оно может иметь место, а также если груз поднимают двумя и более грузоподъемными приспособлениями при неравномерном распределении силы тяжести груза между строповыми устройствами.

Нагрузка на одно строповое устройство определяется по формуле (20.1), где e принимают по табл. 21.1.

Несколько строповых устройств, расположенных в поперечном сечении корпуса аппарата с угловым расстоянием не менее чем 90° или в продольном сечении корпуса на расстоянии не менее $0{,}5D$, рассчитываются как отдельные.

Прочность стенки цилиндрического аппарата под строповым устройством проверяется следующим образом.

Строповые устройства типов 1 и 2. Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции стропового устройства определяется по формуле:

$$\sigma_m = \sigma_{m0} - 10^{-4}\left[(A_1\varphi_1 + A_2\varphi_2)\sin\alpha \pm \right.$$
$$\left. \pm N_2\frac{e}{L}(B_1\varphi_1 + B_2\varphi_2)\cos\alpha\right]\frac{Q}{s_0^2}\gamma\frac{B}{L}, \qquad (21.1)$$

где σ_{m0} — максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок (напряжение, возникающее в корпусе аппарата от собственного веса и веса других элементов, одновременно действующих на аппарат, определяемое в каждом конкретном случае в зависимости от схемы стропки аппарата и характера приложения к нему нагрузок); A_1, A_2 — коэффициенты, принимаемые по рис. 21.3 в зависимости от параметров L/D и B/L; B_1, B_2 — коэффициенты, принимаемые по рис.21.4 в зависимости от тех же параметров; φ_1, φ_2 — коэффициенты, принимаемые по рис.21.5 в зависимости от параметра $\gamma = 0{,}5D/s_0$; N_2 — коэффициент, принимаемый по рис. 21.6 в зависимости от угла α и параметра l_2/e.

Максимальное напряжение изгиба от реакции стропового устройства определяется по формуле:

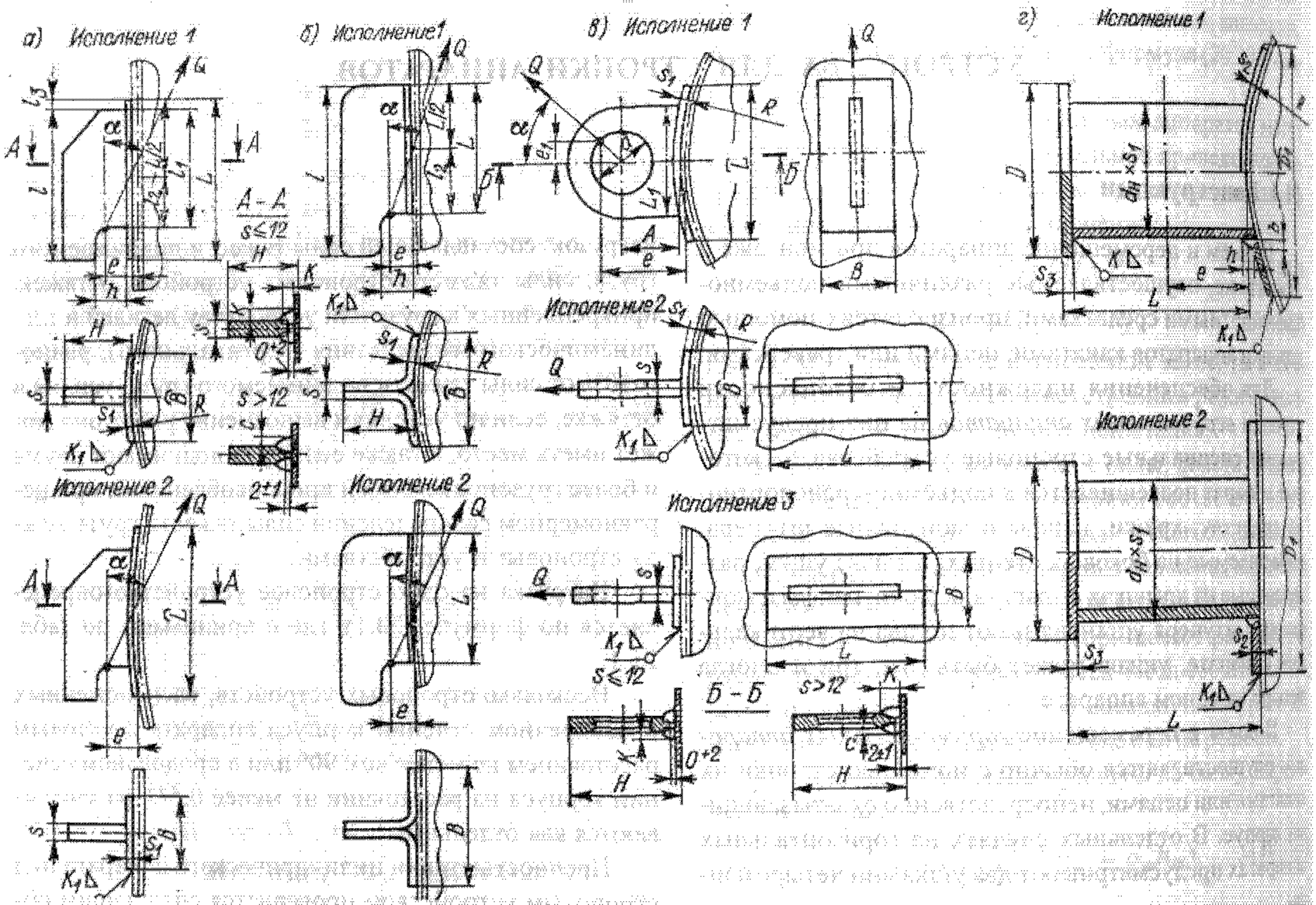


Рис. 21.1. Конструкция стандартных строповых устройств для стальных сварных аппаратов: *а* — тип 1 (крюки сварные); *б* — тип 2 (крюки штампованные); *в* — тип 3 (ушки); *г* — тип 4 (цапфы)

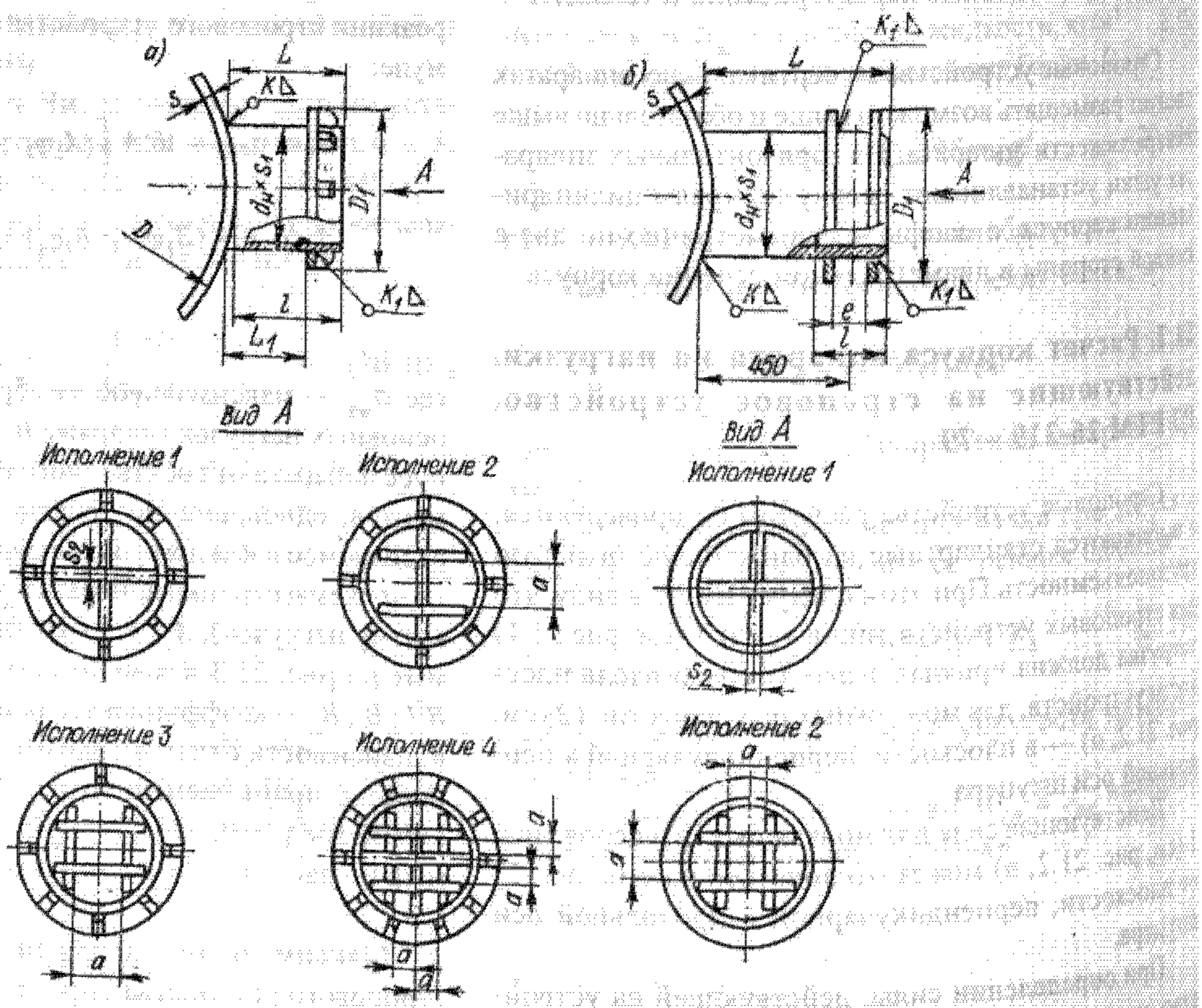


Рис. 21.2. Конструкции стандартных монтажных штуцеров: *а* — нормальные; *б* — удлиненные

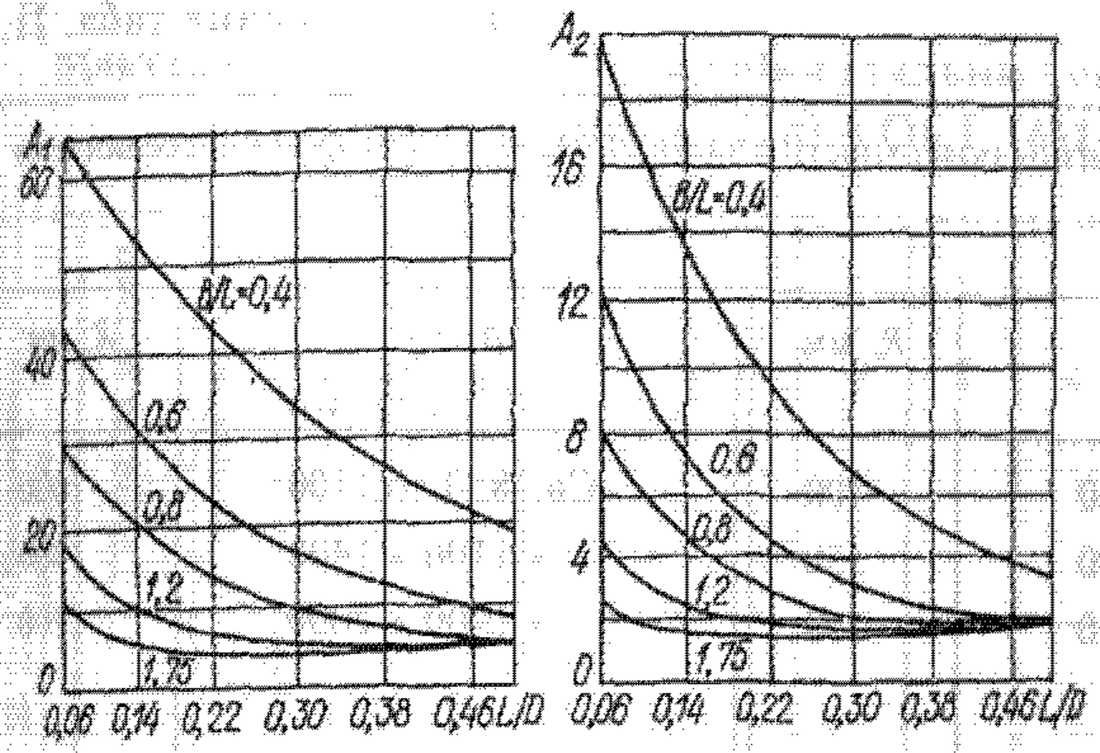


Рис. 21.3. Графики для определения коэффициентов A_1 и A_2

Таблица 21.1

Строповые устройства для стальных сварных аппаратов на грузоподъемность 0,5—32 т (рис.21.1), ГОСТ 13716—73

Тип	Обозначение размера	Числовое значение размера, мм, при нагрузке на одно строповое устройство Q, МН							
		0,005	0,01	0,02	0,04	0,08	0,16	0,25	0,32
1	L	90	110	135	175	235	320	—	—
	B	40	60	110	150	200	200		
	H	46	70	92	104	128	132		
	h	22	32	42	47	57	57		
	l	70	70	90	120	150	190		
	l_1	40	40	55	80	100	135		
	l_2	10	9	23,5	48,5	42,5	43		
	l_3	15	24	36	46	60	68		
	s	5	12	16	20	30	40		
	s_1	5	8	12	14	22	28		
	K	5	8	12	14	20	28		
	K_1	2	3	3	4	6	9		
	c	—	—	3	3	3	5		
2	l	—	70	85	120	150	90	—	295
	B		60	96	130	150	170		190
	H		60	80	90	110	110		110
	h		30	40	45	65	65		65
	L		40	55	80	100	135		235
	l_3		20	27,5	40	50	67,5		117,5
	s		12	16	20	32	36		40
	s_1		6	8	10	16	18		20
	K_1		3	3	4	6	9		14
3	L	—	125	150	260	320	380	—	500
	L_1		80	150	230	280	345		440
	B		60	80	100	120	150		200
	A		41	58	68	94	131		167
	d		40	55	80	105	155		210
	s		8	8	10	14	22		32
	s_1		6	8	8	14	16		22
	K		8	8	10	14	22		32
	K_1		2	3	3	5	8		15
	c		—	3	3	3	5		6
4	$d_н \times s_1$	—	60 x 6	89 x 6	108 x 12	133 x 12	159 x 16	194x16	219x16
	D		100	160	200	230	260	300	320
	D_1		140	160	180	255	320	360	380
	L		71	76	81	93	98	103	110
	s_2		6	6	10	10	10	12	12
	s_3		6	6	6	8	8	8	10
	K		4	4	6	6	8	8	8
	K_1		6	6	10	10	12	12	12
	b		14	14	20	20	22	22	22
	h		3	3	3	3	4	4	4

Продолжение табл. 21.1

Примечания. 1. Радиус кривизны R зависит от радиуса кривизны поверхности ρ части аппарата, к которой присоединяется строповое устойство:

ρ, мм	R, мм	ρ, мм	R, мм	ρ, мм	R, мм
До 200	150	Св. 325 до 450	400	Св. 850 до 1100	1000
Св. 200 до 250	225	» 450 » 600	550	» 1100 » 1400	1300
» 250 » 325	300	» 600 » 850	750	» 1400 » 2000	1700

2. *Строповые устройства всех типов должны быть изготовлены из стали марки Ст3сп5 по ГОСТ 380–94 с гарантией свариваемости.* Они должны надежно работать при температуре не ниже минус 20°С.

3. Значения e для строповых устойств составляют: для типов 1 и 2 $e = h - 5$ мм; для типа 3 $e = A + 0{,}5\,d\cos\alpha$ (где $\alpha \le 45°$ – угол между направлением усилия, действующего на строповое устройство, и вертикалью); для типа 4 $e = 0{,}5\,L$.

4. Для всех узлов α принимают $e_1 = 0{,}5\,d\,\sin 45° = 0{,}354\,d$.

5. Строповые устройства должны привариваться к корпусу аппарата сплошным швом.

6. Допускается приварка строповых устройств 1 и 3 к корпусу аппарата без пластин, если толщина стенки корпуса не менее 0,7 толщины скобы или серьги.

Пример условного обозначения стропового устойства типа 3, исполнения 1, грузоподъемностью 8 т и радиусом кривизны $R = 700$ мм из стали Ст3сп5:

Ушко 3-1-8-700 Ст3сп5 ГОСТ 13716–73.

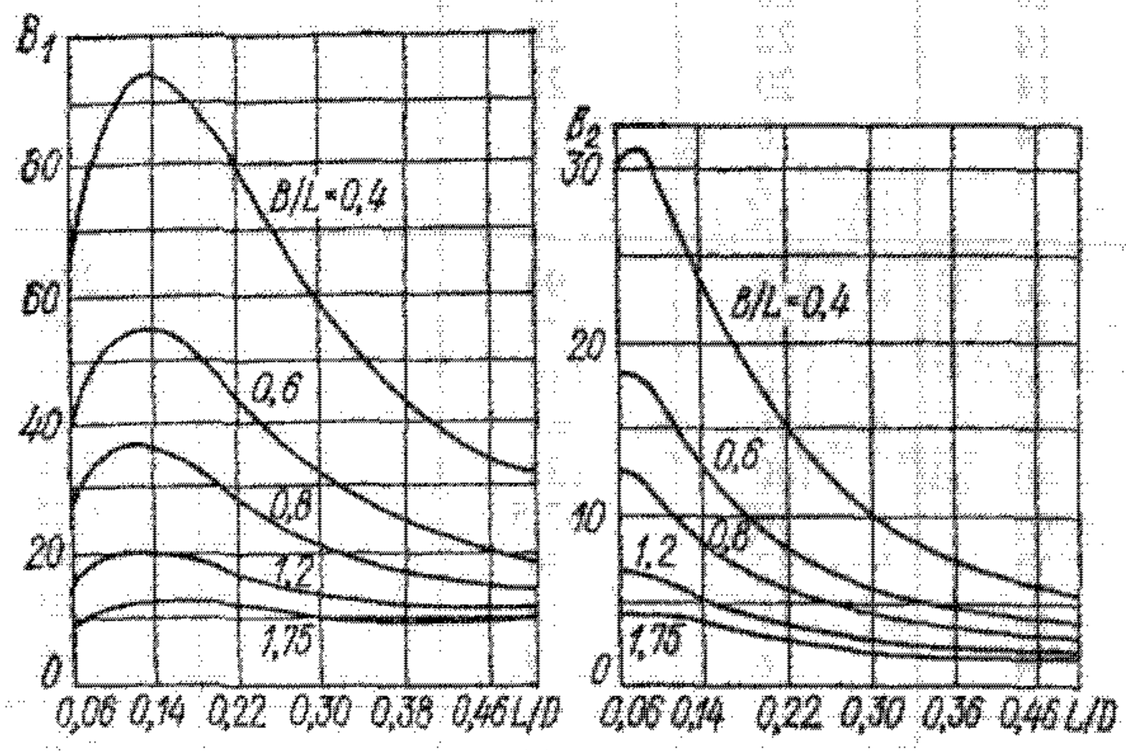


Рис. 21.4. Графики для определения коэффициентов B_1 и B_2

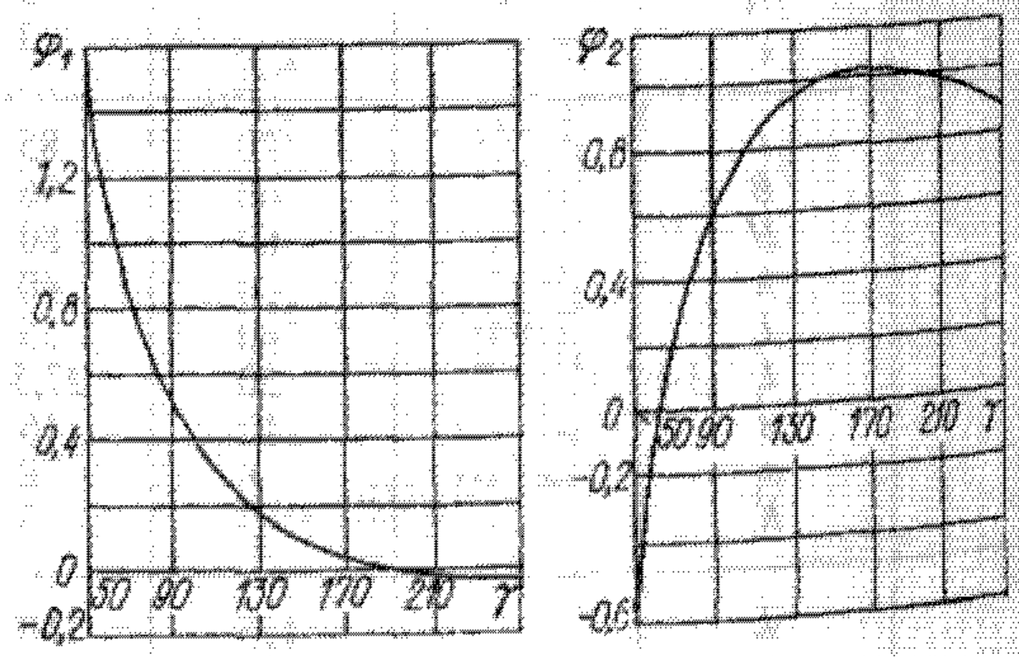


Рис. 21.5. Графики для определения коэффициентов φ_1 и φ_2

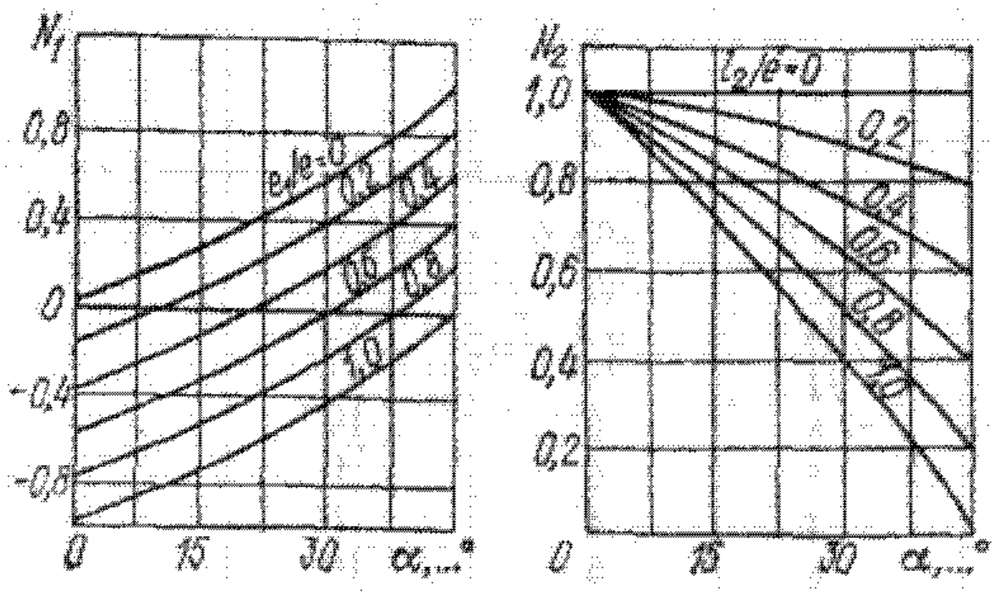


Рис. 21.6. Графики для определения коэффициентов N_1 и N_2

Таблица 21.2

Монтажные штуцера для стропки стальных сварных аппаратов на грузоподъемность 32—250 т (рис.21.2, *а*), ГОСТ 14114—78, ГОСТ 14116—78, мм

Обозначение штуцера	Усилие на штуцер Q, кН	Исполнение	Диаметр аппарата D	s*	$d_н \times s_1$	D_1	L	L_1	l	a	s_2	K	K_1	Расчетная толщина стенки аппарата s_R, при которой требуется подкладной лист: Диаметр подкладного листа $d_{пр}$ + 150	+ 200	+ 250	+ 300	+ 350	+ 400	+ 450	+ 500	+ 550	+ 600
01	320	1	800—1000	20	273x9	425	260	140	235	—	12	12	10	12	10	8	—	—	—	—	—	—	—
02			1200—2200	24										14	12	10	8	—	—	—	—	—	—
03	400		1400—2800	26										16	14	12	10	8	—	—	—	—	—
04	500		1400—2000	28	325x10	475	280	170	260	92						16	14	12	10	8	—	—	—
05			2200—3200	30										20	18	14	12	10	8	—	—	—	—
06	630		1800—2600	30	377x10	525	300	180	280	111			10										
07			2800—3600	34										22	20	16	14	12	10	8	—	—	—
08	800	2	1600—1800	30	480x12	630	390	260	350	144	12	14											
09			2000—2200	32										24	22	18	16	14	—	—	—	—	—
10			2600—3400	34																			
11			3800—6400	38										28	26	24	22	20	18	16	14	—	—
12	1000		2000—2400	34	530x14	680			355	153				20	18	16	—	—	—	—	—	—	—
13			2600—3200	36										24	20								
14			3400—4000	38										26	22	18	16	—	—	—	—	—	—
15			4200—6400	40										28	26	24	22	20	20	18	16	—	—
16	1250	3	2200—2600	32	630x10	780	440	320	395	188	14		12	22	18	16	—	—	—	—	—	—	—
17			2800—3200	36										24	20	18	16	—	—	—	—	—	—
18			3400—4400	38										26	22	20	18	16	—	—	—	—	—
19			4600—6400	42										30	26	24	22	20	18	16	—	—	—
20	1400		2400—2600	32	720x11	870	490	350	435	253	16	16		22	18	16	—	—	—	—	—	—	—
21			2800—3200	34										24	20	18	16	—	—	—	—	—	—

Продолжение табл. 21.2

Обозначение штуцера	Усилие на штуцер Q, кН	Исполнение	Диаметр аппарата D	s^*	$d_н \times s_1$	D_1	L	L_1	l	a	s_2	K	K_1	Расчетная толщина стенки аппарата s_R, при которой требуется подкладной лист								
														Диаметр подкладного листа								
														$d_н+150$	$d_н+200$	$d_н+250$	$d_н+300$	$d_н+350$	$d_н+400$	$d_н+450$	$d_н+500$	$d_н+550$	$d_н+600$
22	1400	3	3400—4000	38	720x11	870	490	350	435	253	16	11	12	—	26	22	20	18	16	—	—	—	—
23			4200—5000	40											28	24	22	20	18	16			—
24			5400—6400	42											30	28	26	24	22	20	18	16	
25	1600	3	2600—2800	36	820x12	970	500	320	435	253	11				22	20	18	—	—				
26			3000—3400	36											24	22	20	18		—			
27			3600—4000	38											26	24	22	20	18		—		
28			4200—5000	40											28	26	24	22	20	18			
29			5400—6400	42			475	300							30	28	26	24	22	20	18		
30			7000—8000	45											32	30	28	26	24	22	20	18	
31	1800	4	2600—2800	34	920x12	1070	540	430	455	203	16	14	12	—	20	18	—	—	—				
32			3000—3200	34											22	20	18		—	—			
33			3400—3800	36											24	22	20	18			—		
34			4000—4600	38											26	24	22	20	18			—	
35			5000—5400	40			510	400							28	26	24	22	20	18			
36			5800—6400	42											30	28	26	24	22	20	18		
37			7000—8000	45											32	30	28	28	26	24	22	20	18
38	2000		2600—2800	36											20	—							
39			3000—3200	36			550	440							22	20	—	—					
40			3400—3800	38											24	22	20		—	—	—		
41			4000—4600	40			520	410	465						26	24	22	20				—	—
42			5000—5400	42											28	26	24	22	20				
43			5800—6400	45											32	30	28	26	24	22	20		
44			7000—8000	48											36	34	32	30	28	26	24	22	20

Продолжение табл. 21.2

Обозначение штуцера	Усилие на штуцер Q, кН	Исполнение	Диаметр аппарата D	s^*	$d_н \times s_1$	D_1	L	L_1	l	a	s_3	K	K_1	Расчетная толщина стенки аппарата $s_р$, при которой требуется подкладной лист: Диаметр подкладного листа 150 + $s_р$	200 + $s_р$	250 + $s_р$	300 + $s_р$	350 + $s_р$	400 + $s_р$	450 + $s_р$	500 + $s_р$	550 + $s_р$	600 + $s_р$
45	2250	4	2600	32	1020x14	1170	600	480	495	203	18	14	12	—	20			—						
46			2800	32																			
47			3000—3200	34											22			—	—					
48			3400—3600	36											24	22				—	—	—	—	
49			3800—4200	40			565	445							26	24	22							
50			4600—5000	42											28	26	24	22						
51			5400—5800	45											32	30	26	24	22					
52			6400—8000	48											36	34	32	30	28	26	24	22		
53	2500	4	2600	34	1220x14	1370	690	560	535	253	18	14	12	—	20									
54			2800	34																				
55			3000	34											—									
56			3200	34											22	—	—							
57			3400—3600	36			660	530												—	—	—	—	
58			3800—4000	36											24	22								
59			4200	36																				
60			4600—5000	38											26	24	22							
61			5400—5800	40			630	500	545						28	26	24	22						
62			6400—7000	42											32	30	28	26	24	22				
63			8000	45											36	34	32	30	28	26	22	22		

Примечания. 1. При толщине стенки аппарата меньше s^* следует применять подкладные листы под штуцера. 2. Марки материала штуцера и подкладного листа должны соответствовать марке материала корпуса аппарата. 3. Сварку деталей, изготовляемых из углеродистых и низколегированных сталей, следует выполнять покрытыми металлическими электродами по ГОСТ 9467—75, из легированных и высоколегированных сталей — электродами по ГОСТ 10052—75. 4. Толщина подкладного листа определяется как разность $s^* - s_р$, но должна быть не менее K. 5. Монтажные штуцера на вертикальных аппаратах должны размещаться не менее чем на 1000 мм выше центра тяжести; в плане их следует ориентировать с таким расчетом, чтобы после подъема аппарата в вертикальное положение не требовался разворот его вокруг оси.

Пример условного обозначения штуцера для аппарата диаметром 4600 мм с усилием на один штуцер 2500 кН:

Штуцер 60 ГОСТ 14114—78.

* Минимальная толщина стенки корпуса аппарата, при которой не требуется усиления подкладным листом в месте приварки монтажного штуцера.

Таблица 21.3

Удлиненные монтажные штуцера для стропки стальных сварных аппаратов на грузоподъемность 20—100 т (рис. 21.2, *б*), ГОСТ 14115—78, ГОСТ 14116—78, мм

Обозначение штуцера	Усилие на штуцер Q, кН	Исполнение	Диаметр аппарата D	s^*	$d_н \times s_1$	D_1	L	l	a	e	s_2	K	K_1	Расчетная толщина стенки аппарата s_R, при которой требуется подкладной лист									
														Диаметр подкладного листа									
														$d_н$ + 150	$d_н$ + 200	$d_н$ + 250	$d_н$ + 300	$d_н$ + 350	$d_н$ + 400	$d_н$ + 450	$d_н$ + 500	$d_н$ + 550	$d_н$ + 600
01	200	1	800	34	325x10	475	525	150	—	90	12	10	10	16	14	12	10	8	—	—	—	—	—
02			1000	36																			
03			1200—1600	38										20	16	14	12	10	8		—	—	—
04			1800—2200	40										24	22	18	14	12	10	8			
05	250		1600—2200	38	377x10	525	540	175		115		12		28	24	22	18	14	12	10	8		
06			2400—3000	40																			
07	320		1800—2400	40	426x11	580	560	210	117	140				26	22	20							
08			2600—3600	42										30	28	26	22	18	14	12	10	8	
09	400		1800—2400	48										32		24	20	16	12	10	—	—	
10			2600—3600	50								14		34	30	28	26	22	18	16	12	10	
11	500		2000—2400	42	530x9	680	565	225	152	145				26	24	20	18	16	14	12	10	—	
12			2600—3200	45										30	28	24	22	20	16	14	12	10	
13			3400—4000	45										34	30	28	24		18	16	14	12	10
14	630	2	2200—2400	36	630x10	780	575	245	182	165	14	12	12	24	22	20	18	16	14	12	10	—	—
15			2600—3000	40										28	26	22	20	18	16	14	12	10	
16			3200—3600	42										30	28	26							
17			3800—4400	45										34	30	28	22	20	18	16	14	12	10
18	800		2400—2600	38	720x11	870	585	265	209	180	16			26	22	20	18	16	14	—	—	—	—
19			2800—3200	42										30	26	22	20	18	16	14			
20			3400—4200	45										32	30	28	24	20	18	16	14		
21			4400—5400	48										36	34	32	30	26	22	18	16	14	

Продолжение табл. 21.3

Обозначение штуцера	Усилие на штуцер Q, кН	Исполнение	Диаметр аппарата D	s^*	$d_н \times s_1$	D_1	L	l	a	e	s_2	K	K_1	Расчетная толщина стенки аппарата s_R, при которой требуется подкладной лист									
														Диаметр подкладного листа									
														190 × $d_н$	200 × $d_н$	250 × $d_н$	300 × $d_н$	350 × $d_н$	400 × $d_н$	450 × $d_н$	500 × $d_н$	550 × $d_н$	600 × $d_н$
22	1000	2	2600—2800	36	820x12	970	600	290	238	195	18	14	12	26	24	22	20	18	16	—	—	—	—
23			3000—3400	40										30	26								
24			3600—4000	42										32	28	26	22	20	18	16			
25			4200—5000	45										34	32	30	26	22	22	20	18	16	
26			5400—6400	48										38	36	32	30	28	26	24	22	20	18

Примечания. 1. При толщине стенки аппарата меньше s^* следует применять подкладные листы под штуцера. 2. Марки материала штуцера и подкладного листа должны соответствовать марке материала корпуса аппарата. 3. Сварку деталей из углеродистых и низколегированных сталей следует выполнять покрытыми металлическими электродами по ГОСТ 9467—75 из легированных и высоколегированных сталей — электродами по ГОСТ 10052—75. 4. Толщина подкладного листа определяется как разность $s^* - s_R$, но должна быть не менее K. 5. Монтажные штуцера на вертикальных аппаратах должны размещаться не менее чем на 1000 мм выше центра тяжести; в плане их следует ориентировать с таким расчетом, чтобы после подъема аппарата в вертикальное положение не требовался разворот его вокруг оси.

Пример условного обозначения удлиненного штуцера для аппарата диаметром 1800 мм с усилием на один штуцер 200 кН:

Штуцер 04 ГОСТ 14115—78.

* Минимальная толщина стенки корпуса аппарата, при которой не требуется усиления подкладным листом в месте приварки монтажного штуцера.

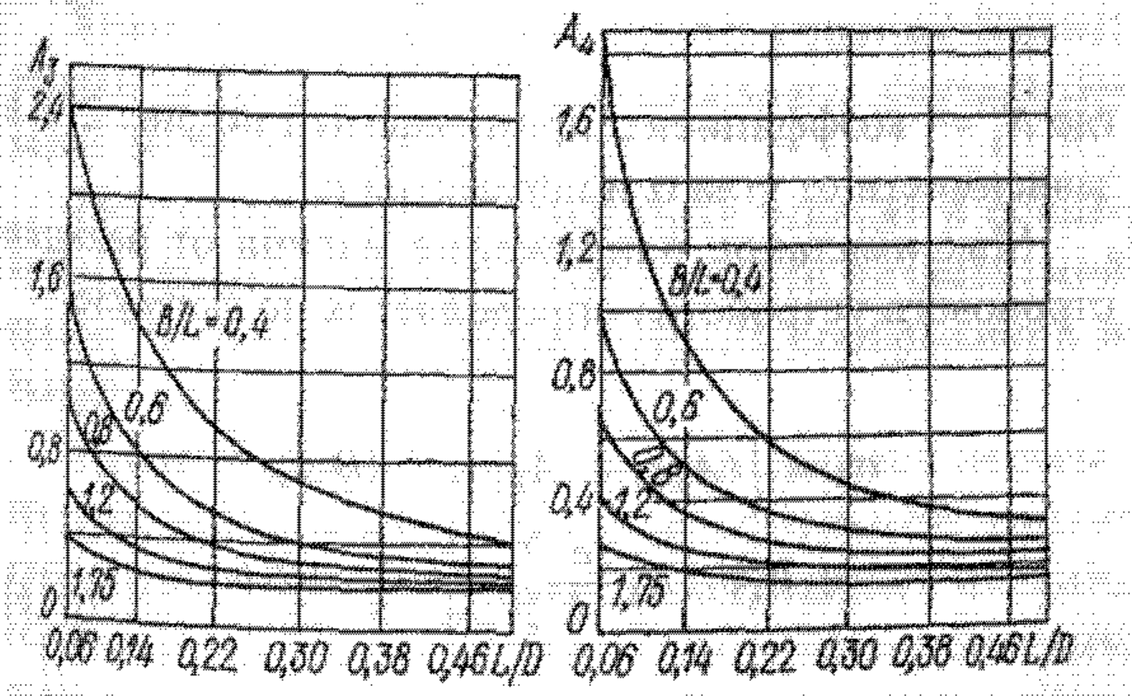


Рис. 21.7. Графики для определения коэффициентов A_3 и A_4

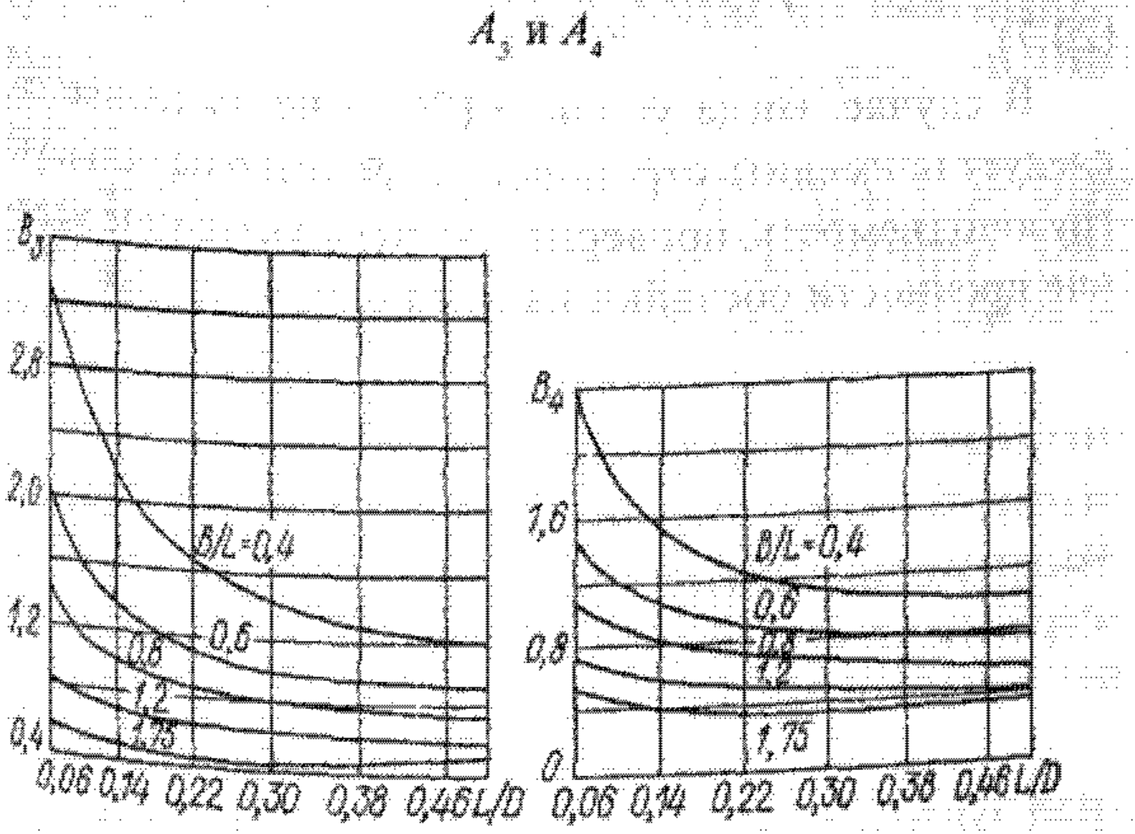


Рис. 21.8. Графики для определения коэффициентов B_3 и B_4

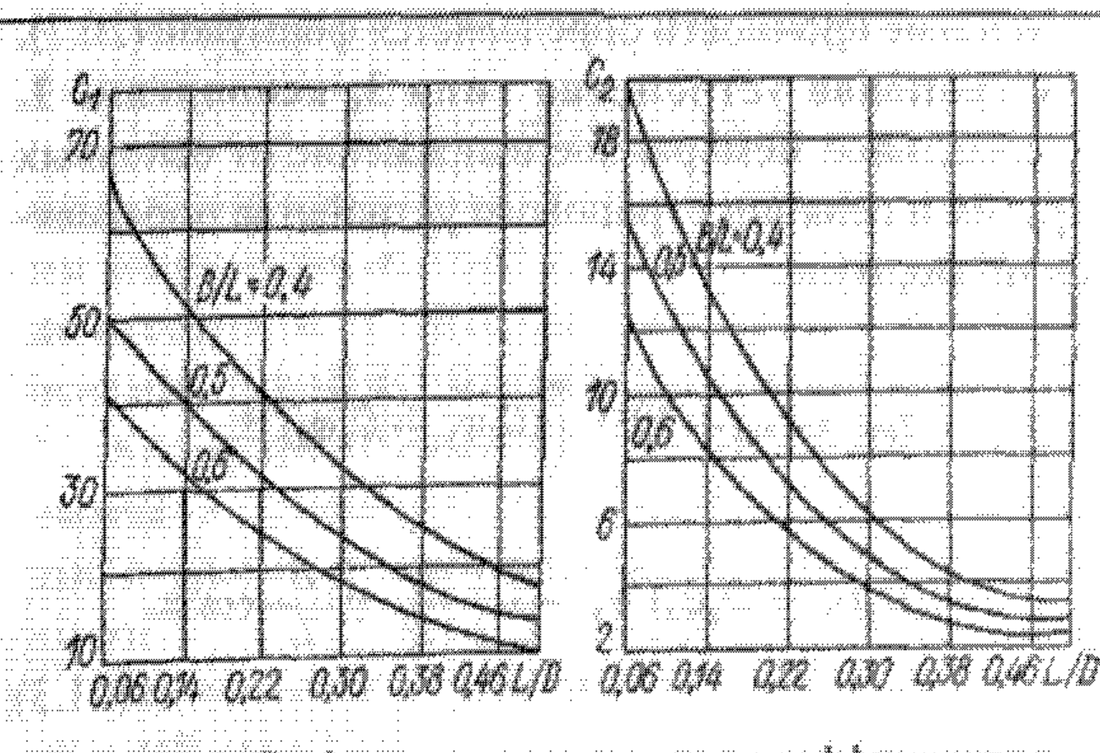


Рис. 21.9. Графики для определения коэффициентов C_1 и C_2

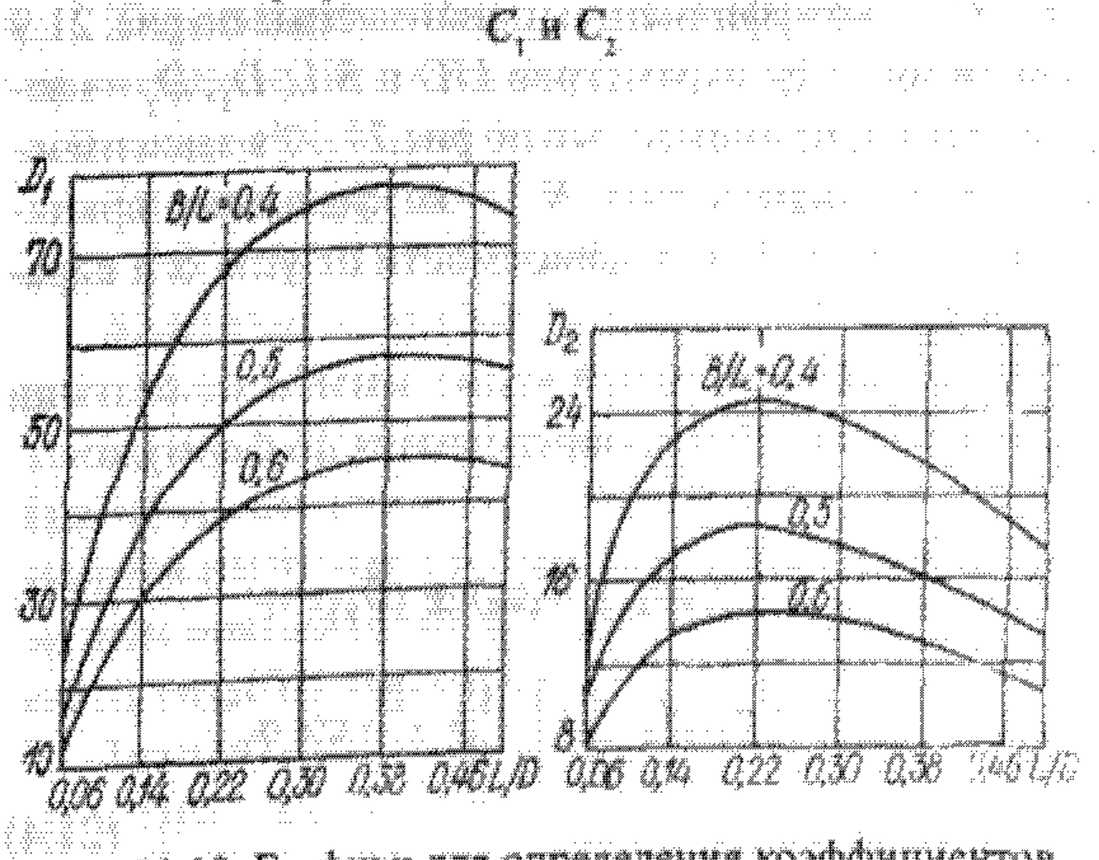


Рис. 21.10. Графики для определения коэффициентов D_1 и D_2

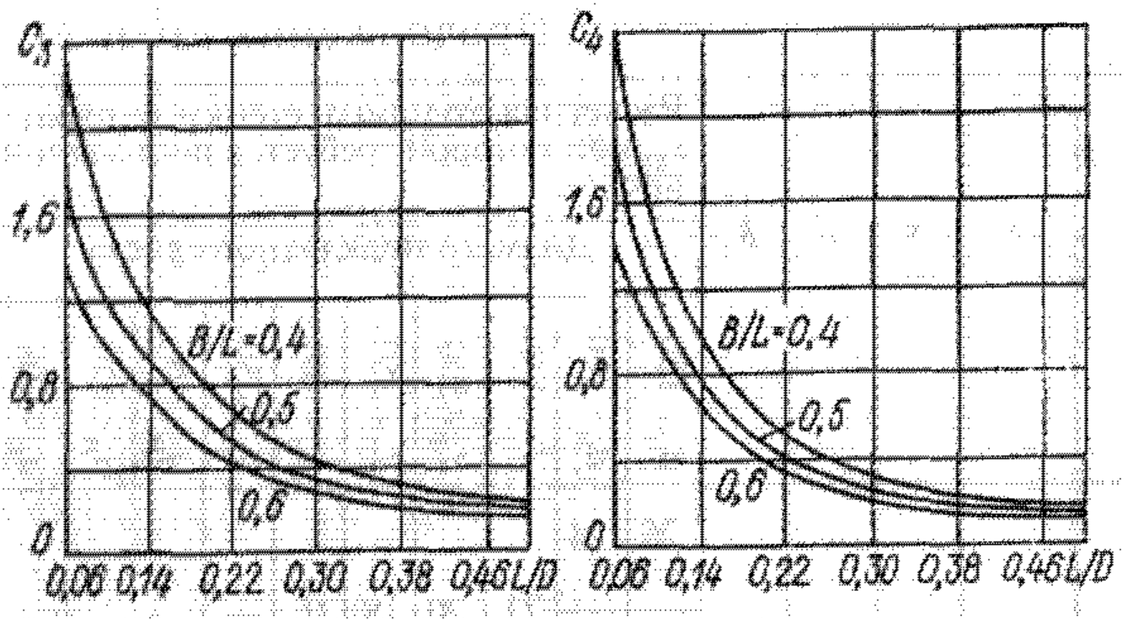


Рис. 21.11. Графики для определения коэффициентов C_3 и C_4

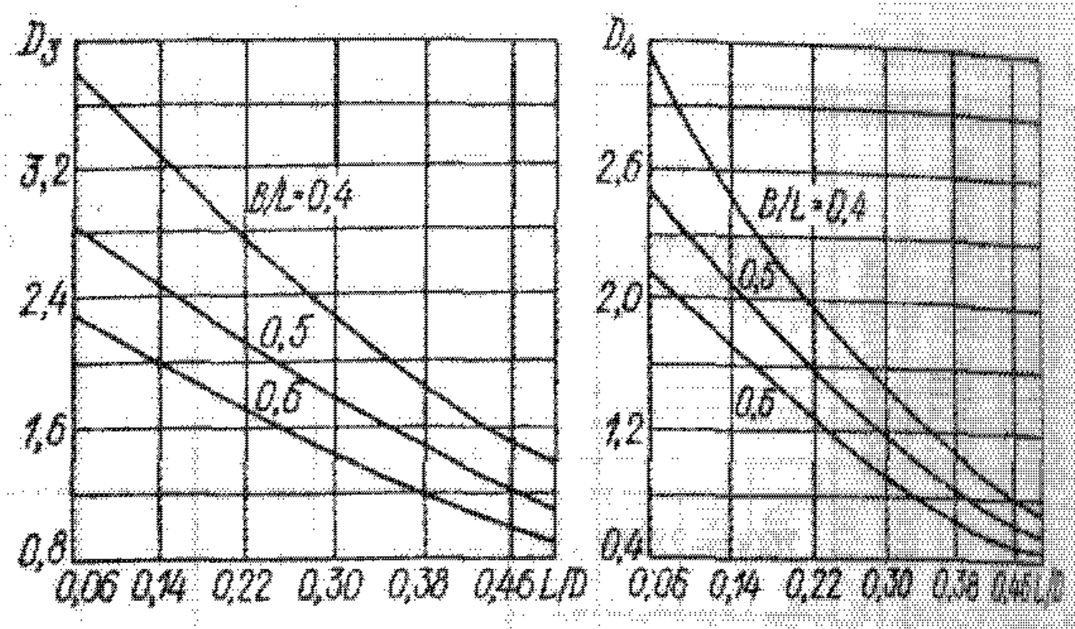


Рис. 21.12. Графики для определения коэффициентов D_3 и D_4

Максимальное напряжение изгиба от реакции стропового устройства определяется по формуле:

$$\sigma_и = \left[(A_3\varphi_1 + A_4\varphi_2)\sin\alpha \pm \right.$$
$$\left. \pm N_2 \frac{e}{L}(B_3\varphi_1 + B_4\varphi_2)\cos\alpha\right]\frac{Q}{s_0^2}\frac{B}{L}, \quad (21.2)$$

где A_3, A_4 — коэффициенты, принимаемые по рис.21.7 в зависимости от параметров L/D и B/L; B_3,B_4 — коэффициенты, принимаемые по рис. 21.8 в зависимости от тех же параметров.

Условие прочности определяется формулой (20.7).

Строповое устройство типа 3, исполнение 1. Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции стропового устройства определяется по формуле:

$$\sigma_m = \sigma_{m0} + 10^{-4}\left[(C_1\varphi_1 + C_2\varphi_2) \pm \right.$$
$$\left. \pm (D_1\varphi_1 + D_2\varphi_2) N_1 \frac{e}{L}\right]\frac{Q}{s_0^2}\gamma\frac{B}{L}\cos\alpha, \quad (21.3)$$

где C_1, C_2 — коэффициенты, принимаемые по рис. 21.9 в зависимости от параметров L/D и B/L; D_1, D_2 — коэффициенты, принимаемые по рис.21.10 в зависимости от тех же параметров; N_1 — коэффициент, принимаемый по рис. 21.6 в зависимости от угла α и параметра e_1/e.

Максимальное напряжение изгиба от реакции стропового устройства определяется по формуле:

$$\sigma_и = \left[(C_3\varphi_1 + C_4\varphi_2) \pm (D_3\varphi_1 + \right.$$
$$\left. + D_4\varphi_2) N_1 \frac{e}{L}\right]\frac{Q}{s_0^2}\frac{B}{L}\cos\alpha, \quad (21.4)$$

где C_3,C_4 — коэффициенты, принимаемые по рис.21.11 в зависимости от параметров L/D и B/L; D_3, D_4 — коэффициенты, принимаемые по рис. 21.12 в зависимости от тех же параметров.

Условие прочности определяется формулой (20.7).

Строповое устройство типа 3, исполнение 2. Максимальное мембранное напряжение от основных нагрузок и реакции стропового устройства определяется по формуле:

$$\sigma_m = \sigma_{m0} + 10^{-4}\left[(A_1\varphi_1 + A_2\varphi_2) \pm \right.$$
$$\left. \pm (B_1\varphi_1 + B_2\varphi_2) N_1 \frac{e}{L}\right]\frac{Q}{s_0^2}\gamma\frac{B}{L}\cos\alpha, \quad (21.5)$$

где N_1 — коэффициент, принимаемый по рис. 21.6 в зависимости от угла α и параметра e_1/e.

Максимальное напряжение изгиба от реакции стропового устройства определяется по формуле:

$$\sigma_и = \left[(A_3\varphi_1 + A_4\varphi_2) \pm (B_3\varphi_1 + \right.$$
$$\left. + B_4\varphi_2) N_1 \frac{e}{L}\right]\frac{Q}{s_0^2}\frac{B}{L}\cos\alpha. \quad (21.6)$$

Условие прочности определяется формулой (20.7).

В случае, когда условие (20.7) не выполняется, следует применить строповое устройство на большую грузоподъемость, проверив для него указанное условие прочности обечайки на прежнюю нагрузку.

ГЛАВА 22

ТАРЕЛКИ

22.1. Тарелки с одной зоной контакта фаз

В колонной и некоторых других видах цилиндрической аппаратуры имеют широкое применение тарелки, используемые в одних случаях как технологические, в других — как опорные устройства.

Из числа первых особенно широкое применение имеют массообменные тарелки, которыми оснащается один из основных, наиболее габаритных и материалоемких видов технологических аппаратов — ректификационные и абсорбционные колонны.

По способу работы такие тарелки в основном делятся на следующие три типа: колпачковые, провальные и струйно-направленные. Кроме того, существуют и комбинированные тарелки, сочетающие в себе свойства нескольких типов.

Выбор того или иного типа тарелок обусловливается технологическими соображениями.

Диапазон диаметров тарелок (независимо от их типа и конструкции), применяемых в колонной аппаратуре, составляет 200—8000 мм — в соответствии с диаметрами колонн, для которых они предназначаются.

Количество тарелок в одной колонне бывает обычно не менее 20—30, а в отдельных случаях доходит до 80 шт. и более.

Расстояния между тарелками зависят в основном от физико-химических свойств разделяемой среды, а также некоторых других соображений и бывают от 60 до 600 мм и более.

Тарелки малых размеров выполняются цельными, тарелки больших размеров — большей частью составными (разборными) из отдельных секций, соединяемых между собой струбцинами, болтами и другими приспособлениями. В отдельных случаях в стальной сварной аппаратуре крупногабаритные тарелки выполняются неразборными, сваривaемыми на месте монтажа.

Тарелки характеризуются нагрузками по пару и жидкости, относительная величина которых в зависимости от разделяемой среды может в значительной степени отличаться друг от друга.

Рабочие параметры разделения в ректификационных и абсорбционных колоннах, также в зависимости от разделяемой среды, бывают различными: по давлению — от глубокого вакуума до избыточного 4 МПа и выше, а по температуре от минус 250 до плюс 250°С и более.

Существует весьма много разнообразных конструкций тарелок, из которых наибольшее распространение получили колпачковые, а из числа последних — особенно тарелки с так называемыми капсульными (круглыми) колпачками.

Тарелки типов ТСК-1 (рис.22.1), ТСК-Р (рис. 22.2), ТСК-РЦ/РБ (рис.22.3) с капсульными колпачками применяют в процессах, происходящих при избыточном и атмосферном давлении, а также при неглубоком вакууме с нестабильными нагрузками по газу и жидкости.

Технические характеристики тарелок приводятся в таблицах 22.1, 22.2 и 22.3.

Тарелки типов ТС (рис.22.4), ТС-Р, ТС-Р2 (рис.22.5) и ТС- РЦ/РБ (рис. 22.6) с ситчатыми полотнами применяются в процессах со стабильными нагрузками по газу и жидкости при избыточном и атмосферном давлении, а также при вакууме.

Технические характеристики тарелок приведены в таблицах 22.4, 22.5 и 22.6.

Тарелки типа ТСЖК (рис. 22.7) с жалюзийно-клапанными элементами применяют в процессах, происходящих при избыточном и атмосферном давлениях с нагрузками по жидкости до 120 м³/м·ч.

Техническая характеристика тарелки приведена в таблице 22.7.

Тарелки типа ТС-Р (рис. 22.8) с решетчатыми полотнами применяют в процессах со стабильными нагрузками по пару и жидкости при переработке суспензий, жидкостей, склонных к выделению осадков, и полимеризующихся жидкостей.

Колонные аппараты с насыпной керамической насадкой применяют при малой производительности, а также с большой удельной нагрузкой по жидкости.

Техническая характеристика тарелки приведена в таблице 22.8.

Тарелки типа ТСН-II и ТСН-III (рис.22.9 и 22.10) применяются в качестве распределительных устройств в насадочных колоннах.

Технические характеристики тарелок приведены в таблицах 22.9 и 22.10.

Клапанные прямоточные тарелки типа ТКП (рис.22.11 и 22.12) применяют в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности при атмосферном или повышенном давлении, изменяющихся нагрузках по пару (газу) и жидкости, а также при повышенных требованиях к качеству и четкости разделения смеси.

Технические характеристики тарелок приведены в таблицах 22.11 и 22.12.

Ситчатые тарелки с отбойными элементами типа ТСО (рис. 22.13 и 22.14) применяются в колонных ап-

паратах, работающих под давлением и под вакуумом при постоянных нагрузках по пару.

Технические характеристики тарелок приведены в таблицах 22.13 и 22.14.

Решетчатые тарелки типа ТР (рис. 22.16) применяются в колонных аппаратах, работающих при повышенных нагрузках по жидкости.

Технические характеристики тарелок приведены в табл. 22.15.

Конструкции стальных решеток под насадку из колец Рашига и конструкции опор под данные решетки приведены на рис. 22.17 и 22.18. Размеры решеток и опор указаны в табл. 22.16 и 22.17.

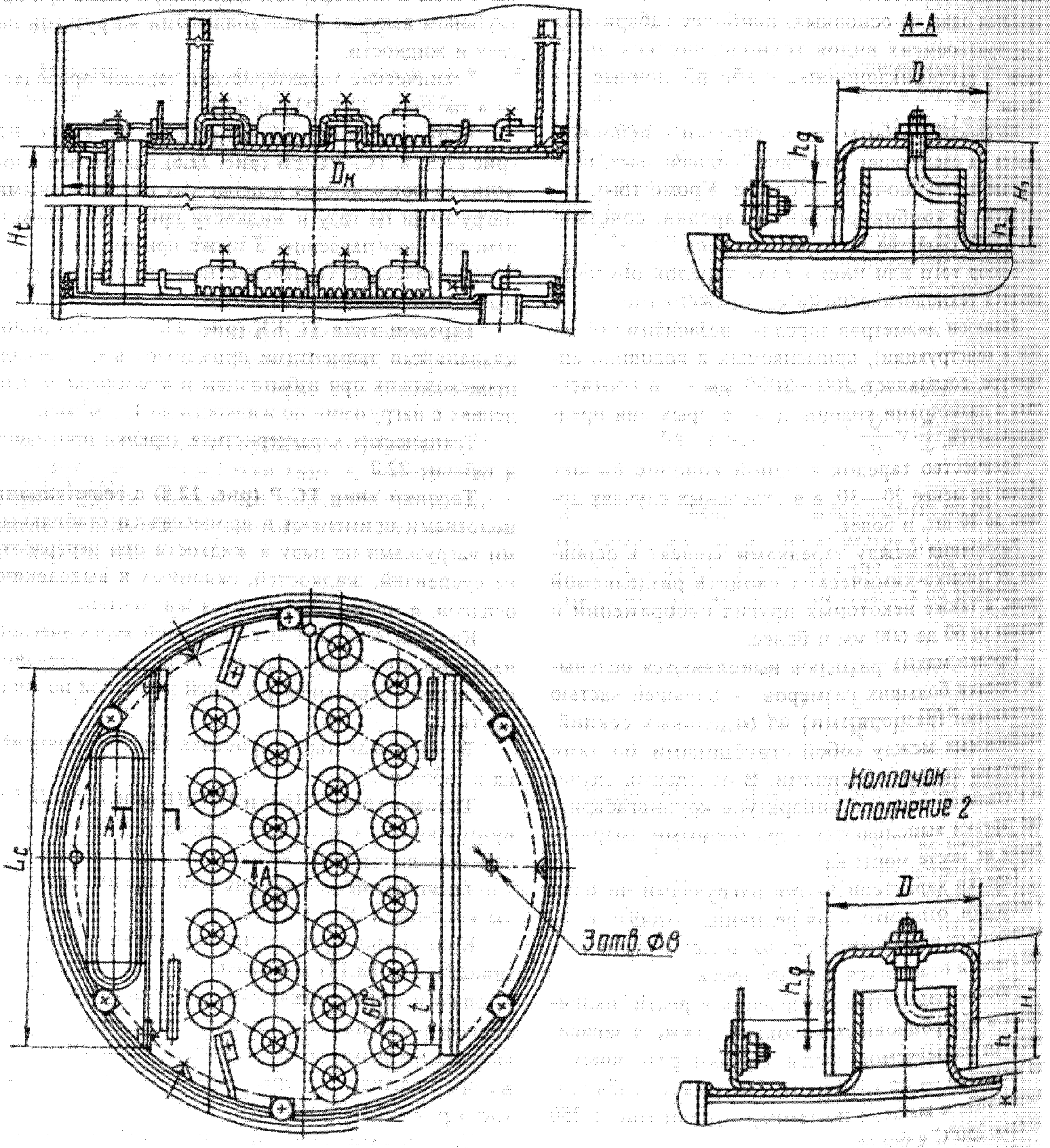


Рис. 22.1. Тарелка типа ТСК-I

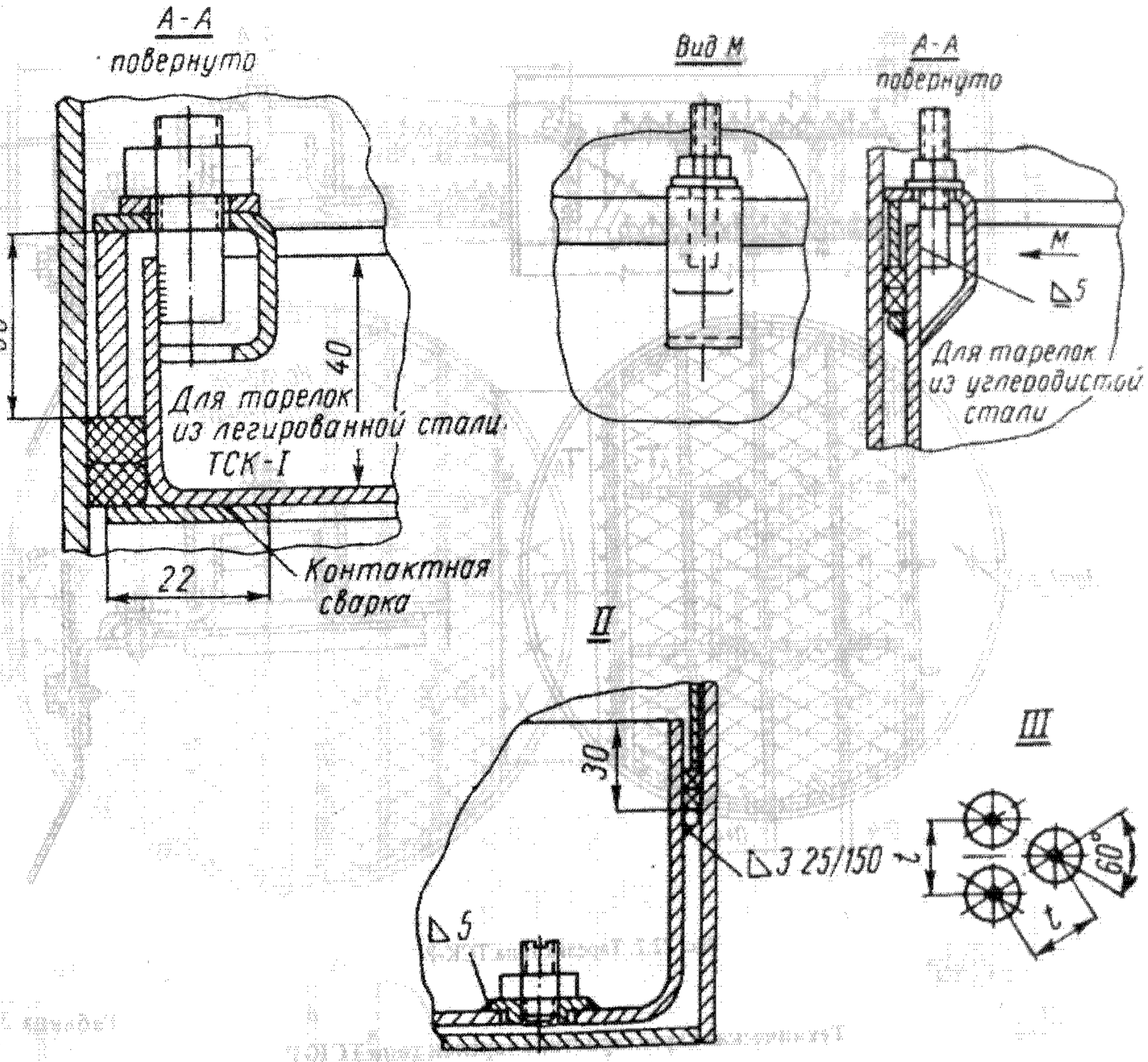


Рис. 22.1. Тарелка типа ТСК-I

Таблица 22.1

Техническая характеристика тарелок типа ТСК-I
ОСТ 26-01-282—71

Диаметр колонны $D_к$, мм	Свободное сечение колонны, м²	Длина линии барботажа, м	Периметр слива $L_с$, м	Площадь слива, м²	Площадь перевыпускных патрубков, м²	Относительная площадь для прохода паров, %	$h_д$ при h 15	$h_д$ при h 20	$h_д$ при h 30	Количество колпачков, n, шт	D, мм	t, мм	Исполнение колпачка I: H_1, мм	I: h, мм	II: H_1, мм	II: h, мм	II: K, мм	Масса колпачка (при h=20 мм, H_1=300 мм), кг: Исполнение I	Масса колпачка (при h=20 мм, H_1=300 мм), кг: Исполнение II
400	0,126	1,33	0,302	0,005	0,008	6,35	5—30	5—40		7	60	90	50	15; 20	60	20; 30	0—10	10	10,7
500	0,196	2,45	0,4	0,007	0,015	8				13	60	90	50		60			13	13,88
600	0,28	3,25	0,48	0,012	0,027	10				13	80	110	55		70			18	21,3
800	0,503	6	0,57	0,021	0,049	9,7				24	80	110	55		70			28	30,4
1000	0,78	9,3	0,8	0,05	0,073	9				37	80	110	55		70			39	42,7

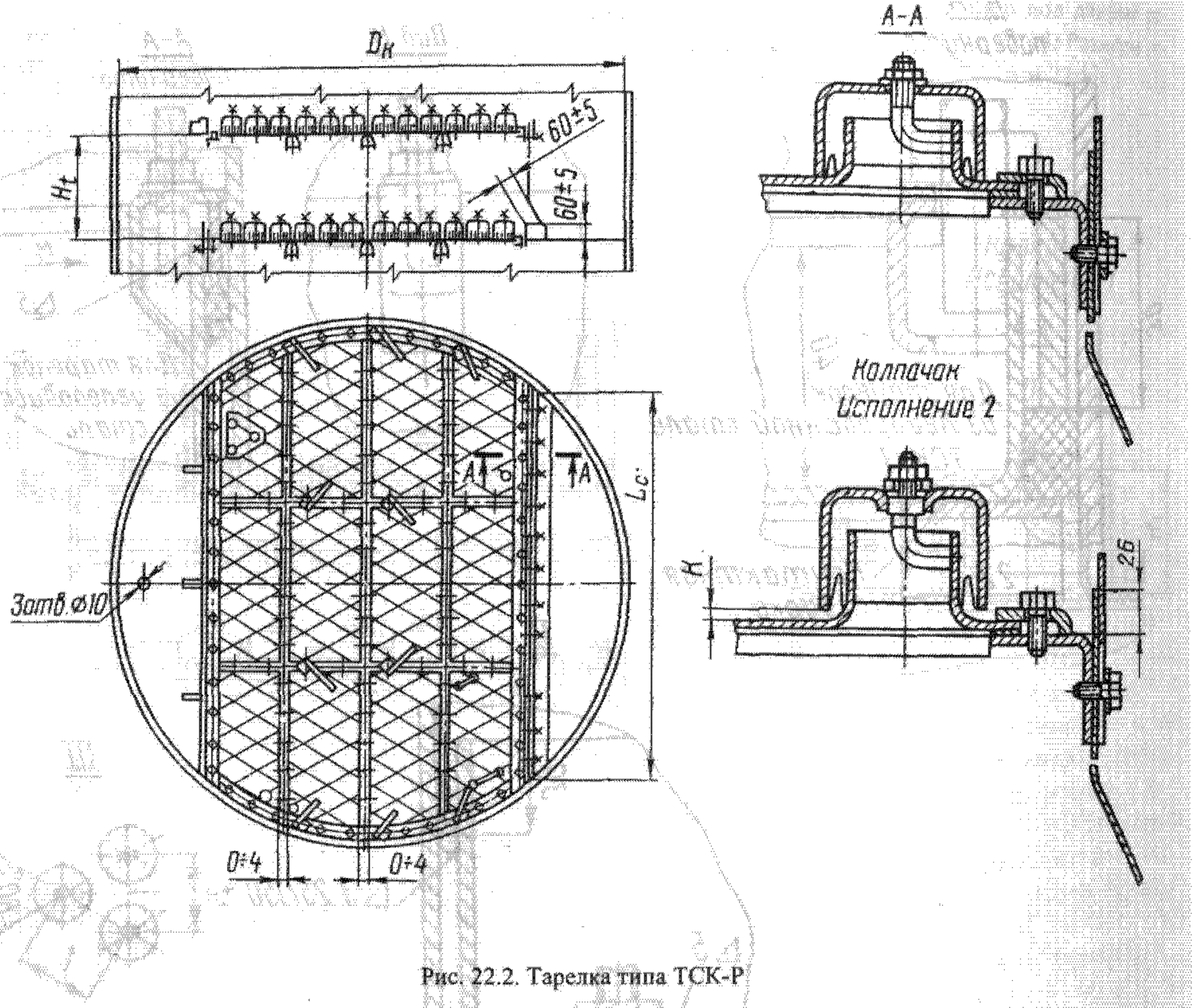
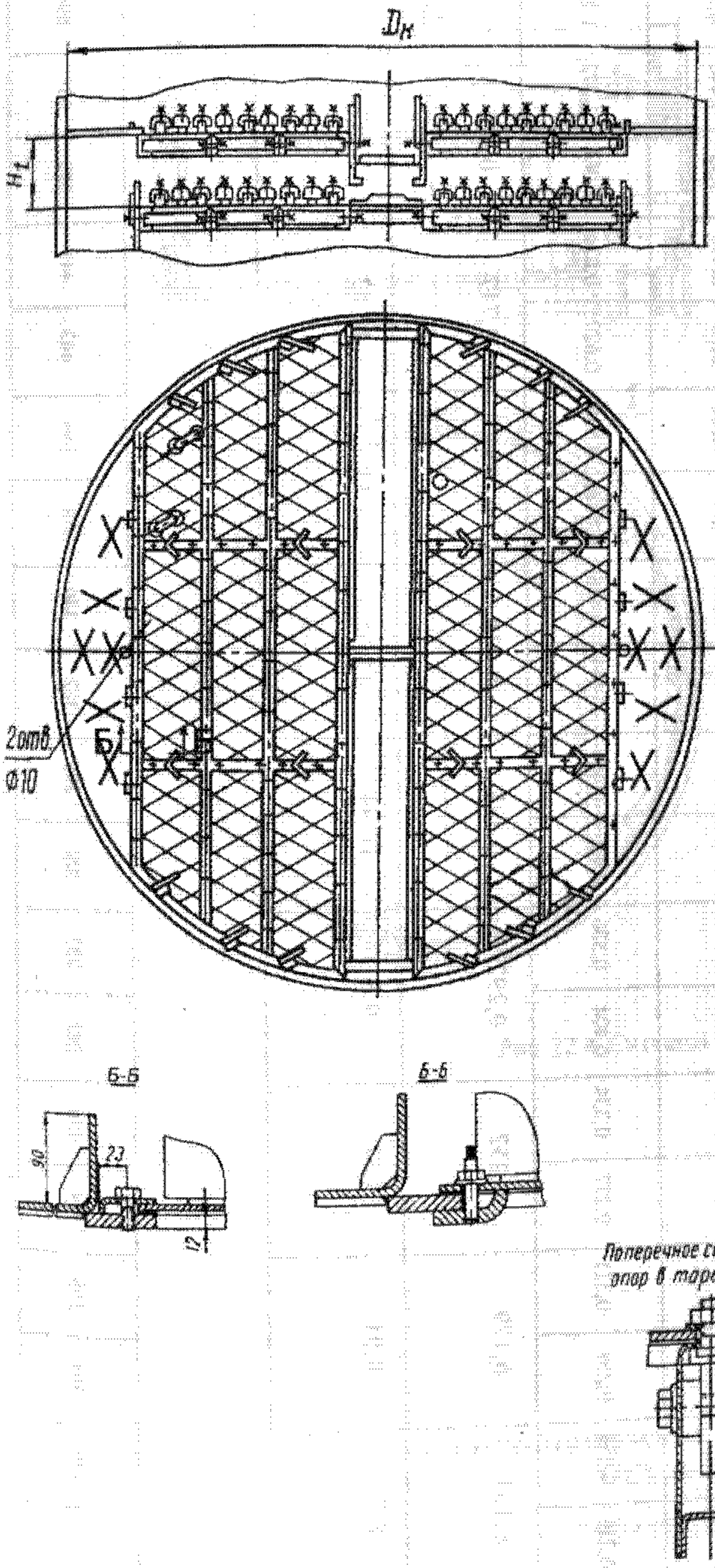


Рис. 22.2. Тарелка типа ТСК-Р

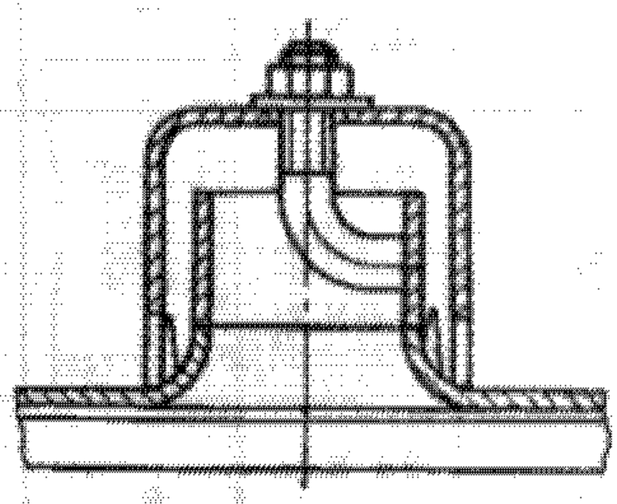
Таблица 22.2

Техническая характеристика тарелок типа ТСК-Р
ОСТ 26-808—73

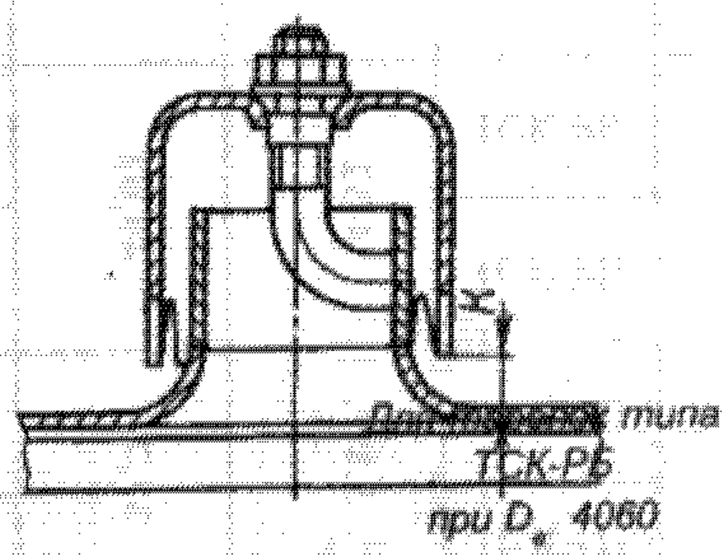
Диаметр колонны $D_к$, мм	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600
Свободное сечение колонны, м²	0,78	1,13	1,54	2,01	2,54	3,14	3,81	4,52	5,31	6,16	7,07	8,04	9,08	10,18
Длина линии барботажа, м	10,8	12,3	15,4	20,7	25,8	36,4	44,6	52,8	60,3	72,8	80,4	75,4	83,8	87,6
Периметр слива $L_с$, м	0,665	0,818	0,109	1,238	1,419	1,455	1,606	1,775	2,032	2,096	2,39	2,36	2,62	2,88
Сечение перелива, м²	0,064	0,099	0,198	0,269	0,334	0,33	0,412	0,505	0,674	0,686	0,902	0,88	1,128	1,441
Свободное сечение тарелки, м²	0,09	0,129	0,162	0,219	0,272	0,385	0,471	0,557	0,638	0,769	0,849	1,18	1,32	1,37
Относительная площадь для прохода паров, %	11,5	11,4	10,5	10,9	10,7	12,2	12,3	12,3	12,1	12,5	12,1	14,6	14,5	13,5
Величина зазора K, мм	По ГОСТ 9634—75													
Масса, кг	57,8	68,6	90,3	118,3	146	179,3	211,6	240,8	305	349,7	355	509	546	682

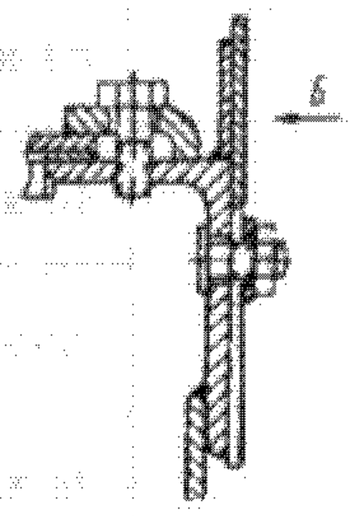


Колпачок
Исполнение 1

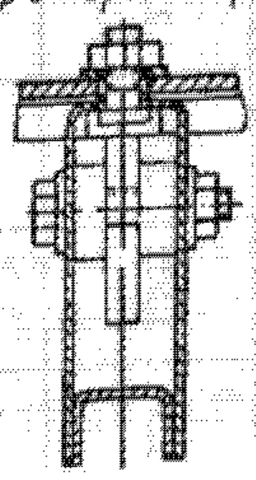


Колпачок
Исполнение 2

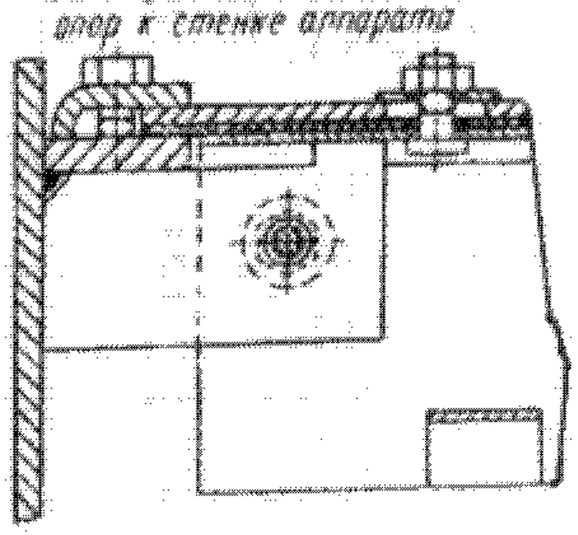




Поперечное сечение промежуточных опор в тарелках при $D_в$ > 2200



Узел крепления промежуточных опор к стенке аппарата



Вид Б

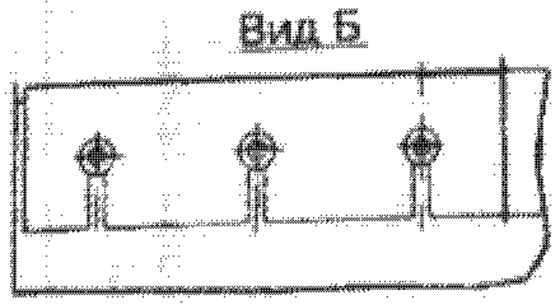


Рис. 22.3. Тарелка типа ТСК-РЦ, ТСК-РБ

Таблица 22.3

Техническая характеристика тарелок типов ТСК-РЦ и ТСК-РБ ОСТ 26-1111—74

Диаметр колонны $D_к$, мм	1400		1600		1800		2000		2200		2400		2600		2800		3200		3600	
Тип тарелки	ТСК-РЦ	ТСК-РБ	ТСК-РЦ	ТСК-РБ	ТСК-РЦ	ТСК-РБ	ТСК-РЦ	ТСК-РБ	ТСК-РЦ	ТСК-РБ	ТСК-РЦ	ТСК-РБ	ТСК-РЦ	ТСК-РБ	ТСК-РЦ	ТСК-РБ	ТСК-РЦ	ТСК-РБ	ТСК-РЦ	ТСК-РБ
Свободное сечение колонны, м²	1,54		2,01		2,54		3,14		3,8		4,52		5,31		6,16		8,04		10,18	
Длина линии барботажа, м	15,1		16,97		23,88		27,65		37,7		49,02		55,3		67,87		62,2		83,84	
Периметр слива, м	2,34	1,932	2,74	2,22	3,15	2,304	3,55	2,792	3,95	2,77	4,35	2,824	4,75	3,368	5,15	3,412	5,95	4,446	6,75	4,896
Сечение перелива, м²	0,211	0,251	0,259	0,311	0,277	0,334	0,404	0,536	0,426	0,464	0,444	0,458	0,582	0,696	0,629	0,674	1,064	1,372	1,273	1,582
Свободное сечение тарелки, м²	0,134		0,179		0,252		0,292		0,398		0,518		0,584		0,717		0,975		1,318	
Относительная площадь для прохода паров, %	8,7		8,91		9,92		9,3		10,44		11,45		11		11,63		12,13		12,95	
Величина зазора K, мм	По ГОСТ 9634—75																			
Масса, кг	140	136	161	155	184	176	242	233	308	298	362	340	373	356	443	441	593	557	694	668

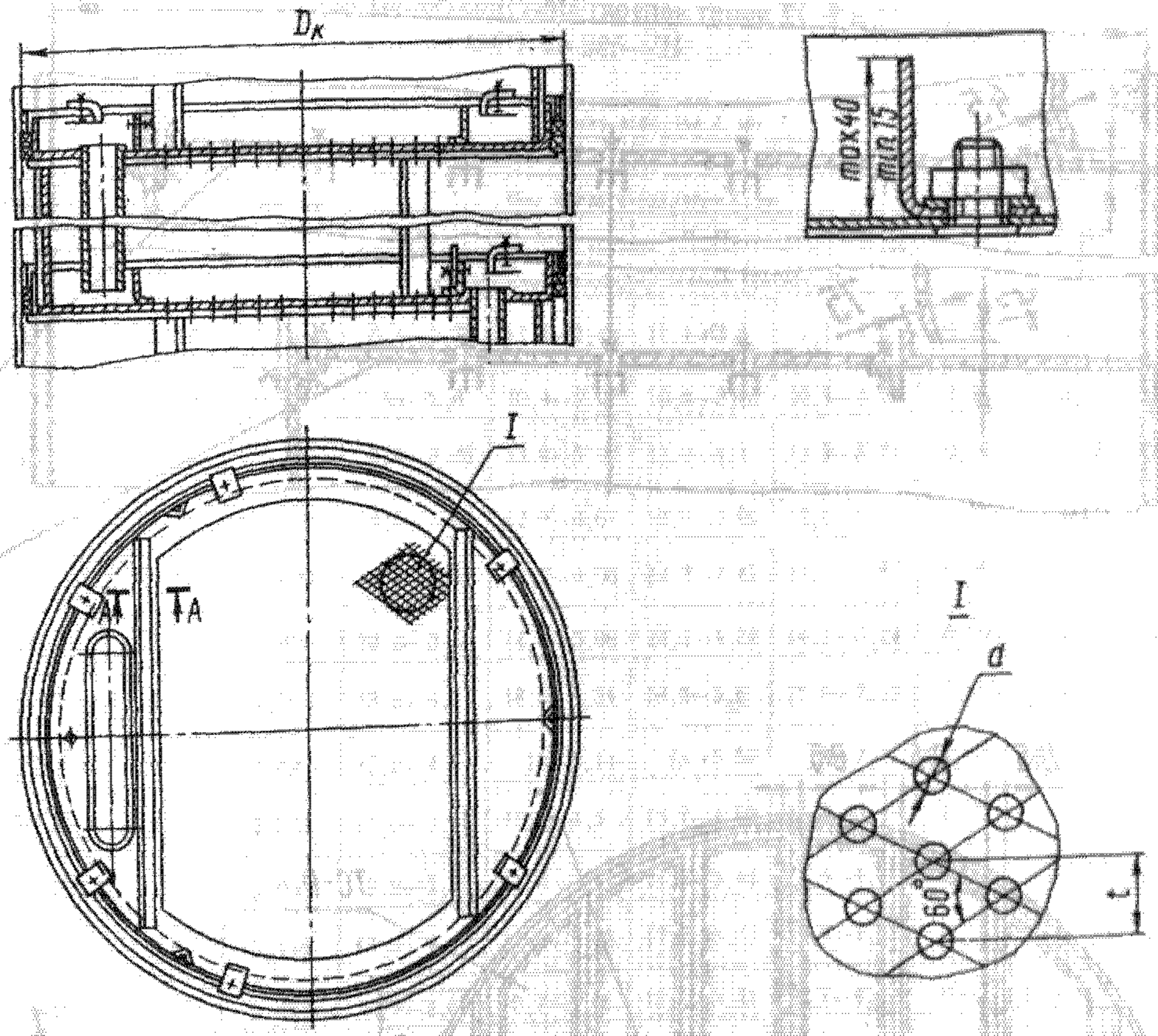


Рис. 22.4. Ситчатая тарелка типа ТС

Таблица 22.4

Техническая характеристика тарелок типа ТС
ОСТ 26-805—73

Диаметр колонны $D_к$, мм	Свободное сечение колонны, м²	Рабочее сечение тарелки, м²	Диаметр отверстия d, мм: 3	4	5	8	Сечение перелива, м²	Относительная площадь перелива, %	Периметр слива, м	Масса, кг
			Шаг между отверстиями t, мм: 7—12	8—13	10—18	16—25				
			Относительное свободное сечение тарелки, %							
400	0,126	0,051	6,62—2,26	9,1—2,56	9,1—2,78	9,1—3,7	0,004	3,81	0,302	8,2
500	0,196	0,089	7,57—2,62	10,3—2,93	10,3—3,18	10,3—4,22	0,1	3,6	0,4	10
600	0,28	0,14	8,2—2,8	11,2—3,2	11,2—3,46	11,2—4,6	0,1	4,3	0,48	13,6
800	0,51	0,41	10,25—3,49	14—3,96	13,9—4,3	14—5,7	0,016	4,1	0,57	21
1000	0,785	0,713	10—3,38	13,6—3,86	13,6—4,2	13,6—5,55	0,036	4,6	0,8	41,5

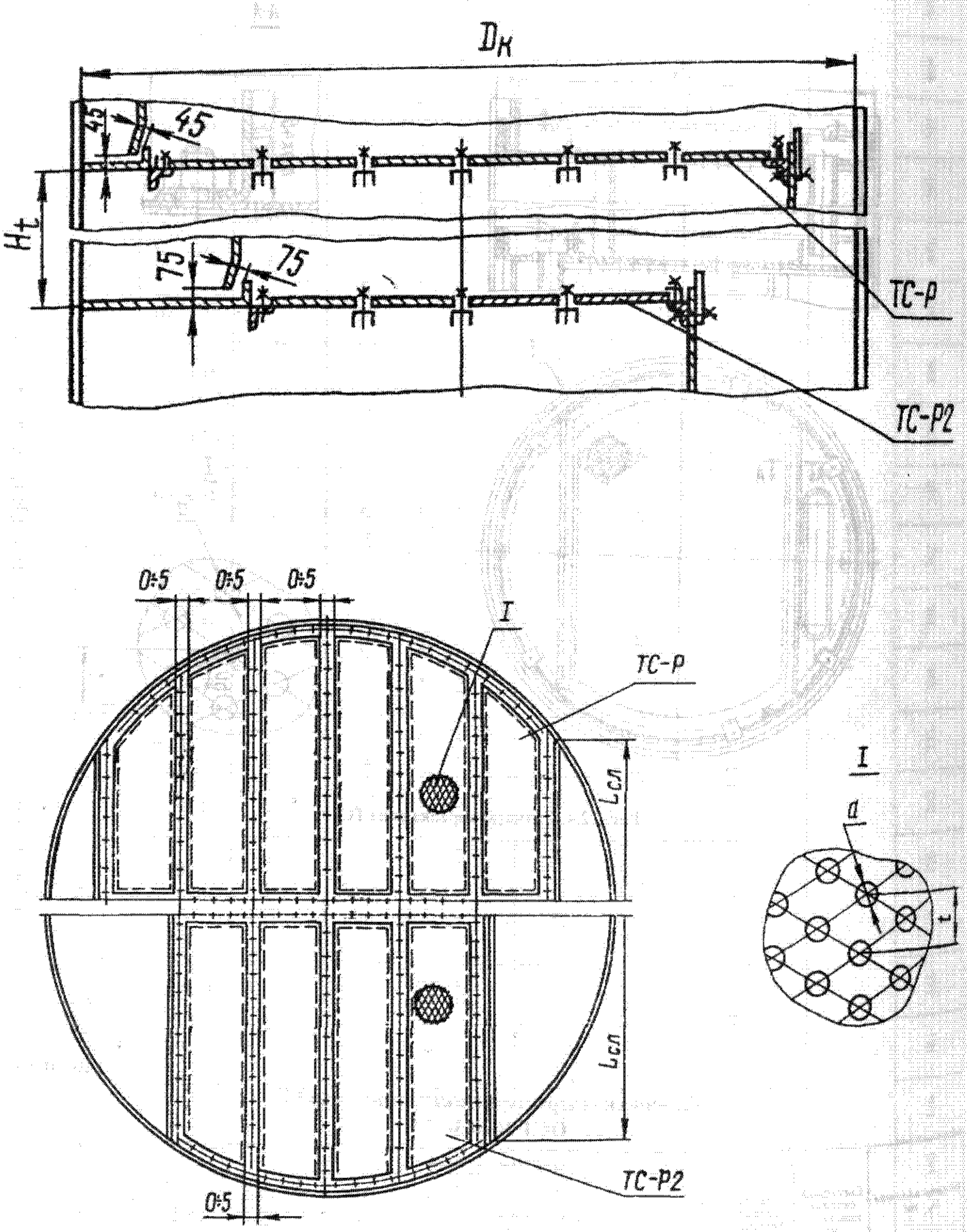


Рис. 22.5. Ситчатая тарелка типов ТС-Р и ТС-Р2

Таблица 22.5

Техническая характеристика тарелок типов ТС-Р и ТС-Р2 ОСТ 26-805—73

Диаметр колонны $D_к$, мм	Тип тарелки	Свободное сечение колонны, м²	Рабочее сечение тарелки, м²	Диаметр отверстия d, мм: 3 / 4 / 5 / 8; Шаг между отверстиями t, мм: 7—12 / 8—15 / 10—17 / 16—15; Относительное свободное сечение тарелки, %	Сечение переливных устройств, м²	Периметр слива $L_{сл}$, м	Периметр слива $L_{сл}$, м	Масса, кг
1200	ТС-Р	1,13	1,01	8,4—2,75	11,1—3,13	11,1—3,4	11,1—4,5	0,06	5,3	0,722	62
	ТС-Р2	1,13	0,896	7,65—2,6	10,4—2,97	10,4—3,25	10,4—4,28	0,117	10,53	0,884	58
1400	ТС-Р	1,54	1,368	8,5—3,48	13,9—3,96	13,9—4,3	13,9—5,71	0,087	5,65	0,86	72
	ТС-Р2	1,54	1,072	8,5—3,23	12,9—3,67	12,9—3,99	12,9—5,29	0,234	19,2	1,135	73
1600	ТС-Р	2,01	1,834	10,4—3,58	14,7—4,06	14,7—4,42	14,7—5,86	0,088	4,4	0,795	89
	ТС-Р2	2,01	1,426	10,3—3,5	14,1—3,98	14,1—4,32	14,1—5,74	0,292	14,5	1,28	85
1800	ТС-Р	2,54	2,294	13,8—4,7	18,8—5,34	18,8—5,8	18,8—7,69	0,123	4,85	1,05	115
	ТС-Р2	2,54	1,64	13,2—4,5	18—5,14	18—5,57	18—7,4	0,45	17,7	1,52	96,5
2000	ТС-Р	3,14	2,822	11,6—3,95	15,8—4,5	15,8—4,89	15,8—6,49	0,159	5,06	1,19	120
	ТС-Р2	3,14	2,09	8,2—2,78	11,4—3,17	11,4—3,44	11,4—4,57	0,525	16,7	1,66	107
2200	ТС-Р	3,8	3,478	13,3—4,48	17,9—5,08	17,9—5,52	17,9—7,32	0,161	4,25	1,24	138
	ТС-Р2	3,8	2,46	7,9—2,68	10,7—3,06	10,7—3,32	10,7—4,37	0,67	15	1,85	137
2400	ТС-Р	4,52	3,9	11,1—3,78	15,3—4,29	15,3—4,62	15,3—6,18	0,317	6,9	1,57	172
	ТС-Р2	4,52	2,96	9,2—6,12	12,5—3,59	12,5—3,85	12,5—5,11	0,77	17	2	162,5
2600	ТС-Р	5,3	4,784	12,2—4,17	16,7—4,73	16,7—5,3	16,7—6,81	0,258	4,88	1,54	200
	ТС-Р2	5,3	3,27	7,5—2,58	10,4—2,9	10,4—3,15	10,4—4,18	1,015	19,2	2,25	188
2800	ТС-Р	6,16	5,64	13,7—4,65	18,5—5,28	18,6—5,73	18,6—7,6	0,26	4,2	1,575	218
	ТС-Р2	6,16	3,96	7,75—2,64	10,6—2,99	10,5—3,26	10,5—4,32	1,1	17,9	2,385	189
3000	ТС-Р	7,06	6,43	12,5—4,27	17,1—4,83	17,1—5,25	17,1—6,96	0,315	4,4	1,715	340
	ТС-Р2	7,06	4,52	5,5—1,87	7,5—2,12	7,46—2,31	7,5—3,06	1,27	18	2,61	220
3200	ТС-Р	8,04	7,268	13—4,42	17,7—5,02	17,7—5,45	17,7—7,23	0,385	4,7	1,86	265
	ТС-Р2	8,04	5,03	8,7—2,96	11,8—3,37	11,8—3,65	11,8—4,85	1,505	18,7	2,74	255
3400	ТС-Р	9,06	8,308	11,3—4,07	16,3—4,61	16,3—5	16,3—6,64	0,376	4,15	1,905	290
	ТС-Р2	9,06	5,88	9,2—3,12	12,5—3,56	12,5—3,85	12,5—5,13	1,59	17,6	2,87	270
3600	ТС-Р	10,2	9	11,9—4,05	16,2—4,6	16,2—5	16,2—6,64	4,59	5,7	2,24	305
	ТС-Р2	10,2	6,3	8,11—2,75	11,1—3,13	11,1—3,4	11,1—4,52	1,95	19,1	3,1	295

Примечания: 1. Шаг расположения отверстий принимается в указанных пределах через 1 мм.
2. В таблице указана масса тарелки при шаге между отверстиями 10 мм и диаметре отверстия 3 мм. Расстояние между тарелками для колонных аппаратов диаметром 1200—3600 мм H_t=300 мм, для колонных аппаратов диаметром 400—1000 мм H_t=500 мм.
3. Плотность при подсчете массы 7,85.

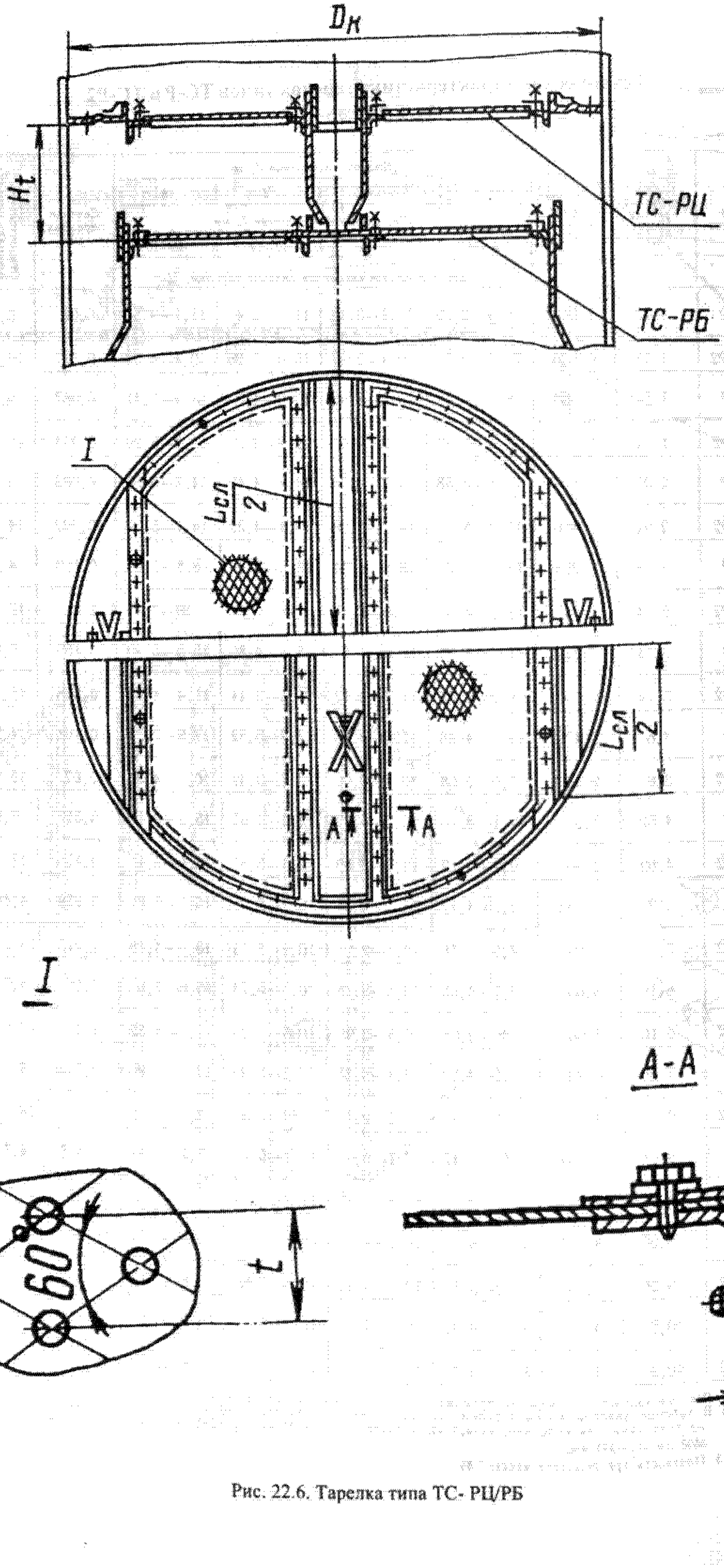
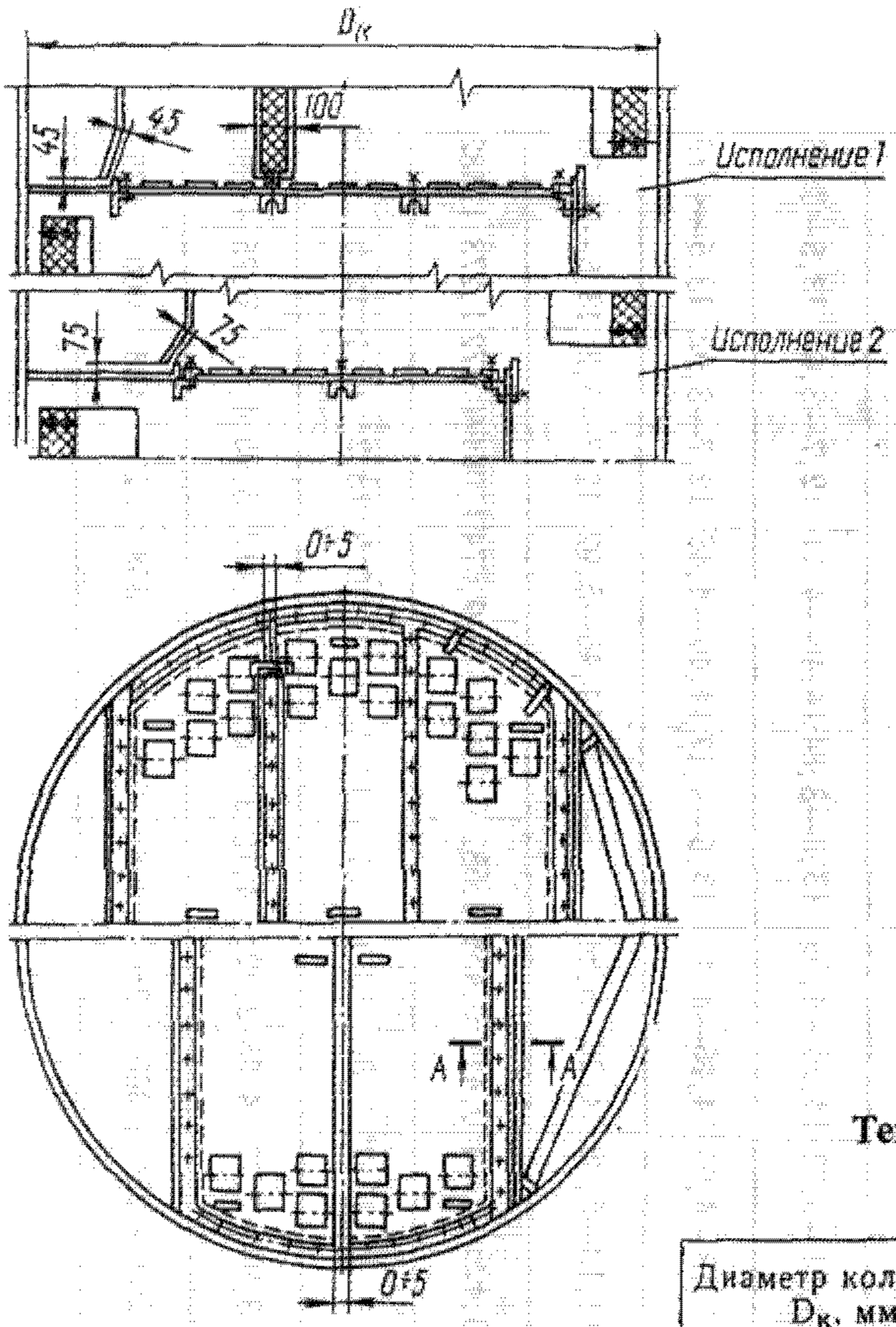


Рис. 22.6. Тарелка типа ТС- РЦ/РБ

Техническая характеристика тарелок типа ТС-РЦ/РБ
ОСТ 26-805—73

Диаметр колонны $D_к$, мм		1400		1600		1800		2000		2200		2400		2600		2800		3200		3600	
Марка тарелки		ТС-РЦ	ТС-РБ	ТС-РЦ	ТС-РБ	ТС-РЦ	ТС-РБ	ТС-РЦ	ТС-РБ	ТС-РЦ	ТР-РБ	ТС-РЦ	ТС-РБ	ТС-РЦ	ТС-РБ	ТС-РЦ	ТС-РБ	ТС-РЦ	ТС-РБ	ТС-РЦ	ТС-РБ
Свободное сечение колонны, м²		1,54		2,01		2,54		3,14		3,8		4,52		5,3		6,16		8,04		10,2	
Рабочее сечение тарелки, м²		1,078		1,44		1,928		2,2		2,92		3,618		4,032		4,857		5,604		7,325	
Относительное свободное сечение тарелки, %																					
при d, мм	при t, мм																				
8	16—25	6,82—2,32		7,48—2,55		8,81—2,99		9,26—3,15		9,64—3,28		10,48—3,56		9,93—3,38		10,62—3,61		9,33—3,17		9,93—3,39	
5	10—18	9,28—2,64		10,18—2,89		11,99—3,41		12,6—3,58		13,13—3,73		14,26—4,05		13,5—3,84		14,46—4,11		12,7—3,61		13,5—3,86	
4	8—15	9,28—2,86		10,18—3,14		11,99—3,7		12,6—3,89		13,13—4,05		14,26—4,4		13,5—4,17		14,46—4,46		12,7—3,92		13,5—4,19	
3	7—12	9,28—3,8		10,18—4,17		11,99—4,91		12,6—5,16		13,13—5,38		14,26—5,84		13,5—5,53		14,46—5,92		12,7—5,2		13,5— 5,56	
Сечение перелива, м²		0,211	0,251	0,259	0,311	0,277	0,334	0,404	0,536	0,426	0,464	0,414	0,458	0,582	0,696	0,629	0,674	1,064	1,372	1,273	1,582
Относительная площадь перелива, %		13,7	16,3	12,9	15,4	10,9	13,2	12,8	17,1	11,2	12,2	9,8	10,1	11	13,2	10,2	10,9	13,2	17,1	12,5	15,5
Периметр слива $L_{сл}$, м		2,34	1,932	2,74	2,22	3,15	2,304	3,55	2,792	3,95	2,77	4,35	2,824	4,75	3,368	5,15	3,412	5,95	4,446	6,75	4,896
Масса, кг		123	119	140	134	157	149	208	199	263	251	300	280	305	288	360	358	525	488	600	575



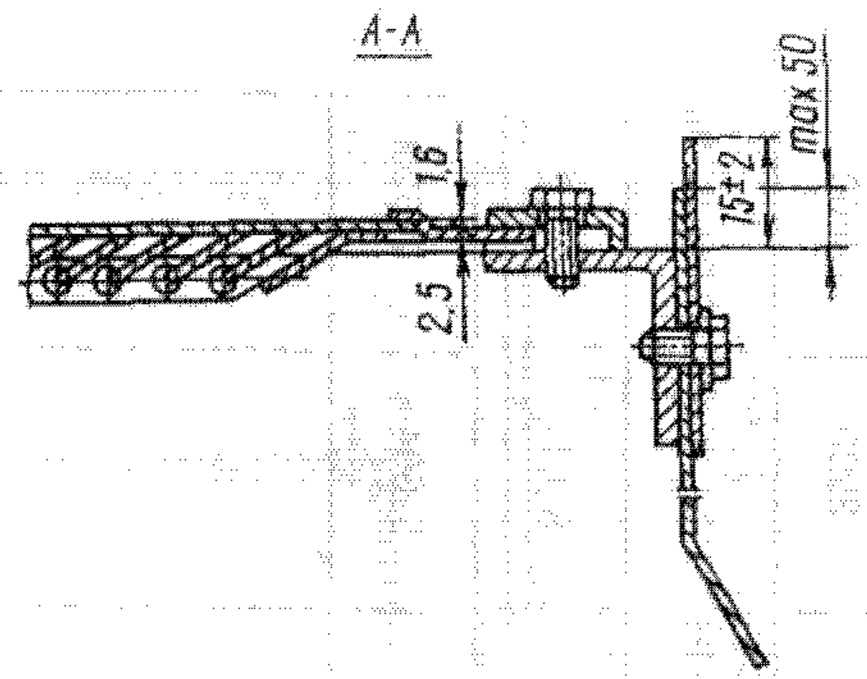


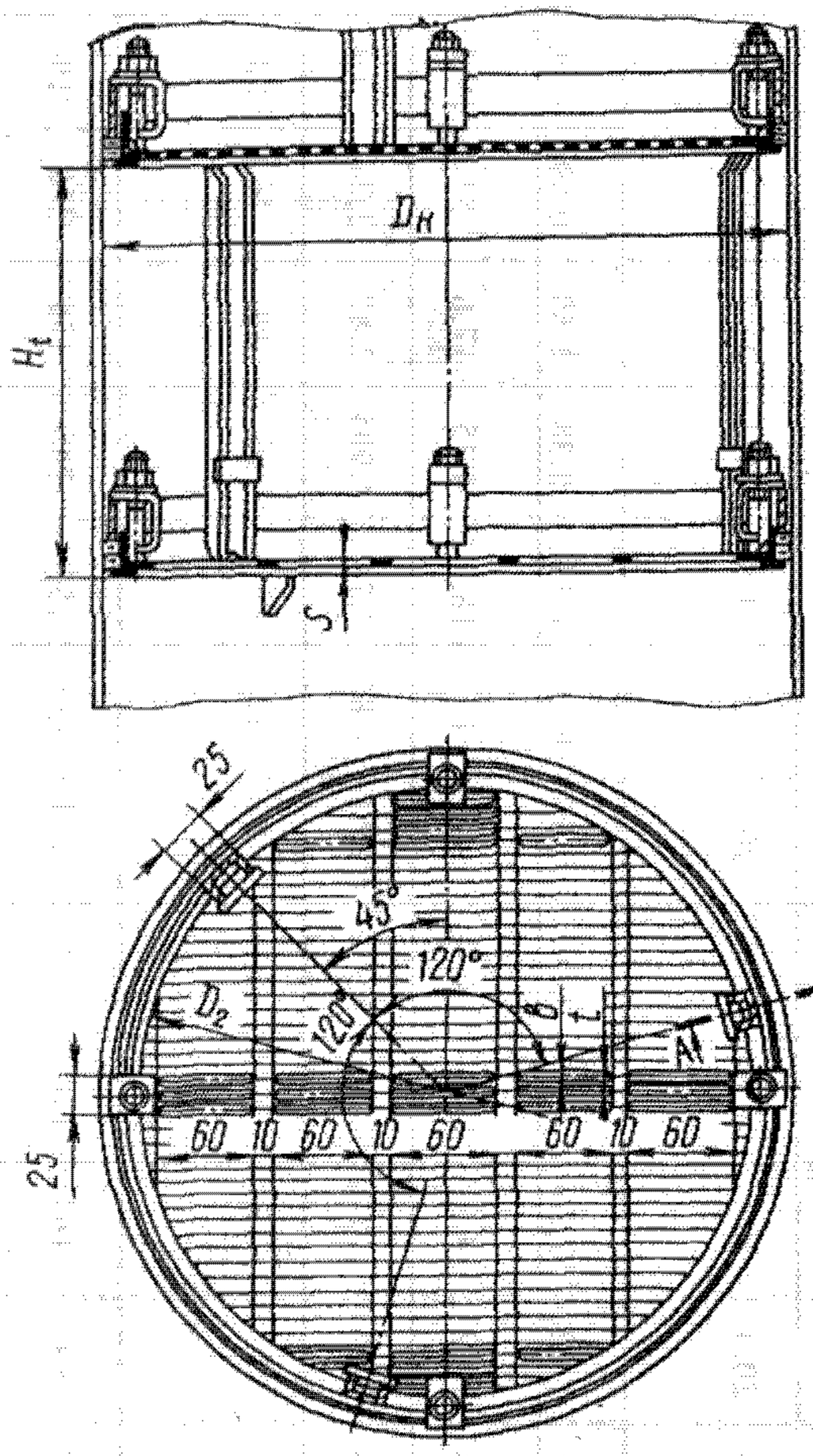
Рис. 22.7. Жалюзийно-клапанная тарелка типа ТСЖК

Таблица 22.7.

Техническая характеристика тарелок типа ТСЖК
ОСТ 26-01-417—72

Диаметр колонны $D_к$, мм	1000	1200		1400		1600		1800	
Исполнение тарелки	1	1	2	1	2	1	2	1	2
Свободное сечение колонны, м²	0,785	1,13		1,54		2,01		2,54	
Рабочее сечение тарелки, м²	0,713	1,01	0,896	1,368	1,072	1,834	1,426	2,294	1,64
Свободное сечение тарелки, м²	0,21	0,31	0,23	0,41	0,3	0,55	0,39	0,67	0,48
Относительная площадь для прохода паров, %	26,32	27,7	20,1	28,9	19,5	27,4	19,5	26,3	19
Сечение перелива, м²	0,036	0,06	0,12	0,09	0,23	0,09	0,29	0,12	0,45
Относительная площадь слива, %	4,6	5,3	10,5	5,65	15,2	4,4	14,5	4,85	17,7
Периметр слива, м	0,573	0,722	0,884	0,86	1,135	0,795	1,28	1,05	1,52
Количество рядов жалюзийных элементов по ходу движения жидкости	5	5	4	6	4	7	5	8	5
Количество жалюзийных элементов	18	27	20	36	26	48	34	58	42
Масса, кг	51,5	71,5	68,5	85,5	85	108,5	100	138,5	115

Диаметр колонны D, мм	2000		2200		2400		2600		2800		3000		3200		3400		3600	
Исполнение тарелки	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Свободное сечение колонны, м²	3,14		3,8		4,52		5,3		6,16		7,06		8,04		9,06		10,2	
Рабочее сечение тарелки, м²	2,822	2,09	3,478	2,46	3,9	2,96	4,784	3,27	5,64	3,96	6,43	4,52	7,268	5,03	9,308	5,88	9	6,3
Свободное сечение тарелки, м²	0,9	0,64	1,1	0,71	1,24	0,87	1,61	1,1	1,89	1,27	2,26	1,43	2,58	1,76	2,82	1,91	3	2,16
Относительная площадь для прохода паров, %	28,6	20,5	29,1	18,8	27,5	19,3	30,4	20,4	30,6	20,6	31,8	20,2	32	21,8	31,4	21,2	29,8	21,2
Сечение перелива, м²	0,16	0,53	0,16	0,67	0,32	0,77	0,26	1,02	0,26	1,1	0,32	1,27	0,39	1,51	0,38	1,59	0,59	1,95
Относительная площадь слива, %	5,06	16,7	4,25	15	6,9	17	4,88	19,2	4,2	17,9	4,4	18	4,7	18,7	4,15	17,6	57	19,1
Периметр слива, м	1,19	1,66	1,24	1,85	1,57	2	1,54	2,25	1,575	2,385	1,715	2,61	1,86	2,74	1,905	2,87	2,24	3,1
Количество рядов жалюзийных элементов по ходу движения жидкости	9	6	10	6	10	7	12	7	13	8	14	8	15	9	16	10	16	10
Количество жалюзийных элементов	78	56	96	62	108	76	140	94	164	110	196	124	224	150	248	178	276	192
Масса, кг	157	128	182,5	173,5	221,5	202,5	265	233,5	273	239,5	325	277,5	379,5	367	407	359	434	394



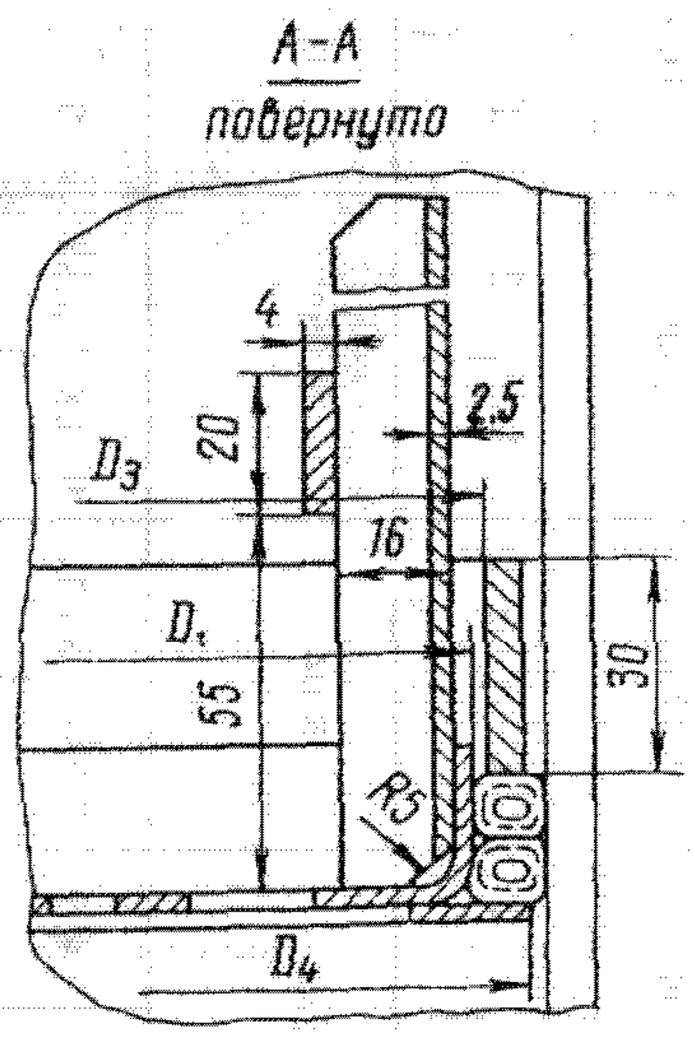


Рис. 22.8. Решетчатая тарелка типа ТС-Р

Таблица 22.8

Техническая характеристика тарелок типа ТС-Р ОСТ 26-675—72

Диаметр колонны $D_к$, мм	Свободное сечение колонны, м²	D_1, мм	D_2, мм	D_3, мм	D_4, мм	Материал тарелок	b, мм	S, мм	Шаг t, мм: Относительное свободное сечение тарелки, м²/м²													Масса, ~кг
									6	10	12	14	15	18	20	22	24	28	32	36		
400	0,125	380	360	386	395	Легированная и углеродистая стали	4	2,5	0,18	0,15	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	—	—	—		5,1
							6		—	0,23	0,18	0,15	0,13	0,12	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	—		
500	0,196	480	460	485	495		4		0,19	0,15	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,07	0,06	—	—	—		7,6
							6		—	0,24	0,19	0,15	0,14	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	—		
600	0,283	580	560	585	595		4		0,2	0,17	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,08	0,07	—	—	—		10
							6		—	0,25	0,2	0,19	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	—		
800	0,503	780	760	785	795		4		0,21	0,17	0,15	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	—	—	—		14,7
							6		—	0,27	0,22	0,19	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	—		

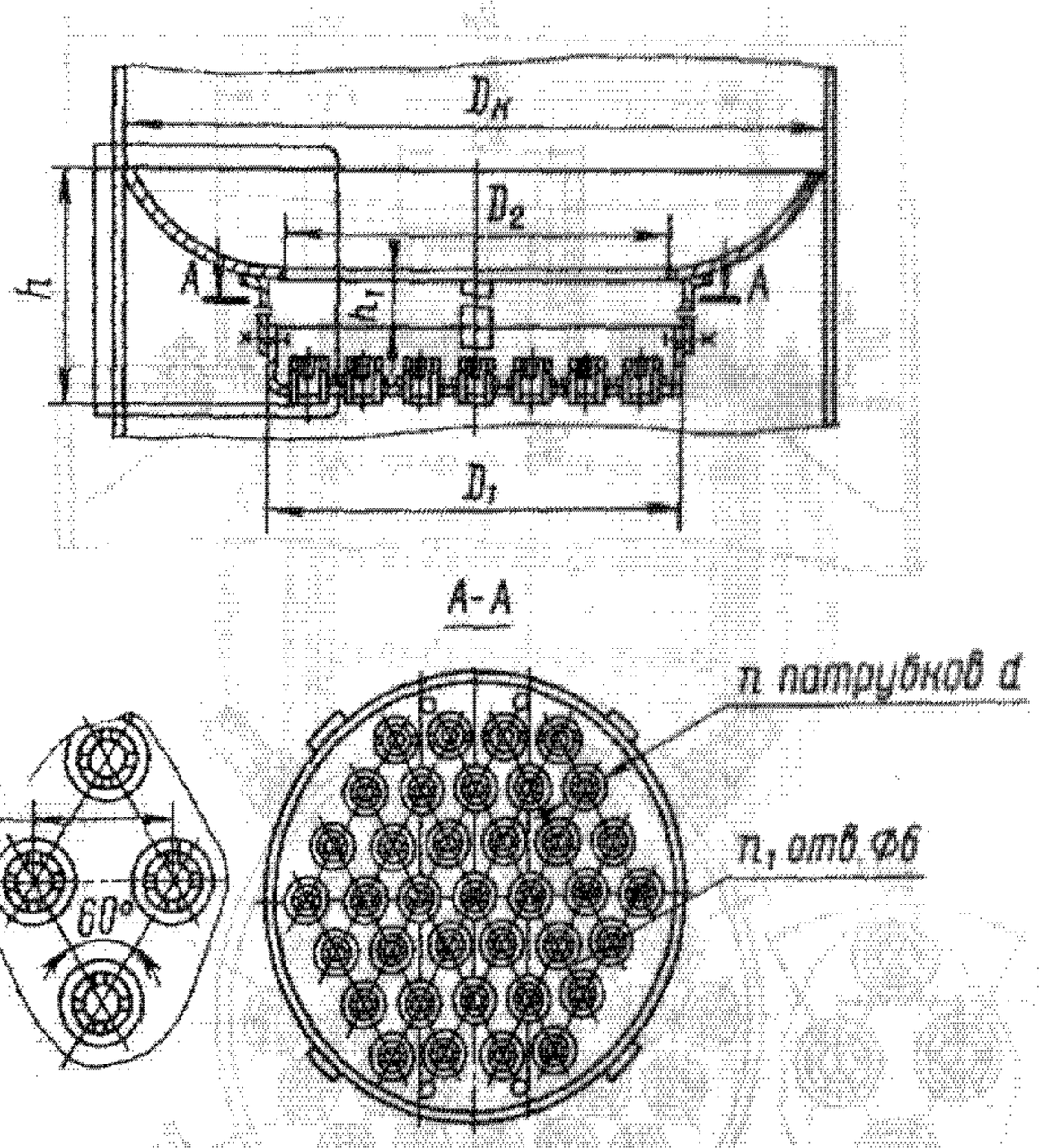
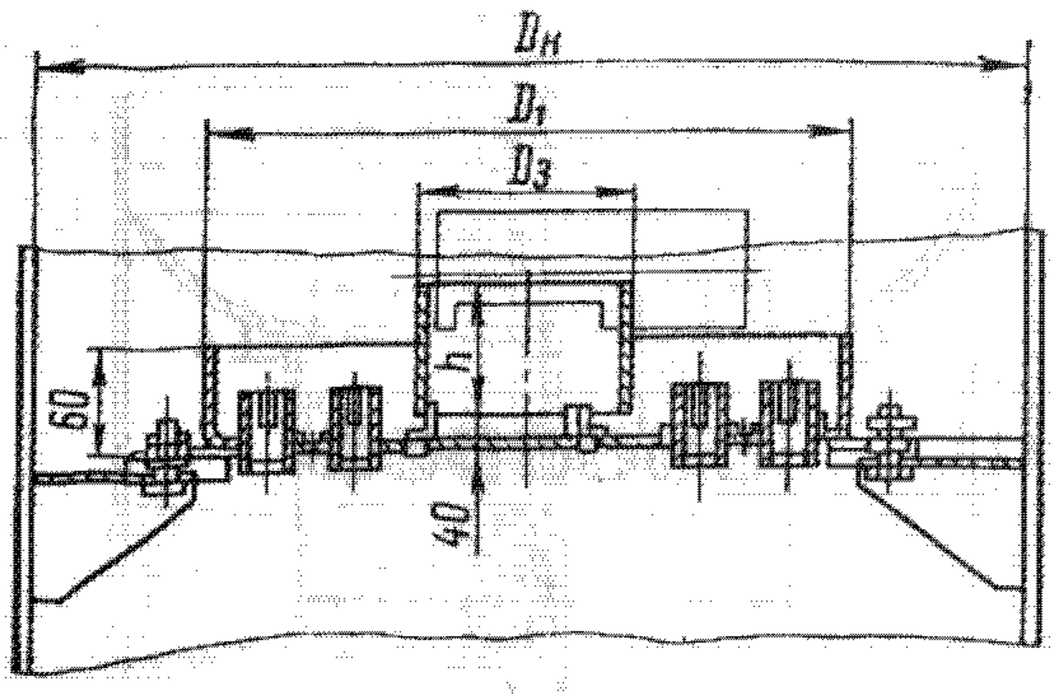


Рис. 22.9. Тарелка типа ТСН-II

Таблица 22.9

Техническая характеристика тарелок типа ТСН-II
ОСТ 26-705—73

Диаметр колонны $D_к$, мм	Свободное сечение колонны, м²	D_1, мм	D_2, мм	h_1, мм	h_2, мм	Жидкостной патрубок				Тарелка					
						d, мм	t, мм	Количество n	Свободное сечение, м²	Рабочее сечение, м²	Сечение слива, м²	Максимально допустимая нагрузка по жидкости, м³/м·ч	Число потоков жидкости	Масса тарелки, кг (ориентировочно)	
														из углеродистой стали	из легированной стали
400	0,126	320	300	185	50	32	—	13	0,0006	0,08	0,0078	195	4	6,1	3,5
500	0,196	350	330	215	50	32	—	19	0,0006	0,096	0,0115	180	4	9	5,1
600	0,283	380	360	315	130	32	—	25	0,0006	0,173	0,0151	165	4	11,4	7
800	0,503	480	460	350	130	45	80	25	0,0013	0,181	0,0326	200	4	16,4	9
1000	0,785	580	560	470	210	45	80	37	0,0013	0,264	0,0471	190	6	27,3	14,9
1200	1,13	780	760	510	210	45	80	61	0,0013	0,478	0,0793	220	6	37,1	19,8
1400	1,539	980	960	520	210	45	80	110	0,0013	0,754	0,144	320	6	48,8	24,6
1600	2,01	1170	1150	645	310	57	95	110	0,0022	1,075	0,2421	330	6	65	40,8
1800	2,545	1170	1150	705	310	57	95	110	0,0022	1,075	0,2421	270	6	73,1	45,1
2000	3,141	1370	1350	730	310	57	95	156	0,0022	1,474	0,3433	300	8	110,5	81,3
2200	3,801	1570	1550	745	310	57	95	212	0,0022	1,936	0,4665	335	8	142,6	110,3
2400	4,524	1770	1750	845	380	57	95	276	0,0022	2,461	0,6073	365	8	193	137,5
2600	5,309	1770	1750	900	380	57	95	276	0,0022	2,461	0,6073	320	8	200	141
2800	6,157	2000	1950	915	380	57	95	352	0,0022	3,141	0,7749	345	8	230	180,5



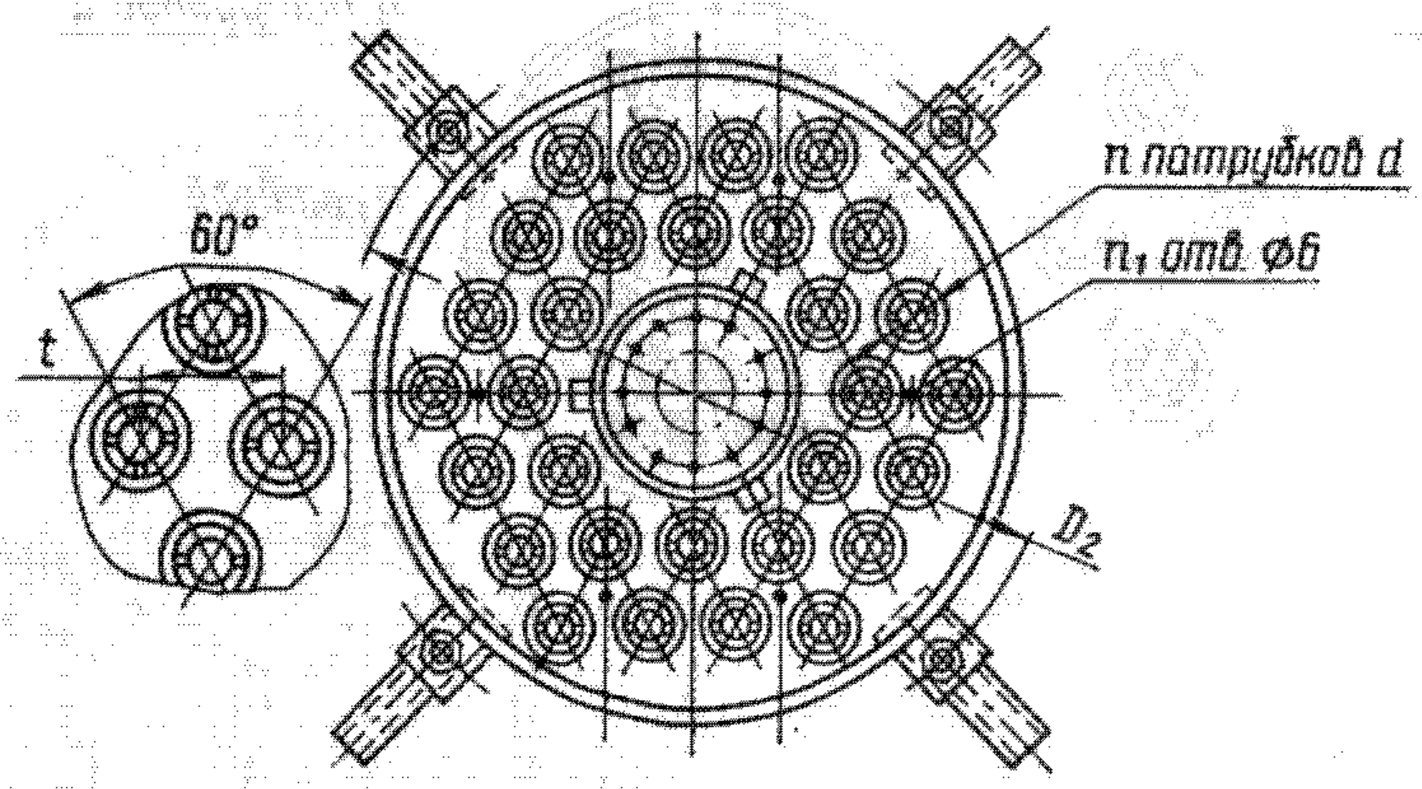


Рис. 22.10. Тарелка типа ТСН-III

Таблица 22.10

Техническая характеристика тарелок типа ТСН-III
ОСТ 26-705—73

Диаметр колонны $D_к$	Свободное сечение колонны, м²	D_1, мм	D_2, мм	D_3, мм	h, мм	Жидкостной патрубок				Тарелка				Масса тарелки, кг (ориентировочно)	
						d, мм	t, мм	Количество n	Свободное сечение, м²	Рабочее сечение, м²	Сечение слива, м²	Максимально допустимая нагрузка по жидкости м³/м·ч	Количество отверстий для слива жидкости	из углеродистой стали	из легированной стали
400	0,126	320	260	110	—	32	—	12	0,0006	0,08	0,0073	180	8	5,6	3,8
500	0,196	350	290	110	—	32	—	16	0,0006	0,098	0,0097	155	8	6,9	4,7
600	0,283	380	460	130	—	32	—	21	0,0006	0,113	0,0127	145	8	7,4	5
800	0,503	480	560	160	—	45	—	24	0,0013	0,181	0,0313	190	10	10,9	7,6
1000	0,785	580	660	190	—	45	80	30	0,0013	0,264	0,0391	175	12	14,4	9,7
1200	1,13	780	860	220	150	45	80	54	0,0013	0,478	0,0703	190	18	23,6	15,7
1400	1,539	980	1060	260	150	45	80	96	0,0013	0,754	0,1249	250	22	35,8	24,5
1600	2,01	1170	1250	310	150	57	95	96	0,0022	1,075	0,2112	280	26	52,3	34
1800	2,545	1170	1250	310	150	57	95	96	0,0022	1,075	0,2112	240	26	52,3	34
2000	3,141	1370	1450	330	180	57	95	142	0,0022	1,474	0,3125	270	30	68,4	52,4
2200	3,801	1570	1650	360	180	57	95	194	0,0022	1,938	0,4268	305	34	89,8	72,2
2400	4,524	1770	1850	400	200	57	95	254	0,0022	2,461	0,558	330	38	113,5	90
2600	5,309	1770	1850	400	200	57	95	254	0,0022	2,461	0,558	290	38	113,5	90
2800	6,157	2000	2080	410	200	57	95	330	0,0022	3,141	0,7261	320	42	145,1	114,4

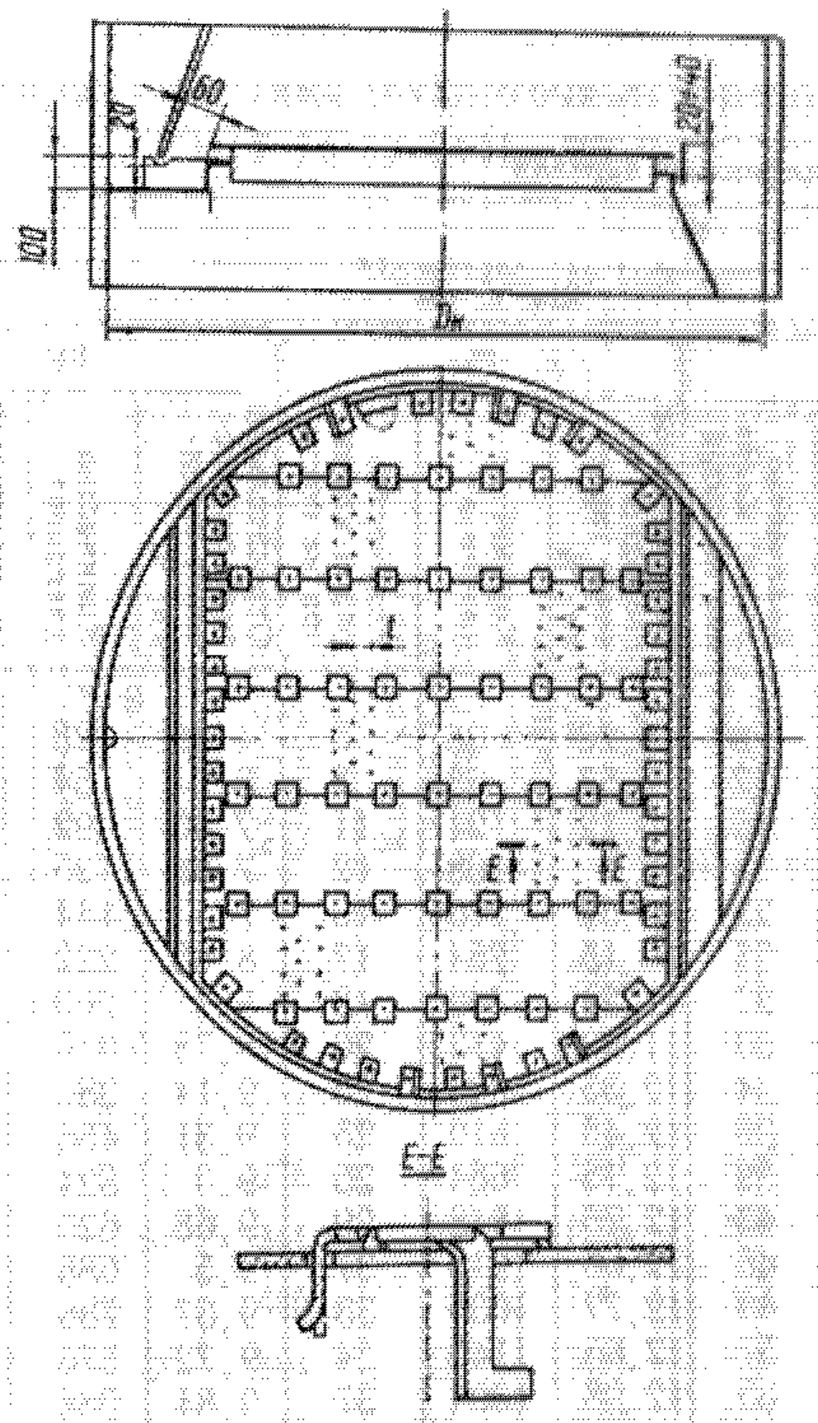


Рис. 22.11. Клапанная прямоточная однопоточная тарелка типа ТКП

Таблица 22.11

Техническая характеристика однопоточных тарелок типа ТКП 26-02-1401—77

Диаметр колонны $D_к$, мм	Свободное сечение колонны, м²	Рабочее сечение тарелки, м²	Периметр слива, м	Сечение перелива, м²	Модификация тарелки А											
					Шаг t, мм											
					50			75			100					
					Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов	Количество рядов клапанов по ходу потока	Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов*	Количество рядов клапанов на поток	Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов*	Количество рядов клапанов на поток			
1000	0,78	0,5	0,84	0,14	7,69	48	6	5,12	32	4	—	—	—			
1200	1,13	0,79	0,97	0,17	10,44	94	9	6,63	60	6	5,57	59	5			
1400	1,54	1,1	1,12	0,22	11,42	140	12	7,79	96	8	5,84	72	6			
1600	2,01	1,47	1,26	0,27	13,23	212	15	8,25	132	10	6,36	102	8			
1800	2,55	1,83	1,43	0,3	13,23	268	17	8,46	172	11	6,9	140	9			
2000	3,14	2,24	1,6	0,45	13,65	342	19	9,36	234	13	7,03	176	10			
2200	3,8	2,76	1,74	0,52	14,26	432	22	9,44	286	15	7,13	216	11			
2400	4,52	3,21	1,92	0,66	14,55	524	24	9,56	344	16	7,2	260	12			
2600	5,3	3,84	2,05	0,74	14,91	630	27	9,98	422	18	7,71	326	14			
2800	6,15	4,41	2,23	0,87	15,25	748	29	10,12	496	19	7,75	380	15			
3000	7,07	5,01	2,4	1,03	14,87	838	31	9,95	560	21	7,28	410	16			
3200	8,04	5,76	2,54	1,14	15,32	982	34	10,51	674	23	7,7	496	17			
3400	9,08	6,44	2,72	1,32	15,38	1112	36	10,22	740	24	7,62	556	18			
3600	10,2	7,39	2,85	1,4	15,87	1290	39	9,84	800	26	7,83	636	20			
3800	11,3	8,08	3,03	1,61	15,8	1424	41	10,45	938	27	8,66	780	21			
4000	12,6	8,96	3,2	1,82	15,83	1590	43	10,67	1072	29	8,08	812	22			

Продолжение табл. 22.11

Модификация тарелки													Масса тарелки, кг (не более)**		
Б													из углеродистой стали		из коррозионностойкой стали
Шаг t, мм															
50			75			100							общая	в том числе деталей из коррозионностойкой стали	
Рабочее сечение тарелки, м²	Периметр слива, м	Сечение перелива, м²	Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов*	Количество рядов клапанов на поток	Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов*	Количество рядов клапанов на поток	Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов*	Количество рядов клапанов на поток				
0,6	0,76	0,09	10,3	64	8	5,76	36	5	4,48	28	4		80	45	55
0,93	0,84	0,1	13,36	120	12	7,57	68	8	6,01	54	6		95	55	70
1,3	0,93	0,12	14,34	176	16	10,12	124	11	7,46	92	8		125	70	90
1,65	1,12	0,18	14,72	236	18	10,5	168	12	7,86	126	9		145	80	100
2,17	1,2	0,19	16	328	22	10,62	216	15	7,1	144	11		170	100	125
2,68	1,32	0,23	16,87	422	25	10,15	254	17	8,88	222	13		200	120	145
3,18	1,51	0,31	16,57	502	27	11,23	340	18	5,7	260	14		225	135	170
3,77	1,65	0,37	17,23	620	30	11,43	412	20	8,78	316	15		270	160	200
4,52	1,73	0,39	18,23	770	34	12,35	522	23	9,14	386	17		290	175	220
5,35	1,8	0,4	18,58	910	38	12,45	610	25	9,31	456	19		330	200	240
5,94	2,04	0,56	18,18	1024	39	12,15	684	26	9,3	524	20		360	220	270
6,88	2,11	0,58	18,82	1210	43	12,76	818	29	9,68	620	22		470	280	350
7,76	2,26	0,68	18,91	1368	46	12,66	916	31	9,5	688	23		500	300	395
8,73	2,38	0,73	19,11	1554	49	12,77	1036	33	9,67	786	25		570	340	445
9,54	2,57	0,88	19,08	1720	51	12,65	1140	34	9,72	876	26		620	370	480
10,78	2,64	0,91	19,38	1946	55	12,98	1304	37	9,84	988	28		670	400	520

* Количество клапанов на тарелке может быть уменьшено на 5% по сравнению с указанным в таблице.

** Приведена масса при расстоянии между тарелками 600 мм.

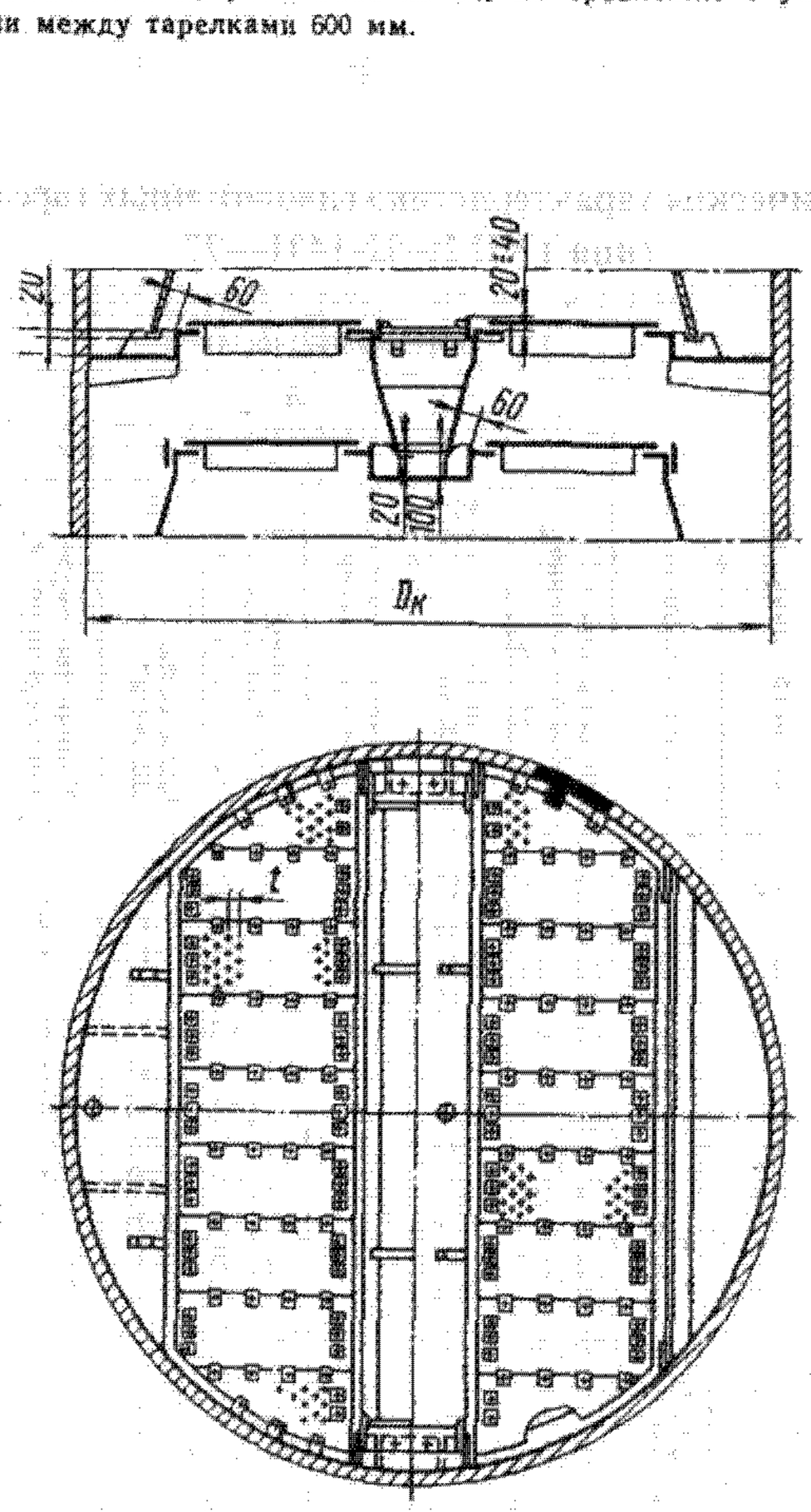


Рис. 22.12. Клапанная прямоточная двухпоточная тарелка типа ТКП

Таблица 22.12

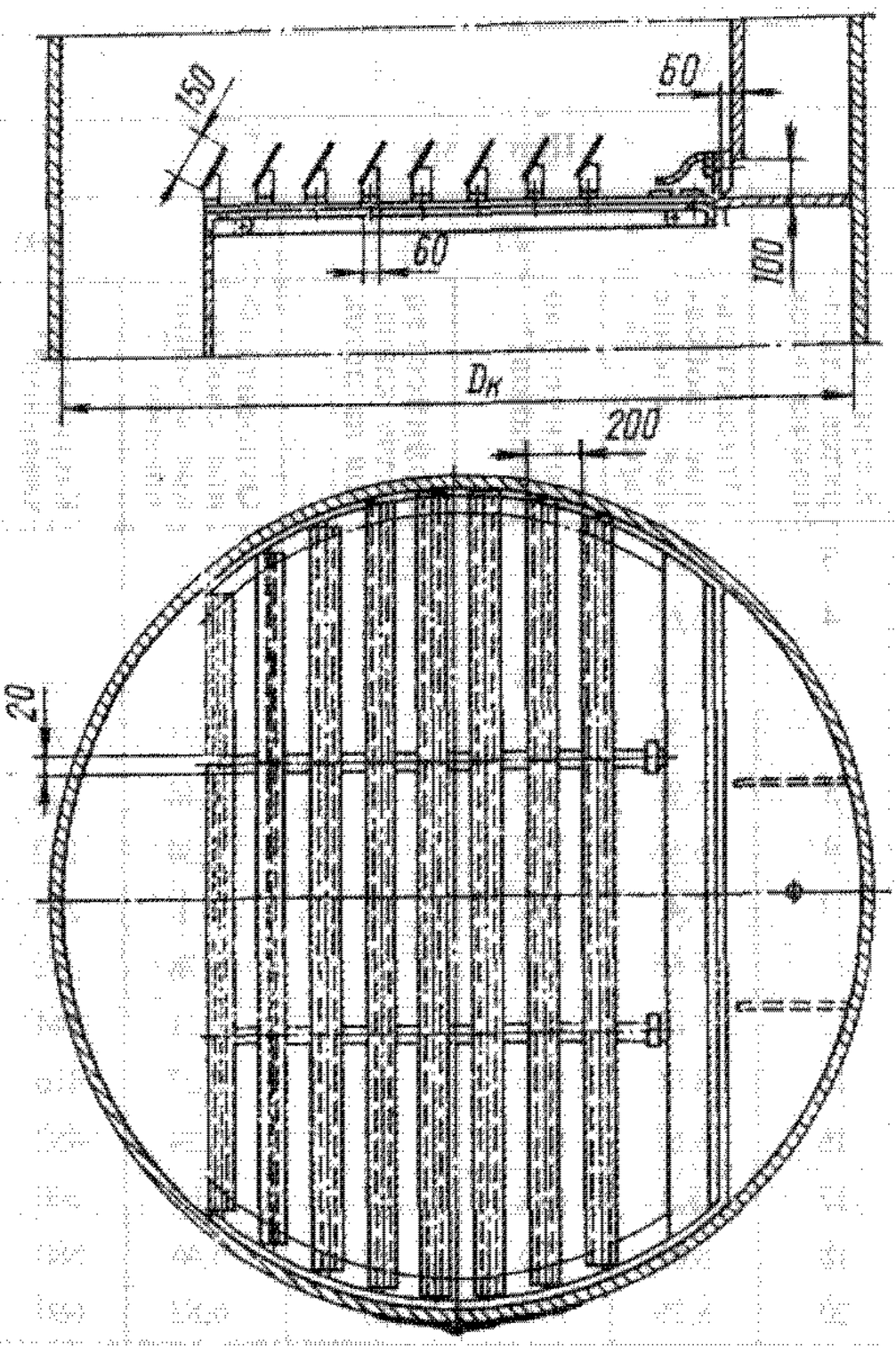
Техническая характеристика двухпоточных тарелок типа ТКП ОСТ 26-02-1401—76

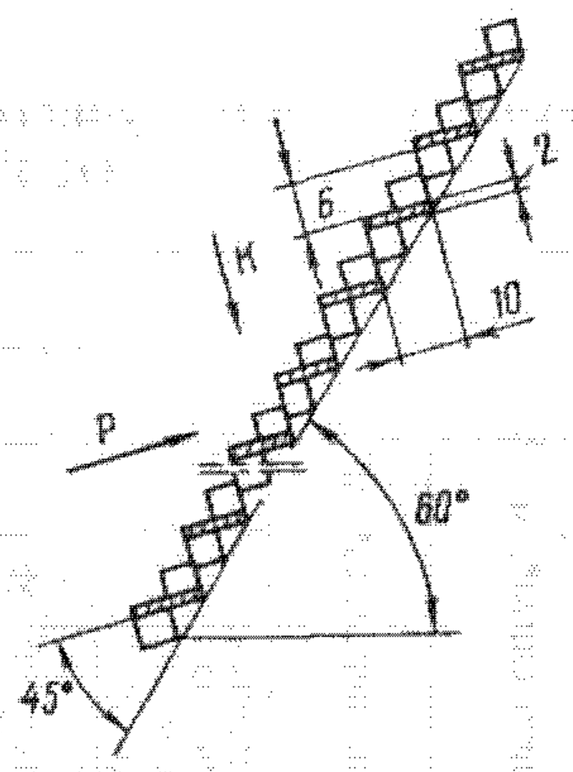
Диаметр колонны $D_к$, мм	Свободное сечение колонны, м²	Модификация тарелки: А														
		Рабочее сечение тарелки, м²	Периметр слива*, м	Сечение перелива*, м²	Шаг t, мм: 50			75			100					
					Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов**	Количество рядов клапанов на поток	Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов**	Количество рядов клапанов на поток	Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов**	Количество рядов клапанов на поток			
1400	1,54	1,02	1,88	0,22	6,3	78	3	—	—	—	—	—	—			
1600	2,01	1,25	2,24	0,33	7,24	116	4	5,65	90	3	—	—	—			
1800	2,55	1,72	2,4	0,38	8,09	164	6	5,14	104	4	—	—	—			
2000	3,14	2,08	2,64	0,46	8,95	224	7	6,24	156	5	4,95	124	4			
2200	3,8	2,51	3,02	0,53	9,12	276	8	5,94	180	5	4,48	136	4			
2400	4,52	2,93	3,3	0,69	9,56	344	9	6,56	236	6	5,34	192	5			
2600	5,3	3,62	3,46	0,76	11,4	480	11	7,4	312	7	6,1	256	6			
2800	6,15	4,36	3,6	0,81	12,32	604	13	8,66	424	9	6,78	332	7			
3000	7,07	4,74	4,08	1,03	11,68	656	13	8,03	452	9	6,11	344	7			
3200	8,04	5,59	4,22	1,12	12,35	788	15	8,66	536	10	6,27	416	8			
3400	9,08	6,23	4,52	1,32	12,3	890	16	8,61	624	11	6,24	452	8			
3600	10,18	7,11	4,76	1,43	12,75	1032	17	8,3	672	11	6,67	540	9			
3800	11,34	7,68	5,14	1,69	12,8	1148	18	8,65	776	12	6,46	580	9			
4000	12,57	8,75	5,28	1,79	13,4	1336	20	8,79	876	13	6,82	680	10			

Продолжение табл. 22.12

Модификация тарелки: Б													Масса тарелки, кг*** (не более)		
Шаг t, мм: 50					75			100					из углеродистой стали		из коррозионностойкой стали
Рабочее сечение тарелки, м²	Периметр слива*, м	Сечение перелива*, м	Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов**	Количество рядов клапанов на поток	Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов**	Количество рядов клапанов на поток	Относительное свободное сечение тарелки, %	Количество клапанов**	Количество рядов клапанов на потоке		общая	в том числе деталей из коррозионностойкой стали	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		190	60	125
—	—	—	—	—	—	—	—	—	5,65	90	3		230	70	140
1,42	2,06	0,26	9,75	156	5	5,65	90	3	5,13	104	4		270	80	160
1,88	2,26	0,3	9,27	188	7	6,91	140	5	6,24	156	5		360	110	210
2,41	2,4	0,32	11,35	234	9	7,66	192	6	5,94	180	5		390	120	230
2,92	2,72	0,36	11,63	352	10	8,05	244	7	6,45	232	6		430	130	275
3,39	2,98	0,5	11,69	420	11	7,57	272	7	7,15	308	7		470	145	300
4,03	3,24	0,55	13,35	564	13	9,3	392	9	7,48	368	8		520	155	330
4,89	3,3	0,58	14,02	688	15	9,4	464	10	7,09	396	8		570	170	370
5,39	3,66	0,77	14	784	16	9,44	532	11	7,5	480	9		620	185	420
6,18	3,92	0,83	14,29	912	17	9,34	600	11	7,8	564	10		680	210	470
7,11	4,08	0,89	14,28	1032	19	10,11	732	13	8,05	652	11		750	230	520
8,07	4,26	0,95	15,5	1256	21	10,42	840	14	7,7	692	11		820	250	560
8,93	4,46	1,11	15,3	1380	22	10,5	940	15	8,1	800	12		900	270	620
10	4,7	1,22	16,04	1608	24	10,68	1060	16							

* Приведены минимальные сечения переливов (одного центрального и двух боковых) и минимальный периметр слива.
** Количество клапанов на тарелке может быть уменьшено на 5% по сравнению с указанным в таблице.
*** Приведена масса при расстоянии между тарелками 600 мм.





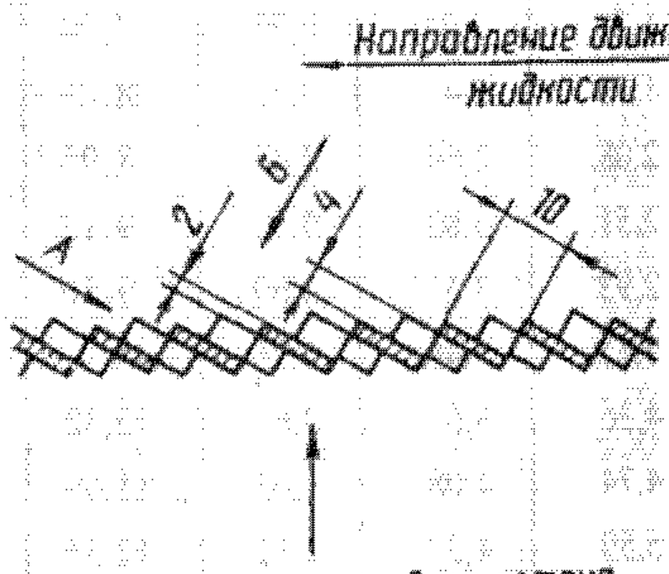


Рис. 22.13. Ситчатая однопоточная тарелка с отбойными элементами

Таблица 22.13

Техническая характеристика однопоточных ситчатых тарелок с отбойными элементами диаметром 1200—4000 мм ОН 26-02-30—66

Диаметр колонны $D_к$, мм	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000
Свободное сечение колонны, м²	1,13	1,54	2,01	2,55	3,14	3,8	4,55	5,3	6,15	7,05	8,05	9,1	10,2	11,3	12,6
Относительная площадь для прохода паров, %	12,6	13,6	12,9	14,3	13,5	13,5	14,3	15	15,7	15	15,4	15,5	15,9	15,4	16,2
Относительная рабочая площадь тарелки, %	54,5	50	56	63	59	59	62	65,5	68	65	66,7	67	69	67	70,5
Периметр слива, м	0,8	0,9	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7
Количество рядов отбойников	3	4	4	5	5	6	7	8	9	9	10	11	12	12	13
Общая масса тарелки без кармана для отбора жидкости, кг	Из углеродистой стали														
	95	115	140	160	185	225	280	310	345	380	415	425	475	515	565
	Из углеродистой стали														
	70	90	110	120	140	185	225	245	280	305	330	365	385	410	455
Общая масса тарелки с карманом для отбора жидкости, кг	Из углеродистой стали														
	105	125	155	175	200	245	300	330	365	405	440	455	500	545	600
	Из легированной стали														
	75	95	115	135	150	195	235	260	290	315	345	375	395	425	475

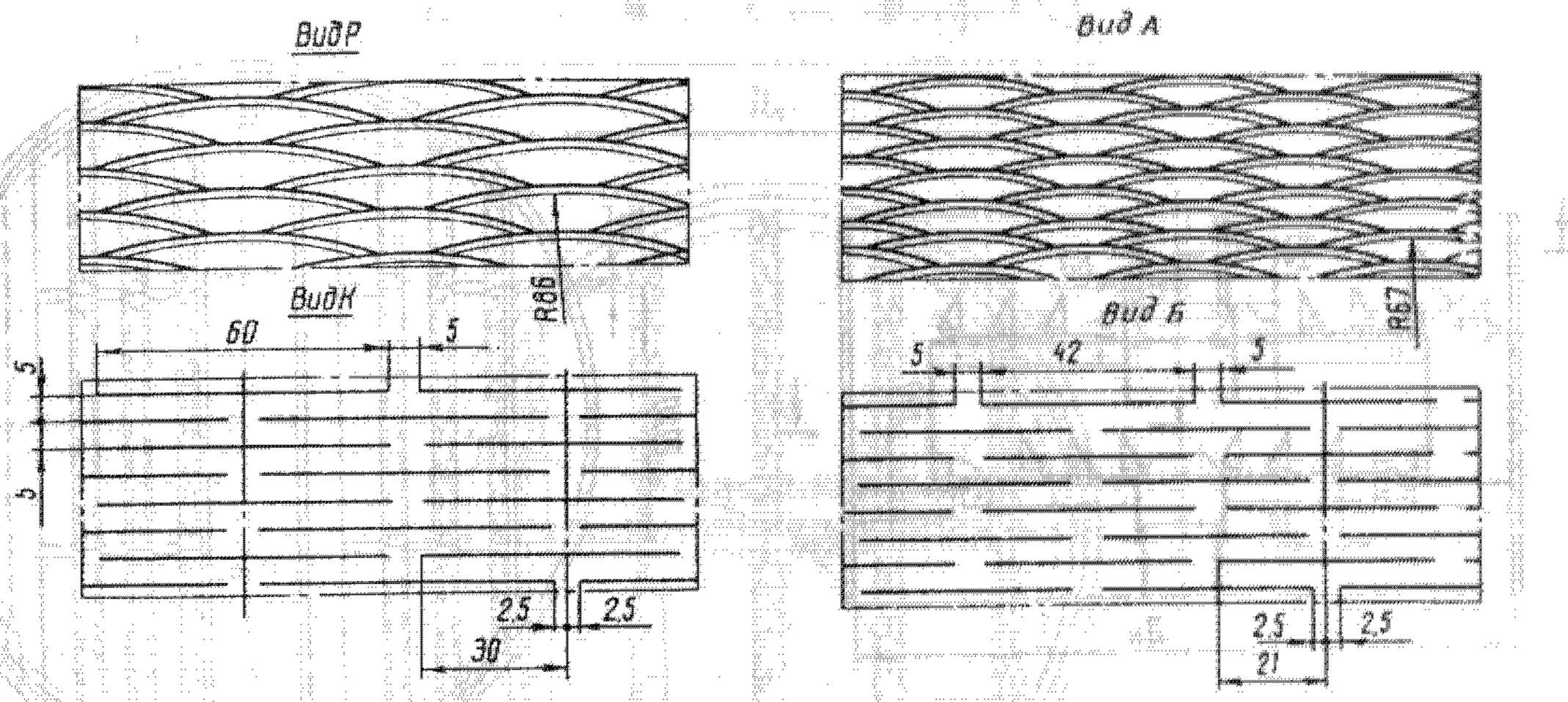


Рис. 22.14. Конструкция полотна и отбойника ситчатой тарелки с отбойными элементами

Таблица 22.14

Техническая характеристика двухпоточных ситчатых тарелок с отбойными элементами диаметром 2400—4000 мм ОН 26-02-30—66

Диаметр колонны $D_к$, мм	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000
Свободное сечение колонны, м²	4,52	5,3	6,05	7,06	8,04	9,07	10,17	11,34	12,56
Относительная площадь для прохода паров, %	9	11,6	10,8	11	12,75	12,5	12,25	13,7	13,25
Относительная рабочая площадь для прохода паров, %	38	48	45	46	53	52	51	57	55
Длина бокового слива на один поток, м	1,6	1,5	1,8	2,1	2	2,3	2,5	2,4	2,7
Количество рядов отбойников	4	6	6	6	8	8	8	8	10
Общая масса тарелки с центральным отливом без кармана для отбора жидкости, кг (не более)									
Из углеродистой стали	485	520	585	660	725	775	860	910	955
Из легированной стали	440	505	540	605	675	715	790	845	880
Общая масса тарелки с центральным отливом с карманом для отбора жидкости, кг (не более)									
Из углеродистой стали	525	560	630	715	790	840	920	975	1020
Из легированной стали	440	525	560	635	710	745	820	880	915
Общая масса тарелки с боковыми сливами, кг (не более)									
Из углеродистой стали	520	585	635	710	775	850	925	1005	1050
Из легированной стали	485	545	580	660	730	795	870	945	990

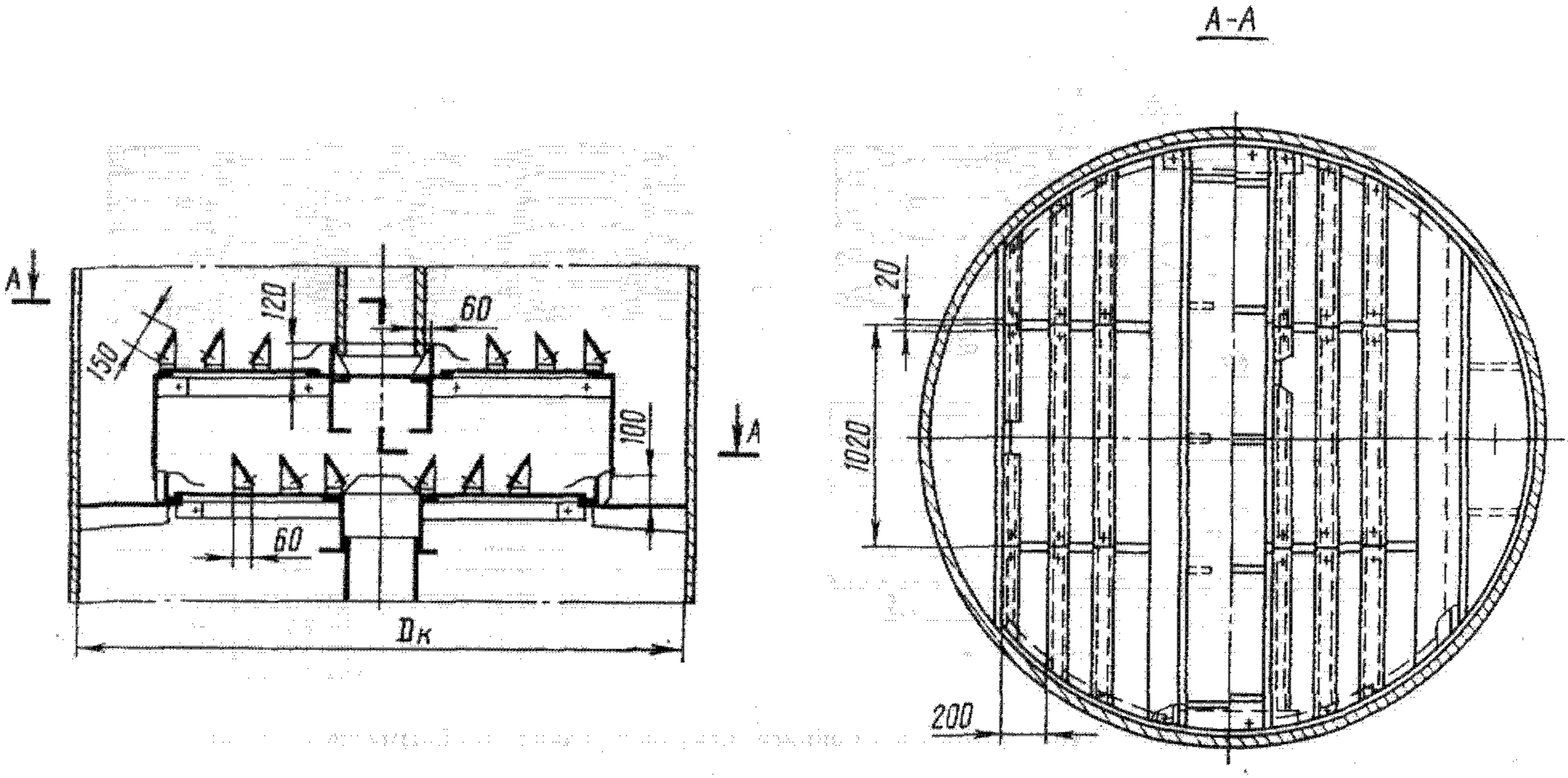


Рис. 22.15. Ситчатая двухпоточная тарелка с отбойными элементами

Таблица 22.15

Техническая характеристика решетчатых тарелок типа ТР ОСТ 26-666—72

Диаметр колонны $D_к$, мм	Материал тарелки	S, мм	b, мм	Шаг щелей t, мм: 8	10	12	14	16	18	20	22	24	28	32	36	Масса тарелки, кг (не более)
				Относительное свободное сечение тарелки, м²/м²												
1000	Легированная сталь	2	4	0,22	0,17	0,15	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	—	—	—	38
	Углеродистая сталь	4	6	—	0,27	0,22	0,19	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11	0,09	0,08	0,07	55
1200	Легированная сталь	2	4	0,24	0,21	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	—	—	—	49
	Углеродистая сталь	4	6	—	0,32	0,24	0,2	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,08	72
1400	Легированная сталь	2	4	0,25	0,21	0,18	0,16	0,16	0,12	0,1	0,09	0,08	—	—	—	60
	Углеродистая сталь	4	6	—	0,32	0,26	0,23	0,2	0,17	0,16	0,15	0,14	0,11	0,1	0,09	91
1600	Легированная сталь	2	4	0,26	0,2	0,17	0,14	0,13	0,11	0,1	0,09	0,08	—	—	—	79
	Углеродистая сталь	4	6	—	0,31	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,11	0,1	0,09	123
1800	Легированная сталь	2	4	0,28	0,22	0,18	0,15	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	—	—	—	94
	Углеродистая сталь	4	6	—	0,32	0,27	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,13	0,11	0,1	0,09	148
2000	Легированная сталь	2	4	0,26	0,2	0,17	0,15	0,13	0,12	0,1	0,09	0,08	—	—	—	129
	Углеродистая сталь	4	6	—	0,31	0,26	0,28	0,2	0,18	0,16	0,15	0,13	0,11	0,1	0,09	199
2200	Легированная сталь	2	4	0,27	0,2	0,18	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	—	—	—	151
	Углеродистая сталь	4	6	—	0,32	0,26	0,22	0,2	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,1	0,09	235
2400	Легированная сталь	2	4	0,27	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	—	—	—	196
	Углеродистая сталь	4	6	—	0,31	0,27	0,22	0,2	0,18	0,16	1,15	0,13	0,12	0,1	0,09	301
2600	Легированная сталь	2	4	0,3	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	—	—	—	228
	Углеродистая сталь	4	6	—	0,31	0,27	0,24	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,1	0,09	335
2800	Легированная сталь	2	4	0,27	0,24	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	—	—	—	249
	Углеродистая сталь	4	6	—	0,36	0,28	0,23	0,2	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,1	0,09	357
3000	Легированная сталь	2	4	0,28	0,22	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	0,1	0,09	—	—	—	285
	Углеродистая сталь	4	6	—	0,33	0,28	0,24	0,21	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,1	0,09	389

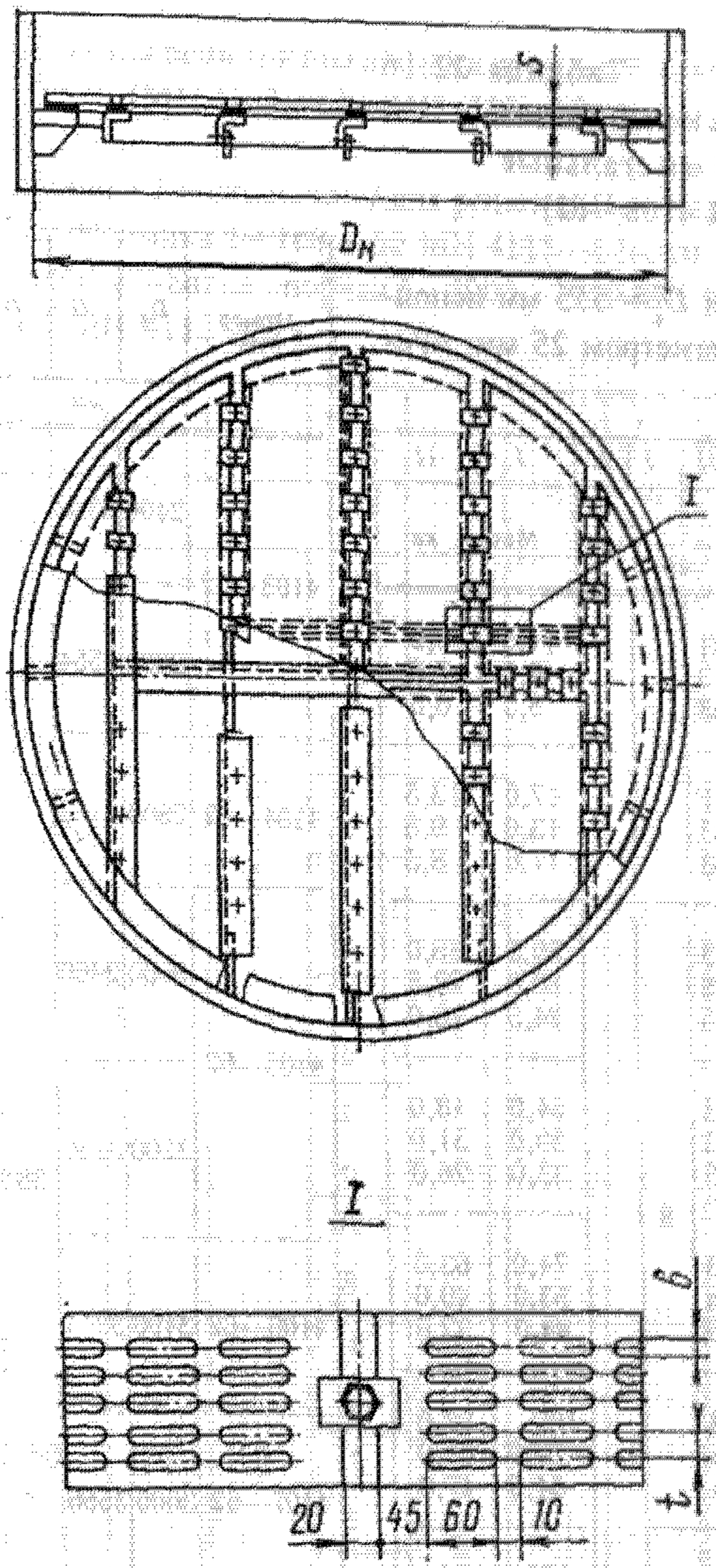


Рис. 22.16. Решетчатая тарелка типа ТР

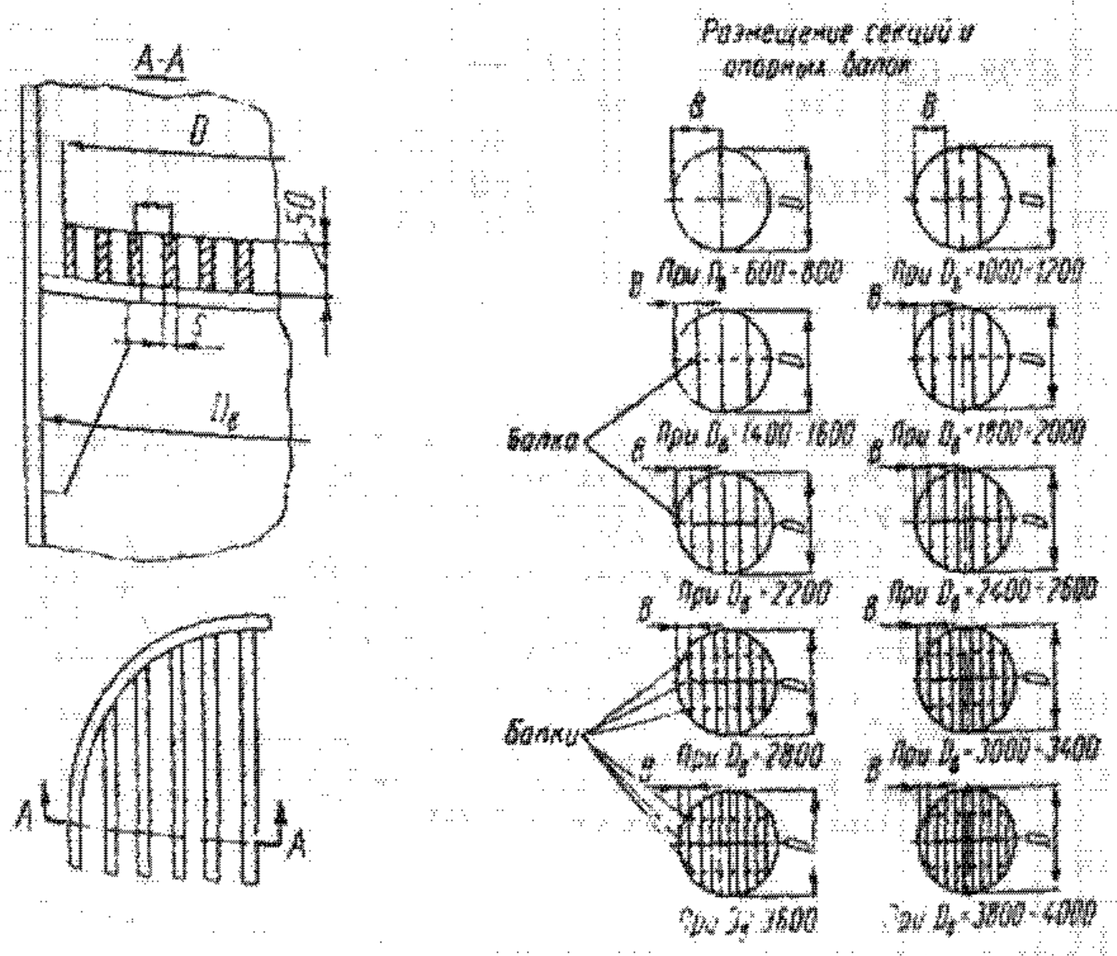


Рис. 22.17. Конструкция стальных решеток под насадку из колец Рашига диаметрами 25, 50 и 80 мм по МН 4095–62–МН 4108–62

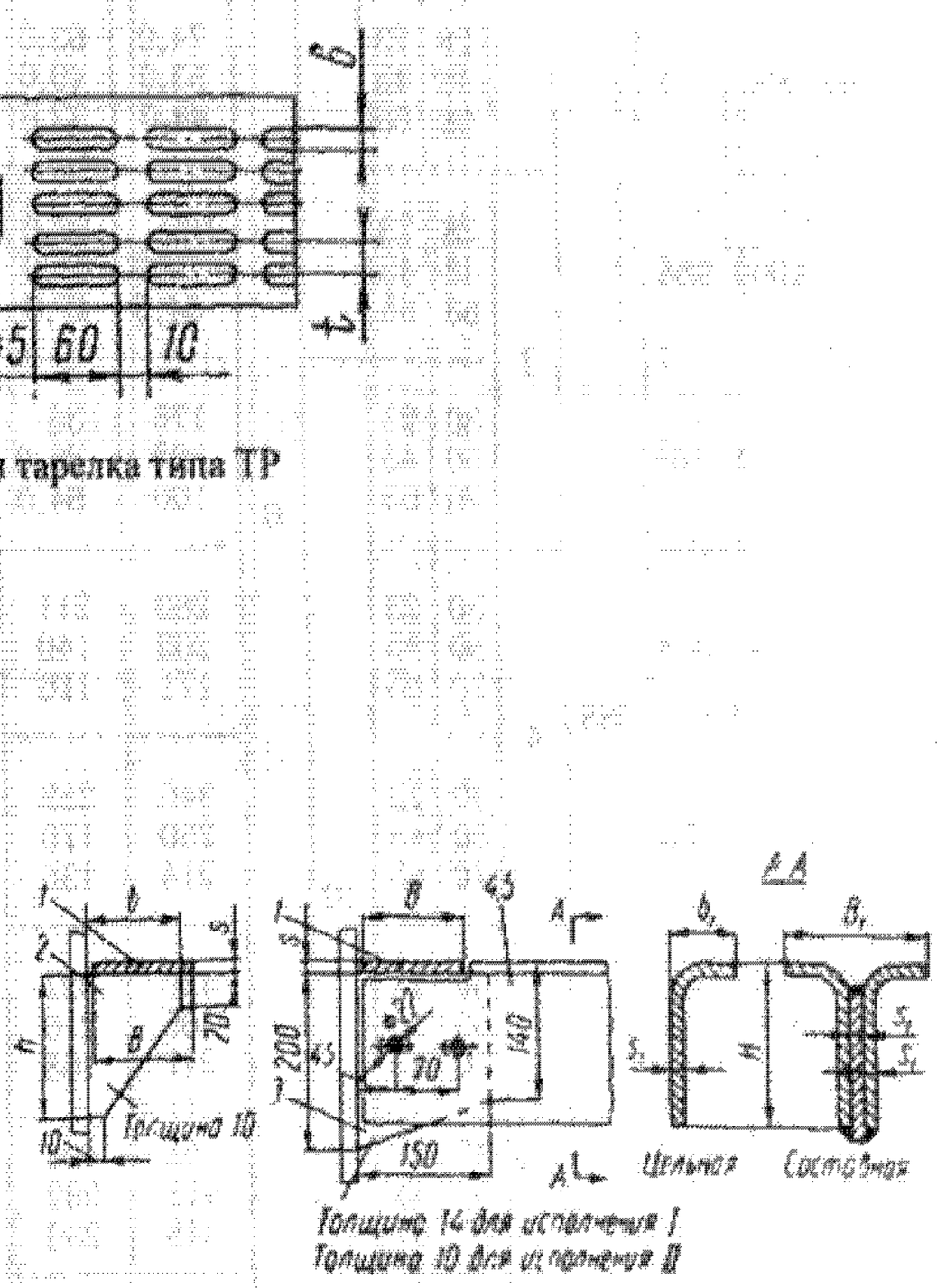


Рис. 22.18. Конструкция стальных опор для решеток под кольца Рашига по МН 4109–62–МН 4115–62

Таблица 22.16

Решетки под насадки из колец Рашига диаметрами 25, 50 и 80 *мм* стальные (МН 4095—62—МН 4108—62)

Условное обозначение решетки $D_в$ = 555 мм исполнения *I* под кольца Рашига диаметром 25 мм: «Решетка I-500-25 МН 4095—62»

Номер МН	$D_в$	D	B	z	t I	t II	s I	s II	Масса, *кг* I	Масса, *кг* II
	мм				*мм*					
4095—62	400	370	—	1	26	21	6	4	11,5	9,0
					46	43			9,5	7,0
					66	63			8,5	6,5
	500	480			26	21			17,0	13,5
					46	43			13,0	9,5
					66	63			11,0	8,5
4096—62	600	578	288	2	28	23	8	6	39,5	35,0
					48	45			30,0	22,5
					68	65			24,5	18,0
	700	682	340		28	23			54,0	48,0
					48	45			39,0	31,0
					68	65			33,0	26,0
4097—62	800	778		3	28	23			74,0	63,0
					48	45			53,0	40,0
					68	65			44,0	32,0
4098—62	1000	986			28	23			109	97,0
					48	45			79,0	61,0
					68	65			64,0	47,0
	1200	1168			30	23			176	136
					50	45			122	83,0
					70	65			100	64,0
4099—62	1400	1378	388	4	30	23	10	6	280	211
					50	45			205	140
					70	65			171	116
	1600	1558			30	23			346	252
					50	45			250	170
					70	65			214	136
4100—62	1800	1768		5	30	23			430	327
					50	45			305	210
					70	65			247	168
4101—62	2000	1956			30	23			565	426
					50	45			413	282
					70	65			348	230
4102—62	2200	2158		10	30	23			706	533
					50	45			523	351
					70	65			460	299

Продолжение табл. 22.16

Номер МН	$D_в$	D	B	z	t I	t II	s I	s II	Масса, *кг* I	Масса, *кг* II
	мм				*мм*					
4103—62	2400	2362	388	12	30	23	10	6	833	626
					50	45			611	421
					70	65			541	349
	2600	2554			30	23			956	725
					50	45			701	486
					70	65			612	397
4104—62	2800	2758		14	30	23			1348	1014
					50	45			1052	736
					70	65			959	638
4105—62	3000	2960		16	30	23			1515	1137
					50	45			1163	816
					70	65			1069	703
	3200	3156			30	23			1673	1257
					50	45			1279	890
					70	65			1152	760
4106—62	3400	3344		18	30	23			1885	1416
					50	45			1452	1001
					70	65			1276	852
4107—62	3600	3556			30	23			2119	1584
					50	45			1614	1116
					70	65			1412	947
4108—62	3800	3778		22	30	23			2275	1734
					50	45			1740	1213
					70	65			1519	1037
	4000	3958			30	23			2521	1891
					50	45			1912	1316
					70	65			1642	1117

Примечания:

1. Конструкцию решетки см. на рис. 22.17.
2. Решетки изготовляются в двух исполнениях: *I* — из углеродистой стали марки Ст.3, *II* — из нержавеющей стали марки 0Х13.
3. Решетки рассчитаны на нагрузку (при $t_c \leqslant 250°$ С) от силы тяжести слоя насадки высотой: при $D_в \leqslant 3200$ *мм* $H = 3$ *м*, при $D_в = 3400 \div 4000$ *мм* $H = 1$ *м*. Расчетная объемная масса насадки принята 670 *кг/м*³.
4. B — максимальная ширина отдельных секций составных решеток, z — число секций в решетке.
5. Опоры решеток см. в табл. 22.17 и на рис. 22.18.

Таблица 22.17

Опоры для решеток под насадки из колец Рашига (МН 4109—62—МН 4115—62)

Условное обозначение кольца опорного *1* исполнения *I* для решетки $D_в$ = 3000 мм: «Кольцо опорное I—3000 МН 4113—62»; то же косынки *2*: «Косынка I—100 х 50 МН 4115—62»; то же косынки *3*: «Косынка 1—80 МН 4114—62»; то же опорной балки *4*: «Балка опорная I—3000—2980 МН 4111—62»; то же опорной балки *5*: «Балка опорная I—3000—2560 МН 4112—62»

$D_в$, мм	Исполнение	L_1	B	b	H	h	s	z	z_1	z_2	Детали 1	Детали 2	Детали 3	Детали 4 и 5	Σ
		мм									Масса, кг				
400	I	—	50	—	—	—	8	4	—	—	3,56	1,04	—	—	4,60
	II						6				2,60				3,64
500	I						8				4,46				5,50
	II						6				3,33				4,37
600	I						8				5,40				6,96
	II						6				3,60				5,16
700	I						8				8,20				9,76
	II						6				6,30				7,86
800	I						8	6	—	—	8,96	1,56	—	—	11,5
	II						6				6,50				8,06
1000	I						8				11,4				13,0
	II						6				8,30				9,86
1200	I		60	50	170	100	10				17,0				18,6
	II						8				13,4				15,0
1400	I	—					10				19,9		5,4	29,0	55,3
	II						8				15,8		3,8	20,2	40,8
1600	I						10				22,9		5,4	30,0	62,3
	II						8				18,0		5,8	23,3	46,1
1800	I						10	4			25,8	1,04	5,4	37,0	69,2
	II						8				20,4		3,8	26,3	51,5
2000	I						10		2	1	37,6		5,4	84,0	128
	II						8				30,0		3,8	58,5	93,3
2200	I				160		12				50,4		5,4	92,8	152
	II						10				41,4		3,8	65,4	114
2400	I						12				55,4		5,4	109	173
	II				170		10				45,3		3,8	76,3	129
2600	I		80				12				59,9		5,4	127	195
	II						10				49,2	3,12	3,8	92,0	148
2800	I	2460					12	12			64,6		16,2	385	469
	II						10				53,1		11,4	277	345
3000	I	2560			190		12		6	3	62,4		16,2	409	491
	II						10				57,0		11,4	294	366
3200	I	2750					14				74,1		16,2	438	531
	II						10				60,9		11,4	313	388
3400	I	2925	100	80		120	14				114	5,76	16,2	461	597
	II						12				96,6		11,4	326	440

Продолжение табл. 22.17

$D_в$, мм	Исполнение	L_1	B	b	H	h	s	z	z_1	z_2	Детали 1	2	3	4 и 5	Σ
		мм									Масса, кг				
3600	I	3235	100	80	190	120	14	12	6	3	121	5,76	16,2	506	649
	II						12				102		11,4	358	477
3800	I	3210					14				128		16,2	526	676
	II						12				108		11,4	372	497
4000	I	3445					14				135		16,2	557	714
	II						12				114		11,4	394	525

Примечания.

1. Конструкцию опор см. на рис. 22.18.

2. Опоры изготавливаются в двух исполнениях: *I* — из углеродистой стали марки Ст.3 и *II* — из нержавеющей стали марки 08Х18Н10Т.

3. Длина центральных опорных балок $L = D_в - 20$ мм (L_1 — длина центральных опорных балок); ширина составных балок B_1 — для исполнения *I* — $B_1 = 102$ мм, для исполнения *II* — $B_1 = 90$ мм; ширина цельных балок b_1 — для исполнения *I* — $b_1 = 44$ мм, для исполнения *II* — $b_1 = 40$ мм; толщина листа балок s_1 — для исполнения *I* $s_1 = 14$ мм, для исполнения *II* $s_1 = 10$ мм.

4. z — количество косынок 2, z_1 — количество косынок 3, z_2 — количество балок, Σ — суммарная масса опор.

5. В комплект опоры для одной решетки в зависимости от $D_в$ входят: опорное кольцо — 1, опорные косынки 2 и 3, опорные балки — одна центральная — 4 и две боковые — 5.

6. Опорное кольцо 1 — по МН 4113—62; косынки 2— по МН 4115—62; косынки 3 — по МН 4114—62; опорная центральная балка 4 — цельная — по МН 4109—62, составная — по МН 4110—62 и 4111—62; опорная боковая балка 5 — по МН 4112–62.

7. Размещение опорных балок см. на рис. 22.17.

22.2. Тарелка с двумя зонами контакта фаз

Тарелки с двумя зонами контакта фаз колонных аппаратов диаметром от 1000 до 4000 мм предназначены для проведения процессов ректификации, дистилляции и абсорбции при остаточном (свыше 0,02 МПа), атмосферном и избыточном (до 4,0 МПа) давлениях с нагрузками по жидкости от 2 до 120 м³/ч.

Областью применения является химическая, нефтехимическая, пищевая и другие отрасли промышленности при разделении жидких смесей, не выделяющих осадка в ходе процесса переработки.

В соответствии с ОСТ 26-1078—85 тарелки по использованию подразделяются на три группы:

исполнение 1 — с секциями ситчатыми;

исполнение 2 — с секциями ситчато-клапанными;

исполнение 3 — с секциями клапанными.

В зависимости от нагрузок по жидкости для всех исполнений тарелок стандарт устанавливает 4 модели тарелок по переливным устройствам:

модель 01 — с диаметром переливного устройства 300 мм, одношелевым;

модель 02 — с диаметром переливного устройства 300 мм, двухщелевым;

модель 03 — с диаметром переливного устройства 400 мм, одношелевым;

модель 04 — с диаметром переливного устройства 400 мм, двухщелевым.

Технологический расчет данных тарелок регламентирован РД 26-01-79—85 «Аппараты колонные с тарелками с двумя зонами контакта фаз. Метод технологического расчета».

Стандарт устанавливает следующие расстояния между тарелками: 600, 700, 800, 900 и 1000 мм.

В табл. 22.18 — 22.21 приведены технические характеристики тарелок различного исполнения.

На рис. 22.19 — 22.28 приведены конструкции тарелок различного исполнения.

Таблица 22.18

Технические характеристики тарелок исполнения 1 (размеры в мм)

Диаметр колонны D	Свободное сечение колонны, $м^2$	Модели тарелок по переливному устройству																			
		01, 02										03, 04									
		Относительное свободное сечение тарелок, %, при:																			
		диаметре отверстия сита, d																			
		5				8						5				8					
		шаге между отверстиями сита, t																			
		11	12	13	15	18	16	17	18	20	22	25	11	12	13	15	18	16	17	18	20	22	25
1000	0,78	8,6	7,2	6,2	4,6	3,2	10,4	9,2	8,3	6,7	5,5	4,3	7,6	6,4	5,4	4,1	2,8	8,2	7,7	6,4	5,9	4,8	3,3
1200	1,13	10,6	8,0	7,6	5,7	4,0	12,7	11,4	10,1	8,2	6,8	5,2	10,0	8,3	7,1	5,3	3,7	10,8	9,6	8,9	7,1	5,8	4,5
1400	1,54	11,9	10,0	8,6	6,4	4,5	14,4	12,8	11,4	9,2	7,6	5,9	11,4	9,6	8,2	6,1	4,3	13,0	11,5	10,4	8,5	6,8	5,4
1600	2,01	9,4	7,9	6,7	5,0	3,5	11,3	10,0	9,0	7,3	6,0	4,6	8,1	6,9	5,9	4,4	3,1	8,6	7,7	6,9	5,6	4,6	3,7
1800	2,54	10,8	9,1	7,7	5,8	3,7	13,0	11,6	10,3	8,4	7,1	5,3	9,8	8,2	7,0	5,3	3,7	11,0	9,8	8,7	7,1	6,0	4,6
2000	3,14	10,6	8,9	7,6	5,7	4,0	12,9	11,4	10,2	8,2	6,8	5,2	9,6	8,1	6,9	5,2	3,6	10,7	9,4	8,4	6,9	5,7	4,4
2200	3,80	11,7	9,8	8,4	6,3	4,4	14,1	12,5	11,2	9,1	7,5	5,8	10,8	9,1	7,8	5,9	4,1	12,1	10,8	9,8	7,9	6,5	5,0
2400	4,52	11,6	9,7	8,3	6,2	4,3	14,0	12,4	11,1	9,0	7,4	5,7	10,7	9,0	7,7	5,8	4,0	11,4	10,0	9,0	7,4	6,1	4,7
2600	5,31	12,3	10,4	8,9	6,6	4,6	14,9	13,2	11,8	9,6	7,9	6,1	11,6	9,7	8,3	6,2	4,3	12,7	11,2	10,1	8,2	6,8	5,2
2800	6,16	11,7	9,9	8,4	6,3	4,4	14,2	12,6	11,2	9,1	7,5	5,8	10,8	9,1	7,8	5,8	4,1	13,1	11,6	10,4	8,4	6,9	5,3
3000	7,07	11,2	9,5	8,1	6,1	4,2	13,6	12,1	10,8	8,7	7,2	5,6	10,4	8,8	7,5	5,6	3,9	12,0	11,0	10,0	8,1	6,7	5,1
3200	8,04	12,1	10,2	8,7	6,5	4,5	14,6	12,9	11,6	9,4	7,8	6,0	11,4	9,6	8,1	6,1	4,3	13,8	12,0	10,9	8,8	7,2	5,6
3400	9,05	11,6	9,8	8,3	6,2	4,4	14,1	12,5	11,1	9,0	7,5	5,8	10,9	9,1	7,8	5,8	4,1	13,0	11,4	10,4	8,4	7,0	5,4
3600	10,18	12,2	10,2	8,7	6,6	4,6	14,7	13,1	11,7	9,4	7,8	6,1	11,4	9,6	8,2	6,2	4,3	13,5	12,1	10,6	8,9	7,4	5,7
3800	11,33	11,6	9,8	8,4	6,3	4,4	14,2	12,5	11,2	9,1	7,6	5,9	10,8	9,2	7,8	5,8	4,2	13,0	11,6	10,4	8,4	7,1	5,4
4000	12,56	12,2	10,3	8,8	6,6	4,7	14,8	13,1	11,8	9,5	7,9	6,2	11,5	9,7	8,3	6,3	4,4	13,6	12,2	10,8	8,9	7,5	5,6

Таблица 22.19

Технические характеристики тарелок исполнения 2 (размеры в мм)

Диаметр колонны D	Свободное сечение колонны, $м^2$	Модели тарелок по переливному устройству																					
		01, 02										03, 04											
		Относительное свободное сечение сита/клапанов, %, при:																					
		диаметре отверстия сита, d																					
		5					8					5					8						
		шаге между отверстиями сита, t																					
		11	12	13	15	18	16	17	18	20	22	25	11	12	13	15	18	16	17	18	20	22	25
		шаге между клапанами, t_1=75																					
1000	0,78	4,5	3,9	3,0	2,5	1,5	4,9	3,8	3,5	3,2	2,4	2,0	3,9	3,4	2,7	2,1	1,2	4,2	3,4	3,1	2,8	2,0	1,7
		6,0											4,9										
1200	1,13	5,4	4,5	3,6	2,8	2,0	6,8	5,6	5,1	4,7	3,5	2,7	5,0	4,2	3,3	2,5	1,7	6,3	5,2	4,9	4,4	3,2	2,5
		6,8											6,4										
1400	1,54	6,1	5,1	4,1	3,0	2,2	7,9	6,1	5,7	5,1	3,8	3,2	5,8	4,8	3,9	2,9	2,1	7,2	5,8	5,4	4,9	3,7	3,0
		7,9											7,3										
1600	2,01	4,9	4,1	3,3	2,4	1,7	5,8	4,6	4,3	3,8	3,1	2,5	4,2	3,4	2,8	2,2	1,5	5,0	4,0	3,7	3,3	2,6	2,2
		6,4											5,5										
1800	2,54	5,9	4,8	3,9	2,9	2,0	6,9	5,4	5,0	4,5	3,4	2,9	5,4	4,4	3,5	2,6	1,8	6,3	4,9	4,6	4,0	3,2	2,7
		7,5											6,8										
2000	3,14	6,0	4,9	4,0	2,9	2,1	7,0	5,6	5,1	4,6	3,4	3,0	5,4	4,5	3,5	2,6	1,9	6,3	5,1	4,6	4,2	3,1	2,7
		6,9											6,0										
2200	3,80	6,8	5,5	4,4	3,4	2,3	7,9	6,3	5,8	5,1	3,9	3,3	6,3	5,1	4,1	3,2	2,1	7,3	5,9	5,4	4,7	3,6	3,0
		7,2											6,5										
2400	4,52	6,4	5,3	4,3	3,2	2,2	7,6	6,2	5,6	5,0	3,9	3,3	5,9	4,9	3,9	2,9	2,0	7,0	5,8	5,2	4,6	3,4	3,0
		7,0											6,2										
2600	5,31	6,7	5,5	4,7	3,3	2,3	7,8	6,2	5,8	5,2	3,9	3,4	6,2	5,1	4,2	3,1	2,2	7,3	5,8	5,4	4,8	3,6	3,1
		8,2											7,7										
2800	6,16	5,6	4,5	3,6	2,8	1,9	6,5	5,1	4,8	4,3	3,2	2,8	5,0	4,0	3,3	2,4	1,7	5,8	4,6	4,3	3,9	2,9	2,5
		7,3											6,6										
3000	7,07	6,4	5,2	4,3	3,2	2,2	7,5	6,0	5,5	4,9	3,6	3,2	6,0	4,9	4,0	3,0	2,0	6,9	5,5	5,2	4,6	3,4	3,0
		7,5											7,1										
3200	8,04	6,4	5,4	4,4	3,2	2,3	7,6	6,1	5,6	5,1	3,7	3,2	6,1	5,0	4,0	3,1	2,1	7,0	5,6	5,4	4,7	3,5	3,1
		7,9											7,6										
3400	9,06	6,3	5,2	4,1	3,1	2,2	7,4	5,8	5,5	4,9	3,7	3,1	5,8	4,8	3,9	2,9	2,1	6,8	5,3	5,3	4,6	3,3	2,9
		7,4											6,9										
3600	10,18	6,6	5,4	4,4	3,3	2,3	7,6	6,0	5,7	5,1	3,7	3,3	5,2	5,0	4,0	3,0	2,2	7,2	5,7	5,3	4,8	3,6	3,1
		8,2											7,9										
3800	11,33	6,5	5,4	4,3	3,2	2,2	7,8	6,2	5,8	5,2	3,8	3,3	6,2	5,1	4,1	3,1	2,1	7,2	5,8	5,4	4,8	3,5	3,1
		7,8											7,5										
4000	12,56	6,6	5,5	4,4	3,4	2,4	7,9	6,3	5,9	5,3	3,9	3,4	6,4	5,2	4,2	3,2	2,2	7,3	5,8	5,5	4,9	3,6	3,2
		8,3											7,9										

Продолжение табл. 22.19

Диаметр колонны D	Свободное сечение колонны, $м^3$	Модели тарелок по переливному устройству																					
		01, 02										03, 04											
		Относительное свободное сечение сита/клапанов, %, при:																					
		диаметре отверстия сита, d																					
		5					8					5					8						
		шаге между отверстиями сита, t																					
		11	12	13	15	18	16	17	18	20	22	25	11	12	13	15	18	16	17	18	20	22	25
		шаге между клапанами, t_1=90																					
1000	0,78	4,7	3,6	3,2	2,5	1,7	5,6	5,3	4,8	3,7	3,1	2,5	4,0	3,1	2,7	2,1	1,5	4,8	4,5	4,1	3,3	2,6	2,1
		4,9											4,3										
1200	1,13	6,1	5,0	4,2	3,4	2,3	7,3	6,9	6,1	4,7	4,2	3,3	5,8	4,8	3,9	3,2	2,1	6,8	6,5	5,4	4,6	4,0	3,0
		5,3											4,9										
1400	1,54	6,9	5,8	4,8	4,0	2,6	8,3	7,8	6,4	5,3	4,9	3,6	6,6	5,5	4,7	3,8	2,5	7,9	7,4	6,1	5,2	4,5	3,6
		5,5											5,3										
1600	2,01	6,0	4,9	3,9	3,1	2,1	6,6	6,2	5,4	4,5	3,7	3,0	5,2	4,1	3,5	2,6	1,8	5,6	5,3	4,4	3,7	3,4	2,6
		4,2											3,7										
1800	2,54	6,0	5,3	4,5	3,5	2,4	7,7	7,2	6,8	5,2	4,5	3,4	5,7	4,8	4,0	3,2	2,2	6,9	6,5	6,2	4,7	4,2	3,1
		4,6											4,0										
2000	3,14	6,5	5,2	4,3	3,5	2,4	7,6	7,1	6,0	4,9	4,3	3,4	5,7	4,8	3,9	3,1	2,1	6,8	6,7	5,4	4,4	3,8	3,0
		4,9											4,5										
2200	3,80	7,3	6,0	5,0	4,0	2,8	8,6	8,0	6,8	5,5	5,0	3,8	6,7	5,4	4,6	3,6	2,6	7,9	7,3	6,3	5,0	4,2	3,5
		4,8											4,2										
2400	4,52	6,6	5,5	4,5	3,5	2,4	7,8	7,3	6,2	4,9	4,3	3,4	6,0	5,2	4,5	3,5	2,4	7,0	6,5	5,5	4,6	4,0	3,1
		4,4											4,1										
2600	5,31	7,4	6,0	5,0	4,0	2,7	8,7	8,1	7,0	5,6	5,1	3,9	6,9	5,7	4,7	3,9	2,6	8,1	7,6	6,6	5,5	4,6	3,7
		4,9											4,7										
2800	6,16	6,5	5,3	4,4	3,4	2,4	7,5	7,1	6,1	5,0	4,4	3,4	5,8	4,7	4,0	3,1	2,0	6,8	6,4	5,5	4,4	4,0	3,1
		4,2											4,1										
3000	7,07	7,0	5,7	5,0	3,9	2,7	8,5	8,0	6,7	5,4	4,6	3,7	6,8	5,5	4,6	3,7	2,5	7,6	7,1	6,1	5,1	4,7	3,6
		4,6											4,5										
3200	8,04	7,3	5,8	5,0	4,0	2,9	8,6	8,2	6,9	5,8	5,2	3,9	6,8	5,5	4,6	3,8	2,5	8,0	7,5	6,4	5,3	4,7	3,6
		4,8											4,6										
3400	9,06	7,2	5,7	5,0	3,9	2,6	8,4	7,9	6,7	5,6	4,9	3,8	6,6	5,3	4,5	3,6	2,5	7,8	7,4	6,6	5,2	4,5	3,4
		4,8											4,4										
3600	10,18	7,5	6,1	5,1	4,1	2,8	8,8	8,3	7,1	5,7	5,1	4,0	7,0	5,6	4,8	3,7	2,6	8,2	7,8	6,6	5,4	4,8	3,7
		4,9											4,5										
3800	11,33	7,7	6,3	5,2	4,1	2,8	8,0	8,5	7,2	5,9	5,2	4,0	7,1	5,8	4,9	4,0	2,7	8,5	7,9	6,8	5,6	4,9	3,8
		4,7											4,3										
4000	12,56	7,8	6,4	5,2	4,1	2,9	9,0	8,6	7,3	6,0	5,2	4,0	7,2	5,9	4,9	4,1	2,7	8,5	8,0	6,6	5,4	4,9	3,8
		4,9											4,4										

Примечание: относительное свободное сечение тарелки равно сумме относительных свободных сечений сита и клапанов.

Таблица 22.20

Основные конструктивные размеры тарелок исполнения 1, 2 и 3 (размеры в мм)

D	D_1	D_2	$H_т$	L	a	a_1	a_2	a_3	b	b_1	b_2	Модели тарелок по переливному устройству			
												01	02	03	04
												Неперфорированная зона секции			
												L	L_1	L	L_2
1000	920	935													
1200	1120	1135													
1400	1320	1335													
1600	1520	1535			350				250	400					
1800	1720	1735			200	400									
2000	1920	1935			500										
2200	2120	2135			600										
2400	2320	2335	600, 700, 800, 900, 1000	1700	550				500			350	390	450	490
2600	2520	2535		1900	650					1000					
2800	2720	2735													
3000	2920	2935		1200	850										
3200	3120	3135			900										
3400	3320	3335		1300		1200			800						
3600	3520	3535		1500	1000	1250			900						
3800	3720	3735		1400	250	450	950	1400	500		1500				
4000	3920	3935						1450							

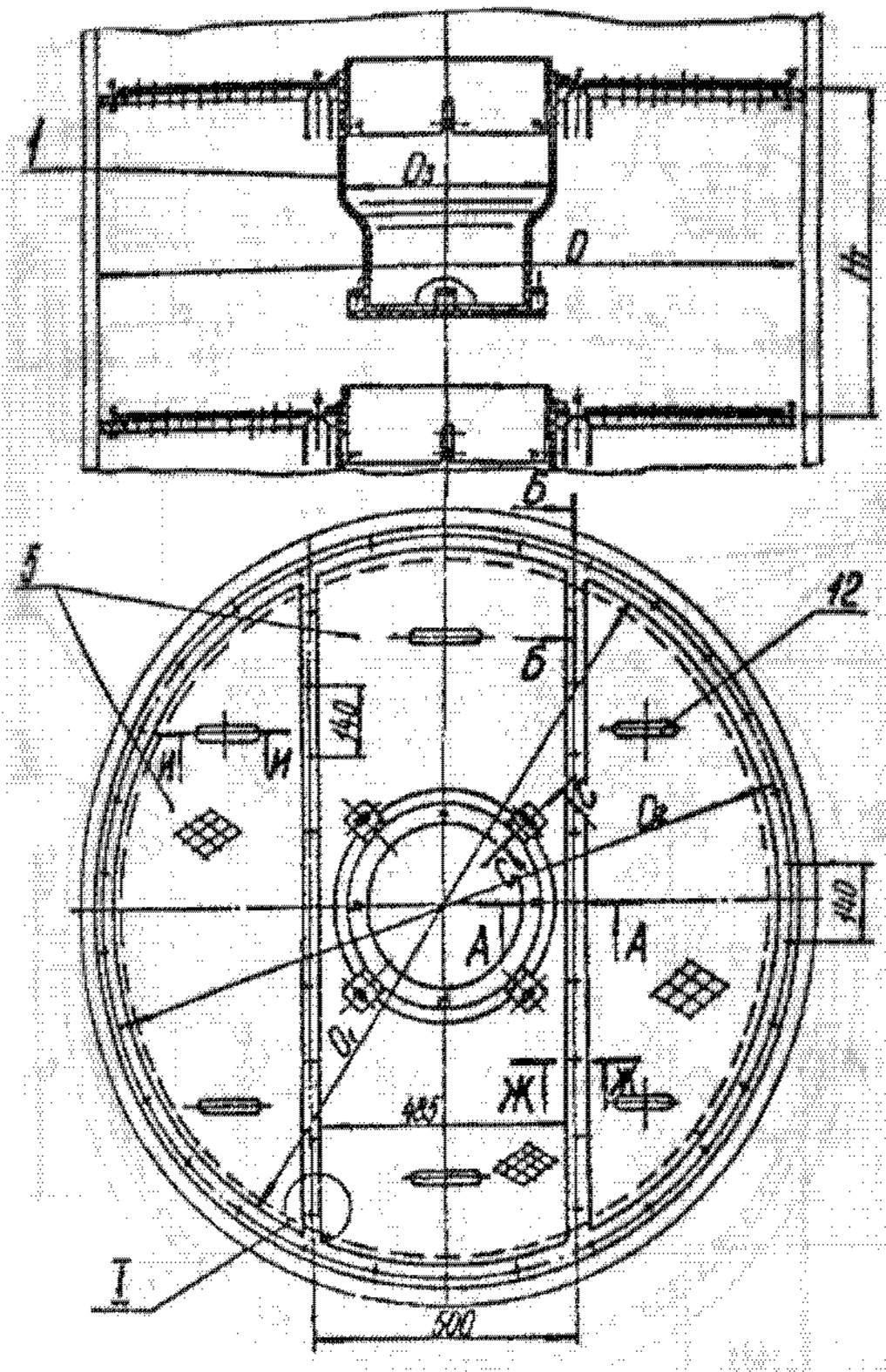


Рис. 22.19. Конструкция тарелок диаметром 1000, 1200 и 1400 мм

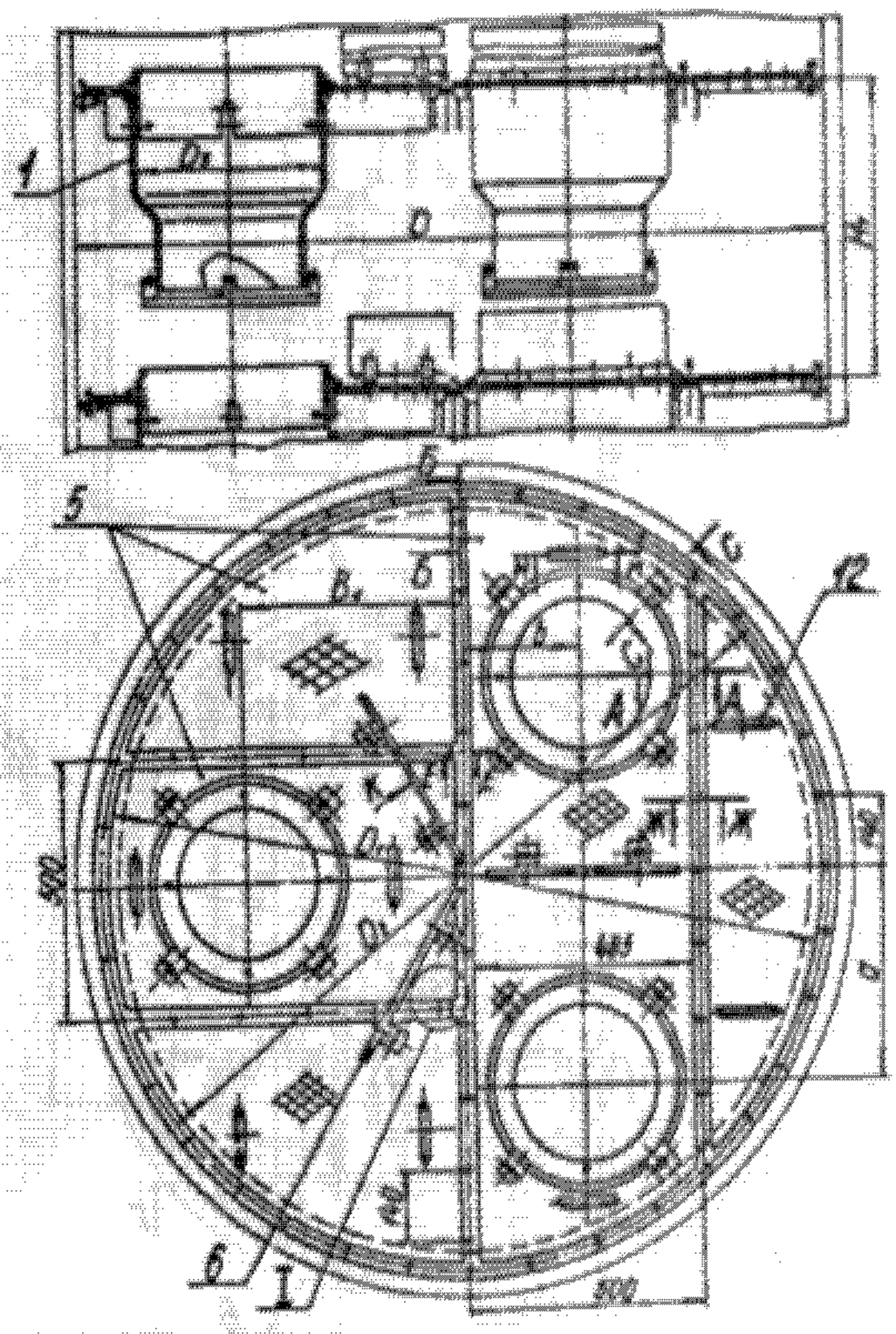


Рис. 22.20. Конструкция тарелки диаметром 1600 мм

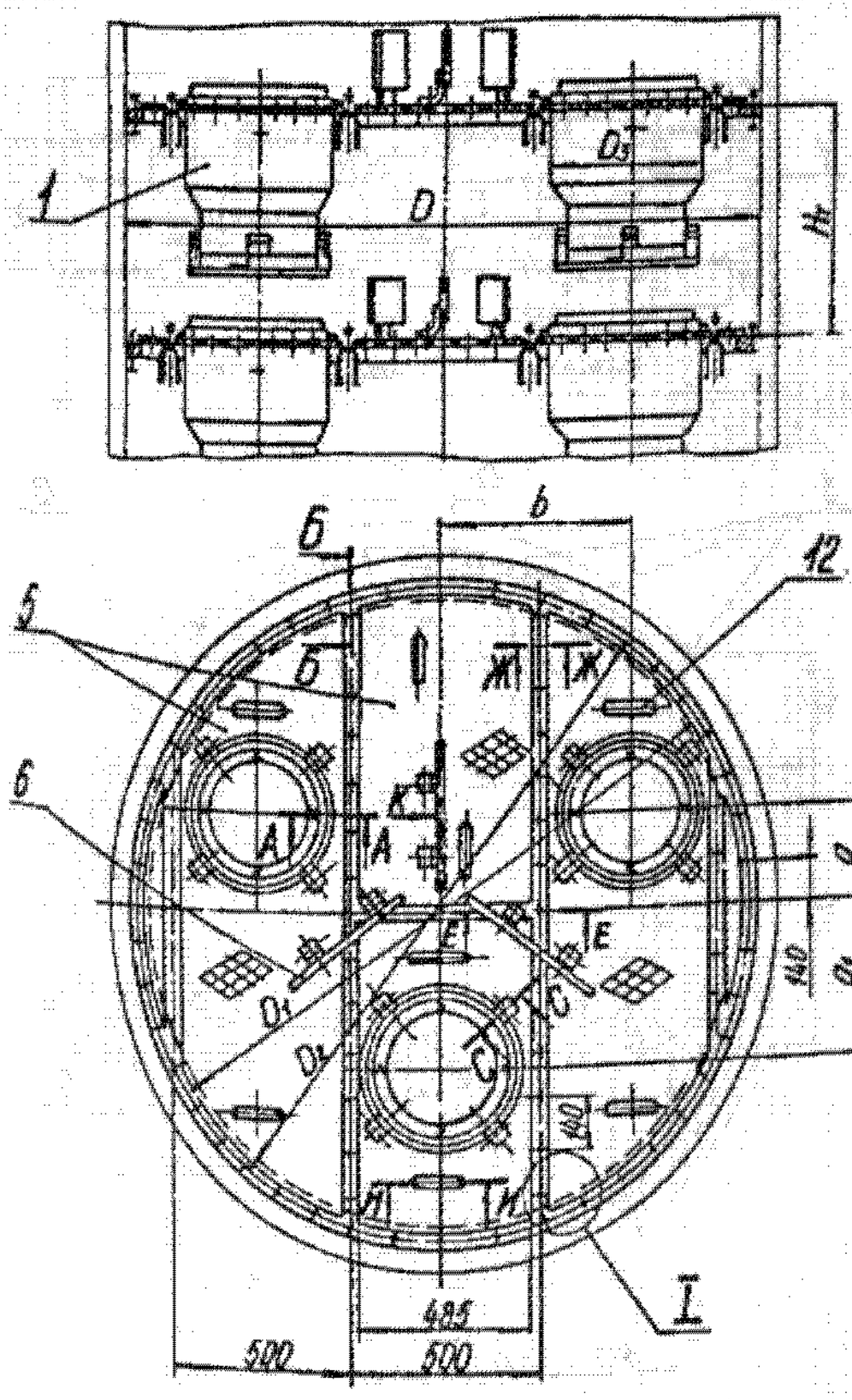


Рис. 22.21. Конструкция тарелки диаметром 1800 мм

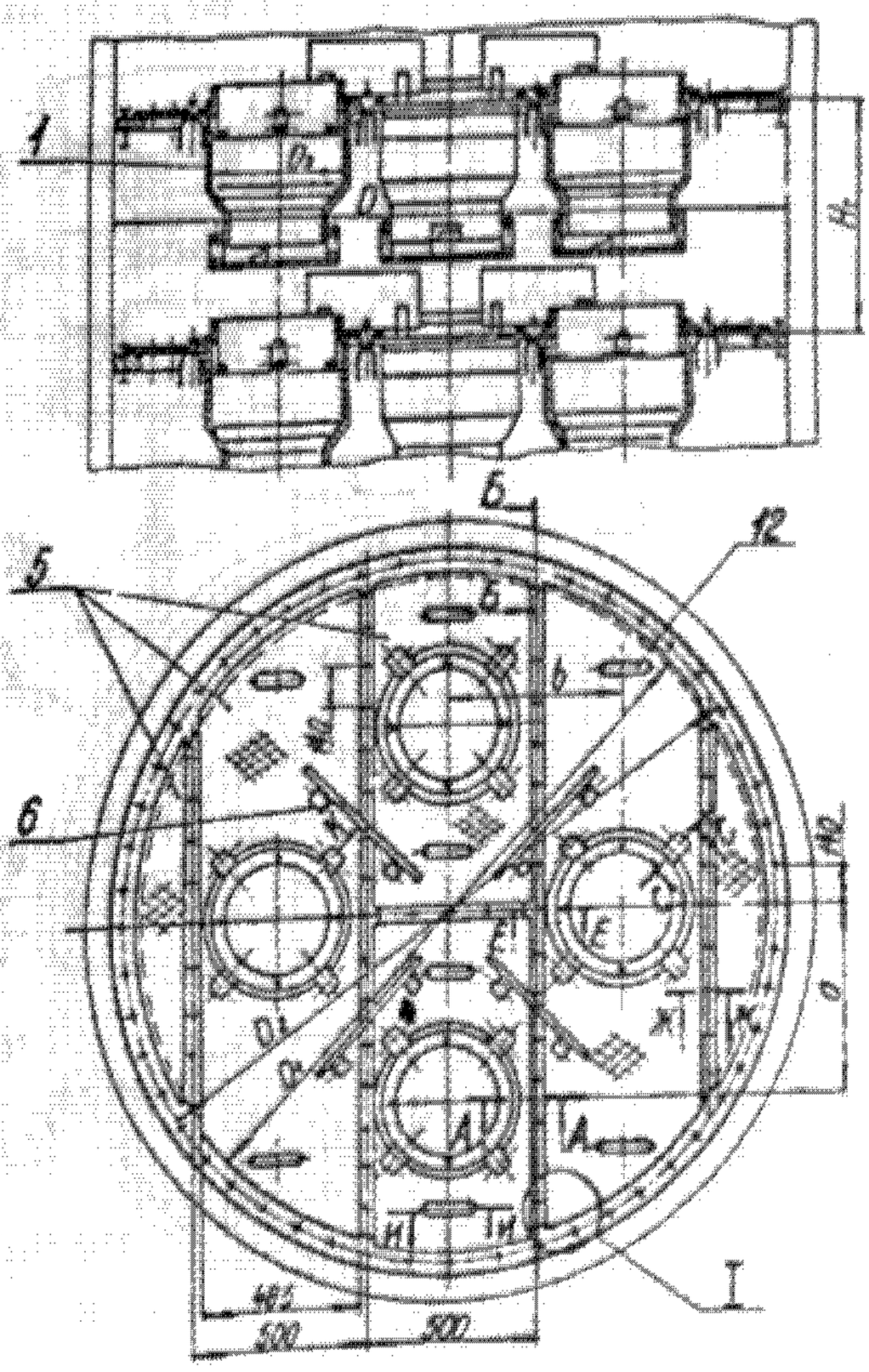


Рис. 22.22. Конструкция тарелок диаметром 2000 и 2200 мм

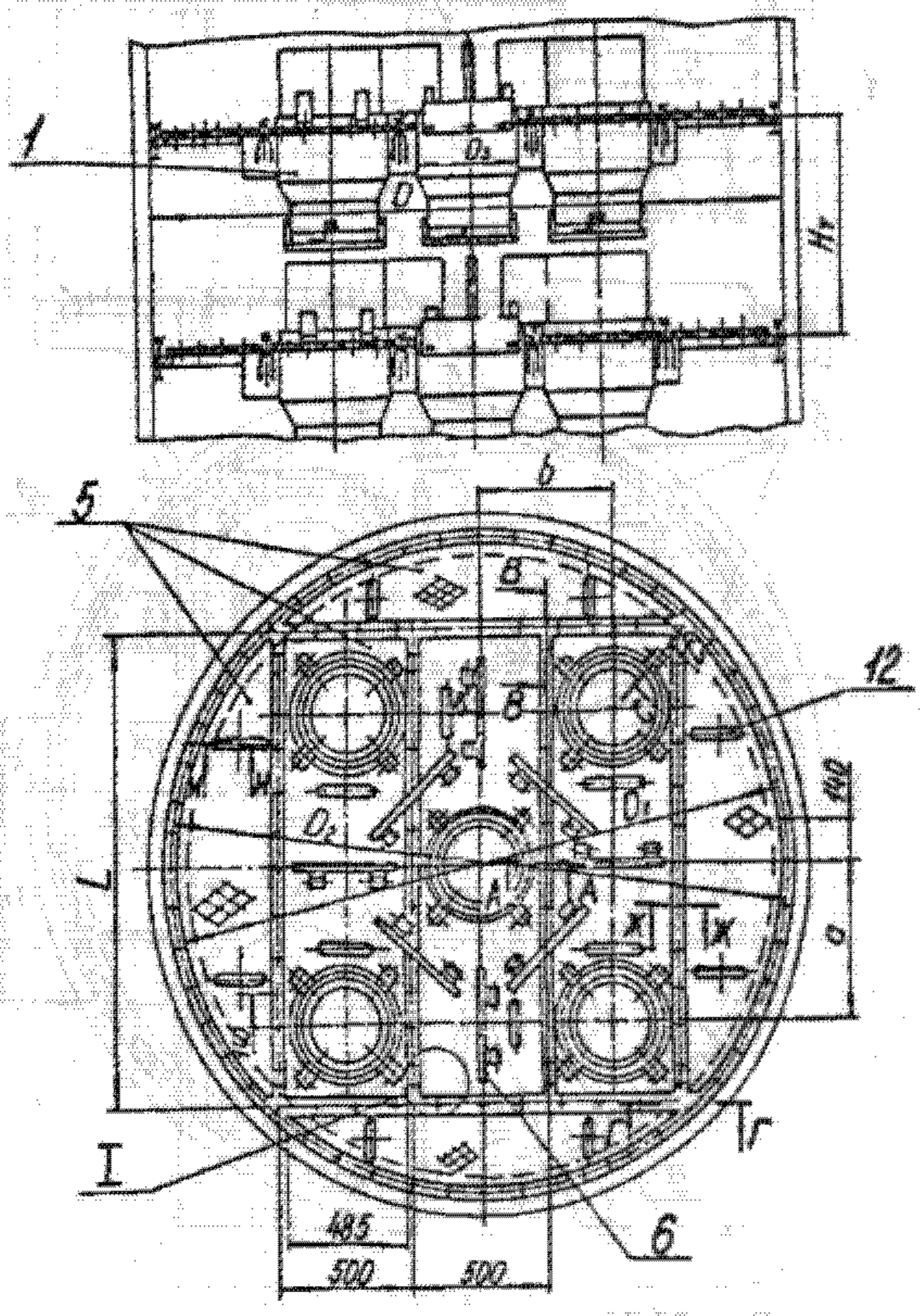


Рис. 22.23. Конструкция тарелок диаметром 2400 и 2600 мм

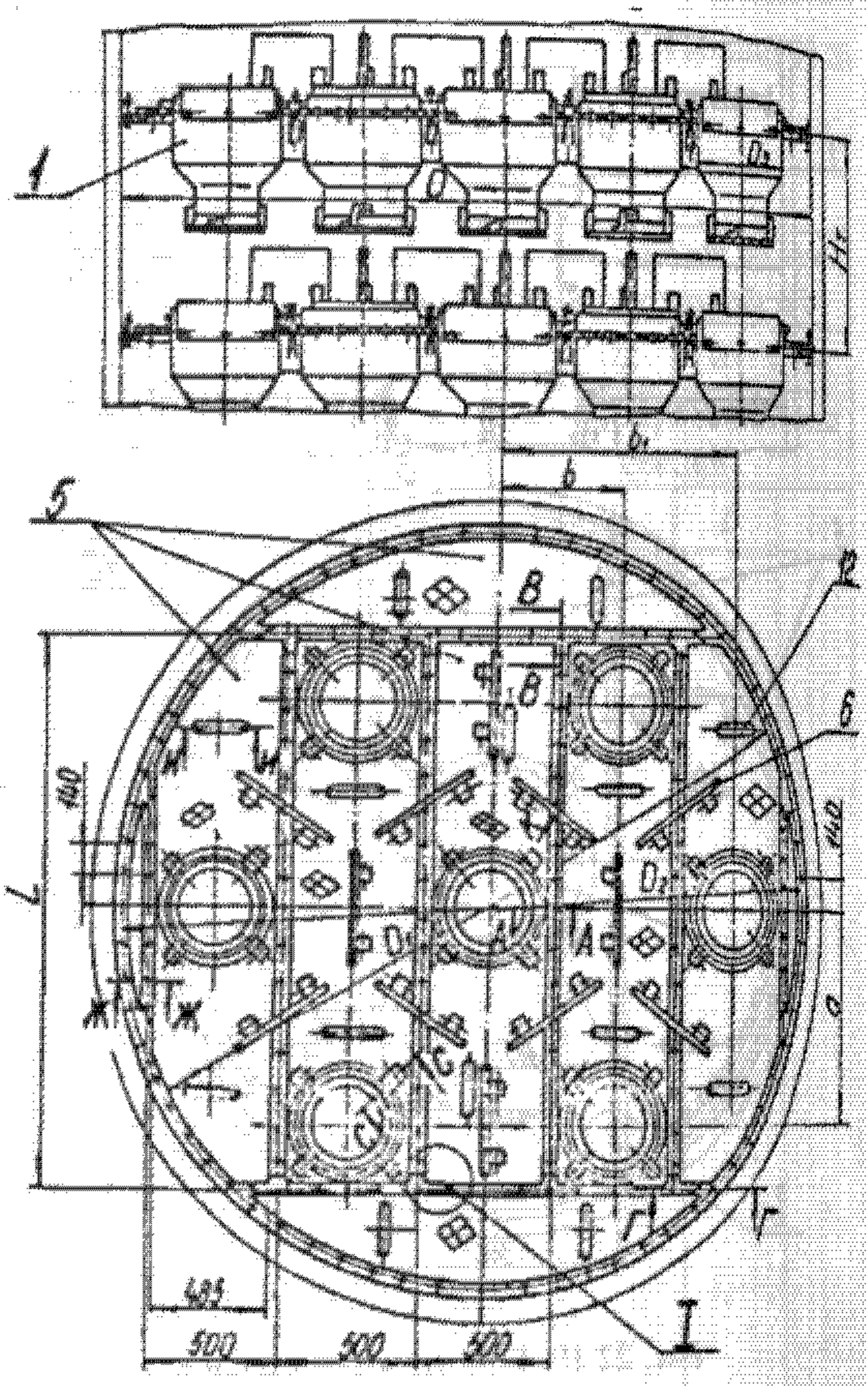
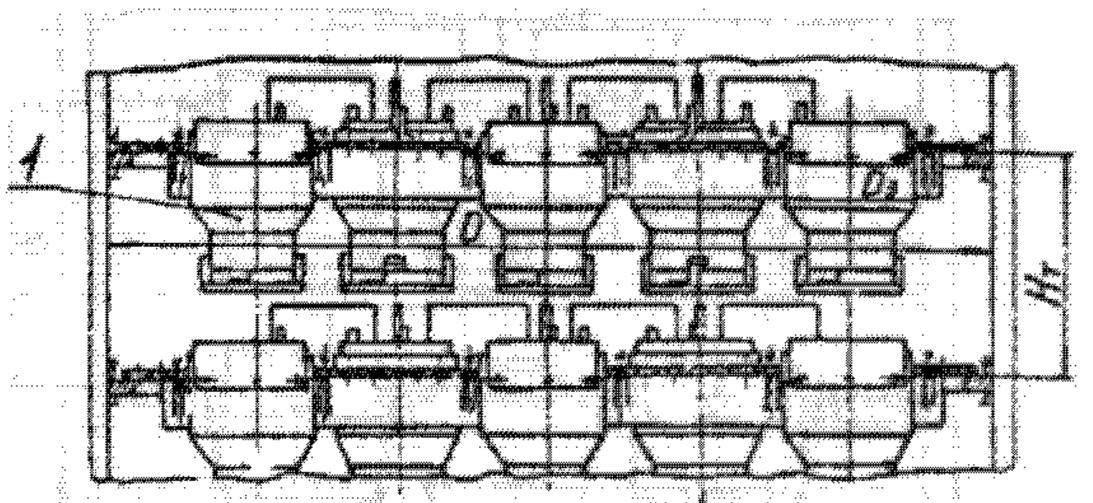


Рис. 22.24. Конструкция тарелки диаметром 2800 мм



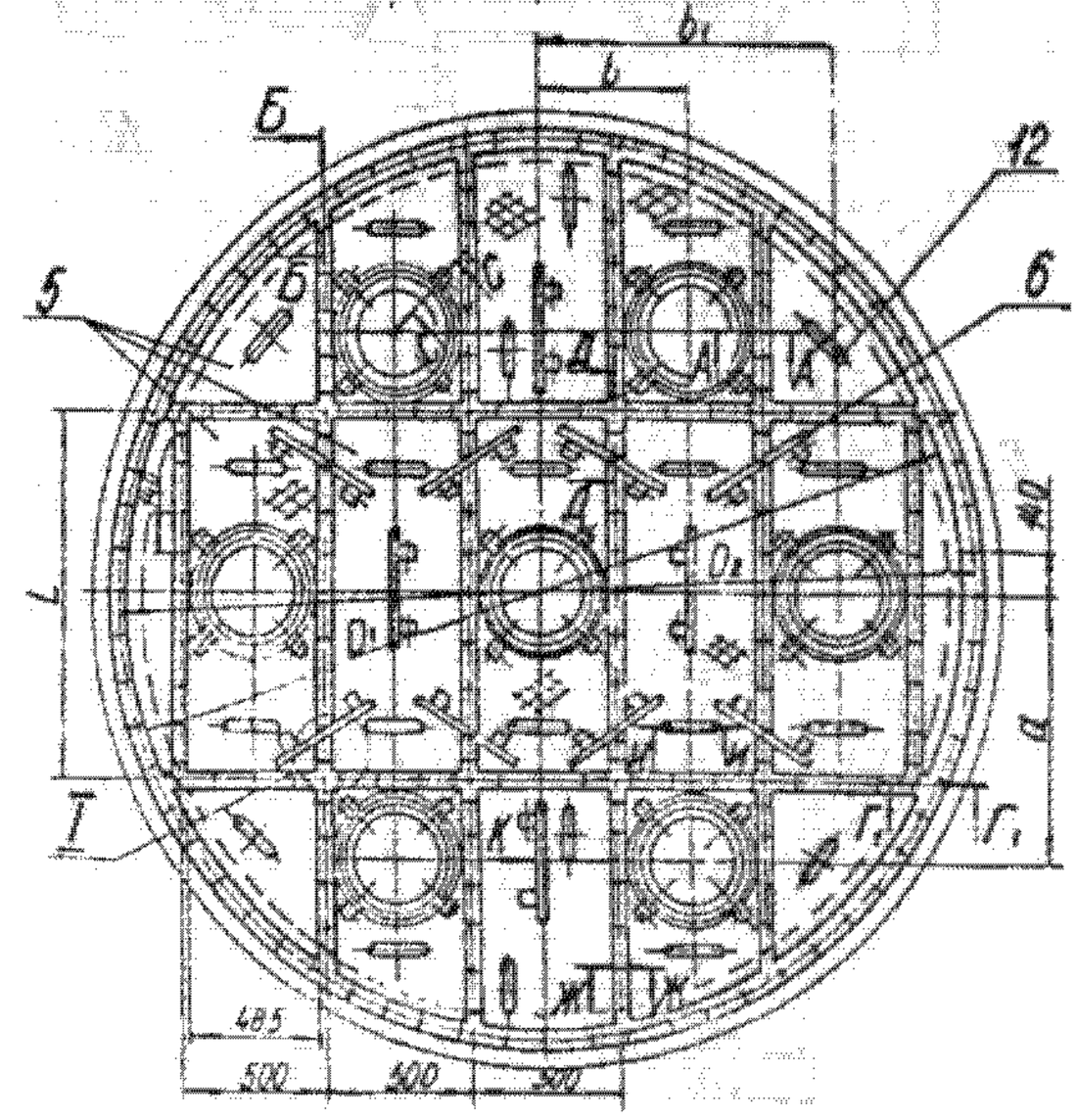
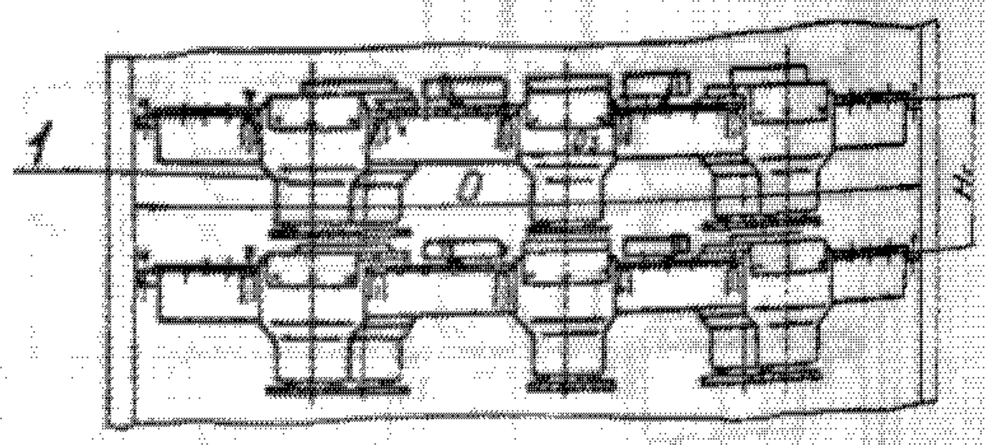


Рис. 22.25. Конструкция тарелок диаметром 3000 и 3200 мм



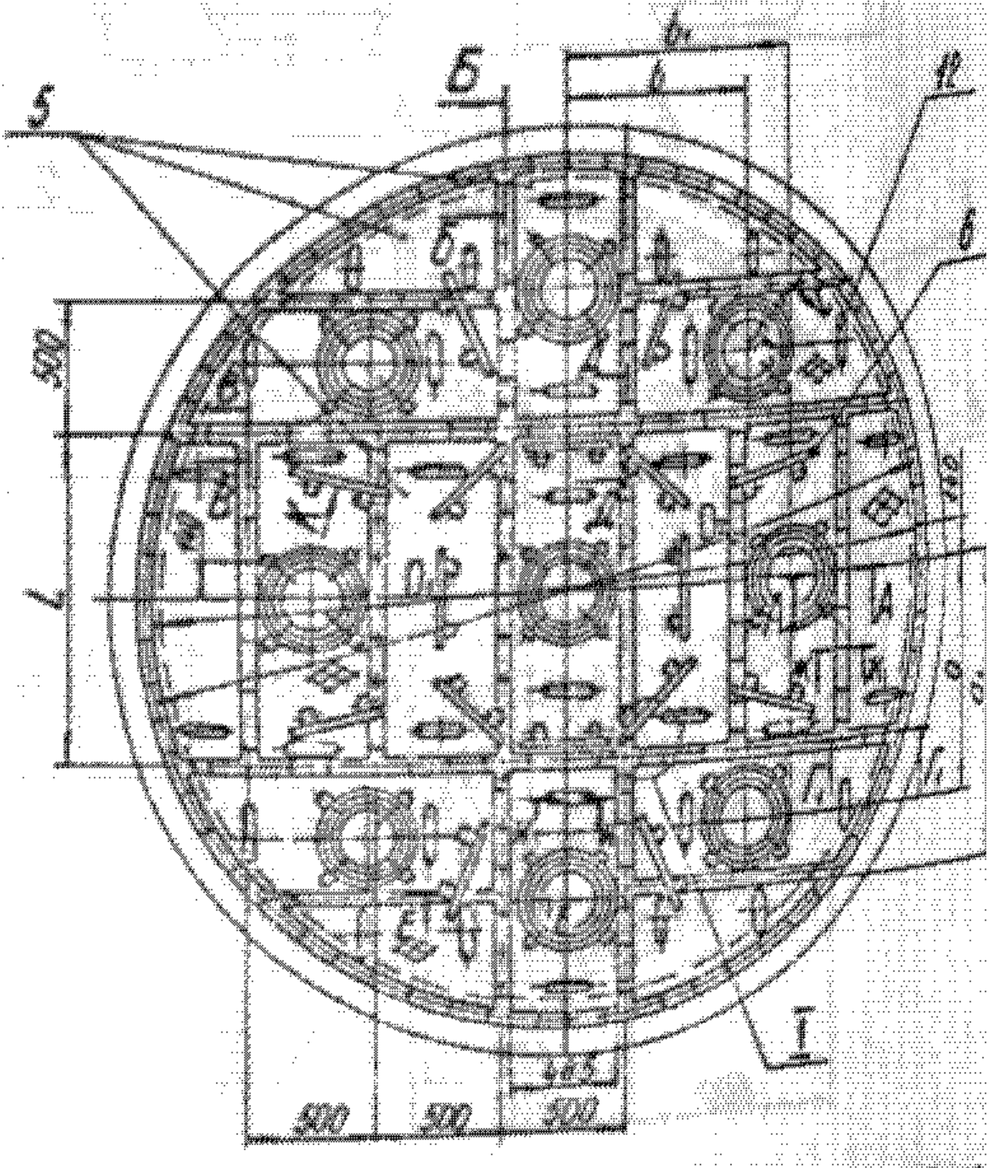


Рис. 22.26. Конструкция тарелок диаметром 3400 и 3600 мм

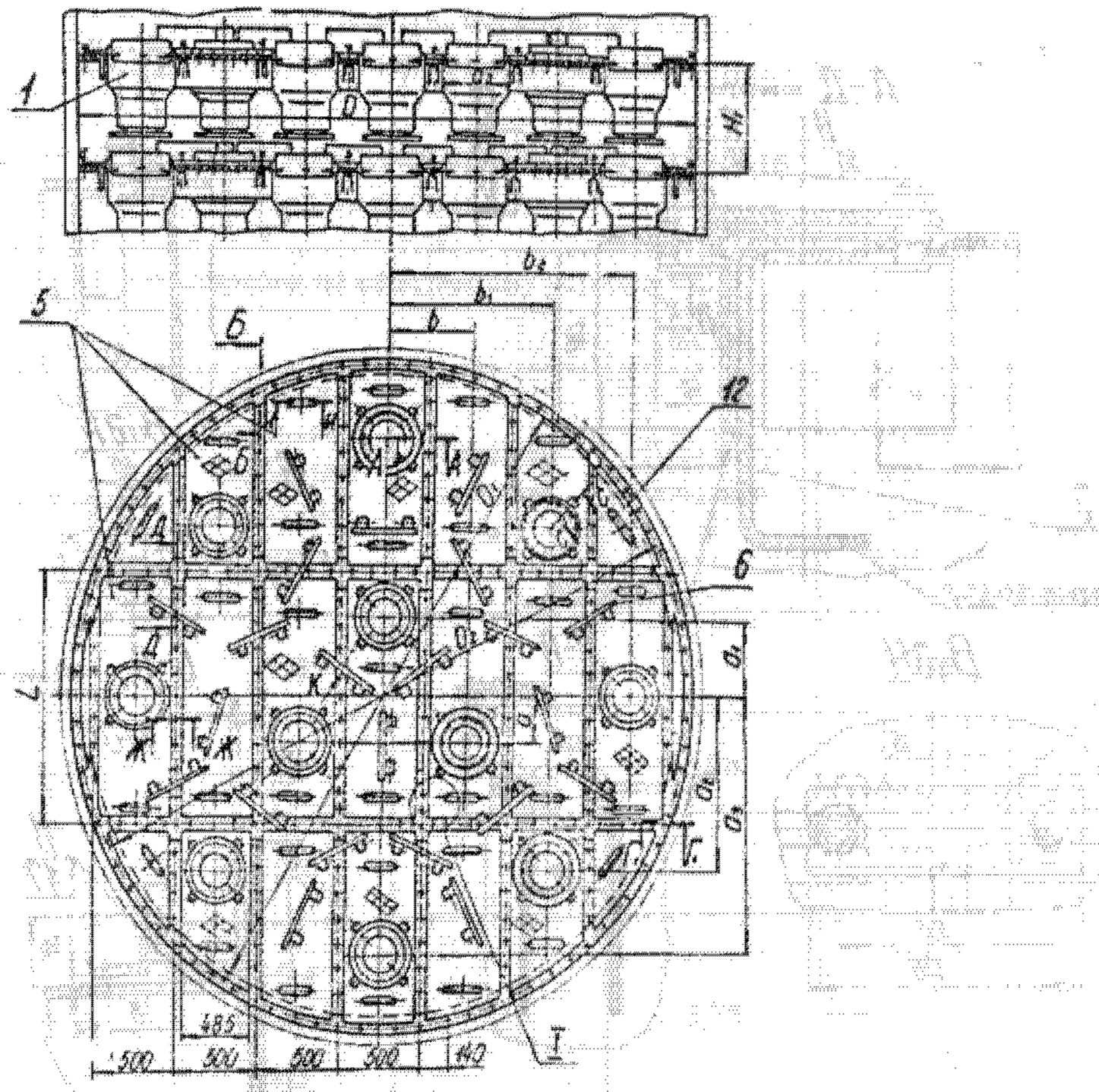


Рис. 22.27. Конструкция тарелки диаметром 3800 и 4000 мм

Позиции, указанные на рис. 22.19—22.28:

1 - устройство параливное; 2 - кольцо опорное; 3 - балка; 4 - балка П - образная; 5 - секция тарелки; 6 - перегородка секционирующая; 7 - скоба; 8 - скоба; 9 - скоба; 10 - клапан; 11 - скоба крепежная; 12 - ручка; 13 - болт специальный; 14 - шайба специальная; 15 - шайба специальная; 16 - клин (полоса 12х1); 17 - клин (полоса 10х1); 18- гайка М12 по ГОСТ 5916—70.

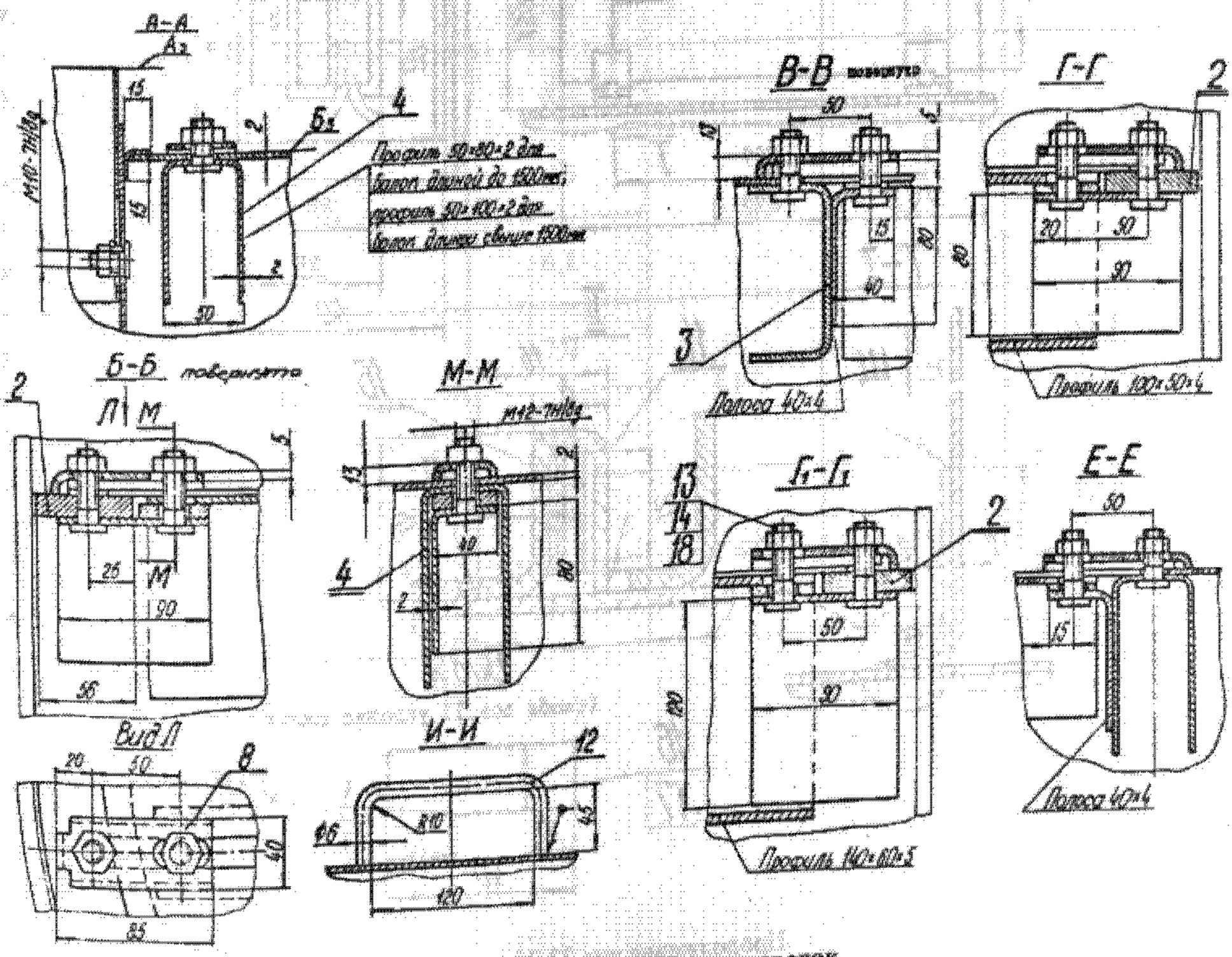
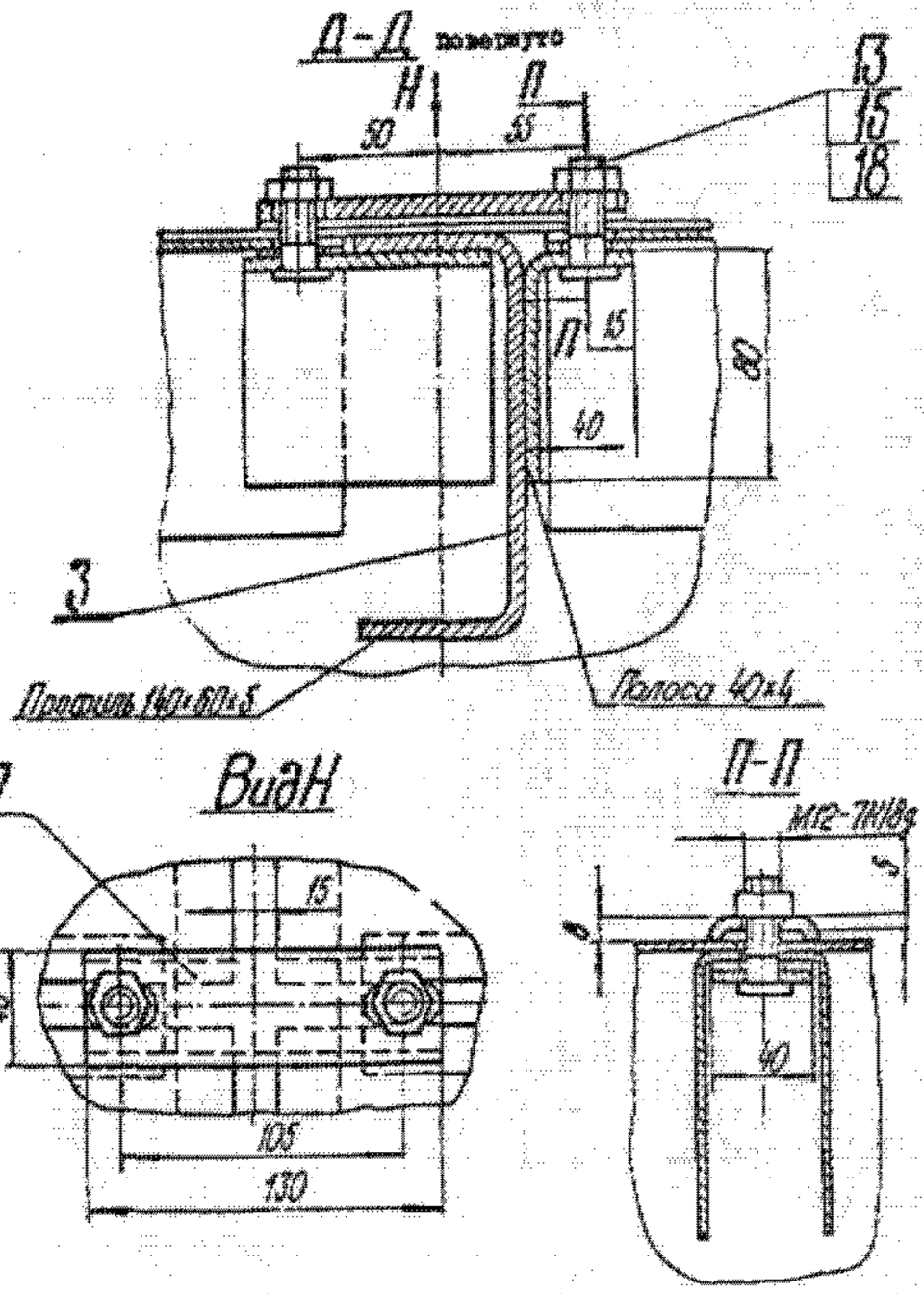
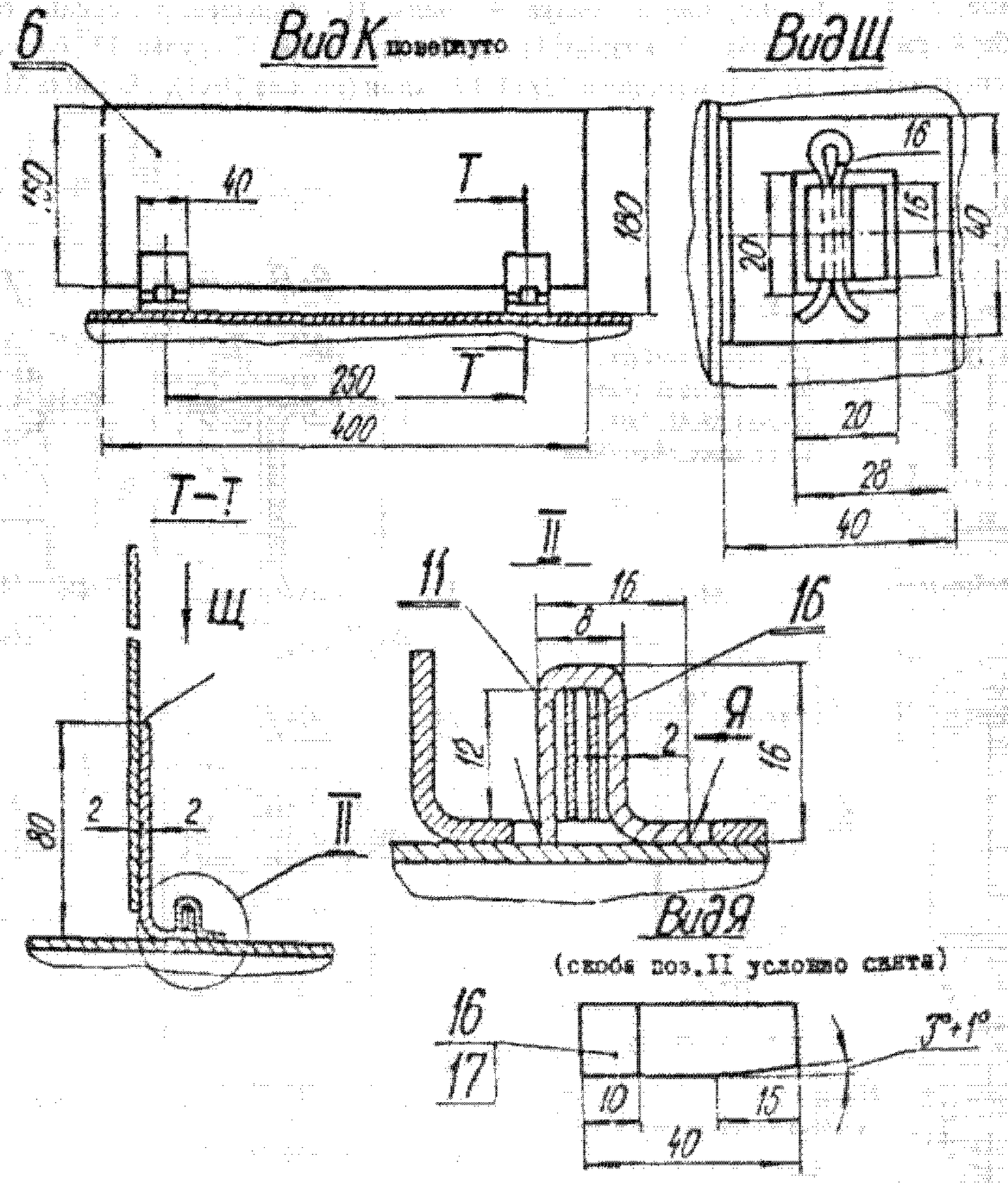


Рис. 22.28. Основные узлы тарелок





Продолжение рис.22.28

Технические характеристики и конструктивные размеры переливных устройств тарелок с двумя зонами контакта фаз приведены в табл. 22.21 – 22.22. Конструкции переливных устройств приведены на рис. 22.29 – 22.30.

Таблица 22.21

Технические характеристики переливных устройств (размеры в мм)

Диамер колонны, D	Модели тарелок по переливному устройству						Количество переливных устройств на тарелке, шт.
	01, 02			03, 04			
	Площадь перелива, $м^2$	Периметр перелива, м	Относительное свободное сечение перелива, %	Площадь перелива, $м^2$	Периметр перелива, м	Относительное свободное сечение перелива, %	
1000			9,0			16,0	1
1200	0,07	0,94	6,2	0,13	1,26	11,1	
1400			4,6			8,1	
1600	0,21	2,82	10,4	0,39	3,75	18,7	3
1800			8,3			14,8	
2000	0,28	3,76	8,9	0,52	5,00	15,9	4
2200			7,4			13,2	
2400	0,35	4,70	7,8	0,65	6,25	13,8	5
2600			6,6			11,8	
2800			8,0			14,2	7
3000	0,49	6,58	6,9	0,91	6,75	12,4	
3200			6,1			10,9	
3400			7,0	1,17	11,25	12,4	
3600	0,63	8,46	6,2			11,1	9
3800	0,77	10,34	6,8	1,43	13,75	12,1	11
4000			6,1			10,9	

Таблица 22.22

Конструктивные размеры переливных устройств (размеры в мм)

Нагрузка по жидкости, $м^3/м^2 \cdot ч$	Модели	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	$H_т$	H_1	Высота сливного порога, $h_{сл}$	Высота щели h_1	Высота щели h_2	$П_1$	$П_2$	$П_3$	Масса, кг
От 2 до 30	01	300	200	250	230				600	415	От 15 до 60	От 2* до 12 (четные)		3	4		8,4
									700	515							9,9
									800	615							11,4
									900	715							12,9
									1000	815							14,4
	02			100	150				600	340						3	8,2
									700	440							9,7
									800	540							11,2
									900	640							12,7
									1000	740							14,2
20—120	03	400	300	350	330				600	415	15—60	2*—12 (четные)		4	6		11,8
									700	515							13,8
									800	615							15,8
									900	715							17,8
									1000	815							19,8
	04			200	250			230	600	340						4	13,5
									700	440							15,5
									800	540							17,5
									900	640							19,5
									1000	740							21,5

* Высоту щелей h_1 и h_2, равную 2 мм, применять для чистых неполимеризующихся жидкостей.

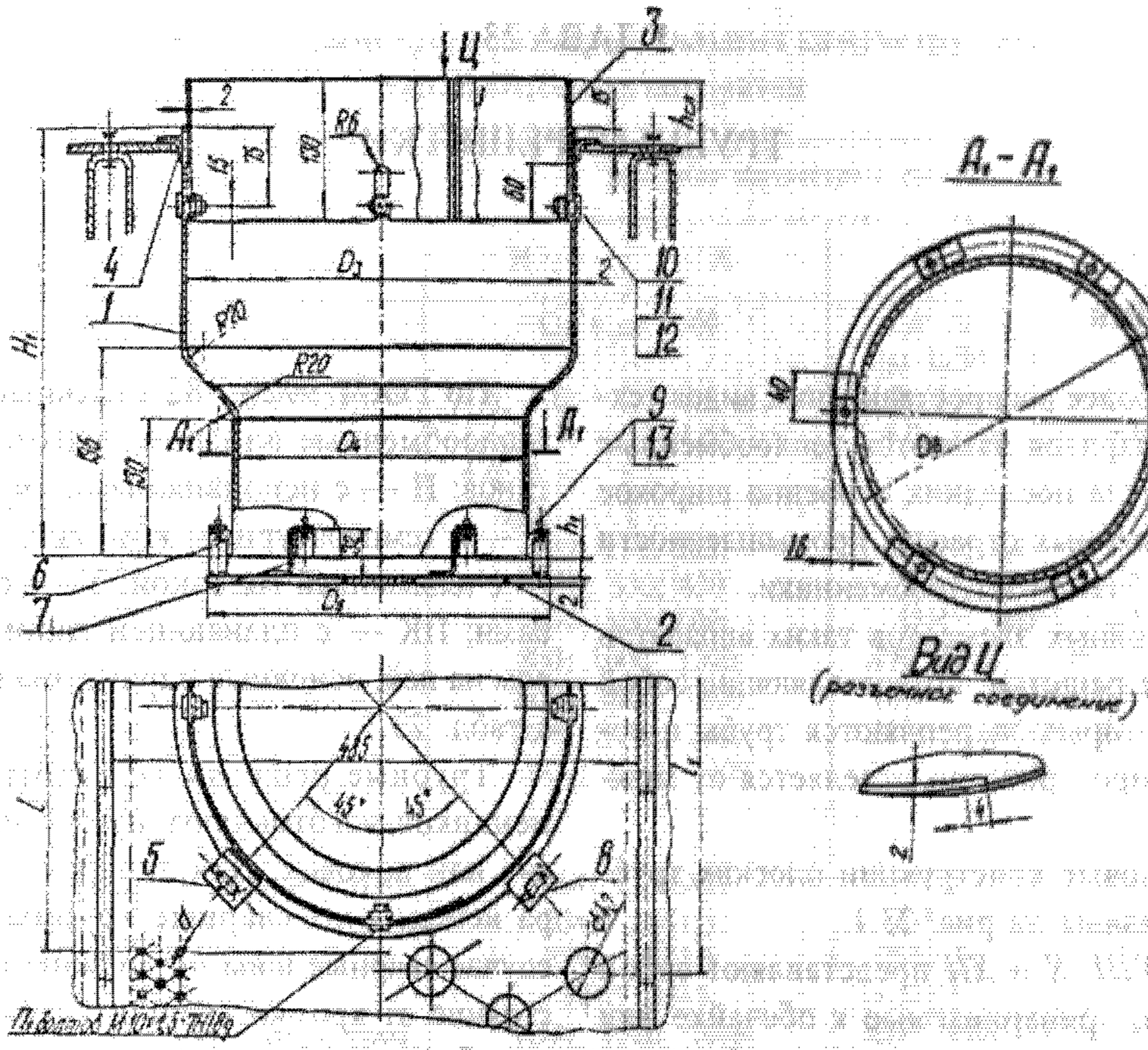


Рис. 22.29. Конструкция переливного устройства тарелок моделей 01 и 03:

1 - корпус; 2 - диск; 3 - кольцо регулировочное; 4 - кольцо опорное; 5 - кронштейн; 6 - кронштейн; 7 - скоба; 8 - платик; 9 - шайба регулировочная; 10 - болт специальный; 11 - гайка по ГОСТ 5916—70; 12 - шайба по ГОСТ 11371—78; 13 - шплинт (проволока ∅ 1,5 мм)

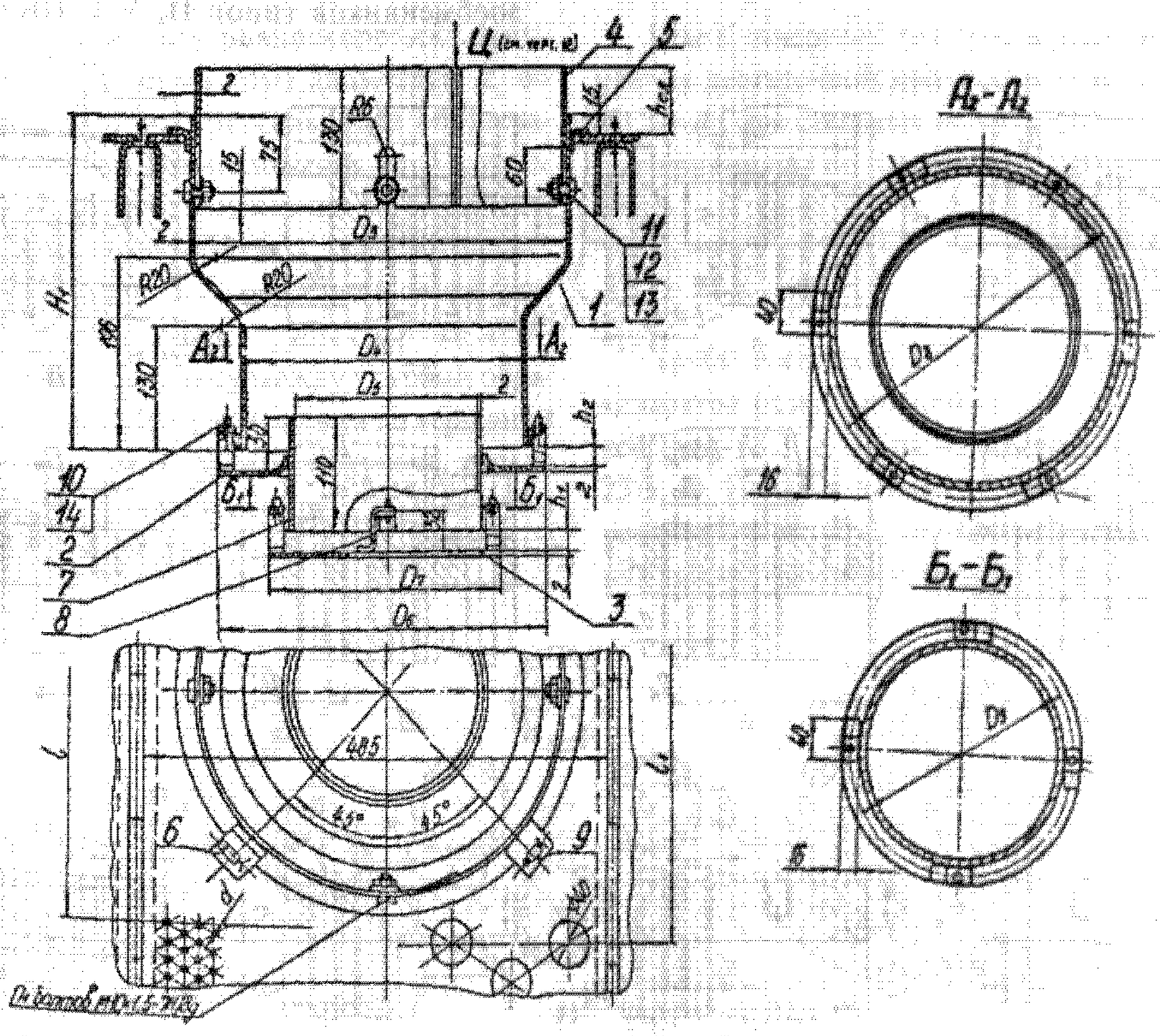


Рис. 22.30. Конструкция переливного устройства тарелок моделей 02 и 04:

1 - корпус; 2 - вставка; 3 - диск; 4 - кольцо регулировочное; 5 - кольцо опорное; 6 - кронштейн; 7 - кронштейн; 8 - скоба; 9 - платик; 10 - шайба регулировочная; 11 - болт специальный; 12 - гайка по ГОСТ 5916—70; 13 - шайба по ГОСТ 11371—78; 14 - шплинт (проволока ∅ 1,5 мм)

ГЛАВА 23

ТРУБНЫЕ РЕШЕТКИ

23.1. Конструкции

Одним из наиболее распространенных видов технологических аппаратов являются теплообменные аппараты, а из числа последних особенно широкое применение в различных отраслях промышленности имеют кожухотрубчатые теплообменники.

Одним из основных элементов таких аппаратов являются трубные решетки, представляющие собой перегородки, в которых закрепляются трубы и которыми трубное пространство отделяется от межтрубного.

Основные типовые конструкции плоских трубных решеток показаны на рис. 23.1.

Типы *I—III*, *VIII*, *X* и *XII* представляют собой трубные решетки, привариваемые к обечайке или днищу; типы *V* и *VI* — присоединяемые к обечайке с помощью пайки (только для аппаратов из меди и латуни); типы *IV—VI* предусматривают присоединение к трубным решеткам крышек, а типы *VII—XI* — отъемное соединение трубных решеток с корпусом или крышкой.

По ГОСТ 9929—82 стальные кожухотрубчатые теплообменные аппараты изготовляют следующих типов: Н — с неподвижными трубными решетками; К — с температурным компенсатором на кожухе; П — с плавающей головкой; У — с U-образными трубами; ПК — с плавающей головкой и компенсатором на ней, основные параметры которых приведены в табл. 23.1.

Трубные решетки кожухотрубчатых теплообменников изготовляют из цельных стальных листов или поковок. Для аппаратов большого диаметра используют сварные трубные решетки. В этом случае сварные швы не должны пересекаться, а расстояние от кромки сварного шва до отверстий должно быть не менее 0,8 диаметра отверстия.

Схема расположения труб в трубных решетках и шаг отверстий для труб регламентируются ГОСТ 9929—82. Для теплообменников типов Н и К трубы размещают в трубных решетках по вершинам равносторонних треугольников (рис. 23.2, *а*), а для теплообменников типов П, У и ПК — по вершинам

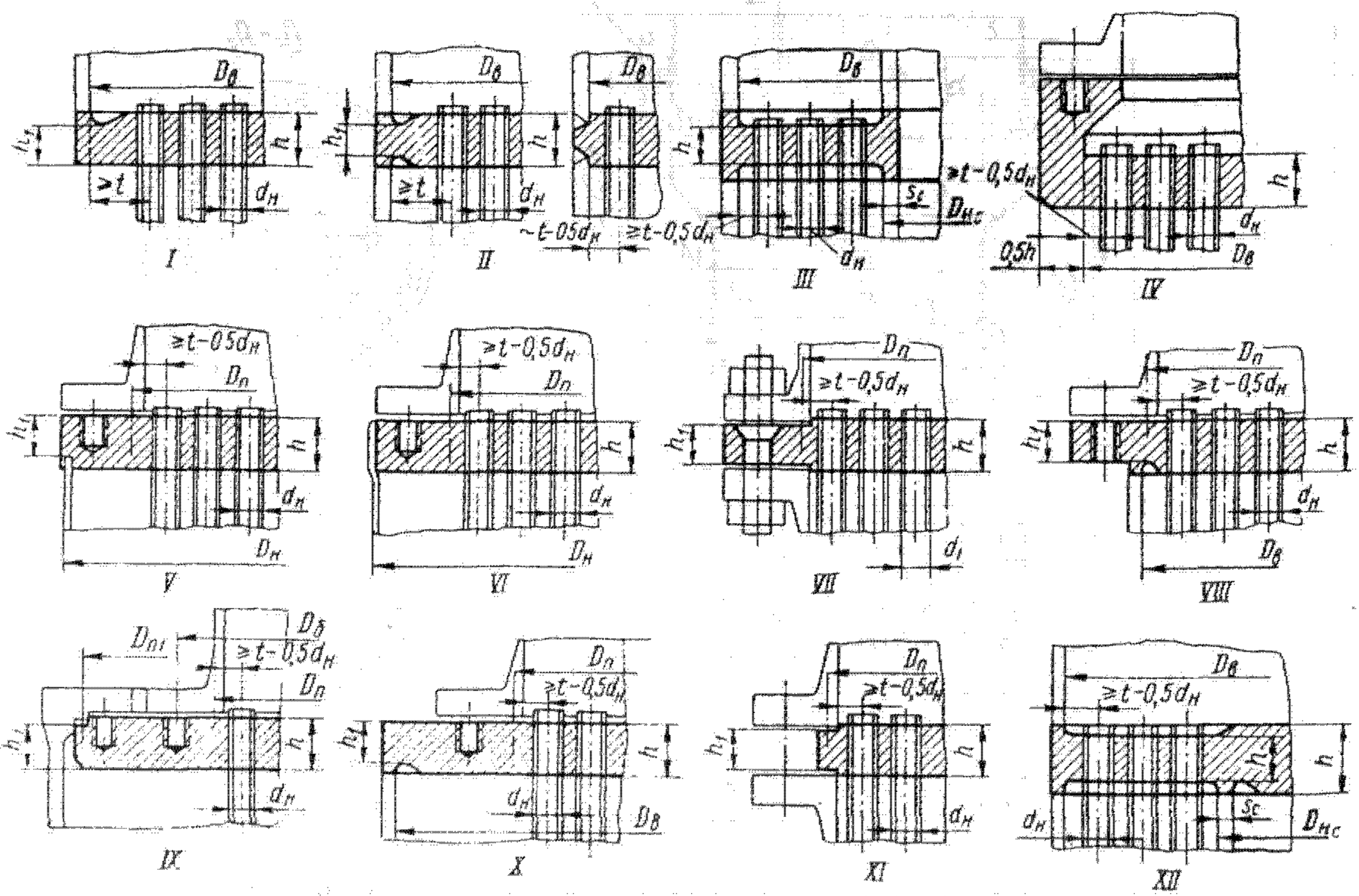


Рис. 23.1. Основные типовые конструкции плоских трубных решеток, применяемых в технологическом аппаратостроении

Таблица 23.1

Основные параметры и размеры стальных кожухотрубчатых теплообменных аппаратов

Параметр, размер	Значения параметра и размера для аппаратов типа				
	Н	К	П	У	ПК
Поверхность теплообмена, м²	От 1 до 5000		От 10 до 1250	От 10 до 1400	От 178 до 1866
Условное давление в трубном или межтрубном пространстве, МПа	0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 8,0	0,6; 1,4 1,6; 2,5	1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 8,0; 10,0; 12,5; 16,0		5,0; 6,3; 8,0; 10,0
Диаметр кожуха, мм:					
наружный (из труб)	159; 273; 325; 426; 530; 630		325*¹; 426*¹; 530*¹; 630*¹		—
внутренний (из листовой стали)	400; 500; 600; 800; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000; 2200; 2400; 2600; 2800; 3000		400*¹; 500*¹; 600*¹; 800; 1000; 1200; 1400; 1600*²; 1800*²; 2000*²; 2200*²; 2400*²; 2600*²; 2800*²		800; 1000; 1100; 1200; 1300; 1500; 1600; 1800
Наружный диаметр х толщина стенки теплообменных труб, мм	16х1,5; 16х2; 20х2; 25х1,5; 25х2; 25х2,5; 38х2; 57х3		20х2; 25х2; 25х2,5; 38х2	20х2; 25х2; 25х2,5	20х2; 25х2; 25х2,5
Длина прямого участка теплообменных труб, мм	1000; 1500; 2000; 3000; 4000; 6000; 8000; 9000		3000; 4000; 6000; 9000*¹		6000; 9000

*¹ Только для аппаратов с плавающей головкой и U-образными трубами.
*² Только для аппаратов с паровым пространством.

квадратов (рис.23.2, *б*) или равносторонних треугольников. При размещении труб диаметром $d_т$ по вершинам равносторонних треугольников обеспечивается более компактное расположение труб в трубной решетке, чем при размещении их по вершинам квадратов при одинаковом шаге t'. Однако последняя схема имеет важное эксплуатационное преимущество: она позволяет очищать трубы снаружи механическим способом, поскольку между трубами образуются сквозные ряды. При размещении по вершинам треугольников такие ряды можно получить, только увеличив шаг t'. По окружностям (рис. 23.2, *в*) трубы располагают лишь в кислородной аппаратуре.

Шаг t' отверстий для труб в решетке выбирают с учетом достаточной прочности участка шириной $m = t' - d_т$; для стальных кожухотрубчатых аппаратов шаг принимают по следующим данным:

$d_т$, мм	16	20	25	38	57
t', мм	21	26	32	48	70

Трубы соединяют с трубной решеткой стальных аппаратов развальцовкой (рис. 23.3, *а*, *б*, *е*), сваркой (рис. 23.3, *г*, *д*), развальцовкой со сваркой (рис. 23.3, *в*). Пайку и заливку металлом концов труб в решетках (рис. 23.3, *ж*) применяют при изготовлении теплообменников из меди и ее сплавов, а склеи-

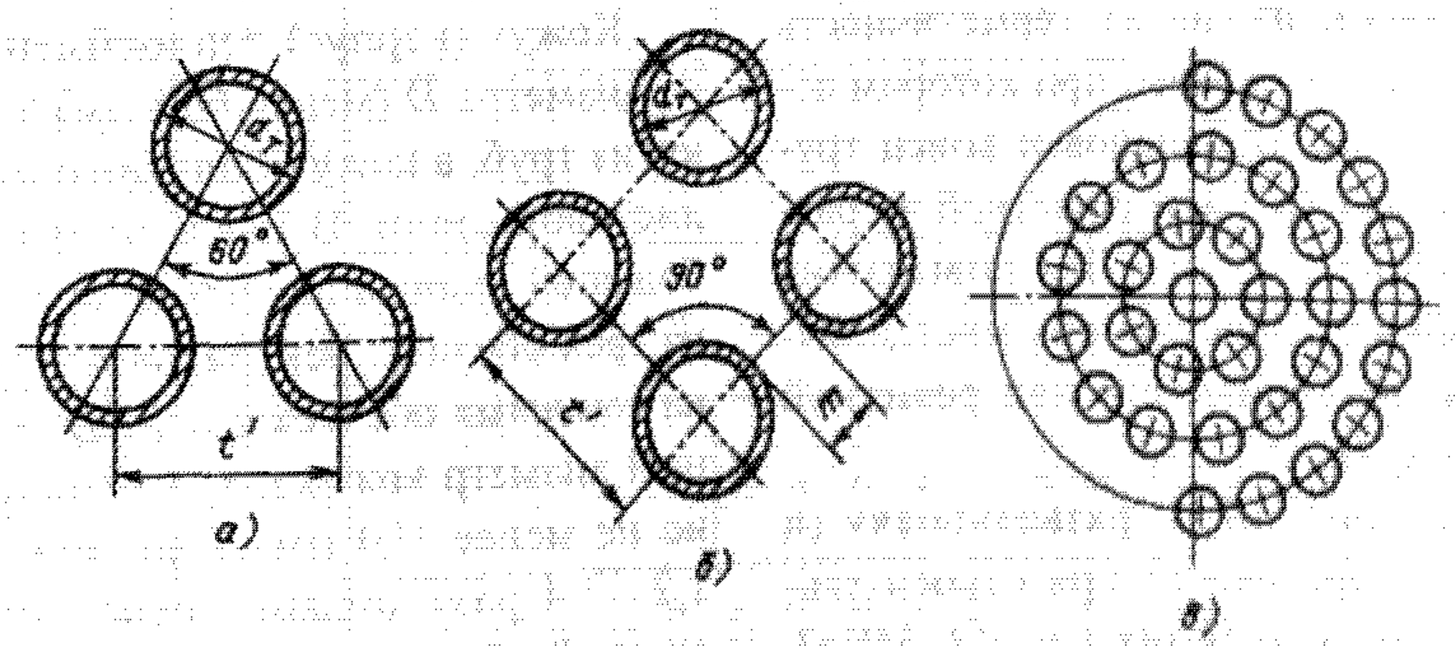


Рис. 23.2. Схема размещения труб в трубной решетке: *а* — по вершинам равностороннего треугольника; *б* — по вершинам квадратов; *в* — по окружностям

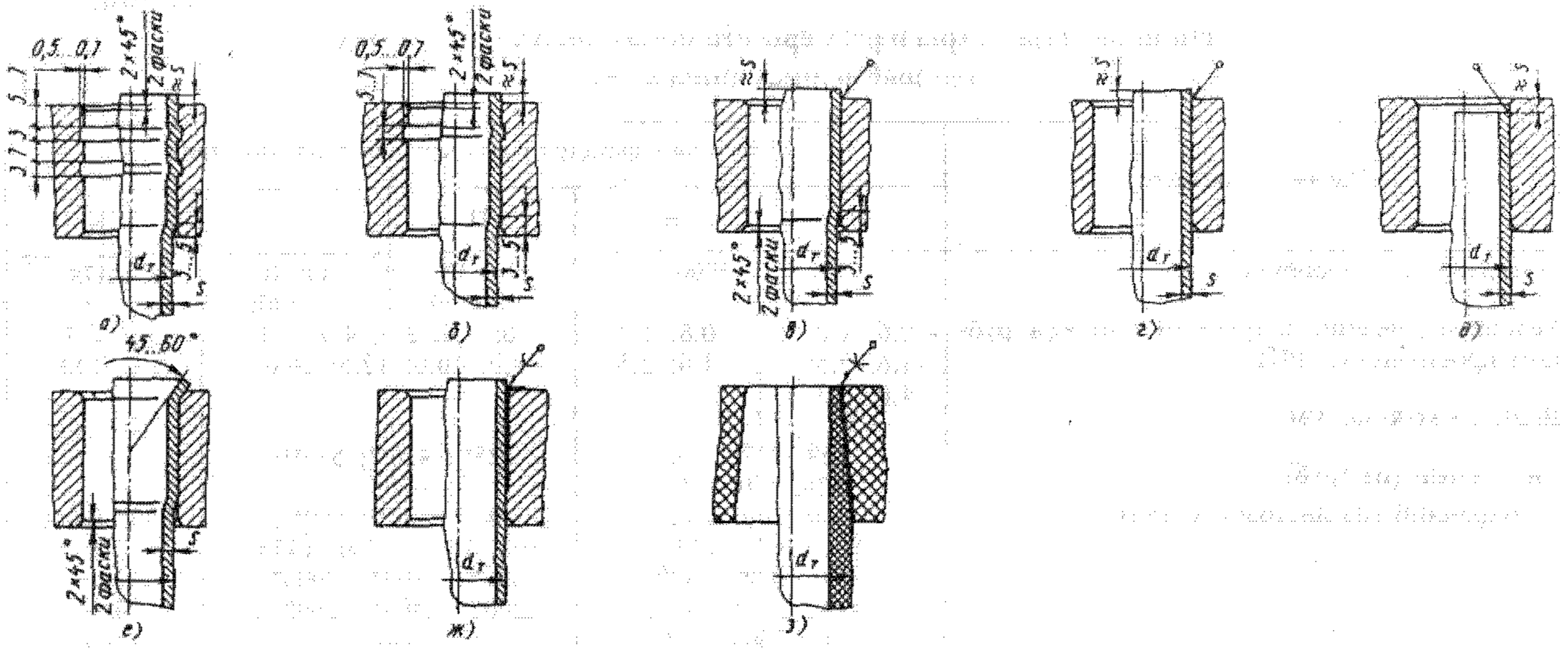


Рис. 23.3. Варианты крепления труб в трубных решетках: *а* — развальцовка в двух канавках; *б* — развальцовка в одной канавке; *в* — развальцовка со сваркой; *г*, *д* — сварка; *е* — развальцовка в гладком отверстии с отбортовкой; *ж* — пайка; *з* — склеивание

вание — при изготовлении аппаратов из полимерных материалов (рис. 23.3, *з*).

Наиболее распространенный способ крепления труб в решетке — развальцовка. Трубы вставляют в отверстия решетки с некоторым зазором, а затем обкатывают изнутри специальным инструментом, снабженным роликами (вальцовкой). При этом в стенках трубы создаются остаточные пластические деформации, а в трубной решетке — упругие деформации, благодаря чему материал решетки после развальцовки плотно сжимает концы труб. Однако при этом материал труб подвергается наклепу (металл упрочняется с частичной потерей пластичности), что может привести к растрескиванию труб. С уменьшением начального зазора между трубой и отверстием в решетке наклеп уменьшается, поэтому обычно принимают зазор 0,25 мм. Кроме этого для обеспечения качественной развальцовки и возможности замены труб необходимо, чтобы твердость материала трубной решетки превышала твердость материала труб.

Развальцовочное соединение должно быть прочным и герметичным. Прочность соединения оценивают усилием вырыва трубы из гнезда, герметичность — максимальным давлением среды, при котором соединение герметично. При развальцовке конец трубы должен выступать над трубной решеткой на расстояние, равное толщине s трубы. Для повышения прочности и герметичности соединения иногда выполняют отбортовку выступающего над решеткой конца трубы (рис. 23.3, *е*).

Наиболее простой способ — развальцовку (в гладких отверстиях) — применяют при относительно небольших рабочих давлениях (до 0,6 МПа). Прочность и герметичность вальцовочного соединения значительно возрастает при развальцовке в отверстиях с одной или двумя канавками глубиной около 0,5 мм.

Трубы развальцовывают обычно на глубину $1{,}5d_т$ или, если толщина решетки меньше $1{,}5d_т$, на полную толщину решетки. При этом со стороны межтрубного пространства оставляют неразвальцованным поясок шириной 3 мм, чтобы не подрезать трубу кромкой решетки при развальцовке, либо на этой кромке снимают фаску.

В толстых решетках трубу развальцовывают двумя поясками: один шириной $1{,}5d_т$ со стороны распределительной камеры, другой шириной $0{,}75d_т$ со стороны межтрубного пространства. Это позволяет исключить проникновение среды в щель между трубой и решеткой и коррозию.

Крепление труб сваркой с развальцовкой применяют без ограничений давления и температуры теплоносителей. В этом случае сначала выполняют сварку, а затем развальцовку трубы.

Количество труб, размещаемых в круглых трубных решетках, регламентировано ГОСТ 9929—82 и приведено в табл. 23.2.

Кожух (корпус) теплообменного аппарата малого диаметра D (менее 600 мм) чаще всего изготовляют из труб, а кожух большого диаметра вальцуют из листовой стали. В последнем случае особенно при большой длине аппарата кожух может быть сварным из трех обечаек: центральной и двух концевых. Длина концевых обечаек $l = 2\sqrt{D_н s_к}$ (где $D_н$ — наружный диаметр кожуха; $s_к$ — толщина стенки кожуха), но не менее 100 мм. Толщина концевых обечаек в 1,2—1,4 раза должна превосходить толщину центральной обечайки. Это объясняется необходимостью компенсировать напряжения, возникающие в месте соединения кожуха с трубной решеткой.

Количество труб в круглых плоских трубных решетках при размещении их по вершинам равносторонних треугольников и концентрическим окружностям

Количество труб на диаметре	Размещение: по вершинам равносторонних треугольников — Количество труб: в шестиугольнике	в сегментах: одном: 1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд	всего	всего	по концентрическим окружностям: на наружной поверхности	всего
3	7					7	6	7
5	19					19	12	19
7	37	—			—	37	18	37
9	61					61	25	62
11	91					91	31	93
13	127		—			127	37	130
15	169	3			18	187	43	173
17	217	4			24	241	50	223
19	271	5			30	301	56	279
21	331	6		—	36	367	62	341
23	397	7			42	439	69	410
25	469	8			48	517	75	485
27	547	9	2		66	613	81	566
29	631	10	5		90	721	87	653
31	721	11	6		102	823	94	747
33	817	12	7		114	931	100	847
35	919	13	8		126	1045	106	953
37	1027	14	9		138	1165	113	1066
39	1141	15	12		162	1303	119	1185
41	1261	16	13	4	198	1459	125	1310
43	1387	17	14	7	228	1615	131	1441
45	1519	18	15	8	246	1765	138	1579
47	1657	19	16	9	264	1921	144	1723
49	1801	20	17	12	294	2095	150	1873
51	9151	21	18	13	312	2263	151	2030

Количество труб на диаметре	Размещение: по вершинам равносторонних треугольников — Количество труб: в шестиугольнике	в сегментах: одном: 1-й ряд	2-й ряд	3-й ряд	4-й ряд	5-й ряд	6-й ряд	7-й ряд	всего	всего	по концентрическим окружностям: на наружной поверхности	всего
53	2107	22	20	14	—				336	2443	163	2193
55	2269	24		15	6				390	2659	169	2362
57	2437	25	21	16	9				426	2863	175	2537
59	2611	26	22	17	11	—			456	3067	182	2719
61	2791	27	23	18	13				486	3277	188	2907
63	2977		24	19	14				504	3481	194	3101
65	3169	29	25	21	15				540	3709	201	3302
67	2367		26	22	16	7	—		600	3967	207	3509
69	3571	31	27	23	19	10			660	4231	213	3722
71	3781		28	25	20	11		—	690	4471	219	3941
73	3997	33	29	26	21	12			726	4723	226	4167
75	4219		30	27	22	15			762	4981	232	4399
77	4447	34	31	28	23	16			792	5239	238	4637
79	4681	35	32	29	24	17			822	5503	243	4880
81	4921	36	33	30	25	18	7		894	5815	249	5129
83	5167	37	34	31	26	20	10		948	6115	255	5384
85	5419	38	35	32	27	21	13		996	6415	261	5645
87	5677	39	36	33	28	23	14		1038	6715	268	5913
89	5941	40	37	34	29	24	17		1086	6979	274	6187
91	6211	41	38	35	30	25	18	7	1164	7375	280	6467
93	6487	42	39	36	32	26	20	8	1218	7705	287	6754
95	6769	44	40	37	33	28	22	11	1290	8059	293	7047
97	7057	45	41	38				13	1320	8377	299	7346
99	7351	46	42	39	34	29	24	15	1362	8713	305	7651
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

23.2. Расчет на прочность элементов кожухотрубчатых теплообменных аппаратов

Расчет на прочность элементов кожухотрубчатых теплообменников проводят в соответствии с разработанным ВНИИнефтемашем ОСТ 26.1185—81 (Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Элементы теплообменных аппаратов). Методы расчета распространяются на стальные, работающие при статических и повторно-статических нагрузках аппараты с неподвижными трубными решетками, компенсатором или расширителем на кожухе, а также на аппараты с U-образными трубами и плавающей головкой. При этом следует учитывать все сочетания давлений в трубном и межтрубном пространствах и температур труб и кожуха, возможные при пуске, в рабочих условиях, при промывке или испытаниях аппарата, с целью определения экстремальных значений расчетных характеристик для каждого из элементов аппарата.

Осевые деформации и нагрузки в теплообменниках типа Н и К. Рассмотрим случай, когда трубная решетка, не деформируясь, перемещается параллельно своему первоначальному состоянию. Будем полагать, что температура кожуха $t_к$ равномерно распределена по длине и сечению аппарата, а температура теплообменных труб постоянна и равна $t_т$.

Поскольку кожух теплообменных аппаратов обычно теплоизолирован, в расчетах примем $t_к$ равной средней температуре продукта, находящегося в межтрубном пространстве. В этом случае температура стенки трубы

$$t_т = 0{,}5\,(t_г - q/\beta_г + t_х + q/\beta_х),$$

где $t_г$, $t_х$ — средние температуры соответственно горячего и холодного теплоносителя, °С; q — плотность теплового потока, Вт/м^2; $\beta_г$, $\beta_х$ — коэффициенты теплоотдачи со стороны соответственно горячего и холодного теплоносителя, Вт/(м$_2$ · °С).

Если $\beta_г \approx \beta_х$, т.е. коэффициенты теплоотдачи в трубном и межтрубном пространстве равны, то принимают $t_т = 0{,}5\ (t_г + t_х)$.

Если аппарат изготовлен при температуре t_0, причем кожух и каждая из теплообменных труб не имеют после сборки остаточных осевых напряжений, то при нагревании до температур $t_к$ и $t_т$ удлинения кожуха и трубы составят (рис. 23.4).

$$\Delta_{кt} = \alpha_к (t_к - t_0)\, L; \qquad (23.1)$$

$$\Delta_{тt} = \alpha_т (t_т - t_0)\, L; \qquad (23.2)$$

здесь $\alpha_к$ и $\alpha_т$ — температурные коэффициенты линейного расширения соответственно кожуха и труб, °С$^{-1}$; L — расстояние между трубными решетками (длина труб и кожуха), мм.

Если, например, $\Delta_{кt} > \Delta_{тt}$, то при нагревании аппарата кожух сжимается на величину $\Delta'_к$, а каждая труба растягивается на величину $\Delta'_т$ (условие совместности деформаций кожуха и труб).

Сжатие кожуха вызывает появление осевой силы $Q_к$, Н/мм (на единицу длины окружности кожуха). Связь между $\Delta'_к$ и $Q_к$ имеет вид:

$$\Delta'_к = Q_к L/(s_к E_к), \qquad (23.3)$$

где $s_к$ — толщина кожуха, мм; $E_к$ — модуль упругости материала кожуха, МПа.

Соотношение между $\Delta'_т$ и осевой силой в трубе $N_т$:

$$\Delta'_т = N_т L/[\pi\,(d_т - s_т)\, s_т E_т], \qquad (23.4)$$

где $d_т$ и $s_т$ — соответственно наружный диаметр и толщина стенки теплообменной трубы, мм; $E_т$ — модуль упругости материала труб, МПа.

Приравняв деформации кожуха и труб

$$\Delta_{кt} - \Delta'_к = \Delta_{тt} + \Delta'_т \qquad (23.5)$$

и воспользовавшись условием равновесия трубной решетки $\pi D_{ср} Q_к = iN_т$, можно найти

$$N_т = \pi\,(d_т - s_т)\, s_т E_т\,[\alpha_к (t_к - t_0) - \alpha_т (t_т - t_0)]/(1 + \rho);$$

$$Q_к = iN_т/(\pi D_{ср}),$$

где $\rho = E_т i\ (d_т - s_т)\ s_т/(E_к s_к D_{ср})$; i — число труб, закрепленных в решетке; $D_{ср}$ — средний диаметр кожуха, мм.

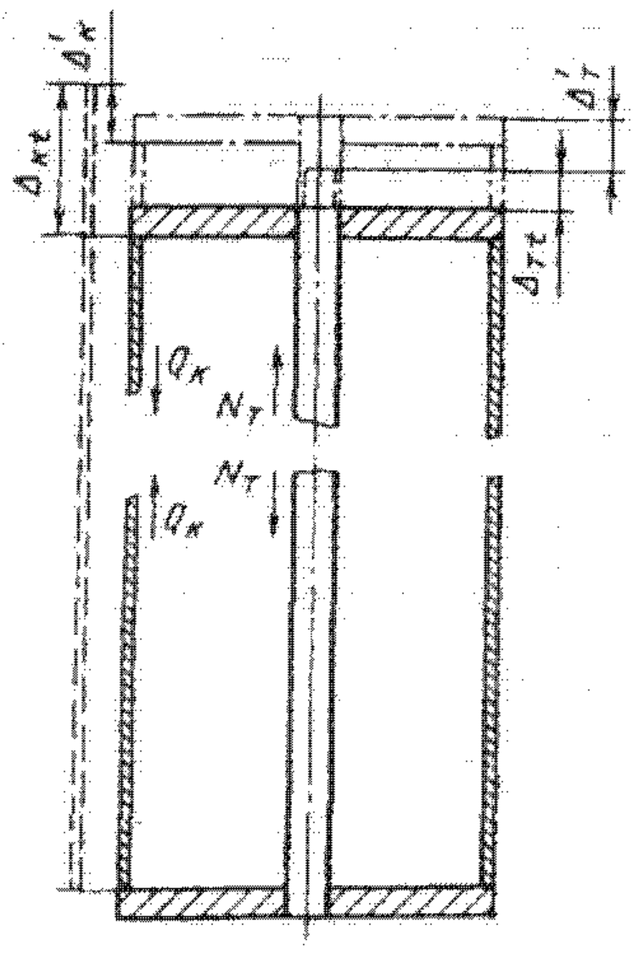


Рис. 23.4. Схема к определению температурных деформаций элементов теплообменника

Очевидно, что в общем случае поступательное перемещение трубной решетки может быть обусловлено действием не только разности температур труб и кожуха, но и давлений в трубном и межтрубном пространствах.

Рассмотрим независимые перемещения кожуха и системы «трубная решетка — трубы» под действием давления. В этом случае под действием разности давлений снаружи и изнутри теплообменной трубы в ней возникают окружные напряжения

$$\sigma_{тр} = 0{,}5\,(p_т - p_м)\,(d_т - s_т)/s_т;$$

соответствующая осевая деформация

$$\Delta_{тр} = \mu\sigma_{тр}L/E_т = 0{,}5\mu\,(p_т - p_м)\,(d_т - s_т)\,L/(E_т s_т); \quad (23.6)$$

где μ — коэффициент Пуассона; $p_т$ и $p_м$ — давления соответственно в трубном и межтрубном пространствах, МПа.

Аналогично действие давления в межтрубном пространстве приводит к возникновению кольцевых напряжений в обечайке кожуха

$$\sigma_{кр} = 0{,}5 p_м D_{ср}/s_к$$

и осевой деформации кожуха

$$\Delta_{кр} = \mu\sigma_{кр}L/E_к = 0{,}5\mu p_м D_{ср}L/(s_к E_к). \quad (23.7)$$

Условие совместности деформаций кожуха и труб при действии только давления имеет вид (рис. 23.5): $\Delta_{кр} + \Delta'_к = -\Delta'_т + \Delta_{тр}$.

В этом случае условие равновесия трубной решетки можно записать в виде

$$\pi D_{ср} Q_к = -Q_м + Q_т + iN_т, \quad (23.8)$$

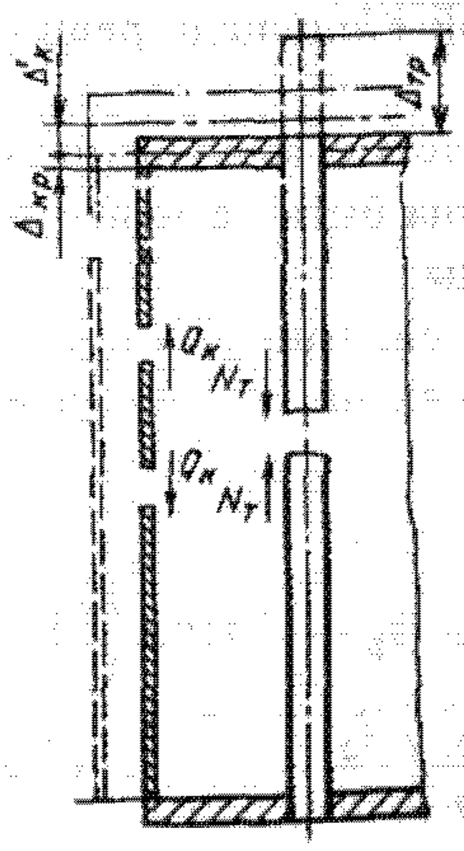


Рис. 23.5. Схема к определению деформации элементов теплообменника под воздействием давления

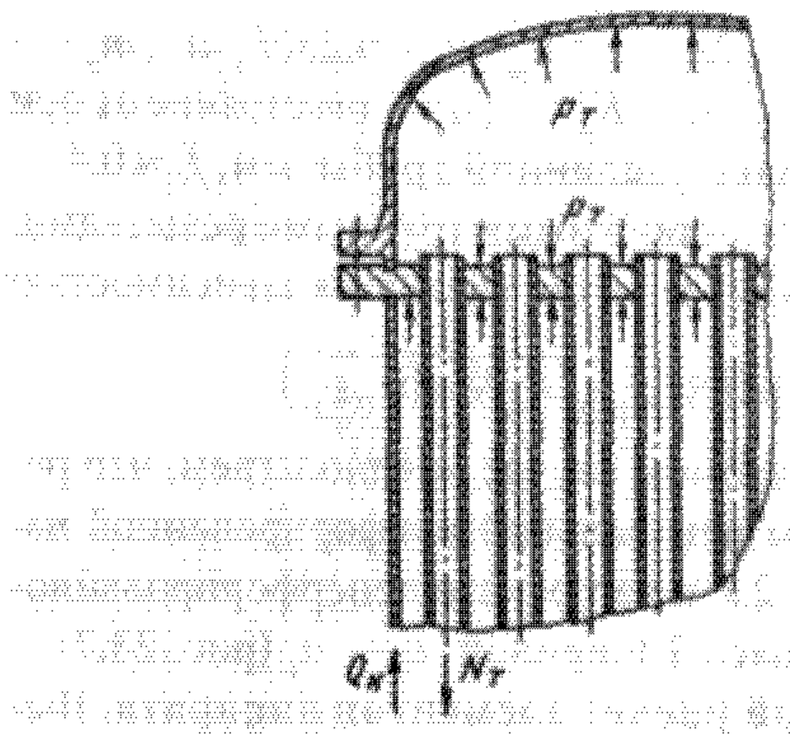


Рис. 23.6. Схема равновесия элемента теплообменника

где $Q_м$ — сила, действующая на трубную решетку со стороны межтрубного пространства, Н; $Q_м = p_м(\pi a^2 - 0{,}25i\pi d_т^2)$ (здесь a — внутренний радиус кожуха, мм); $Q_т = 0{,}25 p_т i\pi (d_т - 2s_т)^2$ — неуравновешенная сила, возникающая от давления в трубном пространстве и действующая на трубную решетку со стороны греющей камеры, Н (рис. 23.6).

Таким образом, уравнение (23.8) принимает вид:

$$\pi D_{ср} Q_к = -p_м(\pi a^2 - 0{,}25i\pi d_т^2) + 0{,}25 p_т i\pi (d_т - 2s_т)^2 + iN_т. \quad (23.9)$$

При совместном влиянии разности температур (корпуса и труб) и разности давлений (в трубном и межтрубном пространствах) условие совместимости деформаций имеет вид:

$$\Delta_{кt} + \Delta_{кр} + \Delta''_к = -\Delta''_т + \Delta_{тt} + \Delta_{тр}. \quad (23.10)$$

Поставив (23.1)—(23.4), (23.6) и (23.7) в (23.10), получим

$$\alpha_к (t_к - t_0) + 0{,}5\mu p_м D_{ср}/(s_к E_к) + Q_к/(s_к E_к) = \alpha_т (t_т - t_0) + 0{,}5\mu\,(p_т - p_м)\,(d_т - s_т)/(E_т s_т) - N_т/[\pi\,(d_т - s_т)\,s_т E_т], \quad (23.11)$$

где $Q_к$ и $N_т$ — осевые силы в кожухе и трубах при совместном действии давления и температуры.

Решив совместно (23.11) и (23.9), получают искомые значения $Q_к$ и $N_т$ в виде

$$Q_к = 0{,}5a\,[p_т - p_0/(1 + \rho' K_д)]; \quad (23.12)$$

$$N_т = (\pi\alpha_1^2/i)\,[(\eta_м p_м - \eta_т p_т) + l_0 p_0], \quad (23.13)$$

где $Q_к$ в Н/мм; $N_т$ — в Н; a — в мм; $p_0 = [\alpha_к (t_к - t_0) - \alpha_т (t_т - t_0)]\,K_у L + [\eta_т - 1 + 0{,}15i\,(d_т - s_т)^2/a^2_1 + m_0\,(m_п + 0{,}5\beta K_д)]\,p_т - [\eta_м - 1 + 0{,}15i\,(d_т - s_т)^2/a^2_1 + m_0\,(m_п + 0{,}3\rho' K_р)]\,p_м$ — в МПа [здесь $K_у = E_т\,(\eta_т - \eta_м)/L$;

$\eta_т = 1 - 0{,}25i(d_т - 2s_т)^2/a^2_1$; $\eta_м = 1 - 0{,}25id^2_т/a^2_1$; $m_п = a/a_1$; $\rho = K_у a_1 L/(E_к s_к)$; $K_д = K_р = 1$]; a_1 — расстояние от оси кожуха до наиболее удаленной трубы, мм; $f_0 \approx 0{,}4$ — для аппаратов с неподвижными трубными решетками. Значение коэффициента β определяется зависимостью

$$\beta = (1{,}8/S_р)\sqrt{K_у S_р/(\psi_0 E_р)}$$

В рассматриваемом случае предполагаем, что решетка состоит из центральной перфорированной части *1* диаметром $2a_1$ и наружного неперфорированного кольцевого пояса 2 шириной $a - a_1$ (рис. 23.7).

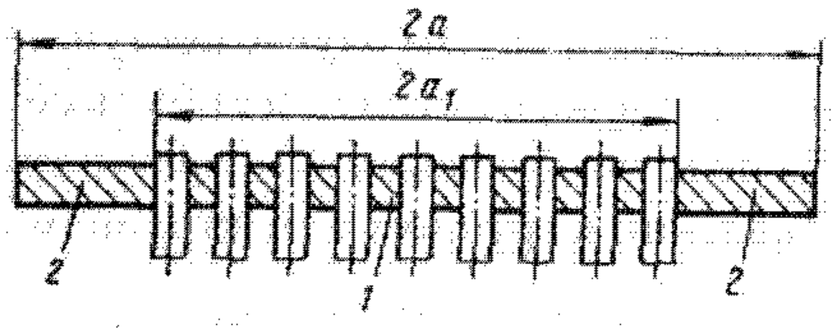


Рис. 23.7. Схема к определению размеров трубной решетки

Упрощенный расчет элементов аппарата. Выполненый анализ теплообменников жесткой конструкции позволил разработать упрощенный метод расчета основных элементов теплообменного аппарата (ОСТ 26 1185—81). Такой расчет выполняют для аппаратов, предназначенных для работы под давлением не более 6,4 МПа и перепаде температур труб и кожуха не более 40°С. Расчет применим при $(a - a_1)/s_р \le 3$ (где $s_р$ — толщина трубной решетки) и отсутствии дополнительных требований к жесткости трубной решетки.

Для теплообменных аппаратов с неподвижными трубными решетками, компенсатором или расширителем на кожухе толщина трубной решетки, мм,

$$s_р = f_1 s_к/(\eta_т - \eta_м) + c, \qquad (23.14)$$

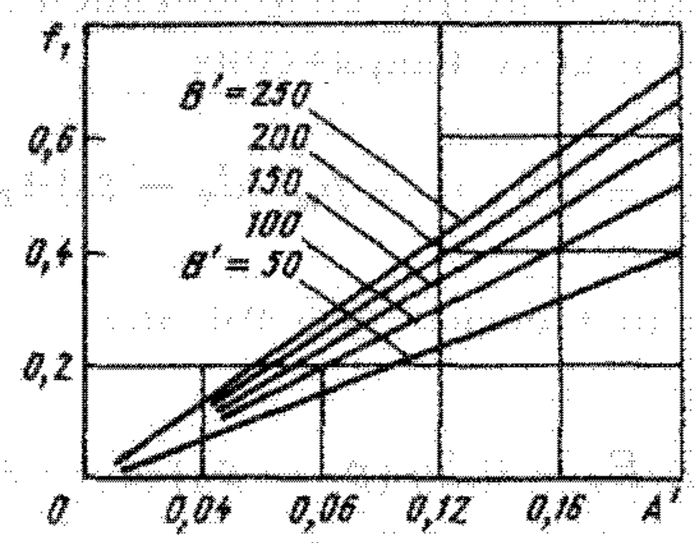


Рис. 23.8. Зависимость f_1 от A' и B'

где $f_1 = f_1(A', B')$ — *вспомогательная функция* (рис. 23.3); $s_к$ — толщина стенки кожуха аппарата, мм; $\eta_т$ и $\eta_м$ — коэффициенты влияния давления на трубную решетку [см. (23.13)]; c — конструктивная прибавка, мм;

$$A' = 0{,}5p_0/([\sigma_а]_р \varphi_р); \qquad B' = \psi_0 L/s_к,$$

где $[\sigma_а]_р$ — допускаемое напряжение для материала решетки в условиях малоциклового нагружения, МПа; $\varphi_р = 1 - d_0/t_р$ — коэффициент ослабления трубной решетки (d_0 — диаметр отверстия в решетке, мм; $t_р$ — шаг отверстий для труб в решетке, мм); ψ_0 — коэффициент жесткости перфорированной плиты:

$\eta_т$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
ψ_0	0,12	0,20	0,30	0,44	0,59

Для аппарата с U-образными трубами, плавающей головкой и компенсатором на плавающей головке толщина трубной решетки, мм,

$$s_р = \frac{D_{сп}}{4{,}2}\sqrt{\frac{p}{\varphi_р [\sigma]_р}} + c, \qquad (23.15)$$

где $D_{сп}$ — средний диаметр прокладки, мм; $p = \max\{p_м; p_т; p_т - p_м\}$; $[\sigma]_р$ — допускаемое напряжение для материала решетки, МПа.

Расчетая толщина трубной решетки должна обеспечивать возможность крепления труб в решетке и во всех случаях

$$s_р \geqslant 0{,}5D_E\sqrt{|p_т - p_м|/[\sigma]_р} + c, \qquad (23.16)$$

где $s_р$ — в мм; D_E — максимальный диаметр окружности, вписанной в площадь решетки, не занятой трубами, мм.

Толщина решетки, выполненной за одно целое с фланцем, должна быть не менее толщины кольца ответного фланца.

Для аппаратов, многоходовых по трубному пространству, толщина трубной решетки в сечении канавки, мм,

$$s_п \geqslant (s_р - c)\max\left\{\left[1 - \sqrt{\frac{d_0}{b_п}\left(\frac{t_п}{t_р} - 1\right)}\right]; \sqrt{\varphi_р}\right\} + c,$$

где $t_п$ — шаг расположения отверстий в зоне паза

(канавки), мм; $b_п$ — ширина паза под прокладку, мм.

Условие прочности кожуха в месте присоединения к решетке имеет вид:

$$0{,}5K_\sigma\sigma_{max} \leqslant [\sigma_a]_к, \qquad (23.17)$$

где K_σ — эффективный коэффициент концентрации напряжений, зависящий от способа крепления решетки к фланцу или кожуху (см. рис. 23.9); $\sigma_{max} = \max\{\sigma_1; \sigma_2\}$ (здесь $\sigma_1 = Q_к/S_к$; $\sigma_2 = |p_м|a/s_к$); $[\sigma_a]_к$ — допускаемое напряжение для материала кожуха в условиях малоциклового нагружения, МПа.

При $Q_к < 0$ кожух проверяют на устойчивость по ГОСТ 14249—89. Теплообменные трубы, сжатые (растянутые) силой $N_т$, рассчитывают на прочность по условию:

$$\frac{N_{т1}}{\pi(d_т - s_т)s_т} \leqslant [\sigma]_т,$$

где $[\sigma]_т$ — допускаемое напряжение для материала труб, МПа.

Если $N_т < 0$, то трубы проверяют на устойчивость по условию:

$$\frac{N_{т1}}{\varphi_т\pi(d_т - s_т)s_т} \leqslant [\sigma]_т,$$

где $\varphi_т$ — коэффициент уменьшения допускаемого напряжения при продольном изгибе, определяемый по рис. 23.10 в зависимости от $\lambda = 1{,}3\sqrt{\frac{[\sigma]_т}{E_т}\frac{L_р}{(d_т - s_т)}}$ (здесь $L_р = L$ для аппаратов без перегородок в кожухе; $L_р = \max\{L_{2R}; 0{,}7L_{1R}\}$ для аппаратов с перегородками (L_{2R} — максимальное расстояние между перегородками; L_{1R} — максимальная длина трубы между решеткой и перегородкой).

Условием прочности крепления труб в решетке является выражение $N_т \leq [N_т]$, где $[N_т]$ — допускаемое

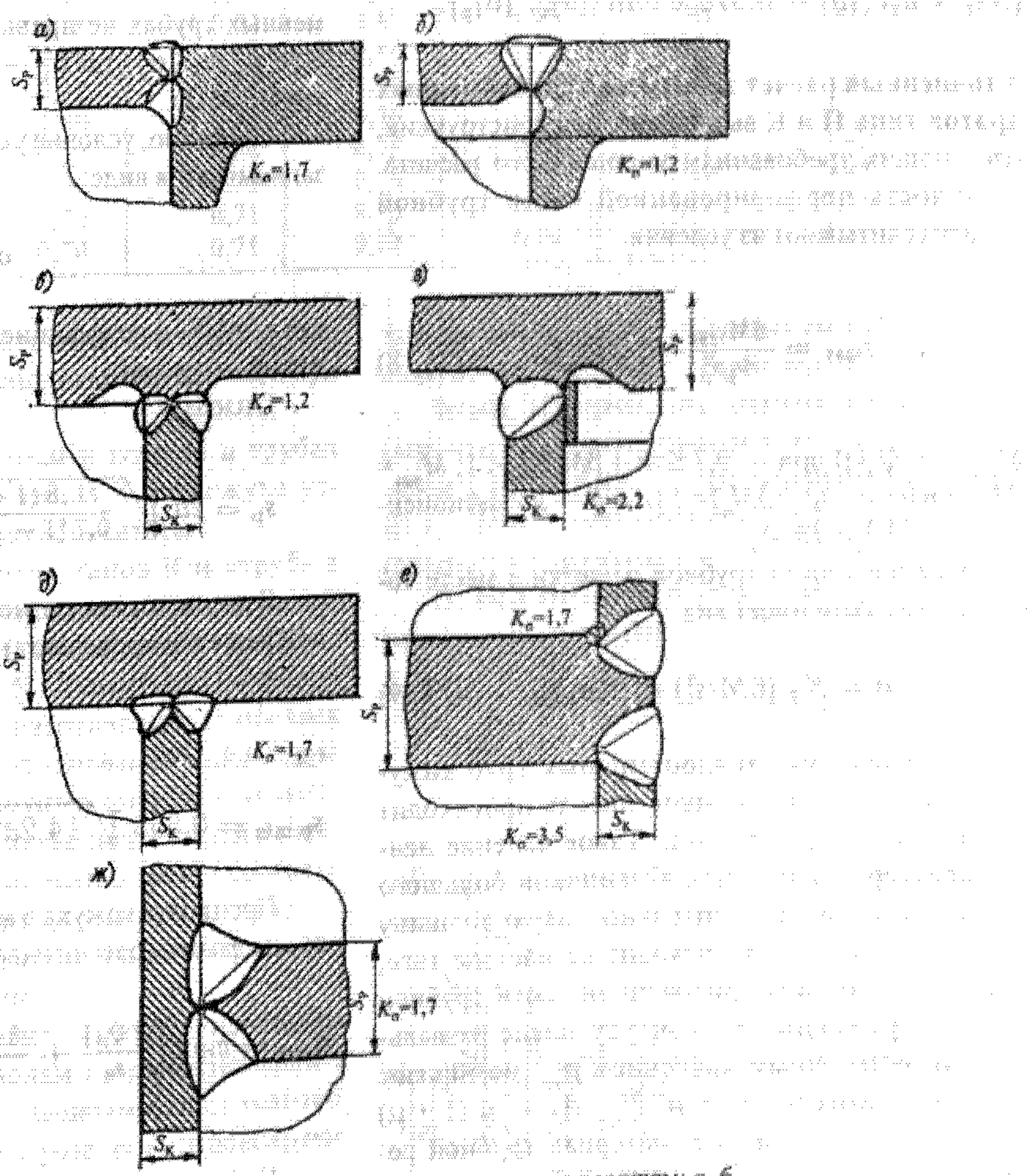


Рис. 23.9. Конструкции соединения трубных решеток с кожухом; *а, б* — бесфланцевых решеток с фланцевым кожухом; *в — д* — фланцевых решеток с бесфланцевым кожухом; *е, ж* — бесфланцевых решеток с бесфланцевым кожухом

усилие в соединении трубы с решеткой. Для развальцованных труб

$$[N]_т = \pi d_т l_в [q],$$

где $l_в$ — глубина развальцовки труб, мм; $[q]$ — удельная нагрузка на единицу площади соединения ($[q]$ = 14,7 МПа для гладко развальцованных труб; $[q]$ = 29,4 МПа для труб, развальцованных в пазы; $[q]$ = 39,2 МПа для труб, развальцованных с отбортовкой).

Для труб, соединенных с решеткой сваркой,

$$[N]_т = 0{,}3\pi d_т \delta \min \{[\sigma]_т;\ [\sigma]_р\},$$

где δ — высота сварного шва в месте сварки трубы с решеткой, мм; $[\sigma]_т$ и $[\sigma]_р$ — допускаемые напряжения для материала соответственно труб и решетки, МПа.

Для труб, соединенных с решеткой сваркой с развальцовкой,

$$[N]_т = d_т l_в [q] + 0{,}57 d_т \delta \min \{[\sigma]_т;\ [\sigma]_р\}.$$

Уточненный расчет элементов теплообменных аппаратов типа Н и К выполняют для конструкций, не отвечающих требованиям упрощенного расчета.

Прочность перфорированной части трубной решетки рассчитывают из условия:

$$\sigma_{max} = \frac{6M_{max}}{\varphi_р s_р^2} \leqslant 2[\sigma_a]_р, \qquad (23.18)$$

где $M_{max} = A|Q_\alpha|/\beta$ при $-0{,}7 \leq m = \beta M_\alpha / Q_\alpha < 1$; $M_{max} = B|M_\alpha|$ при $0 \leq n = Q_\alpha/(\beta M_\alpha) < 1$ (A и B — коэффициенты — табл. 23.3 и 23.4).

Условие прочности трубной решетки в месте соединения с кожухом имеет вид:

$$\sigma = K_\sigma (6M/s_р^2) < 2[\sigma_a]_р. \qquad (23.19)$$

При развальцовке теплообменных труб кожухотрубчатых теплообменников иногда происходит коробление трубных решеток. Такое явление наиболее характерно для теплообменников большого диаметра, имеющих относительно малую толщину трубных решеток. Это происходит вследствие того, что в перемычках перфорированной части трубной решетки, нагруженных по контуру после развальцовки труб остаточным давлением $p_{ост}$, возникают напряжения сжатия $\sigma = (1+\mu)\xi^2 p_{ост}/[1 - \mu(1+\mu)\xi^2]$, где $\xi = (d_т - 2s_т)/d_т$, т.е. материал трубной решетки после развальцовки в ней труб находится в условиях квазиизотропного сжатия. Следовательно, решетка может терять устойчивость аналогично сжатой по контуру кольцевой пластине, если напряжения сжатия достигнут критического значения $\sigma_{кр} = K_\sigma D_\psi / (4a^2 s_р)$.

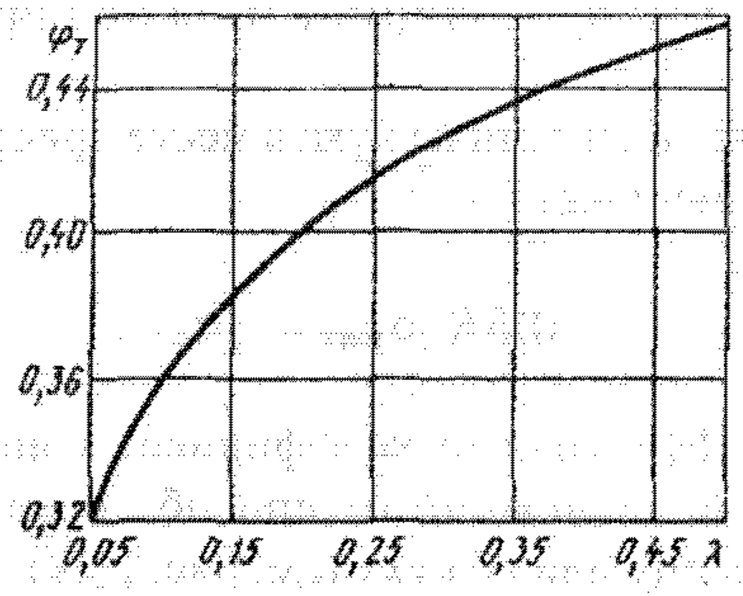


Рис. 23.10. Зависимость $\varphi_т$ от λ

$$\sigma_{кр} = \frac{K_\sigma D_\psi}{4a^2 s_р} \qquad (23.20)$$

где $D_\psi = D_с \cdot \varphi_р$, а $D_с = E_р s_р^3/[12(1-\mu^2)]$.

Поскольку метод крепления теплообменных труб развальцовкой используют для пластичных материалов, можно считать, что остаточные напряжения в теплообменных трубах не превышают предел текучести, т.е. $0{,}5 d_т p_{ост}/s_т \leq \sigma_{т.т}$, где $\sigma_{т.т}$ — предел текучести материала трубы, МПа.

Очевидно, условие устойчивости трубной решетки записывают в виде:

$$\sigma \leqslant \sigma_{кр}/n_у, \qquad (23.21)$$

где $n_у = 1{,}8$ — коэффициент запаса устойчивости, принятый в отрасли.

Отсюда

$$s_р = 2a \sqrt{\frac{1{,}8(1+\mu)(1-\mu^2)\xi^2 \sigma_{т.т} \cdot s_т}{0{,}7[1-\mu+(1+\mu)\xi^2]\psi_0 E_р d_т}}. \qquad (23.22)$$

В соответствии с изложенным выше толщину трубной решетки проверяют на устойчивость по условию:

$$s_р \geqslant s_{р\ min}, \qquad (23.23)$$

где

$$s_{р\ min} = 0{,}655 \sqrt{14{,}2 a_1^2 \sigma_{т.\,т}/[\psi_0 (1{,}3 + 0{,}7\xi^2) E_р]}.$$

Прочность кожуха в месте присоединения к решетке или фланцу рассчитывают по условию (23.17), где

$$\sigma_{max} = \max \left\{ \frac{|Q_к|}{s_к} + \frac{6|M_к|}{s_к^2};\ \frac{|p_м|a}{s_к} + \frac{1{,}8|M_к|}{s_к^2} \right\}$$

Если условие прочности кожуха в месте соединения с решеткой не выполняется, можно установить переходный пояс увеличенной толщины высотой не менее $2\sqrt{2as_к}$.

Таблица 23.3

Коэффициент A

$m_a = a/a_1$	Значения A при $\varpi = \beta a$							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	10
–0,6	0,45	0,47	0,50	0,52	0,55	0,55	0,55	0,55
–0,4	0,31	0,33	0,36	0,38	0,40	0,39	0,39	0,38
–0,2	0,17	0,19	0,27	0,35	0,31	0,27	0,29	0,31
0	0,13	0,27	0,40	0,45	0,38	0,37	0,39	0,41
0,2	0,27	0,41	0,53	0,56	0,47	0,48	0,51	0,54
0,4	0,41	0,55	0,66	0,67	0,58	0,61	0,64	0,67
0,6	0,55	0,68	0,78	0,78	0,71	0,72	0,78	0,81
0,8	0,69	0,82	0,91	0,88	0,83	0,88	0,92	0,96
1,0	0,83	0,96	1,04	0,99	0,96	1,03	1,07	1,12

Таблица 23.4

Коэффициент B

$m_a = a/a_1$	Значения B при $\varpi = \beta a$							
	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	10
0,9	0,82	0,93	1,00	0,95	0,94	1,00	1,04	1,08
0,8	0,80	0,91	0,96	0,91	0,91	0,97	1,01	1,05
0,7	0,79	0,88	0,92	0,87	0,88	0,94	0,98	1,02
0,6	0,78	0,86	0,88	0,84	0,86	0,92	0,95	0,99
0,5	0,76	0,82	0,84	0,80	0,84	0,89	0,92	0,96
0,4	0,75	0,80	0,80	0,78	0,82	0,87	0,90	0,94
0,3	0,74	0,77	0,76	0,75	0,80	0,85	0,88	0,91
0,2	0,73	0,74	0,73	0,74	0,79	0,84	0,86	0,90
0,1	0,71	0,72	0,71	0,73	0,78	0,82	0,85	0,88
0	0,70	0,70	0,71	0,72	0,78	0,81	0,84	0,87

Проверку прочности устойчивости труб и узла крепления труб в решетке выполняют так же, как и при упрощенном расчете.

Для снижения напряжений в кожухе и трубах теплообменных аппаратов типов К на кожухе устанавливаются линзовые компенсаторы.

Применяемые в аппаратах типов К и «труба в трубе» *линзовые компенсаторы* стандартизированы для давления $p_y \le 2{,}5$ МПа и температуры от – 70 до +700°С (рис. 23.11, табл. 23.5). Линзу (тип 1) и многолинзовый элемент (тип 3) изготовляют из обечаек (сварных из листа) накаткой, формованием жидкостью и другими способами, а полулинзу (тип 2) — из листа штамповкой (из одного или нескольких частей в зависимости от размеров). Компенсатор может состоять из одной или нескольких линз (практически до пяти) типа 1 или 2, сваренных между собой встык, или из одного гибкого элемента типа 3.

Компенсаторы приваривают к кожуху теплообменного аппарата и трубопроводам с предварительным растяжением или сжатием (в зависимости от условий работы) для увеличения (в два раза) его компенсирующей способности.

При установке линзовых компенсаторов на горизонтальных аппаратах в нижней части каждой линзы должны быть приварены дренажные трубы (14х3х50) с заглушками в виде колпачковых гаек (М14) для слива воды после гидроиспытания аппарата (трубопровода).

В табл. 23.6 приведены технические характеристики (жесткость C_a и распорное усилие от внутреннего давления C_p), в табл. 23.7 — пределы применения, а в табл. 23.8 — компенсирующая способность одной линзы $\Delta_л$ стандартных линзовых компенсаторов.

Полная компенсирующая способность компенсатора из нескольких линз

$$\Delta_к = 2\,\Delta_л z_л. \qquad (23.24)$$

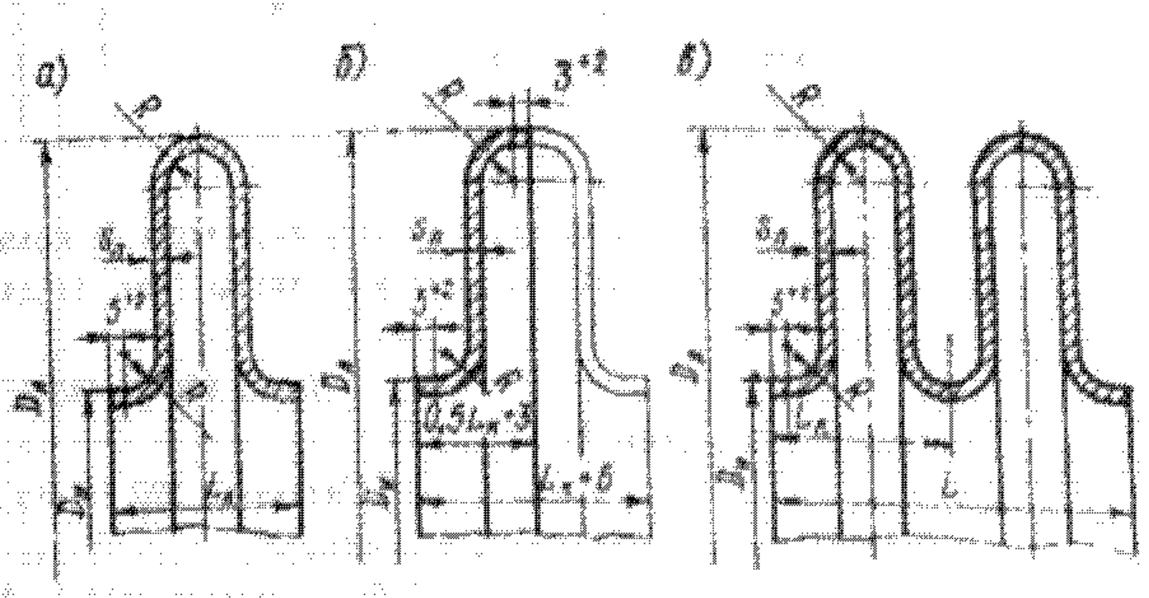


Рис. 23.11. Конструкции гибких элементов линзовых компенсаторов: *а* — линза; *б* — полулинза; *в* — многолинзовый элемент

Если компенсатор применяется для компенсации перемещения $\Delta_l < \Delta_л$, то соответствующая ему жесткость

$$C_Q^l = C_Q \Delta_l / \Delta_л. \qquad (23.25)$$

Если компенсатор применяется для рабочего давления p, отличного от номинального (условного) p_y, то распорное усилие от действия давления на гибкий элемент

$$C_p^l = C_p p / p_y. \qquad (23.26)$$

Число линз в компенсаторе в зависимости от требуемого перемещения $\Delta_к$ (при предварительном сжатии или растяжении)

$$z_л \geqslant \Delta_к / (2\Delta_л). \qquad (23.27)$$

Таблица 23.5

Основные размеры (мм) стандартных линзовых компенсаторов (рис. 23.11), ОСТ 26-01-1505—76

P_y, МПа	D_y	$D_н$	$D_л$	$s_л$	R	$L_к$	L для компенсаторов с числом линз			
							1	2	3	4
0,25	400—600	D_y+ 12	$D_н$+ 250	3	22	104	104	205	306	407
	700—1400	D_y+ 16								
	1600—5000	D_y+ 20								
0,6	400—600	D_y+ 8		4		106	106	209	312	415
	700—1400	D_y+ 16								
	1600—3600	D_y+ 20								
1,0	400—600	D_y+ 12	$D_н$+ 150	3	14	72	72	141	210	279
	700—1400	D_y+ 16								
	1600—1800	D_y+ 20								
	2000—3000	D_y+ 24		4		74	74	145	216	287
1,6	400—600	D_y+ 8		4		74	74	145	216	287
	700—1400	D_y+ 16								
	1600—1800	D_y+ 20								
	2000—2200	D_y+ 24								
2,5	400—500	D_y+ 12	$D_н$+ 100	3	10	51	—	102	148	240*
	500—600	D_y+ 16								
	700—800	D_y+ 20								

Примечание. Номинальные (условные) диаметры D_y компенсаторов см. табл. 23.6.

Примеры условного обозначения: линза (тип 1) для сварки с обечайкой на D_y = 800 мм, P_y = 1,6 МПа из стали марки 09Г2С:

Линза 800-16-09Г2С ОСТ 26-01-1505—76;

то же для полулинзы (тип 2):

Полулинза 800-16-09Г2С ОСТ 26-01-1505—76;

то же для гибкого элемента с числом линз 3:

Гибкий элемент 800-16-09Г2С ОСТ 26-01-1505—76.

* Для компенсатора с пятью элементами.

Таблица 23.6

Технические характеристики линзовых компенсаторов ОСТ 26-01-1512—76

D_y, мм	P_y, МПа									
	0,25		0,6		1,0		1,6		2,5	
	C_Q	C_P	C_Q	C_P	C_Q	C_P	C_Q	C_P	C_Q	C_P
	кН									
400	24,80	24,26	41,15	58,21	40,80	53,90	68,60	86,24	61,38	85,75
450	25,80	26,46	43,00	63,03	43,00	59,29	72,72	94,86	65,54	95,55
500	30,23	28,81	51,86	68,80	45,69	64,97	77,35	103,6	70,17	104,6
600	33,32	33,81	57,62	80,67	51,26	76,44	86,78	122,3	80,24	123,0
700	36,75	38,71	63,50	92,43	57,33	88,20	96,90	141,1	90,35	142,1
800	39,69	43,61	68,99	104,1	63,40	99,47	107,7	159,2	100,9	161,1
900	42,88	48,51	74,87	115,8	69,46	110,7	119,2	177,2		
1000	46,26	53,51	80,78	127,7	75,50	122,7	130,2	197,1		
1200	52,68	62,97	92,51	150,2	87,65	145,0	152,6	232,1		
1400	58,80	75,52	104,3	173,2	99,77	167,6	175,4	268,1		
1600	64,93	82,08	115,6	196,1	99,47	190,1	169,5	304,2		
1800	71,05	91,63	127,4	218,9	110,3	211,7	188,6	338,7		
2000	77,52	101,3	138,8	242,1	277,5	232,4	208,2	371,5		
2200	83,30	110,4	149,9	263,4	303,2	254,8	227,4	406,1		
2400	89,43	119,8	161,1	286,4	328,9	276,4				
2600	95,55	129,1	172,5	308,7	354,8	297,9				
2800	100,9	138,4	183,8	331,0	380,2	319,5				
3000	107,1	147,5	195,2	353,0	406,2	340,6				
3200	112,7	156,7	206,2	374,9						
3400	118,8	165,6	217,6	396,3						
3600	125,0	174,9	229,3	418,7						
3800	130,8	184,0								
4000	137,2	193,1	—	—	—	—	—	—	—	—
4500	151,9	215,8								
5000	167,0	239,0								

Примечания: 1. Жесткость компенсатора C_Q приведена для предварительного или рабочего перемещения $\pm\Delta$. 2. Распорное усилие от внутреннего давления C_P приведено для номинального (условного) давления и только от действия на гибкую оболочку, без учета действия силы давления на сечение трубы.

Таблица 23.7

Пределы применения линзовых компенсаторов, ОСТ 26-01-1512—76

Марка стали	Температура среды, °С	P, МПа, при P_y, МПа				
		0,25	0,6	1,0	1,6	2,5
Ст3сп4; 20; 20К; 16ГС; 09Г2С	100	0,25	0,6	1,00	1,60	2,5
	200	0,24	0,56	0,94	1,50	2,4
	250	0,22	0,54	0,90	1,40	2,2
	300	0,20	0,48	0,80	1,30	2,0
	350	0,18	0,44	0,72	1,15	1,8
	400	0,16	0,38	0,64	1,00	1,6
	425	0,12	0,32	0,54	0,85	1,2
	450	0,10	0,25	0,42	0,68	1,0
	475	0,08	0,20	0,32	0,52	0,8
08Х22М6Т; 08Х21Н6М2Т; 12Х18Н10Т; 10Х17Н13М3Т	100	0,25	0,60	1,00	1,60	2,5
	200	0,23	0,55	0,92	1,50	2,3
	250	0,22	0,54	0,90	1,40	2,2
	300	0,21	0,51	0,86	1,35	2,1
	350	0,20	0,50	0,82	1,30	2,0
	400	0,20	0,48	0,80	1,25	2,0
	425	0,20	0,47	0,78	1,25	2,0
	450	0,19	0,46	0,76	1,20	1,9
	475	0,19	0,45	0,75	1,20	1,9
	500	0,18	0,44	0,74	1,20	1,8
	540	0,18	0,44	0,72	1,15	1,8
	570	0,16	0,38	0,64	1,00	1,6
	600	0,12	0,29	0,48	0,78	1,2
	610	0,11	0,27	0,44	0,70	1,1
08Х18Н10Т; 08Х17Н15М3Т; 06ХН28МДТ	100	0,25	0,60	1,00	1,60	2,50
	200	0,22	0,53	0,88	1,40	2,20
	250	0,20	0,50	0,84	1,30	2,00
	300	0,19	0,46	0,76	1,20	1,90
	350	0,18	0,42	0,70	1,10	1,80
	400	0,16	0,40	0,66	1,05	1,65
	425	0,16	0,40	0,66	1,00	1,60
	450	0,16	0,40	0,64	1,00	1,60
	475	0,16	0,38	0,64	1,00	1,60
	500	0,16	0,38	0,62	1,00	1,55
	540	0,15	0,36	0,60	0,96	1,50
	570	0,13	0,32	0,54	0,85	1,30
	600	0,11	0,26	0,44	0,70	1,10
10Х17Н13М20	100	0,25	0,66	1,00	1,60	2,5
	200	0,23	0,55	0,92	1,50	2,3
	300	0,21	0,51	0,86	1,35	2,1
	350	0,20	0,50	0,82	1,30	2,0
	400	0,20	0,48	0,80	1,25	2,0
	450	0,19	0,46	0,76	1,20	1,9
10Х17Н13М2Т	500	0,18	0,44	0,74	1,20	1,8
	540	0,18	0,44	0,72	1,15	1,8
	570	0,16	0,38	0,64	1,00	1,6
	600	0,12	0,29	0,48	0,78	1,2
	625	0,10	0,23	0,38	0,62	1,0
	650	0,08	0,19	0,32	0,50	0,8
	675	0,06	0,16	0,26	0,42	0,6
	700	0,05	0,12	0,22	0,30	0,5

Таблица 23.8

Компенсирующая способность одной линзы линзовых компенсаторов, ОСТ 26-01-1512—76

p_y, МПа	D_y, мм	$\pm\Delta_л$, мм, при общем числе циклов работы компенсаторов за период эксплуатации, ч					
		300	600	1000	2000	5000	10 000
0,25	400—450	±9	±8	±7	±6,0	±5	±4
	500—5000	±10	±9	±8	±7	±6	±4,5
0,6	400—450	±7	±6,5	±6	±5	±4	±3,2
	500—3600	±8	±7,5	±7	±6	±4,5	±3,8
1,0	400—1400	±4,5	±4	±3,7	±3	±2,4	±2
	1600—3000	±4	±3,5	±3,3	±2,8	±2,3	±1,8
1,6	400—1400	±3,5	±3,3	±2,9	±2,4	±1,9	±1,5
	1600—2200	±3	±2,8	±2,6	±2,2	±1,7	±1,4
2,5	400—800	±2,5	±2,2	±1,9	±1,6	±1,2	±1,0

Примечания: 1. Для компенсаторов, не подвергаемых при монтаже предварительному растяжению или сжатию, компенсирующая способность принимается 75% от общей компенсирующей способности $2\Delta_л$. 2. Компенсирующая способность компенсаторов с дренажными трубками и без них принимается одинаковой.

Если компенсатор применяется для рабочего давления p, отличного от нормального (условного) p_y, то распорное усилие от действия давления на гибкий элемент

$$C_p^t = C_p p / p_y. \qquad (23.28)$$

Число линз в компенсаторе в зависимости от требуемого перемещения $\Delta_к$ (при предварительном сжатии или растяжении)

$$z_{лR} \geq \Delta_к / (2\Delta_л). \qquad (23.29)$$

ГЛАВА 24

ВРАЩАЮЩИЕСЯ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Вращающиеся элементы характерны для следующего технологического оборудования: центрифуги и сепараторы, реакторы с мешалками и распылительные сушилки с дисковыми распылителями, барабанные сушилки и барабанные печи, роторные и молотковые дробилки, дезинтеграторы и коллоидные мельницы.

24.1. Валы

Вал любого роторного агрегата является его важнейшей частью, поскольку производительность, точность технологических операций, ресурс агрегата и другие важные показатели зависят прежде всего от динамических перемещений и напряжений в материале вала. К валу непосредственно примыкают многие узлы и детали ротора и статора, надежность и экономичность которых в первую очередь зависят от работоспособности и размеров вала.

Расчету вала предшествует разработка его расчетной схемы, отражающей лишь наиболее важные факторы и исключающей все те несущественные особенности, которые не могут сказаться ни на точности расчета, ни на работоспособности агрегата в целом. Так, материал вала считается сплошной однородной, изотропной средой с идеальной упругостью, а деформации вала — малыми по сравнению с его размерами.

В зависимости от количества установленных на валу дисков, шкивов, барабанов, мешалок, зубчатых колес, муфт и других узлов и деталей разнообразного назначения различают валы с одной или многими сосредоточенными массами. При этом относительно менее массивные элементы полагают лишенными массы. По виду поперечного сечения различают валы постоянного и переменного сечений. В зависимости от места установки подшипников валы подразделяют (рис. 24.1) на однопролетные (с концевой опорой) и консольные. Наиболее часто валы рассматривают как прямые статически определимые стержни, закрепленные в шарнирных опорах и подвергающиеся изгибу и кручению заданными нагрузками. Центр опорного шарнира для валов на коротких опорах (одиночный подшипник качения, сдвоенный подшипник качения при условии самоустанавливаемости всего блока опоры, самоустанавливающийся подшипник скольжения при $l/d = 0{,}6 - 1{,}2$ и несамоустанавливающийся короткий подшипник скольжения при $l/d < 0{,}6$) соответствует на расчетных схемах середине подшипника (рис. 24.2). Для валов с длинными опорами (сдвоенные несамоустанавливающиеся подшипники качения; удлиненные несамоустанавливающиеся подшипники скольжения при $l/d \geq 0{,}6 - 1{,}2$) центр опорного шарнира вследствие неравномерности распределения нагрузки по длине цапфы находится, как показано на рис. 24.3. При этом подшипники, воспринимающие от вала одновременно радиальную и осевую нагрузки, считают шарнирно-неподвижными (фиксирующими) опорами вала (рис.24.4), а подшипники, воспринимающие лишь радиальные нагрузки, — шарнирно-подвижными (плавающими) опорами (рис.24.5). По значению рабочей угловой скорости ω различают валы тихоходные и быстроходные. Важнейшими критериями работоспособности тихоходных валов, расчеты которых подробно освещены в курсе «Детали машин», являются критерии прочности и жесткости. Расчет быстроходных валов предусматривает в качестве важнейшего критерия критерий виброустойчивости, выполнение которого обычно связано с одновременным удовлетворением условий прочности и жесткости.

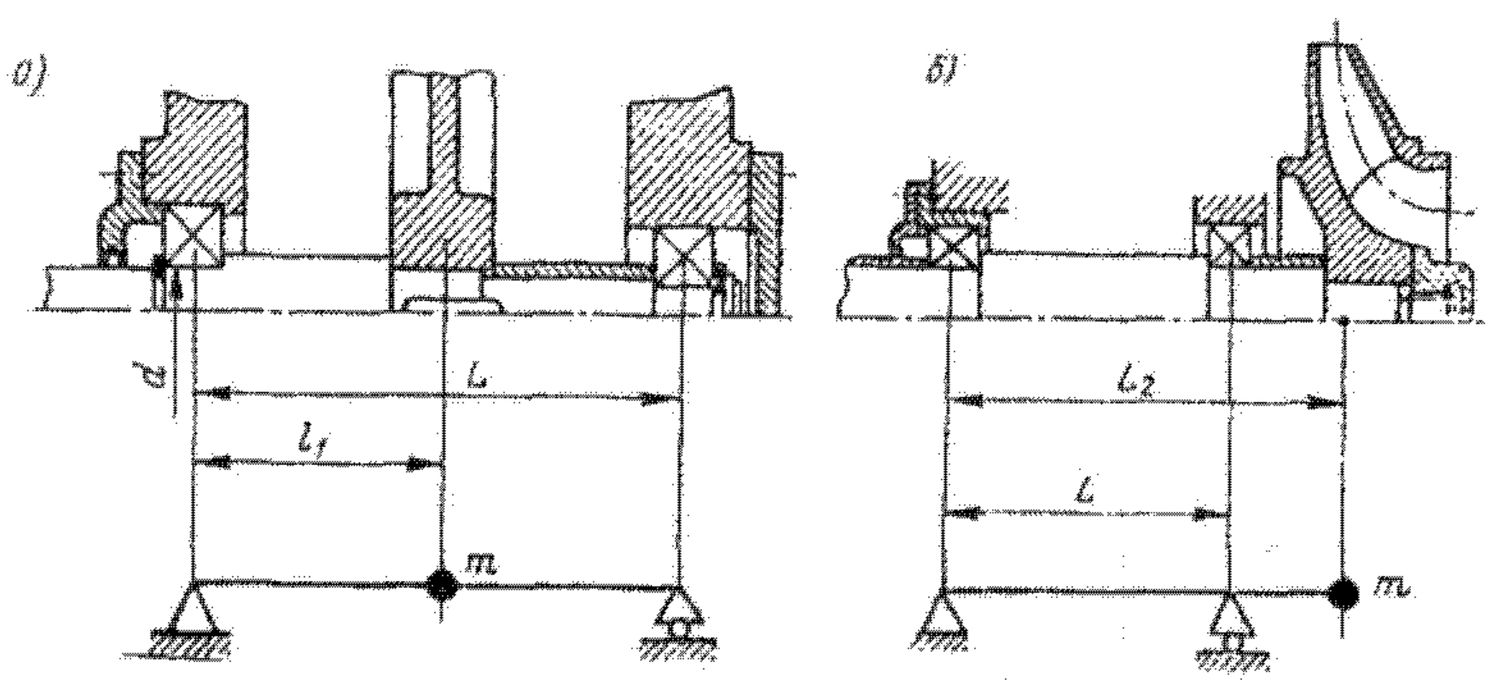


Рис. 24.1. Конструктивные и расчетные схемы однопролетного (*а*) и консольного (*б*) быстроходных валов

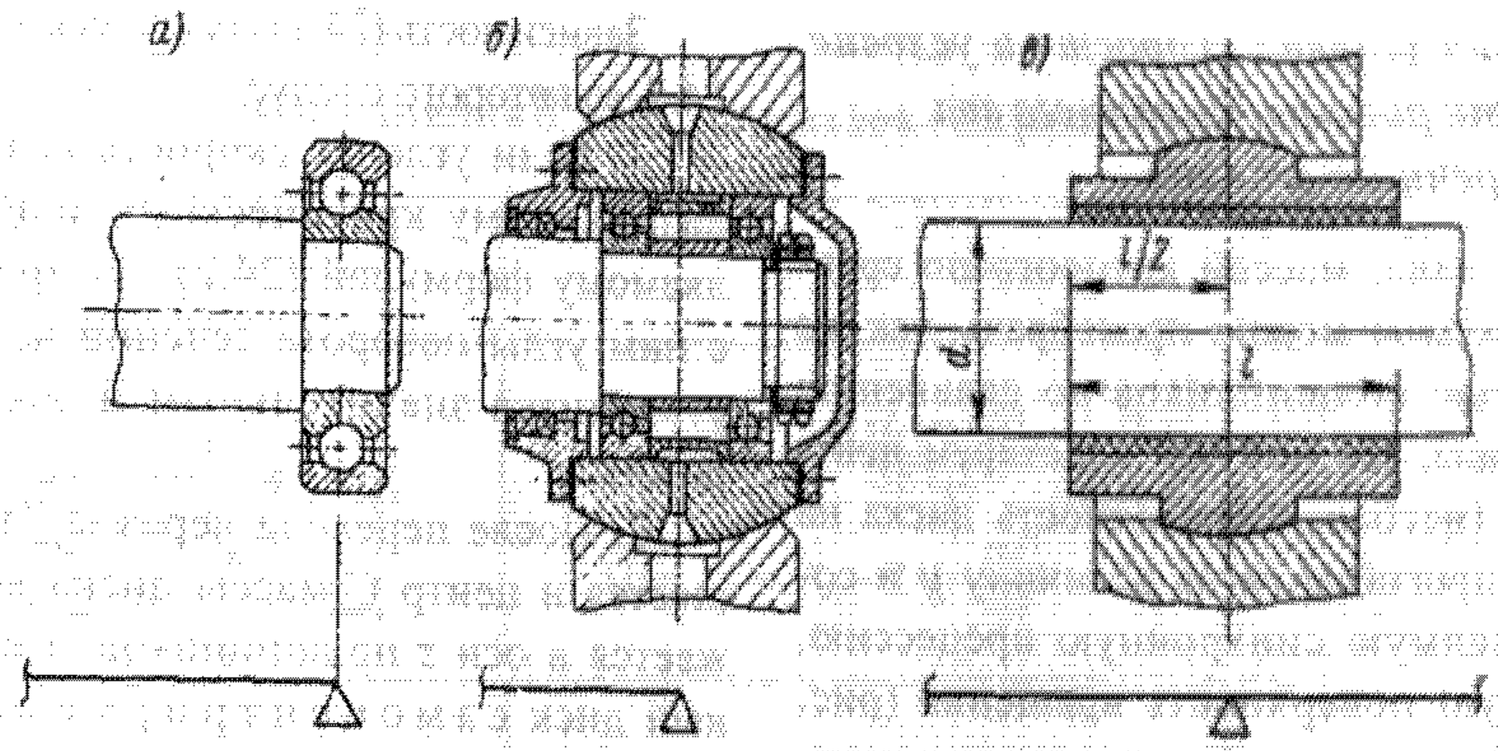


Рис. 24.2. Короткие шарнирные опоры валов: *а* — одиночный подшипник качения; *б* — сдвоенные подшипники качения, размещенные в сферической самоустанавливающейся втулке; *в* — самоустанавливающийся подшипник скольжения

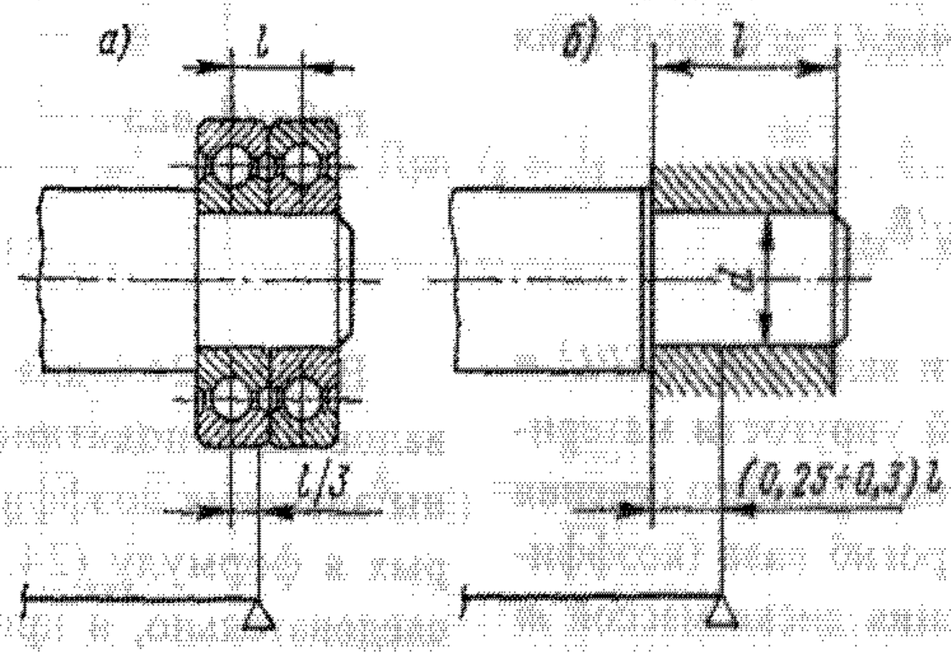


Рис. 24.3. Длинные шарнирные опоры валов: *а* — сдвоенные подшипники качения; *б* — несамоустанавливающийся подшипник скольжения

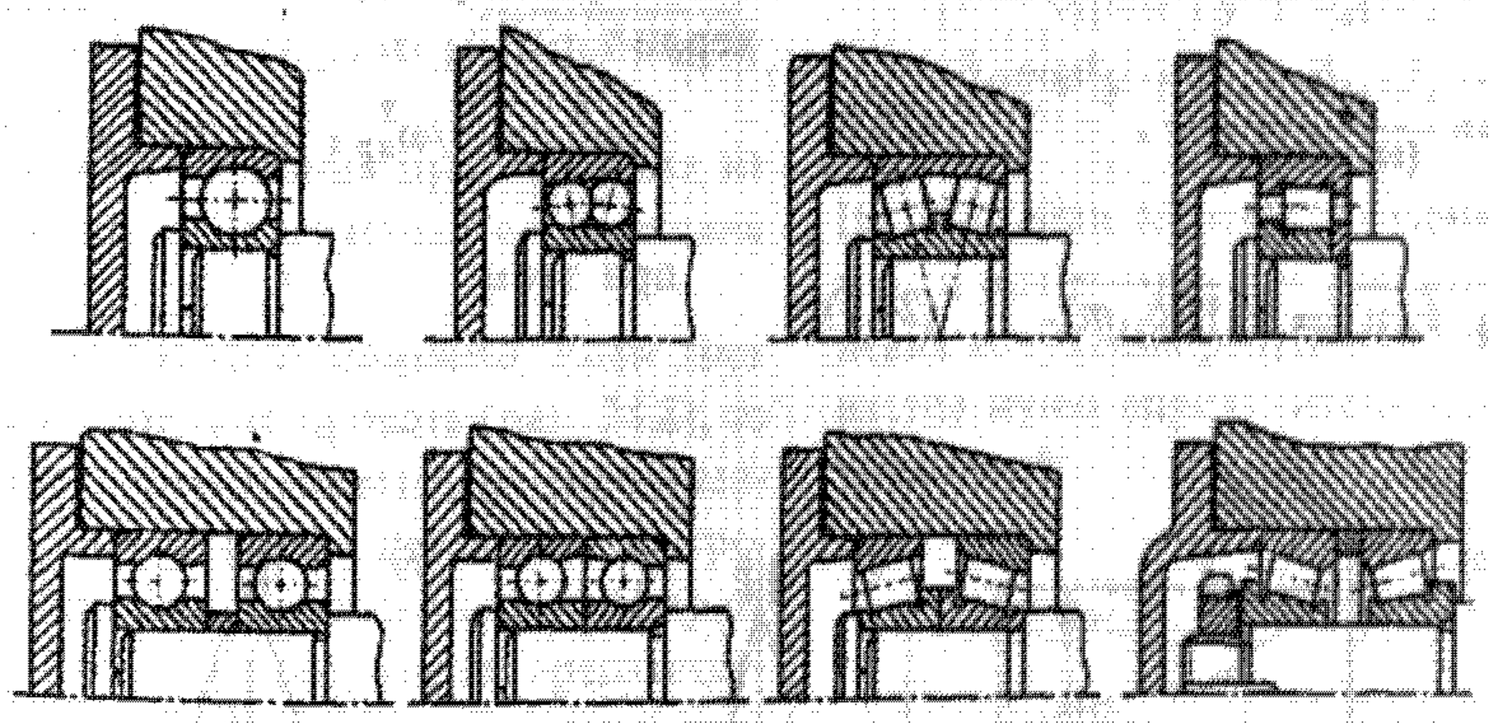


Рис. 24.4. Некоторые конструктивные варианты шарнирно-неподвижных опор валов с подшипниками качения

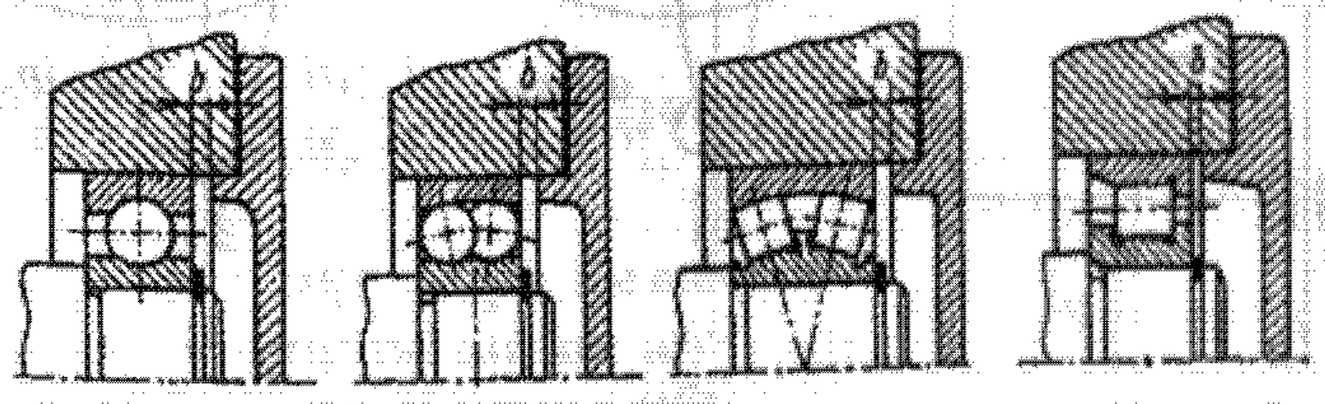


Рис. 24.5. Некоторые конструктивные варианты шарнирно-подвижных опор валов с подшипниками качения

24.1.1. Критическая угловая скорость и условие виброустойчивости ротора, имеющего вал постоянного поперечного сечения

При вращении вала, массой которого по сравнению с массой диска m можно пренебречь, так же как и податливостью подшипников по сравнению с податливостью вала, его ось под действием центробежной силы $F_ц$ (несбалансированность диска на эксцентриситет e) прогибается на величину y и совершает обычно прямую синхронную прецессию, описывая некоторую поверхность вращения (рис. 24.6, *б*, *в*). Центробежная сила $F_ц$ приложена в центре C массы диска

$$F_ц = m\omega^2 (y + e),$$

а противоположно направленная сила упругости вала $F_{упр}$ передается диску в точке O_1 его крепления на валу

$$F_{упр} = ky = y/\delta_{11},$$

где k — коэффициент жесткости вала, $k = 48EI/L^3 = 1/\delta_{11}$; E — модуль продольной упругости материала вала; I — момент инерции поперечного сечения вала; L — длина вала; δ_{11} — прогиб вала (коэффициент влияния) в точке крепления диска массой m от единичной поперечной силы, приложенной в той же точке (табл. 24.1).

Из условия равновесия $F_ц = F_{упр}$ получим $m\omega^2 (y + e) = ky$, или

$$y/e = \frac{1}{(\omega_{кр}/\omega)^2 - 1}, \qquad (24.1)$$

где

$$\omega_{кр} = \sqrt{k/m} = \sqrt{1/(\delta_{11}m)}. \qquad (24.2)$$

Зависимость (24.1) графически представлена на рис. 24.7, из которого следует:

1. Если угловая скорость ω приближается к так называемому критическому значению $\omega_{кр}$, определяемому формулой (24.2), то прогиб вала (а вместе с ним углы поворота сечений вала и реакции опор) становится значительным и может оказаться аварийным.

2. После перехода через $\omega_{кр}$ прогиб вала уменьшается и центр C массы диска все больше приближается в оси z подшипников, т.е. несбалансированный диск самоцентрируется.

3. Прогиб вала y/e близок к допускаемому, если удовлетворяются следующие условия виброустойчивости ротора, имеющего:

жесткий вал

$$\omega \leqslant 0{,}7\omega_{кр}; \qquad (24.3)$$

гибкий вал

$$\omega > 1{,}3\omega_{кр}. \qquad (24.4)$$

В табл. 24.1 для однопролетного и консольного валов на неподатливых подшипниках представлены значения коэффициентов δ_{11}, подстановка которых в формулу (24.2) позволит определить $\omega_{кр}$, а следовательно, и проверить условия виброустойчивости (24.3), (24.4).

Если на валу закреплен не один, а два или несколько дисков (см. табл. 24.1), то первая критическая скорость ротора вычисляется по формуле Донкерли

$$1/\omega_{кр}^2 = 1/\omega_{кр\,1}^2 + 1/\omega_{кр\,2}^2 + \cdots + 1/\omega_{кр\,n}^2, \qquad (24.5)$$

при этом

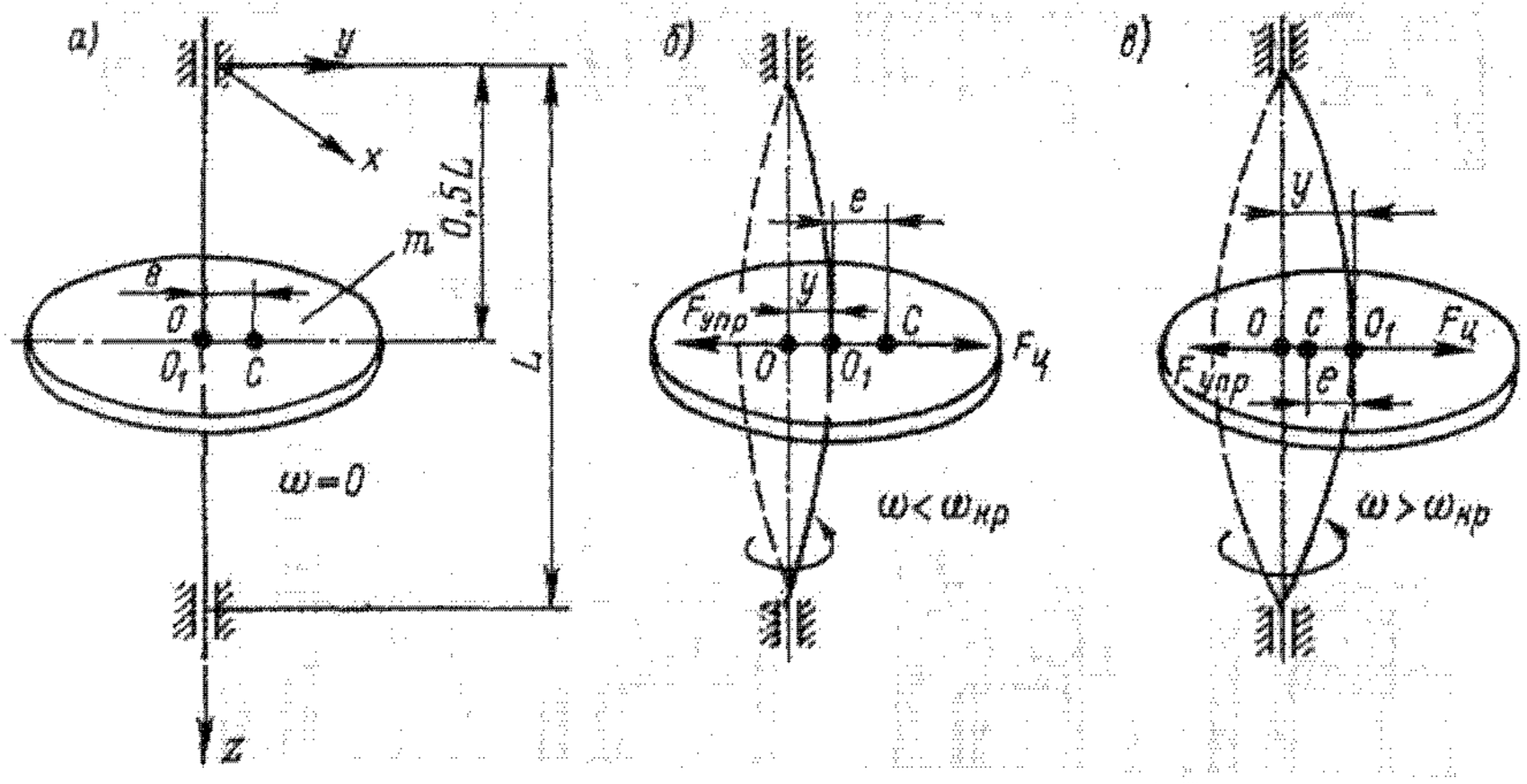
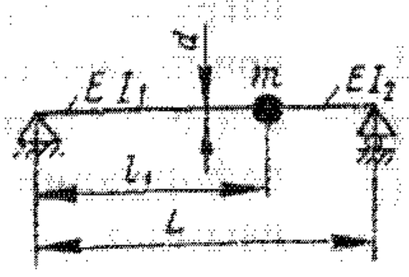
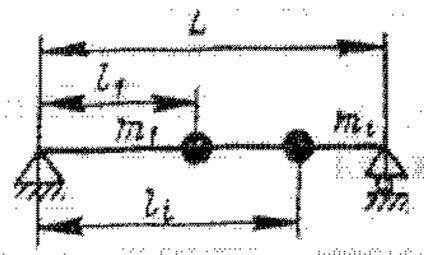
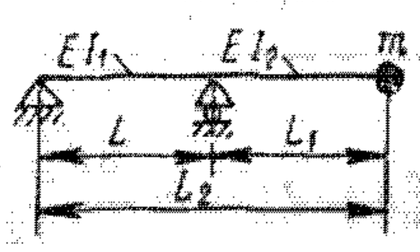
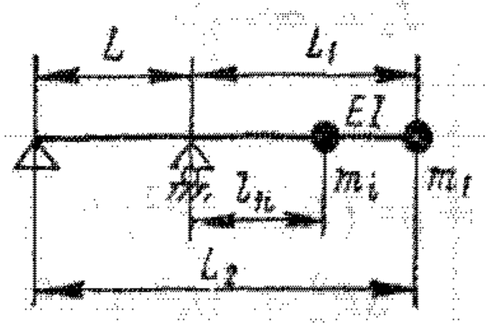


Рис. 24.6. Схемы положения центра инерции (точки C) диска, закрепленного в середине однопролетного вала: *а* — невращающегося ($\omega = 0$); *б* и *в* — вращающегося с угловой скоростью $\omega < \omega_{кр}$ и $\omega > \omega_{кр}$ соответственно

Таблица 24.1

Коэффициенты влияния δ_{11} и $\delta_{11(i)}$ для валов с сосредоточенными массами

Расчетная схема	Формулы
	$\delta_{11} = \frac{l_1^3 (L-l_1)^2}{3EI_1L^2} + \frac{l_1^3 (L-l_1)^3}{3EI_2L^2}$ При $I_1 = I_2 = I = \frac{\pi d^4}{64}$ $\delta_{11} = \frac{l_1^3 (L-l_1)^2}{3EIL}$
	$\delta_{11(1)} = \frac{l_1^3 (L-l_1)^2}{3EIL}$; $\delta_{11(i)} = \frac{l_i^3 (L-l_i)^2}{3EIL}$
	$\delta_{11} = \frac{LL_1^3}{3EI_1} + \frac{L_1^3}{3EI_2}$ При $I_1 = I_2 = I = \frac{\pi d^4}{64}$ $\delta_{11} = \frac{L_2 L_1^3}{3EI}$
	$\delta_{11(1)} = \frac{L_2 L_1^2}{3EI}$; $\delta_{11(i)} = \frac{(L+l_{1(i)}) l_{1i}^2}{3EI}$

$$\omega_{кр\,1} = \sqrt{1/(m_1\delta_{11(1)})};\ \ldots;\ \omega_{кр\,i} = \sqrt{1/(m_i\delta_{11(i)})},$$

где $\delta_{11(i)}$ — коэффициент влияния при установке на валу одного i-го диска, определяемый по формулам в табл. 24.1.

Влияние гироскопического момента. Если диск посажен на вал не в середине пролета (рис. 24.8), то при изгибе вала диск поворачивается на определенный угол γ; в этом случае на вал действуют центробежная сила $F_ц$ и гироскопический момент $M_г$ (рис. 24.8, *а*, *б*). Из рис. 24.8, *б* видно, что $M_г$ препятствует прогибу вала при его прямой синхронной прецессии. Прогиб y и угол поворота γ сечения вала связаны с нагрузками $F_ц$ и $M_г$ следующими зависимостями (рис. 24.8, *в*, *г*):

$$\left.\begin{aligned} y &= \delta_{11}F_ц - \delta_{12}M_г; \\ \gamma &= \delta_{21}F_ц - \delta_{22}M_г. \end{aligned}\right\} \qquad (24.6)$$

Учитывая, что $F_ц = m\varpi^2 y$; $M_г = \varpi^2(J_z - J_x)\gamma$, где осевой J_z и экваториальный J_x моменты инерции диска определяются по формулам, приведенным в табл. 24.2, уравнения (24.6) примут вид:

$$\left.\begin{aligned} (1 - \delta_{11}m\omega^2)\,y + \delta_{12}(J_z - J_x)\,\omega^2\gamma &= 0; \\ -\delta_{21}m\omega^2 y + [1 + \delta_{22}(J_z - J_x)\,\omega^2]\,\gamma &= 0. \end{aligned}\right\}$$

На основании теоремы взаимности перемещений $\delta_{12} = \delta_{21}$ и при $\varpi = \varpi_{кр}$ y и γ не равны нулю. Для нахождения ненулевых решений системы (24.6) приравнивается нулю определитель последних однородных уравнений:

$$\begin{vmatrix} 1 - \delta_{11}m\omega_{кр}^2 & \delta_{12}(J_z - J_x)\,\omega_{кр}^2 \\ -\delta_{12}m\omega_{кр}^2 & [1 + \delta_{22}(J_z - J_x)\,\omega_{кр}^2] \end{vmatrix} = 0.$$

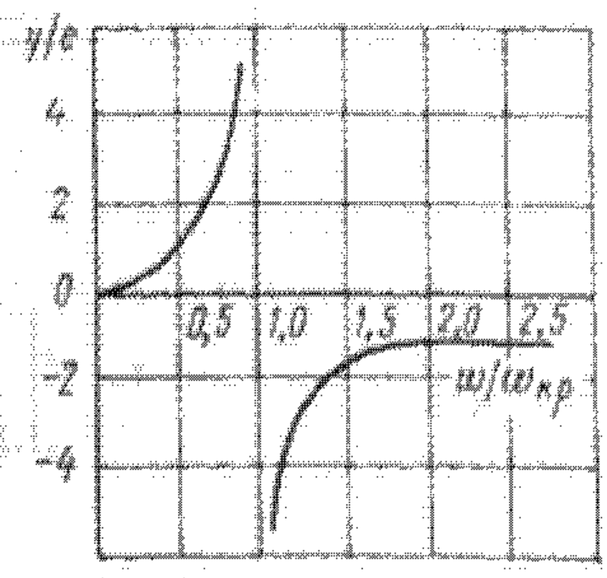


Рис. 24.7. Зависимость относительного прогиба вала y/e от отношения угловых скоростей $\varpi/\varpi_{кр}$

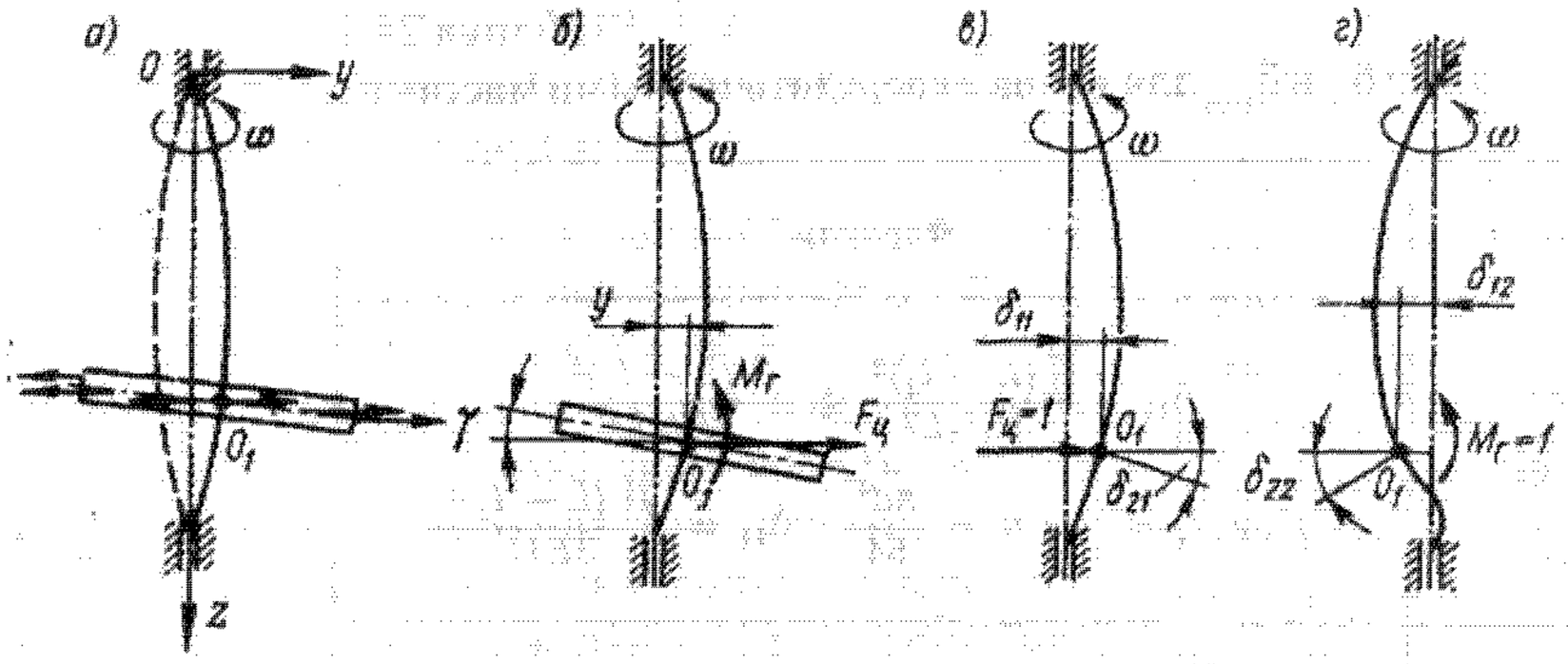
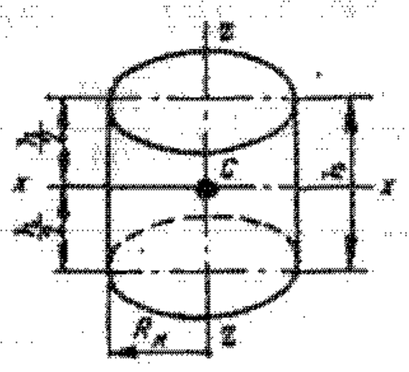
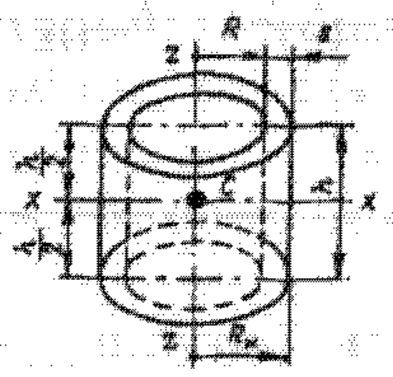
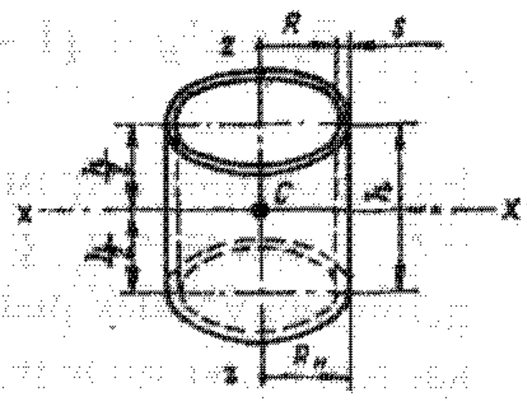
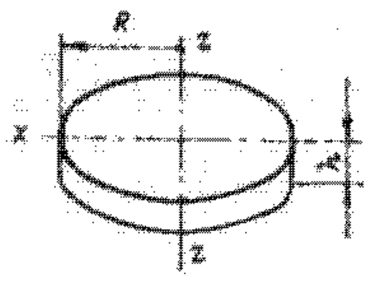
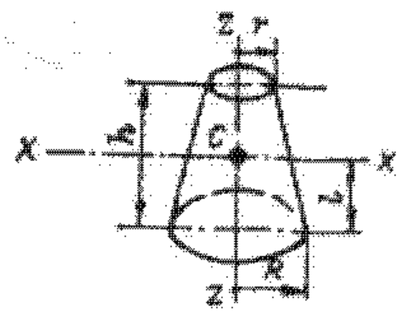


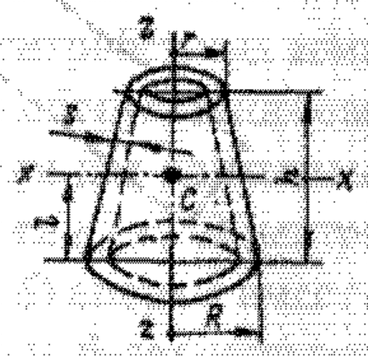
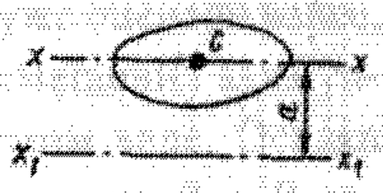
Рис. 24.8. К учету влияния создаваемого диском гироскопического момента на критическую скорость вала: *а* — схема действия сил на вращающийся диск при изгибе вала; *б* — схема действия нагрузок на вал со стороны диска при прямой синхронной прецессии; *в* и *г* — радиальные и угловые деформации вала от единичных нагрузок

Таблица 24.2

Моменты инерции масс некоторых тел

Наименование тела	Эскиз	Формулы
Цилиндр		$m = \rho\pi R_н^2 h;\quad J_x = m\dfrac{3R_н^2 + h^2}{12};$ $J_z = m\dfrac{R_н^2}{2}$
Полый цилиндр		$m = \rho\pi\left(R_н^2 - R^2\right)h;$ $J_x = m\dfrac{3R_н^2 + 3R^2 + h^2}{12};$ $J_z = m\dfrac{R_н^2 + R^2}{2}$
Тонкостенный цилиндр ($s \to 0$)		$m = 2\rho\pi R_н s h;\quad J_x = m\dfrac{6R_н^2 + h^2}{12};$ $J_z = mR_н^2$
Плоский диск радиусом R ($h \to 0$)		$m = \rho\pi R^2 h;\quad J_x = m\dfrac{R^2}{4};$ $J_z = m\dfrac{R^2}{2}$
Усеченный конус		$m = \dfrac{1}{3}\rho\pi h\left(R^2 + rR + r^2\right);$ $J_x = m\left[\dfrac{3}{20}\dfrac{R^5 - r^5}{R^3 - r^3} + \dfrac{3h^2}{80}\dfrac{(R+r)^4 + 4R^2r^2}{R^2 + Rr + r^2}\right];$ $J_z = \dfrac{3}{10}m\dfrac{R^5 - r^5}{R^3 - r^3};$ $l = \dfrac{h}{4}\dfrac{R^2 + 2Rr + 3r^2}{R^2 + Rr + r^2}$

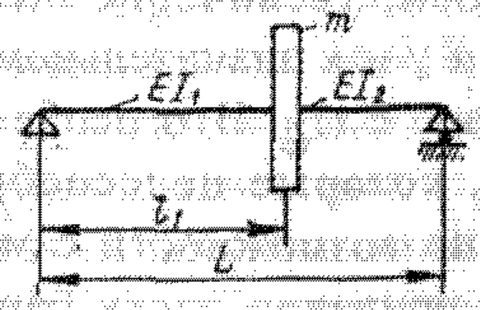
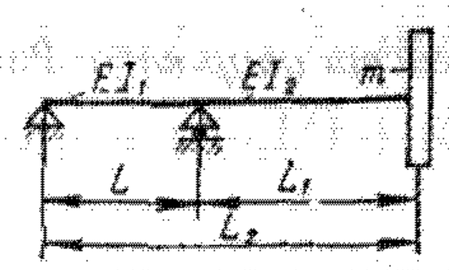
Продолжение табл. 24.2

Наименование тела	Эскиз	Формулы
Тонкостенный усеченный конус ($s \to 0$)		$m = \rho\pi (R + r) s \sqrt{h^2 + (R - r)^2}$; $J_x = m \left[\frac{9 (R^2 + r^2) + rh^2}{36} + \frac{h^2 Rr}{9 (R + r)^2} \right]$; $J_z = m \frac{R^2 + r^2}{2}$; $l = \frac{h}{3} \frac{R + 2r}{R + r}$
Любое тело		$J_{x_1} = J_x + ma^2$

Примечание. l — расстояние от центра инерции C тела до его нижнего основания.

Таблица 24.3

Коэффициенты влияния для валов с диском

Расчетная схема	Формулы
	$\delta_{11} = \frac{l_1^2 (L - l_1)^2}{3EI_1 L^2} + \frac{l_1^3 (L - l_1)^3}{3EI_2 L^3}$; $\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{l_1 (L - l_1)^3}{3EI_2 L^3} - \frac{l_1^2 (L - l_1)}{3EI_1 L^2}$; $\delta_{22} = \frac{l_1^3}{3EI_1 L^3} + \frac{(L - l_1)}{3EI_2 L^3}$; При $l_1 = l_2 = l$ $\delta_{11} = \frac{l_1^2 (L - l_1)^2}{3EIL}$; $\delta_{12} = \frac{l_1 (L - l_1) (L - 2l_1)}{3EIL}$; $\delta_{22} = \frac{l_1^3 + (L - l_1)^3}{3EIL^3}$
	$\delta_{11} = \frac{LL_1^2}{3EI_1} + \frac{L_1^3}{3EI_2}$; $\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{LL_1}{3EI_1} + \frac{L_1^2}{2EI_2}$; $\delta_{22} = \frac{L}{3EI_1} + \frac{L_1}{EI_2}$; При $l_1 = l_2 = l$ $\delta_{11} = \frac{L_2 L_1^3}{3EI}$; $\delta_{12} = \frac{L_1 (2L + 3L_1)}{6EI}$; $\delta_{22} = \frac{L + 3L_1}{3EI}$

Раскрывая определитель, получим

$$A\omega_{кр}^4 - B\omega_{кр}^2 - 1 = 0, \qquad (24.7)$$

где

$$A = m (\delta_{11}\delta_{22} - \delta_{12}^2) (J_z - J_x);$$

$$B = [-\delta_{11} m + \delta_{22} (J_z - J_x)].$$

Решение уравнения (24.7) приводит к формуле для расчета угловой критической скорости вала с учетом влияния гироскопического момента диска

$$\omega_{кр}^{гир} = \sqrt{\frac{B + \sqrt{B^2 + 4A}}{2A}} \qquad (24.8)$$

Если $M_z = 0$, т.е. $J_z = J_x$, то $A = 0$; $B = -\delta_{11} m$ и уравнение (24.7) примет вид $\omega_{кр}^2 \delta_{11} m - 1 = 0$, откуда получим уже

известное выражение (24.2). В табл. 24.3 для однопролетного и консольного валов приведены коэффициенты влияния $\delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{21}, \delta_{22}$; подставляя их значения в формулу (24.8) и неравенства (24.3), (24.4), можно рассчитать ротор на виброустойчивость с учетом влияния гироскопического момента диска.

Влияние вылета центра массы барабана. Барабаны центрифуг, диски распылительных сушилок и дезинтеграторов имеют значительную ширину, в результате чего центр C массы такого узла оказывается смещенным на определенное расстояние l_c от точки O_1 закрепления массы на валу (рис. 24.9). Чтобы учесть влияние вылета l_c (т.е. переноса силы $F_ц$ и момента M_r из точки O_1 в точку C) на $\varpi_{кр}$ ротора, необходимо переписать уравнения (24.6) с введением в них новых коэффициентов влияния:

$$\left.\begin{aligned} \delta_{1C} &= \delta_{11} + \delta_{12} l_C; \\ \delta_{2C} &= \delta_{21} + \delta_{22} l_C. \end{aligned}\right\} \qquad (24.9)$$

Значения $\delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{21}, \delta_{22}$ приведены ранее в табл. 24.3. Тогда уравнения (24.6) запишутся в виде:

$$\left.\begin{aligned} y &= \delta_{1C} m\omega^2 y_C - \delta_{12}(J_z - J_x)\omega^2\gamma; \\ \gamma &= \delta_{2C} m\omega^2 y_C - \delta_{22}(J_z - J_x)\omega^2\gamma. \end{aligned}\right\} \qquad (24.10)$$

Учитывая, что $y_C = y + \gamma l_C$, а также приравнивая нулю и раскрывая определитель системы однородных уравнений, получим, как и ранее,

$$A_C\omega_{кр}^4 - B_C\omega_{кр}^2 - 1 = 0, \qquad (24.11)$$

где

$$A_C = m(J_z - J_x)(\delta_{1C}\delta_{22} - \delta_{2C}\delta_{12});$$
$$B_C = \delta_{22}(J_z - J_x) - m(\delta_{1C} + \delta_{2C} l_C).$$

Решая уравнение (24.11), найдем критическую скорость

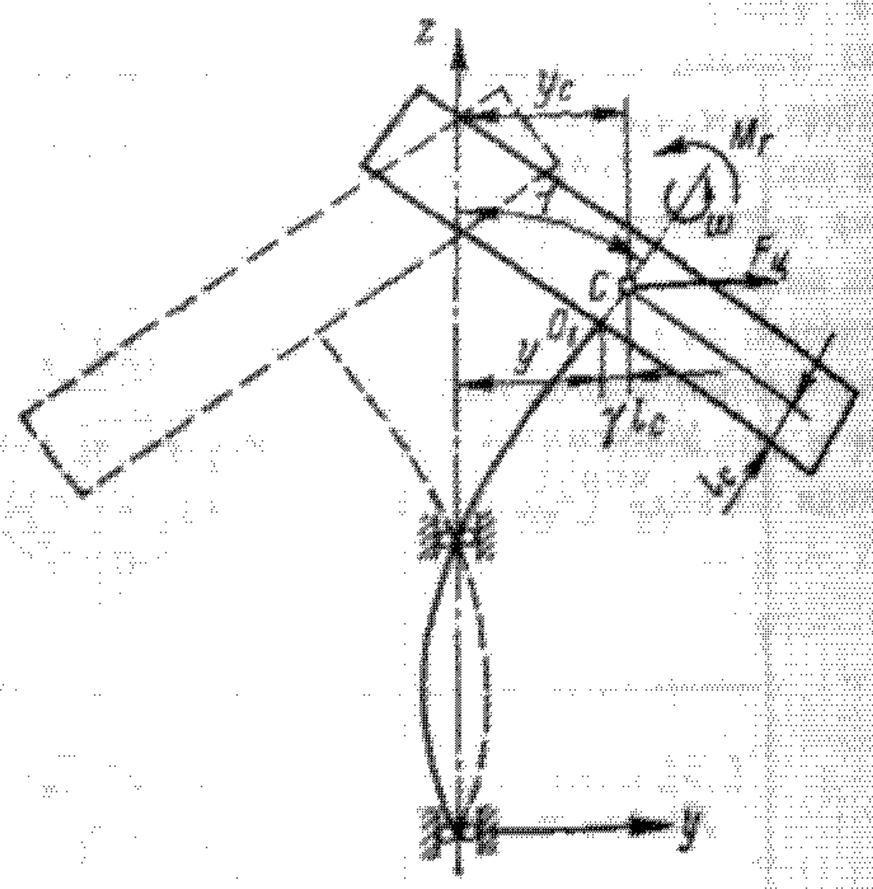


Рис. 24.9. К учету влияния вылета l_C центра масс диска на критическую скорость $\varpi_{кр}$ консольного вала

ротора с учетом влияния вылета центра C массы барабана

$$\omega_{кр}^C = \sqrt{\frac{B_C + \sqrt{B_C^2 + 4A_C}}{2A_C}}. \qquad (24.12)$$

Таким образом, увеличение вылета l_C ведет к увеличению y_C и γ и к значительному уменьшению $\varpi^C_{кр}$ по сравнению с $\varpi_{кр}$. Это особенно опасно для жестких валов, которые целесообразно поэтому проектировать по возможности с меньшим значением l_C за счет придания диску барабана сложной вогнутой формы. И, наоборот, если вал гибкий, то уменьшение $\varpi^C_{кр}$ за счет l_C способствует лучшему самоцентрированию барабана. Заметим, что при $l_C = 0$ $\delta_{1C} = \delta_{11}$, $\delta_{2C} = \delta_{21}$ и формулы для A_C, B_C переходят в формулы для параметров A и B вала с тонким диском.

Влияние упругости опор вала. Ранее предполага-

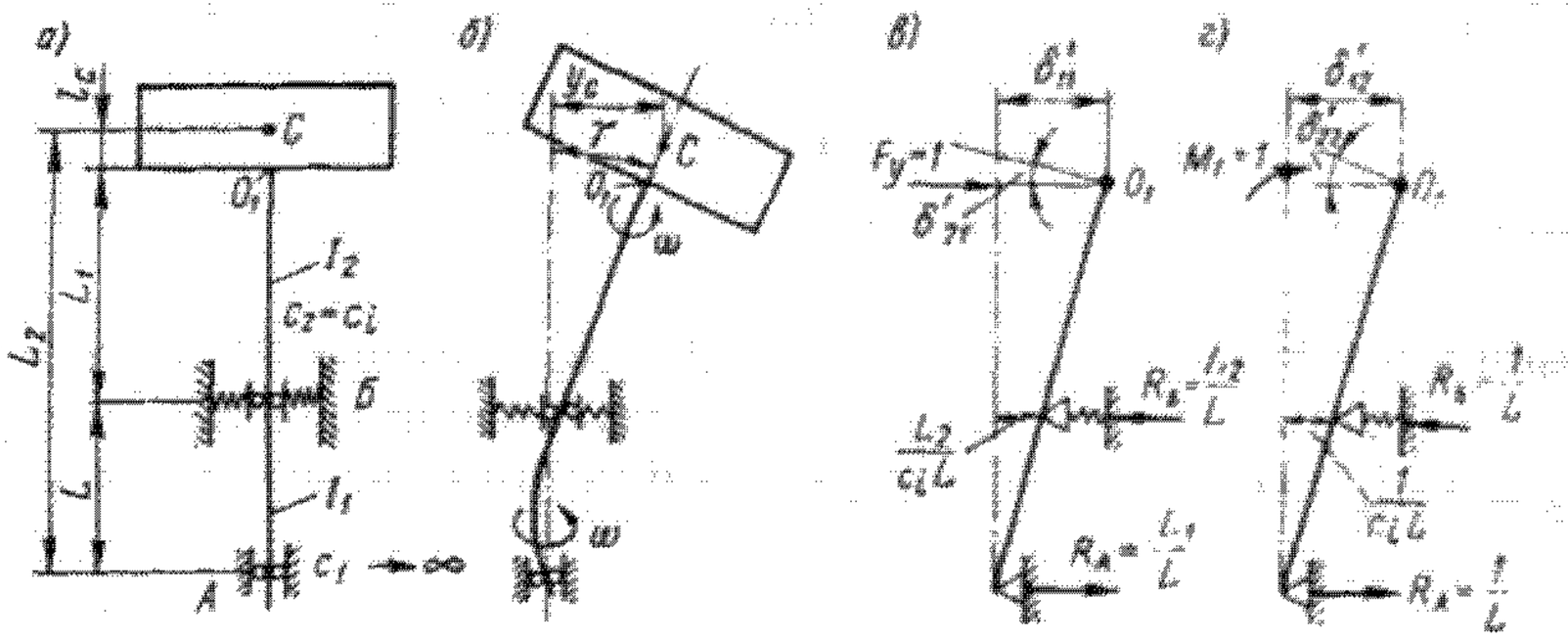


Рис. 24.10. К учету влияния податливости опор на критическую скорость консольного вала: *а* — покоящийся вал; *б* — вращающийся вал в режиме прямой синхронной прецессии; *в, г* — радиальные и угловые деформации вала от единичных нагрузок

лось, что подшипниковые узлы вала являются абсолютно жесткими. В действительности же за счет деформаций корпуса и подшипников опоры вала обладают некоторой упругостью, характеризующейся коэффициентом жесткости c_i. Для лучшего самоцентрирования роторы центрифуг, сепараторов, центробежных компрессоров и другого быстроходного оборудования специально устанавливают на одну или две податливые опоры с коэффициентами жесткости c_1, c_2. В центробежных сепараторах (рис. 24.10, *а*, *б*) опора *А* имеет $c_1 \to \infty$, а опора *Б* — $c_2 = c_i$. На прогиб y_c будет оказывать влияние как упругость вала, так и упругость опоры. Влияние упругости вала и вылета l_c уже оценено ранее, рассмотрим влияние на общие перемещения вала упругости опоры при недеформируемом вале. Осадка податливой опоры при известных реакциях R_A и $R_Б$ составляет (рис. 24.10, *в*) от единичной силы $L_2/(c_iL)$ и от единичного (рис.24.10, *г*) момента $1/(c_iL)$, легко найти из подобия треугольников соответствующие коэффициенты влияния. δ'_{11}, δ'_{12} находим из соотношений:

$$\frac{\delta'_{11}}{L_2/(c_iL)} = L_2/L; \qquad \delta'_{11} = L_2^2/(c_iL^2);$$

$$\frac{\delta'_{12}}{1/(c_iL)} = L_2/L; \qquad \delta'_{12} = L_2/(c_iL^2).$$

Аналогично получены и другие коэффициенты влияния, указанные в табл. 24.4. К выражениям для перемещений вала, вызванным наличием податливой опоры, добавим известные из табл. 24.3 выражения для упругих прогибов вала. Общие коэффициенты влияния вала с податливой опорой:

$$\delta^{\text{п}}_{11} = \delta'_{11} + \delta_{11} = L_2^2/(c_iL^2) + L_2L_1^2/(3EI);$$

$$\delta^{\text{п}}_{12} = \delta'_{12} + \delta_{12} = L_2/(c_iL^2) + L_1(2L + 3L_1)/(6EI);$$

$$\delta^{\text{п}}_{21} = \delta'_{21} + \delta_{21} = \delta^{\text{п}}_{12};$$

$$\delta^{\text{п}}_{22} = \delta'_{22} + \delta_{22} = 1/(c_iL^2) + (L + 3L_1)/(3EI).$$

Формулы (24.9) в применении к ротору с податливой опорой (см. рис. 24.10, *а*, *б*) примут вид:

$$\delta^{\text{п}}_{1C} = \delta^{\text{п}}_{11} + \delta^{\text{п}}_{12}l_C; \qquad \delta^{\text{п}}_{2C} = \delta^{\text{п}}_{21} + \delta^{\text{п}}_{22}l_C.$$

Тогда зависимости (24.6) запишутся в виде:

$$\left.\begin{aligned} y &= \delta^{\text{п}}_{1C}m\omega^2y_C - \delta^{\text{п}}_{12}(J_z - J_x)\,\omega^2\gamma; \\ \gamma &= \delta^{\text{п}}_{2C}m\omega^2y_C - \delta^{\text{п}}_{22}(J_z - J_x)\,\omega^2\gamma. \end{aligned}\right\} \qquad (24.13)$$

Учитывая, как и ранее, что $y_C = y + \gamma l_C$, получим уравнение частот в виде

$$A_{\text{п}}\omega^4_{\text{кр}} - B_{\text{п}}\omega^2_{\text{кр}} - 1 = 0, \qquad (24.14)$$

где

$$A_{\text{п}} = m(J_z - J_x)(\delta^{\text{п}}_{1C}\delta^{\text{п}}_{22} - \delta^{\text{п}}_{2C}\delta^{\text{п}}_{12});$$

$$B_{\text{п}} = \delta^{\text{п}}_{22}(J_z - J_x) - m(\delta^{\text{п}}_{1C} + \delta^{\text{п}}_{2C}l_C).$$

Решая уравнение (24.14), получим следующую формулу для критической скорости с учетом влияния податливости опор вала:

$$\omega^{\text{п}}_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{B_{\text{п}} + \sqrt{B^2_{\text{п}} + 4A_{\text{п}}}}{2A_{\text{п}}}}. \qquad (24.15)$$

В частном случае, когда $l_C = 0$; $J_z - J_x = 0$, получим:

$$A_{\text{п}} = 0; \quad B_{\text{п}} = -\delta^{\text{п}}_{11}m; \quad \omega^2_{\text{кр}}\delta^{\text{п}}_{11}m - 1 = 0;$$

$$\delta^{\text{п}}_{11} = \delta_{11} + \delta'_{11};$$

$$\omega^{\text{п}}_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{1}{\delta^{\text{п}}_{11}m}} = \sqrt{\frac{1}{(\delta_{11} + \delta'_{11})\,m}} =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{m\delta_{11}(1 + \delta'_{11}/\delta_{11})}}.$$

Последняя формула наглядно демонстрирует влияние жесткости опоры вала на значение критической скорости ротора. Так, при $c_1 \to \infty$, т.е. при жестком подшипнике, $\delta'_{11} = 0$ и $\omega^{\text{п}}_{\text{кр}} = \sqrt{1/(\delta_{11}m)}$, что совпадает с формулой (24.2) для ротора, имеющего абсолютно жесткие подшипники.

В табл. 24.4 приведены коэффициенты влияния и для других вариантов конструктивного оформления ротора на одной или двух податливых опорах. Формула (24.15) справедлива и для этих вариантов размещения податливых опор вала.

Важно отметить, что при наличии податливых опор ротора собственная упругость вала часто мало влияет на его критическую скорость. Положив $I_1 = I_2 = I \to \infty$ и $\delta_{11} = \delta_{22} = \delta_{12} = 0$, получим $A_{\text{п}} = 0$, тогда частотное уравнение (24.14) принимает вид:

$$-B_{\text{п}}\omega^2_{\text{кр}} - 1 = 0. \qquad (24.16)$$

Решение выражения (24.16) для вала на одной жесткой и второй податливой опорах следующее:

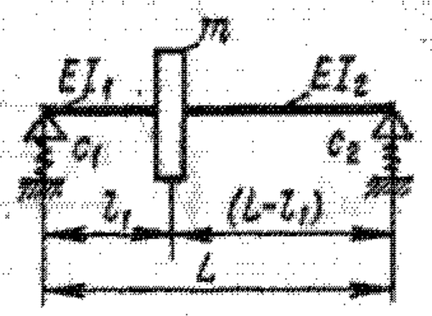
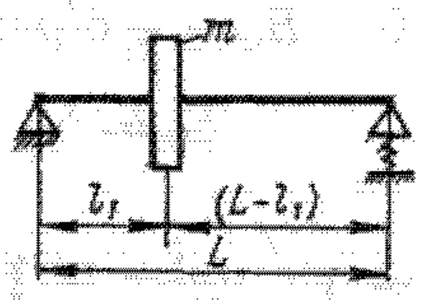
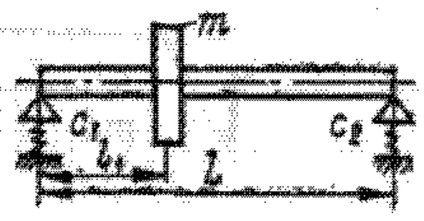
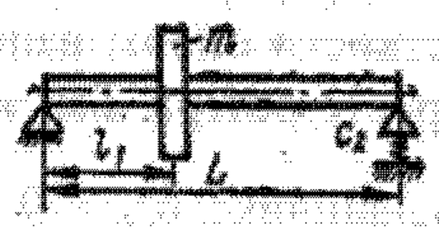
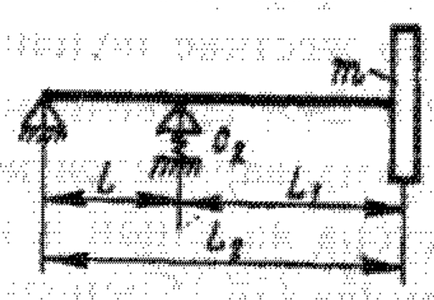
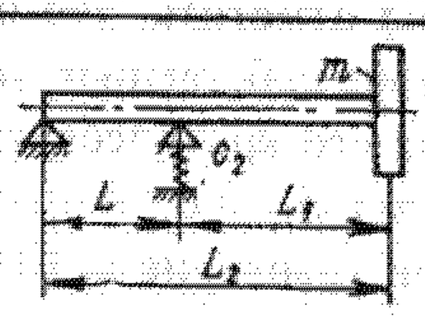
консольного вала (табл.24.4, п. 6)

$$\omega^{\text{п}}_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{c_iL^2}{J_x + mL_2^2 - J_z}}; \qquad (24.17)$$

однопролетного вала (табл. 24.4, п. 4)

Таблица 24.4

Коэффициенты влияния для валов на податливых опорах

№ п. п.	Расчетная схема	Формулы
1		$\delta_{11}^{п} = \delta_{11}' + \delta_{11}$; $\delta_{12}^{п} = \delta_{12}' + \delta_{12}$; $\delta_{22}^{п} = \delta_{22}' + \delta_{22}$; $\delta_{11}' = \left(\frac{l_1}{Lc_2} - \frac{L-l_1}{Lc_1}\right)\frac{l_1}{L} + \frac{L-l_1}{Lc_1}$; $\delta_{12}' = \left(\frac{1}{Lc_2} + \frac{1}{Lc_1}\right)\frac{l_1}{L} - \frac{1}{Lc_1}$; $\delta_{22}' = \frac{1}{L^2}\left(\frac{1}{c_2} + \frac{1}{c_1}\right)$; δ_{11}, δ_{22}, δ_{12} — см. табл. 23.3
2		То же, что и в п. 1, но $c_1 \to \infty$; $\delta_{11}' = \frac{l_1^2}{L^2 c_2}$; $\delta_{22}' = \frac{1}{L^2 c_2}$; $\delta_{12}' = \delta_{21}' = \frac{l_1}{L^2 c_2}$
3		То же, что и в п. 1, но $EI_1 = EI_2 \to \infty$; $\delta_{11} = \delta_{22} = \delta_{12} = 0$
4		То же, что и в п. 2, но $EI_1 = EI_2 \to \infty$; $\delta_{11} = \delta_{22} = \delta_{12} = 0$
5		$\delta_{11}^{п} = \delta_{11}' + \delta_{11}$; $\delta_{12}^{п} = \delta_{12}' + \delta_{12}$; $\delta_{22}^{п} = \delta_{22}' + \delta_{22}$; $\delta_{11}' = \frac{L_2^2}{L^2 c_2}$; $\delta_{12}' = \frac{L_2}{L^2 c_2} = \delta_{21}'$; $\delta_{22}' = \frac{1}{L^2 c_2}$; δ_{11}, δ_{12}, δ_{22} — см. табл. 23.3
6		То же, что и в п. 5, но $EI_1 = EI_2 = EI \to \infty$; $\delta_{11} = \delta_{22} = \delta_{12} = 0$

$$\omega_{кр}^{п} = \sqrt{\frac{c_1 L^2}{J_x + ml_1^2 - J_z}}, \qquad (24.18)$$

где L_2 — расстояние от шарнирной опоры до центра массы m диска. Для однопролетного вала на двух податливых опорах (24.4, п.3) при условии $J_z = J_x$ и $M_г = 0$

$$\omega_{кр}^{п} = \sqrt{\frac{c_1 c_2 L^2}{m\left[c_2(L-l_1)^2 + c_1 l_1^2\right]}}. \qquad (24.19)$$

В случае, если $l_1 = L/2$; $c_1 = c_2 = c$, уравнение (24.19) принимает вид:

$$\omega_{кр}^{п} = \sqrt{2c_1/m}. \qquad (24.20)$$

Влияние собственной массы вала. При изгибе

стержней постоянного по длине поперечного сечения имеют место следующие дифференциальные соотношения:

$$\gamma = \frac{dy}{dz}; \quad M = \frac{d^2y}{dz^2} EI; \quad Q = \frac{d^3y}{dz^3} EI;$$

$$q = \frac{d^4y}{dz^4} EI,$$

где γ, M, Q, q — угол поворота сечения, изгибающий момент, поперечная сила, линейная распределенная нагрузка в рассматриваемом сечении с координатой z соответственно. Применим последнее соотношение для рассмотрения равновесия вала (рис. 24.11), изогнутого равномерно распределенными центробежными силами $q = m_л \omega^2 y$, где $m_л$ — масса единицы длины вала, кг/м. Тогда

$$EI \frac{d^4y}{dz^4} = m_л \omega^2 y, \qquad (24.21)$$

или

$$d^4y/dz^4 - \alpha^4 y = 0,$$

где

$$\alpha^4 = m_л \omega^2/(EI). \qquad (24.22)$$

Общий интеграл дифференциального уравнения (24.21) запишется в виде

$$y = A_1 e^{\alpha z} + A_2 e^{-\alpha z} + A_3 \cos \alpha z + A_4 \sin \alpha z, \qquad (24.23)$$

где произвольные постоянные A_1, A_2, A_3, A_4, как обычно, находятся из граничных условий. При $z = 0$, а также при $z = L$ $y = 0$ и $d^2y/dz^2 = 0$, что при подстановке в выражение (24.23) дает следующую систему уравнений:

$$\left.\begin{aligned} A_1 + A_2 + A_3 &= 0; \\ A_1 + A_2 - A_3 &= 0; \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} A_1 e^{\alpha L} + A_2 e^{-\alpha L} + A_3 \cos \alpha L + A_4 \sin \alpha L &= 0; \\ A_1 e^{\alpha L} + A_2 e^{-\alpha L} - A_3 \cos \alpha L - A_4 \sin \alpha L &= 0, \end{aligned}\right\}$$

откуда $A_1 = 0$; $A_2 = 0$; $A_3 = 0$; $A_4 \sin \alpha L = 0$. Прогибы y вала бесконечно возрастают при равенстве нулю определителя, составленного из коэффициентов последней системы уравнений; решение этого определителя дает $A_4 \sin \alpha L = 0$, откуда и получим значение критической угловой скорости вала. Поскольку $A_4 \neq 0$, то $\sin \alpha L = 0$, т.е. $\alpha_1 L = \pi$; $\alpha_2 L = 2\pi$; ...; $\alpha_i L = i\pi$, чему соответствуют при подстановке в выражение (24.22) первая и вторая критические угловые скорости вала с учетом его собственной массы:

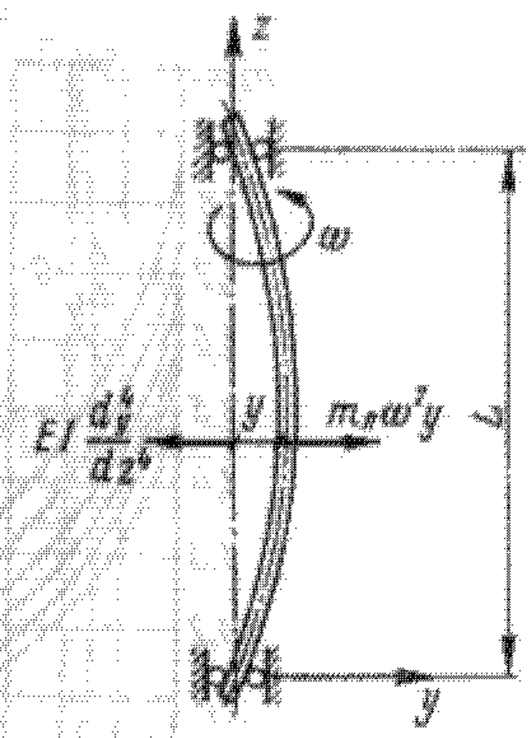


Рис. 24.11. К учету влияния собственной массы вала на его критическую скорость

$$\omega_{кр\,1} = (\alpha_1/L)^2 \sqrt{EI/m_л} = (\pi/L)^2 \sqrt{EI/m_л}; \qquad (24.24)$$

$$\omega_{кр\,2} = (\alpha_2/L)^2 \sqrt{EI/m_л} = (2\pi/L)^2 \sqrt{EI/m_л}. \qquad (24.25)$$

К расчетной схеме вала с распределенной массой целесообразно приводить не только гладкие валы, но и роторы со многими сосредоточенными массами дисков таких, например, аппаратов, как роторно-дисковых экстракторов, молотковых дробилок, многоярусных массообменных колонн с вращающимися контактными элементами и др. В этом случае линейная масса ротора составит

$$m_л = \rho \pi d^2/4 + n_i m_i/L, \qquad (24.26)$$

где ρ — плотность материала вала; m_i — масса одного диска или контактного элемента; n_i — число дисков или контактных элементов.

В случае, если на валу закреплена лишь одна сосредоточенная масса, то корни α_1 и α_2 частотного уравнения можно определить, решив дифференциальное уравнение (24.21) по методу акад. А.Н. Крылова. На рис. 24.12, *а*, *б* для ускорения практических расчетов по формулам (24.24), (24.25) приведены результаты этого решения в виде графиков $\alpha_1 = f\{m_{з.гр}/(m_л L_1); L/L_1\}$ для консольного и $\alpha_1 = f\{m_{з.гр}/(m_л L)\}$ для однопролетного валов, где $m_{з.гр}$ — масса закрепленных на валу элементов, приведенная у однопролетного вала к его середине и у консольного вала к краю его консоли.

24.1.2. Расчет валов переменного сечения

Главными критериями работоспособности таких валов являются виброустойчивость, жесткость и прочность.

Виброустойчивость. Расчет вала на виброустойчивость по точному методу А.Н. Крылова усложняет-

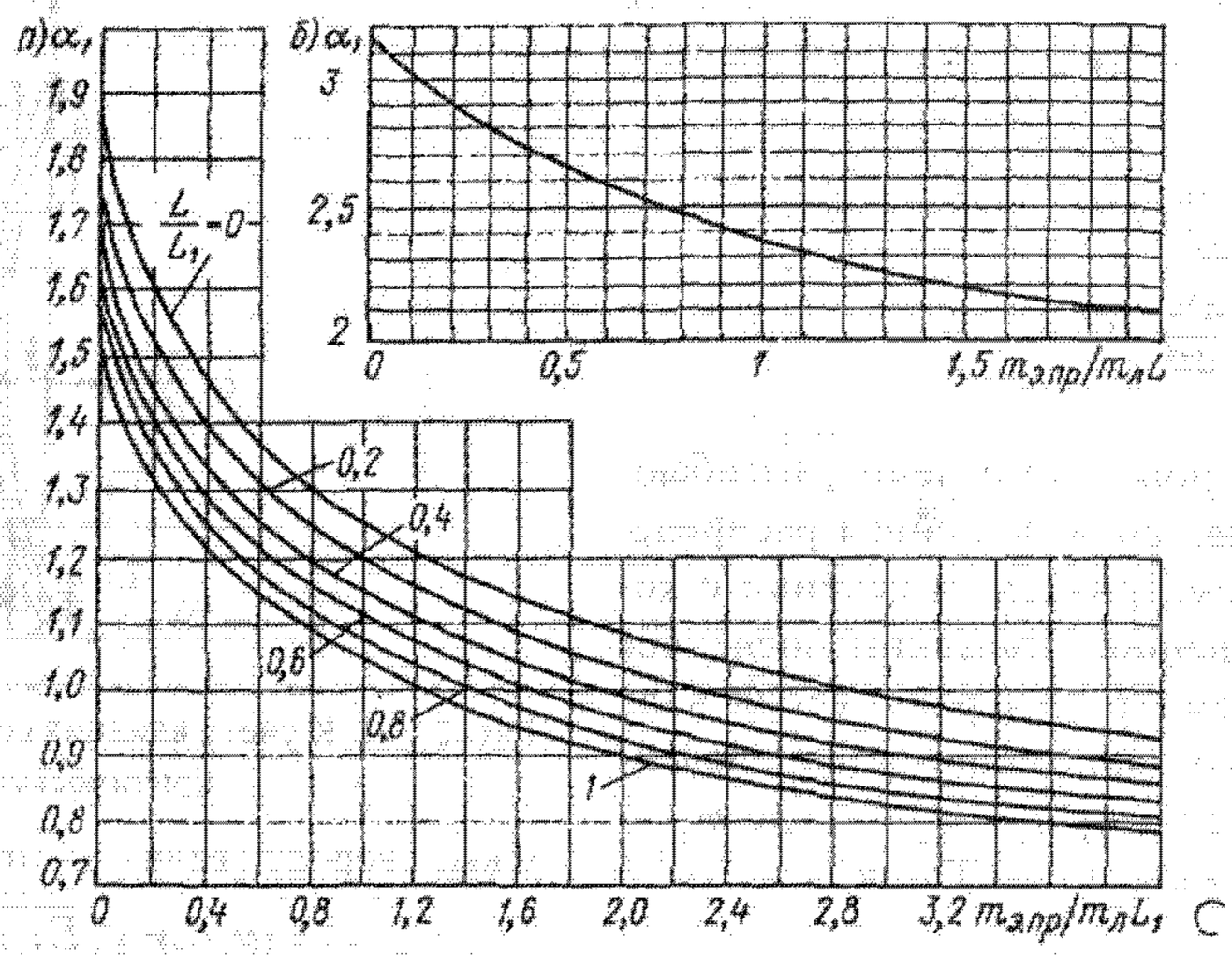


Рис. 24.12. Корни α_1 частотного уравнения для вала:
а — консольного; *б* — однопролетного

ся, если число сосредоточенных масс (дисков) оказывается больше единицы. В связи с этим в практике химического машиностроения получил распространение так называемый м е т о д п р и в е д е н и я, основанный на исследованиях акад. Ю.А. Шиманского.

Метод приведения, достаточно точный для инженерных расчетов, позволяет наглядно представить влияние многочисленных факторов на критическую скорость и тем самым способствует рациональному конструированию роторов. Метод базируется на использовании следующих известных формул, которые для удобства вычислений даны в безразмерном виде.

Относительный приведенный коэффициент жесткости вала:

консольного (рис. 24.13, *а*, *б*)

$$\bar{k}_{пр} = \frac{k_{пр}}{EI_{Б}/L_1^3} = \int_0^1 \bar{d}_z^4 (\bar{y}_z'')^2 d\bar{z}; \quad (24.27)$$

однопролетного (рис. 24.13, *в*, *г*)

$$\bar{k}_{пр} = \frac{k_{пр}}{EI/L^3} = \int_0^1 \bar{d}_z^4 (\bar{y}_z'')^2 d\bar{z}, \quad (24.27\text{ а})$$

где $k_{пр}$ — приведенный коэффициент жесткости вала, Н/м; $I_Б$ — момент инерции сечения вала на опоре *Б*, м^4; $\bar{z}$ — относительная текущая координата z, $\bar{z} = z/L_1$ — для консольного, $\bar{z} = z/L$ — для однопролетного вала; $\bar{d}_z$ — относительный диаметр вала в точке с координатой z, $\bar{d}_z = d_z/d_Б$; $\bar{y}_z$ — относительный прогиб вала в точке с координатой z, $\bar{y}_z = y_z/y_В$ (здесь $y_В$ — прогиб вала в точке приведения *В*, м).

Относительная приведенная масса вала:

консольного

$$\bar{m}_{в.\,пр} = \frac{m_{в.\,пр}}{\pi d_Б^2 \rho L_2/4} = \int_0^1 \bar{d}_z^2 \bar{y}_z^2 d\bar{z}; \quad (24.28)$$

однопролетного

$$\bar{m}_{в.\,пр} = \frac{m_{в.\,пр}}{\pi d_Б^2 \rho L/4} = \int_0^1 \bar{d}_z^2 \bar{y}_z^2 d\bar{z}, \quad (24.28\text{ а})$$

где $m_{в.\,пр}$ — приведенная масса вала, кг; $d_в$ — диаметр вала на опоре *Б*, м.

Относительная приведенная масса i-го конструктивного элемента, установленного на валу:

консольном

$$\bar{m}_{1i\,пр} = \frac{m_{1i\,пр}}{\pi d_Б^2 \rho L_2/4} = \bar{m}_{1i} \int_0^1 \bar{y}_z\, d\bar{z}, \quad (24.29)$$

где $m_{1i\,пр}$ — приведенная масса элемента (диска, муфты, барабана и т.п.) массой m_{1i}, установленного на консоли вала, кг;

однопролетном

$$\bar{m}_{i\,пр} = \frac{m_{i\,пр}}{\pi d_Б^2 \rho L/4} = \bar{m}_i \int_0^1 \bar{y}_z\, d\bar{z}, \quad (24.29\text{а})$$

где $m_{i\,пр}$ — приведенная масса элемента, имеющего массу m_i, кг.

Относительная приведенная масса вала и элемента, установленных на валу:

консольном

$$\bar{m}_{пр} = \bar{m}_{в.\,пр} + \sum \bar{m}_{1i\,пр}; \quad (24.30)$$

однопролетном

$$\bar{m}_{пр} = \bar{m}_{в.\,пр} + \sum \bar{m}_{i\,пр}. \quad (24.30\text{а})$$

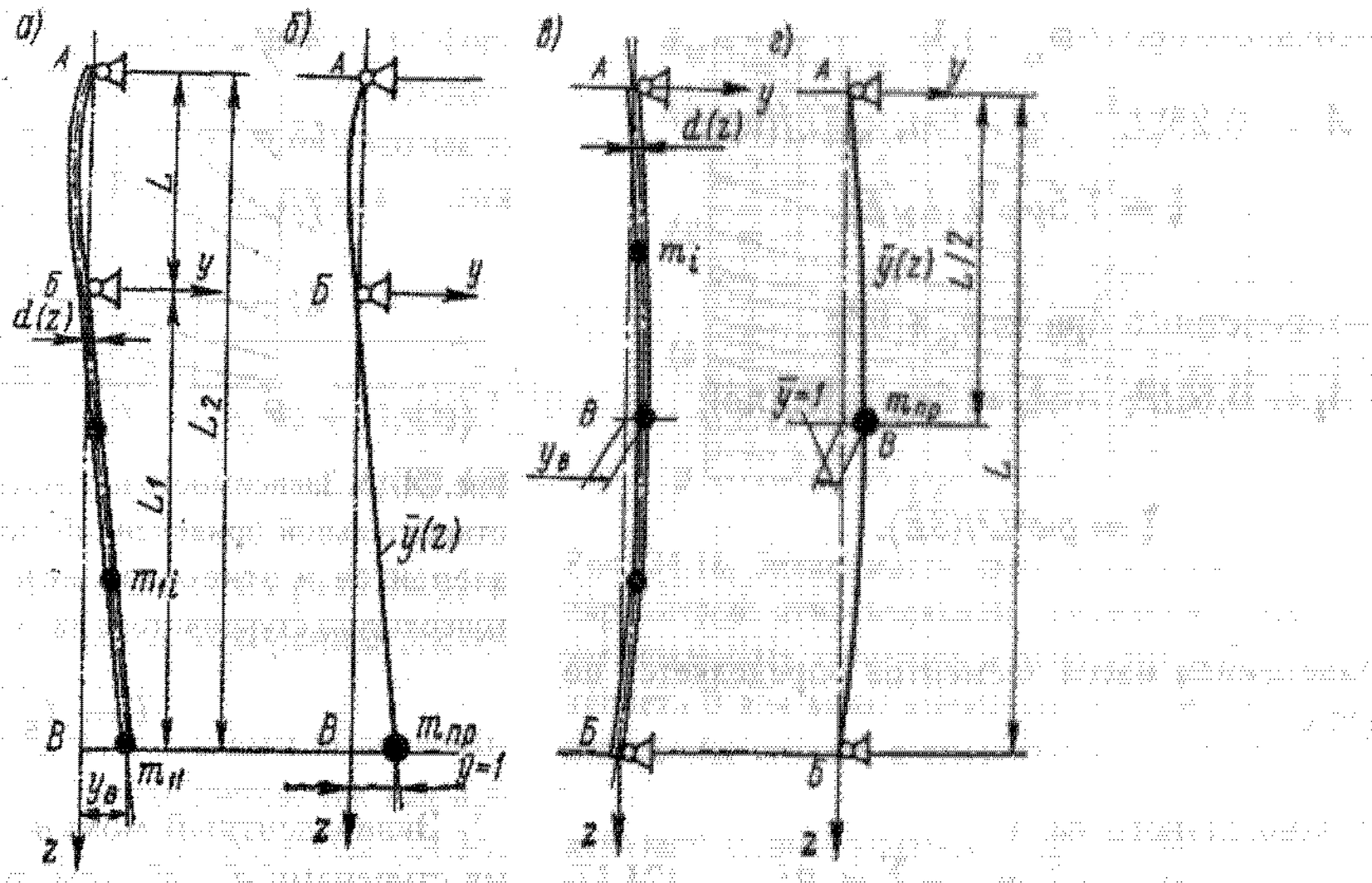


Рис. 24.13. К расчету консольного (*а, б*) и однопролетного (*в, г*) валов по методу приведения: *а, в* — реальные валы со многими сосредоточенными массами m_i; *б, г* — идеализированные расчетные схемы валов с одной приведенной массой $m_{пр}$, сосредоточенной в точке приведения *B*

Относительная критическая скорость вала

$$\bar{\omega}_{кр} = \sqrt{\bar{k}_{пр}/\bar{m}_{пр}}. \qquad (24.31)$$

Переход от безразмерного значения критической скорости к ее размерному значению $\varpi_{кр}$ осуществляется для консольных и однопролетных валов сплошного поперечного сечения по формулам, вытекающим из выражений (24.27)—(24.31):

$$\omega_{кр} = [\bar{\omega}_{кр} d_Б/(4L_2^2)]\sqrt{E/\rho};$$

$$\omega_{кр} = [\bar{\omega}_{кр} d_Б/(4L^2)]\sqrt{E/\rho}. \qquad (24.32)$$

Реальный вал сложной конструкции, нагруженный несколькими массами, в том числе и собственной массой (см. рис. 24.8, *а, в*), в рассматриваемом методе заменяется более простой идеализированной моделью вала (см. рис. 23.13, *б, г*) с одной сосредоточенной приведенной массой $m_{пр} = m_{в.пр} + \sum m_{i/пр}$ (консольный) или $m_{пр} = m_{в.пр} + \sum m_{i/пр}$ (однопролетный) и приведенными параметрами, вычисляемыми по формулам (24.27)—(24.31). За точку *B* приведения распределенных и сосредоточенных масс принято место крепления массы $m_{п}$ на консоли (см. рис. 24.13, *а*) и середина пролета для однопролетного вала (см. рис. 24.13, *г*), а форма оси $\bar{y}_z$ изогнутого вала считается совпадающей с формой оси при статическом изгибе вала поперечной силой, приложенной в точке приведения, и определяется следующими уравнениями:

консоль *БВ* консольного ступенчатого вала

$$\bar{y}_z = y_z/y_в = b_3(b_4\bar{z} + \bar{z}^2/2 + \bar{z}^3/6); \qquad (24.33)$$

$$b_3 = LI_Б/(3L_1 I_{экв}); \qquad b_4 = 1/(b_3 + 1/3); \qquad (24.34)$$

где $I_{экв}$ — эквивалентный момент инерции сечения вала в пролете *AB*, определяемый по формулам (24.40) и (24.41);

однопролетный вал постоянного поперечного сечения и пролет *АБ* консольного вала

$$\bar{y}_z = y_z/y_в = \sin(\pi z/L). \qquad (24.35)$$

Однопролетные валы нецелесообразно выполнять с переменным сечением по длине (конструктивные ступени вала, имеющие диаметр, отличающийся на ± 10% от диаметра вала $d_в$ в точке приведения *B*, в расчетах допустимо не учитывать).

Консольные валы целесообразно проектировать ступенчатыми, близкими по форме балке равного сопротивления изгибу (рис. 24.14), что позволяет уменьшить массу ротора и несколько увеличить его $\varpi_{кр}$.

Диаметр вала $d_Б$ в опорном сечении *Б* рассчитывается по формуле:

$$d_Б = \sqrt[3]{A_5 + \sqrt{A_5^2 + A_6}}, \qquad (24.36)$$

где для виброустойчивого вала: консольного при $\varpi/\varpi_{кр} \le 0{,}7$:

$$A_5 = 0{,}25\xi L_1^2; \qquad A_6 = 8m_{в.пр}\xi L_1/(\pi\rho);$$

$$\xi = 16\rho\omega^2 L_1 L_2/(3E);$$

консольного при $\varpi/\varpi_{кр} > 1{,}3$:

$$A_5 = 0{,}25\xi L_1^2; \quad A_6 = 8m_{э.\,пр}\xi L/(\pi\rho);$$

$$\xi = 1{,}5\rho\omega^2 L_1 L_2/E;$$

однопролетного при $\varpi/\varpi_{кр} \le 0{,}7$:

$$A_5 = 0{,}5\xi L^3; \quad A_6 = 8m_{э.\,пр}\xi L/(\pi\rho);$$

$$\xi = \rho\omega^2 L^2/(3E).$$

Приведенная масса элементов определяется по формулам:

для консольного вала

$$m_{э.\,пр} = \sum m_{1i\,пр} = \sum m_{1i}\eta^2_{zi}. \qquad (24.37)$$

для однопролетного вала

$$m_{э.\,пр} = \sum m_{i\,пр} = \sum m_{1i}\eta^2_{zi}. \qquad (24.38)$$

Формула (24.36), позволяющая быстро выполнить проектный расчет виброустойчивого вала, получена на основе условий (24.27)—(24.32).

После определения диаметра $d_Б$ по формуле (24.36) необходимо вычислить диаметры $d_Л$ и $d_В$ из условий прочности при кручении, а диаметры ступеней $d_{Л1}$, $d_{Л2}$, $d_{Л3}$ в пролете вала принять из конструктивных соображений $d_{Лi} \ge d_Л$ с учетом закрепления на валу тех или иных деталей. Диаметры ступеней на консоли необходимо принять в соответствии с формулой

$$d_{Б\,1i}(z) = d_Б\sqrt{1 - (1 - d_В^2/d_Л^2)\,\bar{z}^t}. \qquad (24.38)$$

Условие (24.38) позволяет замкнуть систему уравнений (24.27)—(24.31) и получить расчетную формулу (24.32) для $\varpi_{кр}$ ступенчатого многомассового вала. При этом показатель степени t формулы (24.38) выбирается согласно рис.24.15 в зависимости от относительной приведенной массы элементов $\bar{m}_{э.\,пр} = m_{э.\,пр}/m_л L_1$ и относительной податливости пролета

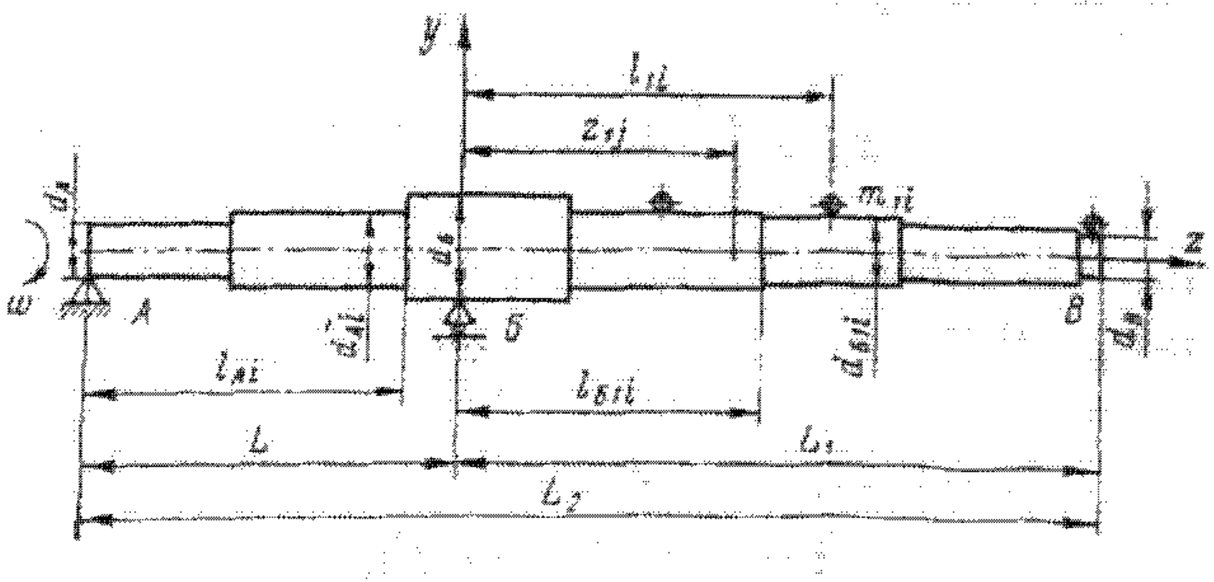


Рис. 24.14. Расчетная схема консольного ступенчатого вала с сосредоточенными массами m_{1i} на консоли вала

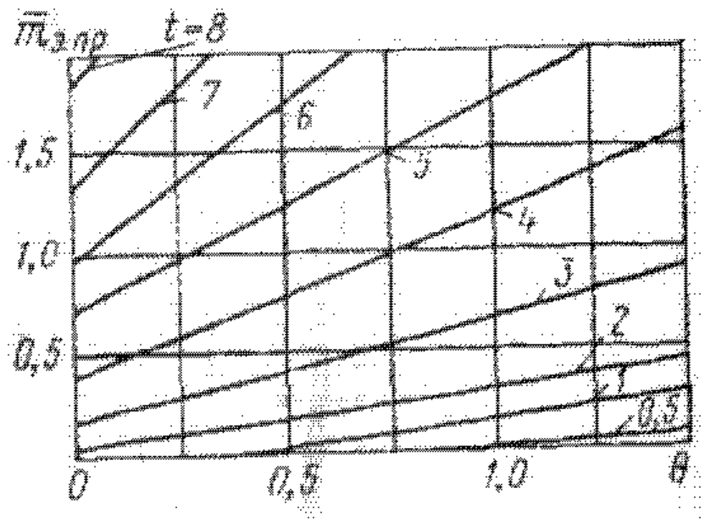


Рис. 24.15. Зависимость показателя степени t от параметров относительной приведенной массы $\bar{m}_{э.\,пр}$ установленных элементов и относительной податливости пролета θ консольного ступенчатого вала

$$\Theta = I_Б\, L/(I_{экв} L_1). \qquad (24.39)$$

Эквивалентный момент инерции пролета с двумя ступенями $d_{Л1}$, $d_{Л2}$ (см. рис. 24.14) рассчитывается по формуле:

$$I_{экв} = I_{Л1}\frac{1}{\bar{I}_{Л1}/\bar{I}_{Л2} + (l_{Л1}/L)^3\,(1 - \bar{I}_{Л1}/\bar{I}_{Л2})} \qquad (24.40)$$

и с тремя ступенями $d_{Л1}$, $d_{Л2}$, $d_{Л3}$ — по формуле:

$$I_{экв} = I_{Л1}\frac{1}{\bar{I}_{Л1}/\bar{I}_{Л3} + (l_{Л1}/L)^3\,(1 - \bar{I}_{Л1}/\bar{I}_{Л2}) + \overline{+ (l_{Л2}/L)^3\,(\bar{I}_{Л1}/\bar{I}_{Л2} - \bar{I}_{Л1}/\bar{I}_{Л3})}}, \qquad (24.41)$$

где $I_{Лi} = \pi d_{Лi}^4/64$; $I_Б = \pi\, d_Б^4/64$.

Тогда $\bar{\omega}_{пр} = \sqrt{\bar{k}_{пр}/\bar{m}_{пр}}$,

где
$$\bar{k}_{пр} = b_3^2\left[b_2^2 + \frac{1}{3} - 2b_1\left(\frac{1}{t+1} - \frac{2}{t+2} + \frac{1}{t+3}\right) + b_1^2\left(\frac{1}{2t+1} - \frac{2}{2t+2} + \frac{1}{2t+3}\right)\right]; \qquad (24.42)$$

$$\bar{m}_{пр} = \sum \bar{m}_{1i\,пр} + b_3^2\left[\frac{b_2^2}{3} + \frac{11}{60}b_2 + \frac{11}{420} - b_1\left(\frac{b_2^2}{t+3} + \frac{b_2}{t+4} + \frac{1}{4(t+5)} - \frac{b_2}{3(t+5)} - \frac{1}{6(t+6)} + \frac{1}{36(t+7)}\right)\right]; \qquad (24.43)$$

$$b_1 = 1 - (d_В/d_Б)^2. \qquad (24.44)$$

Изложенная выше методика касалась проектного расчета вала. При поверочном же расчете, когда

значение $d_Б$ задано, необходимо определить $\varpi_{кр}$ по формуле (24.32). При $d_В = d_Б = \text{const}$, т.е. $b_1 = 0$ (консоль постоянного по длине поперечного сечения), что часто встречается на практике, формула для $\varpi_{кр}$ упрощается:

$$\bar{\omega}_{кр} = \sqrt{\frac{b_3}{\sum \bar{m}_{1i\ пр} + b_3^2\left(b_2^2/3 + 11b_2/60 + 11/420\right)}}. \qquad (24.45)$$

Зависимость (24.45) приведена на рис. 24.16 в виде графика, способствующего ускорению расчетов вала на виброустойчивость.

Для консольных валов постоянного поперечного сечения расчет еще более упрощается, так как $d_Б = d_В = d_А = d$; $I_Б = I_{экв} = I$; $b = 0$ и формулы (24.34) принимают вид:

$$b_2 = L/(3L_1); \quad b_3 = 1/[L/(3L_1) + 1/3].$$

Это позволяет уравнения (24.33) и (24.35) представить на рис 24.17 в виде графиков, способствующих также ускорению расчета валов.

Для однопролетного вала постоянного поперечного сечения решение уравнений (24.27) и (24.28) с учетом (24.35) дает $k_{пр} = 48$ и $\bar{m}_{в.\,пр} = 0{,}5$. Вычислив по формулам (24.30), (24.37) $\bar{m}_{пр}$, легко получить далее по формуле (24.31) $\varpi_{кр}$ и найти по формуле(24.32) размерное значение критической скорости однопролетного вала заданного поперечного сечения.

Жесткость. При расчете динамических прогибов

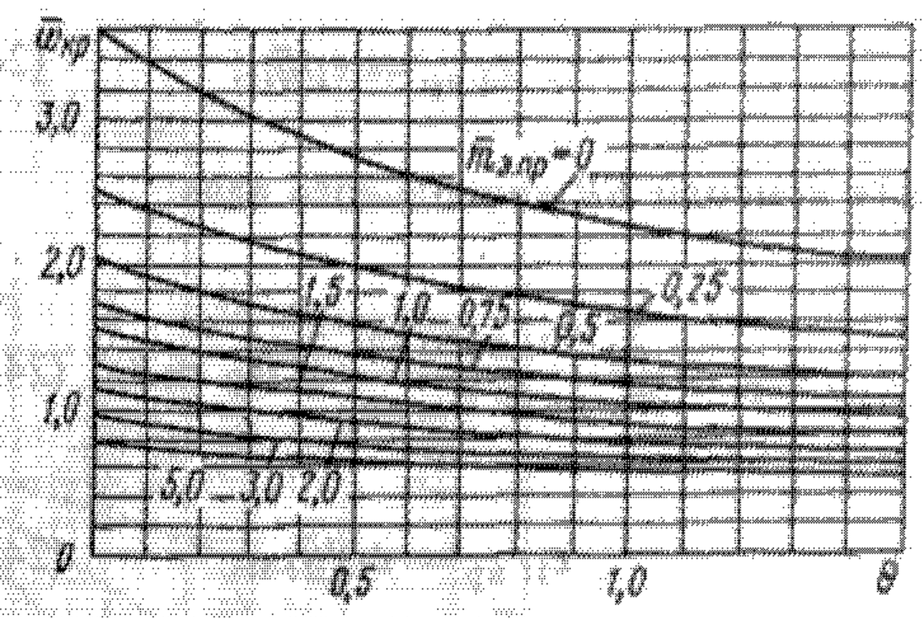


Рис. 24.16. Зависимость критической скорости $\varpi_{кр}$ от параметров: относительной приведенной массы $\bar{m}_{э.\,пр}$ установленных элементов и относительной податливости пролета θ для вала, имеющего на консоли постоянное поперечное сечение и ступенчатое в пролете

вала необходимо учитывать: радиальные перемещения Δ_z сечений из-за имеющихся зазоров $\Delta_А$ и $\Delta_Б$ в подшипниках (табл. 24.5, 24.6), начальную изогнутость $\varepsilon(z)$ из-за погрешностей его изготовления (табл. 24.7) и эксцентриситеты e_i и e_{ii} сосредоточенных масс m_i и m_{ii} (рис.24.18).

На основании развития метода приведения получены соотношения:

$$g_В = e_{пр}/[(\omega_{кр}/\omega)^2 - 1]; \qquad (24.46)$$

для пролета АБ консольного и однопролетного валов:

$$e_{пр} = \frac{\sum (m_{i\ пр} e_{i\ пр})}{m_{э.\,пр} + m_{в.\,пр}} + \Delta_В \pm \varepsilon_В; \qquad (24.47)$$

Таблица 24.5

Радиальные зазоры ($\Delta_А$ и $\Delta_Б$), мкм, по основному ряду в радиальных подшипниках

Внутренний диаметр подшипников, мм	Подшипники качения			
	однорядный шариковый	однорядный роликовый *		двухрядный сферический роликовый **
		взаимозаменяемый	невзаимозаменяемый	
30—40	12—26	20—55	30—45	25—40
40—50	12—29	20—55	30—45	30—45
50—65	13—33	25—65	35—55	30—50
65—80	14—34	30—70	40—60	40—60
80—100	16—40	35—80	45—65	45—70
100—120	20—46	40—90	50—75	50—80
120—140	23—53	45—100	60—90	60—90
140—160	23—58	50—115	70—105	65—100
160—180	24—65	60—125	75—115	70—110
180—200	29—75	65—135	80—120	80—120
200—225	33—83	75—150	90—135	90—140
225—250	35—90	90—165	100—150	100—150
250—280	40—100	100—180	110—165	110—170
280—315	45—105	110—195	120—180	120—180
315—355	50—115	125—215	135—205	140—210
355—400	55—125	140—235	150—225	150—230
400—450	—	160—260	165—245	170—260
450—500	—	180—290	185—275	190—290

* Короткие цилиндрические ролики и цилиндрическое отверстие.
** Цилиндрическое отверстие.

$$e_{i\,пр} = e_i/\bar{y}_{1i}; \qquad (24.48)$$

для консоли *БВ* консольного вала:

$$e_{пр} = \frac{\sum (m_{1i\,пр} e_{1i\,пр})}{m_{э.\,пр} + m_{э.\,пр}} + \Delta_B \pm e_B; \qquad (24.47а)$$

$$e_{1i\,пр} = e_{1i}/\bar{y}_{1\,1i}, \qquad (24.48а)$$

где $e_{пр}$, $e_{i\,пр}$ и $e_{1i\,пр}$ — приведенные эксцентриситеты соответственно системы и сосредоточенных масс m_i и m_{1i}. Знак плюс в формуле (24.47) принимается для докритической, а минус — для закритической областей работы вала. Начальная изогнутость вала в точке приведения $\epsilon_в$ задается из соображений технологии изготовления вала. Параметр $\epsilon_в$ связан с изогнутостью (табл. 24.7) в любом сечении вала соотношением

$$\epsilon_z = e_B \bar{y}_z. \qquad (24.49)$$

Смещение $\Delta_в$ вала в точке приведения связано с зазорами в подшипниках соотношениями:

консольный вал

$$\Delta_B = (\Delta_A + \Delta_Б) L_2/L_1 - \Delta_A; \qquad (24.50)$$

однопролетный вал

$$\Delta_B = (\Delta_A + \Delta_Б)/2. \qquad (24.51)$$

Формулы (24.50) и (24.51) вытекают из следующих более общих зависимостей: для пролета *АБ* консольного вала

$$\Delta_{zj} = (\Delta_A + \Delta_Б)\, z_j/L - \Delta_A; \qquad (24.52)$$

консольного участка БВ

$$\Delta_{z\,1j} = (\Delta_A + \Delta_Б)(z_{1j} + L)/L - \Delta_A; \qquad (24.53)$$

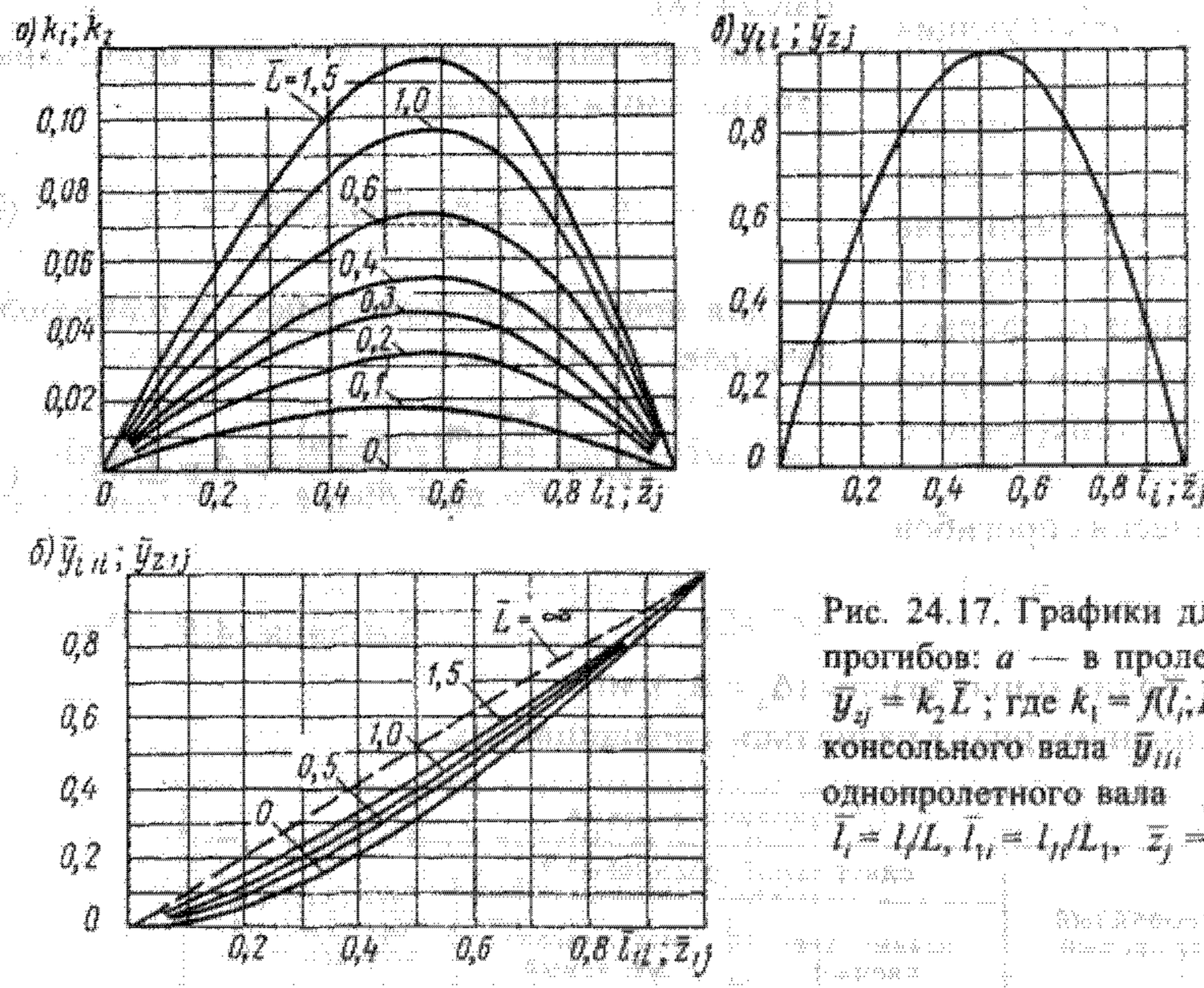


Рис. 24.17. Графики для определения безразмерных прогибов: *а* — в пролете консольного вала $\bar{y}_{1i} = k_1 \bar{L}$; $\bar{y}_{zj} = k_2 \bar{L}$; где $k_1 = f(\bar{l}_i; \bar{L})$; $k_2 = f(\bar{z}; \bar{L})$; *б* — на консоли консольного вала $\bar{y}_{1i} = f(\bar{l}_{1i}; \bar{L})$; $\bar{y}_{z1i} = f(\bar{z}_{1i}; \bar{L})$; *в* — однопролетного вала $\bar{y}_{1i} = f(\bar{l}_i)$, $\bar{y}_{zj} = f(\bar{z}_j)$ ($\bar{L} = L/L_1$, $\bar{l}_i = l_i/L$, $\bar{l}_{1i} = l_{1i}/L_1$, $\bar{z}_j = z_j/L$, $\bar{z}_{1j} = z_{1j}/L_1$)

Таблица 24.6

Радиальные зазоры в подшипнике скольжения при посадке H7/e8

Номинальные диаметры вала d_A и $d_Б$, мм	Зазоры Δ_A и $\Delta_Б$, мкм (предельные)	
	max	min
Св. 30 до 50	114	50
» 50 » 80	136	60
» 80 » 120	161	72
» 120 » 180	188	85
» 180 » 250	218	100
» 250 » 315	243	110
» 315 » 400	271	125

Таблица 24.7

Начальная изогнутость $\epsilon(z)$ вала

Отношение длины вала к его диаметру L/d	Радиальное биение вала в точке приведения e_B, мм
До 20	0,04
Св. 20 до 50	0,05
» 50	0,06

Примечание. Радиальное биение шеек под ступицы перемешивающих устройств и нерабочих поверхностей вала не должно превышать данных значений, увеличенных в 1,5 раза.

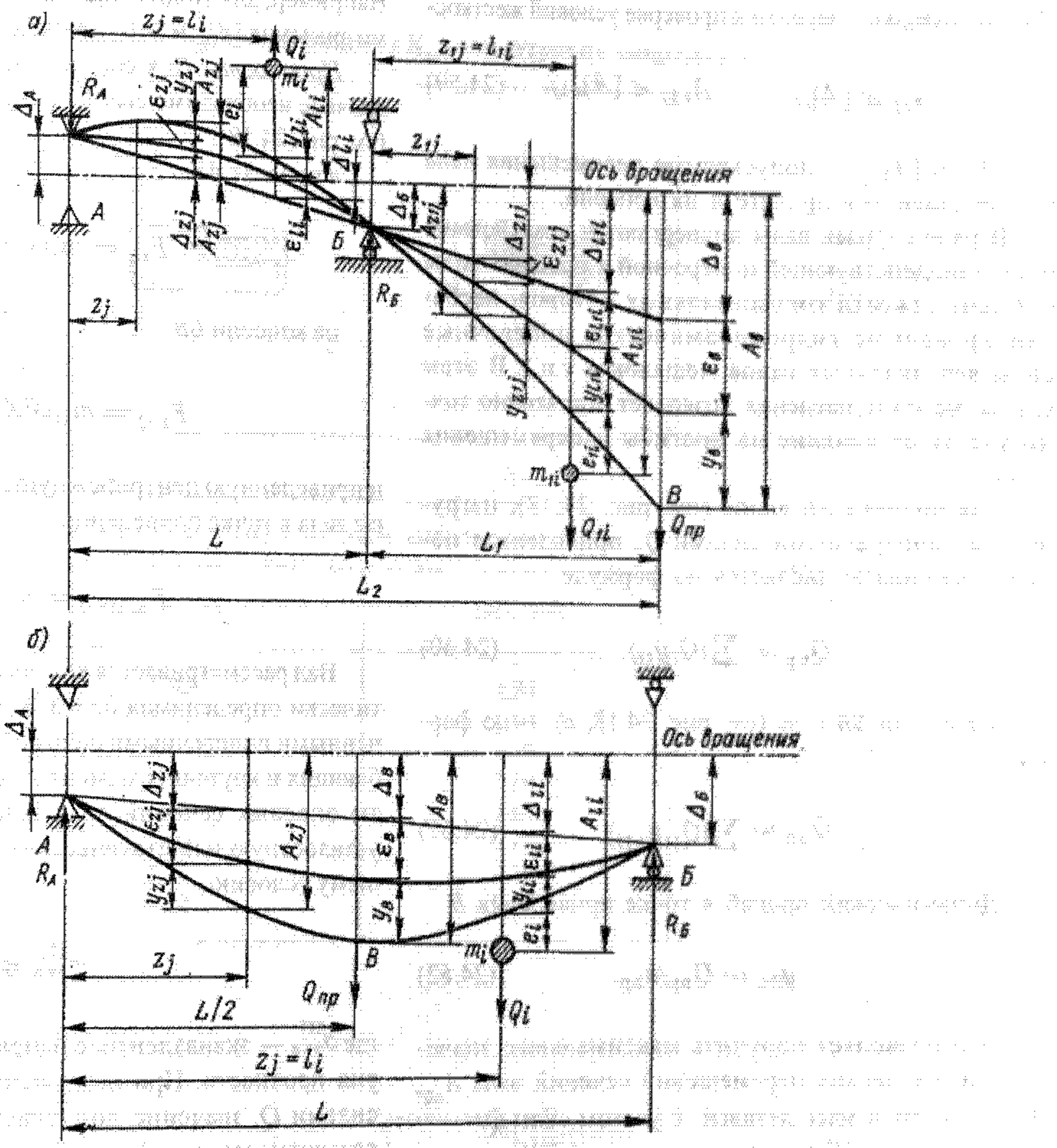


Рис. 24.18. Смещение оси вала и центров сосредоточенных на нем масс: *а* — консольного вала; *б* — однопролетного вала

однопролетного вала

$$\Delta_{zj} = (\Delta_Б - \Delta_A)\, z_j/L + \Delta_A. \qquad (24.54)$$

Если принять, что начальные смещения вала равны нулю, а единственная масса $m_i = m_{ii} = m$ закреплена на идеализированном (без учета массы вала) валу с эксцентриситетом $e_i = e_{ii} = e$, т.е. если $m_{пр} = m$; $\varepsilon_в = \Delta_в = 0$, тогда $e_{пр} = e$ и формула (24.46) упрощается до выражения (24.1)

$$y_В = e/[(\omega_{кр}/\omega)^2 - 1],$$

которое является частным случаем более общего условия(24.46), наглядно характеризующего влияние на динамический прогиб ряда важных параметров. Определив прогиб $y_в$ и учитывая форму оси изогнутого вала по формулам (24.33), (24.35), можно найти прогибы y_z и перемещения A_z других точек вала (см. рис. 24.18):

$$y_z = y_В \bar{y}_{zi}; \qquad (24.55)$$

$$A_{zi} = y_{zi} + \varepsilon_{zi} + \Delta_{zi};$$

$$A_{z\,ii} = y_{z\,ii} + \varepsilon_{z\,ii} + \Delta_{z\,ii}; \qquad (24.56)$$

$$A_в = y_в + \varepsilon_в + \Delta_в, \qquad (24.57)$$

а также найти динамические смещения центров масс:

$$\left.\begin{aligned} A_{ii} &= y_В \bar{y}_{ii} + \varepsilon_{ii} + \Delta_{ii} + e_i; \\ A_{i\,ii} &= -y_В \bar{y}_{i\,ii} + \varepsilon_{i\,ii} + \Delta_{i\,ii} + e_{ii}, \end{aligned}\right\} \qquad (24.58)$$

где $\bar{y}_{ii}$, Δ_{ii}, ε_{ii}, $\bar{y}_{iii}$, Δ_{iii} вычисляются по формулам (24.49)—(24.55) при $z = l_i$ и $z = l_{ii}$. Соотношения

(24.56) позволяют перейти к проверке условий жесткости:

$$A_{zj} \leqslant [A]_{zj}; \qquad A_{z1j} \leqslant [A]_{z1j}, \qquad (24.59)$$

где $[A]_{zj}$ и $[A]_{z1j}$ — допускаемые перемещения вала соответственно в пролете и на консоли.

В ряде случаев валы подвергаются воздействию постояннодействующей поперечной к оси вала силы Q (силы тяжести горизонтальных роторов, несбалансированные гидродинамические поперечные силы вертикальных валов мешалок и т.п.). В этом случае метод приведения позволяет достаточно точно учесть ее влияние на прогибы и перемещения вала.

Для пролета $АБ$ валов (см. рис. 24.18), нагруженных поперечными силами Q_i, приведенная поперечная сила вычисляется по формуле:

$$Q_{пр} = \sum(Q_i \bar{y}_{Ii}), \qquad (24.60)$$

а для консоли $БВ$ вала (см. рис. 24.18, $а$) — по формуле:

$$Q_{пр} = \sum(Q_{1i} \bar{y}_{1\,1i}). \qquad (24.61)$$

Динамический прогиб в точке приведения $В$

$$y_{BQ} = Q_{пр}/k_{пр}. \qquad (24.62)$$

Это позволяет получить максимальные значения динамических перемещений сечений вала A_{zjQ}, A_{z1jQ} и центров масс деталей с учетом силы Q:

в пролете $АБ$ однопролетного и консольного валов:

$$\begin{aligned} A_{zjQ} &= A_{zj} + y_{BQ} \bar{y}_{zj}; \\ A_{IiQ} &= A_{Ii} + y_{BQ} \bar{y}_{Ii}; \end{aligned} \qquad (24.63)$$

на консоли $БВ$ консольного вала:

$$A_{BQ} = A_B + y_{BQ}; \qquad (24.64)$$

$$A_{z\,1jQ} = A_{z\,1j} + y_{BQ} \bar{y}_{z\,1j}; \quad A_{I\,1jQ} = A_{I\,1j} + y_{BQ} \bar{y}_{I\,1j}.$$

Полученные соотношения (24.55)—(24.64) позволяют перейти к проверке условий жесткости ротора, если заданы допускаемые перемещения рассматриваемой конструкции ротора:

для пролета $АБ$

$$A_{zjQ} \leqslant [A]_{zj}; \qquad (24.65)$$

для консоли $БВ$

$$A_{zj\,1Q} \leqslant [A]_{z\,1j}. \qquad (24.66)$$

Например, для уплотнения валов аппаратов с мешалками значения $[A]_{zj}$ и $[A]_{z1j}$ приведены в табл. 24.8.

Прочность. Для составления условий прочности вначале необходимо вычислить сосредоточенные силы (см. рис. 24.18):

в пролете $АБ$

$$F_{iQ} = m_i \omega^2 A_{IiQ} + Q_i; \qquad (24.67)$$

на консоли $БВ$

$$F_{1iQ} = m_{1i} \omega^2 A_{I\,1iQ} + Q_{1i} \qquad (24.68)$$

и приведенную центробежную силу собственной массы вала в точке приведения

$$F_{в.\,пр\,Q} = m_{в.\,пр} \omega^2 A_{BQ}. \qquad (24.69)$$

Вал рассматривается как обычная двухопорная статически определимая балка, нагруженная сосредоточенными поперечными силами. Строятся эпюры изгибающих и крутящих моментов, выясняются координаты опасных сечений вала и проводится расчет на усталостную или статическую прочность по следующему условию:

$$\sigma^{III}_{экв} \leqslant [\sigma], \qquad (24.70)$$

где $\sigma^{III}_{экв}$ — эквивалентное напряжение по третьей теории прочности. При нагружении вала поперечными силами Q_i значение допускаемого напряжения $[\sigma]$ рассчитывается по формуле:

$$[\sigma] = \varepsilon_м \sigma_{-1}/(K_\sigma n_{min}), \qquad (24.71)$$

где K_σ — эффективный коэффициент концентрации напряжений (см. табл. 24.9); n_{min} — минимальный запас

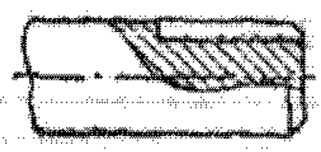
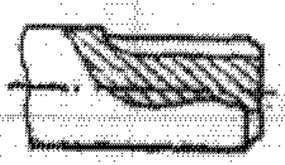
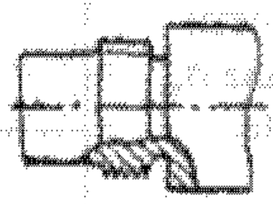
Таблица 24.8

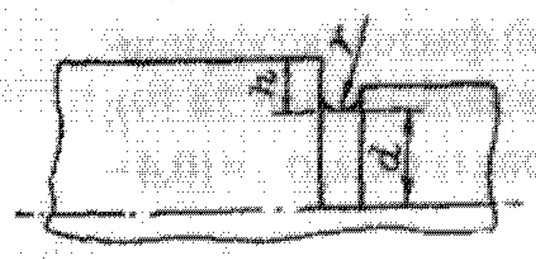
Допускаемые динамические перемещения вала ($[A]_{zj}$ и $[A]_{z1j}$, мм) в месте установки уплотнения

Частота вращения вала перемешивающего устройства, об/мин	Уплотнение			
	торцовое	сальниковое	манжетное	гидравлический затвор
До 100	0,25	0,10	0,15	0,25
100—500	0,25	—	0,15	0,25
500—750	0,15	—	0,10	0,25
750—2900	0,10	—	—	—

Таблица 24.9

Эффективный коэффициент K_σ концентрации напряжений

Предел прочности материала $\sigma_в$, МПа			
	K_σ		
	для валов со шпоночной канавкой, выполненной фрезой		для валов с метрической резьбой
	торцовой	дисковой	
400	1,30	1,51	1,45
500	1,38	1,64	1,78
600	1,46	1,76	1,96
700	1,54	1,89	2,20
800	1,62	2,01	2,32
900	1,69	2,14	2,47
1000	1,77	2,26	2,61
1200	1,92	2,50	2,90



Предел прочности материала $\sigma_в$, МПа	K_σ						
	для валов с выточкой при h/r						
	0,5					1	
	при r/d						
	0,01	0,02	0,03	0,05	0,10	0,01	0,02
400	1,88	1,79	1,72	1,61	1,44	2,09	1,99
500	1,93	1,84	1,77	1,66	1,48	2,15	2,05
600	1,98	1,82	1,82	1,71	1,52	2,21	2,11
700	2,04	1,95	1,87	1,77	1,55	2,27	2,17
800	2,09	2,00	1,92	1,82	1,59	2,37	2,20
900	2,15	2,06	1,97	1,88	1,62	2,39	2,28
1000	2,20	2,11	2,02	1,93	1,66	2,45	2,35
1200	2,31	2,22	2,12	2,04	1,73	2,57	2,49

Продолжение табл. 24.9

Предел прочности материала $\sigma_в$, МПа	K_σ						
	для валов с выточкой при h/r						
	1		2		3		
	при r/d						
	0,03	0,05	0,01	0,02	0,03	0,01	0,02
400	1,91	1,79	2,29	2,18	2,10	2,38	2,28
500	1,97	1,85	2,36	2,25	2,16	2,47	2,35
600	2,03	1,91	2,43	2,32	2,22	2,56	2,42
700	2,08	1,97	2,50	2,38	2,28	2,64	2,49
800	2,14	2,03	2,56	2,45	2,35	2,73	2,56
900	2,19	2,09	2,63	2,51	2,41	2,81	2,63
1000	2,25	2,15	2,70	2,58	2,47	2,90	2,70
1200	2,36	2,27	2,84	2,71	2,59	3,07	2,84

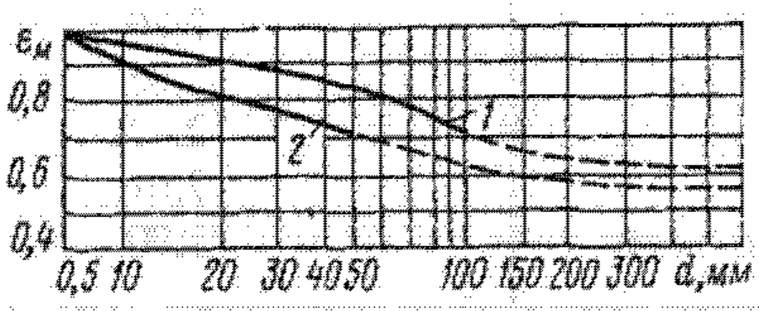


Рис. 24.19. Зависимость масштабного фактора $\varepsilon_м$ от диаметра d и материала вала: *1* — углеродистая сталь; *2* — легированная сталь

прочности вала; $\varepsilon_м$ — масштабный фактор (коэффициент влияния абсолютных размеров вала, см. рис. 24.19); σ_{-1} — предел выносливости материала вала, $\sigma_{-1} \approx (0{,}4 - 0{,}5)\,\sigma_в$.

Если же к валу не приложены постоянно действующие поперечные силы Q_i, то величину $[\sigma]$ можно рассчитать по формуле:

Таблица 24.10

Предел прочности материала валов при поставке

Марка стали	$\sigma_т$, МПа	Марка стали	$\sigma_в$, МПа
Ст5	520	12Х2Н4А	1100
20	400	18ХГТ	1150
20Х	650	15ХМ	450
45	560	12Х18Н10Т	500
40Х	730	30ХГТ	950
40ХН	820	25Х2ГНТ	1500
12ХН3А	950		

$$[\sigma] = \sigma_в / n_{min}, \qquad (24.72)$$

где $\sigma_в$ — предел прочности материала вала (табл. 24.10).

Примеры

24.1.1. Для двух аппаратов, имеющих по одному стальному виброустойчивому жесткому валу, определить и сопоставить диаметры валов, если на каждом имеется по одной сосредоточенной массе в виде мешалки. Собственную массу валов при расчете их диаметров условно не учитывать.

Исходные данные. Скорость вращения $\varpi = 16{,}75$ рад/с, масса мешалки $m = 25$ кг, модуль продольной упругости материала вала $E = 2 \cdot 10^{11}$ Па, его плотность $\rho = 7800$ кг/м^3. Валы отличаются только схемами крепления (рис. 24.20).

Решение. Учитывая формулу (24.2) и условие виброустойчивости (24.3), запишем для обеих схем закрепления выражение

$$\omega_{кр} = \sqrt{1/(\delta_{11} m)} = \omega/0{,}7,$$

которое с учетом формул в табл. 24.1 для консольного вала (рис. 24.20, *а*) принимает вид

$$\sqrt{\frac{3EI}{mL_2L_1^2}} = \frac{\omega}{0{,}7},$$

а для однопролетного вала (рис. 24.20, *б*)

$$\sqrt{\frac{3EIL}{ml_1^2(L-l_1)^2}} = \frac{\omega}{0{,}7}.$$

Подставив в последние равенства значение $I = \pi d^4/64$ и решив их относительно d, окончательно получим для вала:

консольного

$$d = \sqrt[4]{\frac{64mL_2L_1^2\omega^2}{3E\pi 0{,}7^4}} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 25 \cdot 3{,}12 \cdot 2{,}62^2 \cdot 16{,}75^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}7^4}} = 56{,}8 \cdot 10^{-3}\ \text{м} = 56{,}8\ \text{мм};$$

однопролетного

$$d = \sqrt[4]{\frac{64ml_1^2(L-l_1)^2\omega^2}{3E\pi L 0{,}7^2}} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 25 \cdot 0{,}5^2 \cdot 2{,}62^2 \cdot 16{,}75^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 3{,}14 \cdot 3{,}12 \cdot 0{,}7^2}} = 22{,}7 \cdot 10^{-3}\ \text{м} = 22{,}7\ \text{мм}.$$

Таким образом, при всех прочих равных условиях диаметр консольного вала в 2,5 раза больше, а следовательно, в 6,25 раза больше его масса. Кроме того, увеличение диаметра вала ведет к увеличению габаритов, стоимости и массы подшипников и уплотнений вала, опорной стойки и других примыкающих к валу узлов. Однако надежность консольных роторов некоторых машин и аппаратов (насосы, реакторы и др.) выше, чем однопролетных, в связи с благоприятными условиями смазки, отсутствием коррозионного воздействия обрабатываемой среды на подшипники и доступностью их при периодических ремонтах.

24.1.2. Определить и сопоставить диаметры виброустойчивых жесткого и гибкого консольных валов. Собственную массу валов условно не учитывать.

Исходные данные. Те же, что и в примере 24.1.1.

Решение. Поскольку диаметр жесткого консольного вала уже известен из примера 24.1.1 (d = 56,8 мм), рассчитаем диаметр виброустойчивого консольного гибкого вала с учетом формулы (24.2) и условия виброустойчивости (24.4).

Примем $\varpi = 1{,}5\varpi_{кр}$, тогда $\omega_{кр} = \sqrt{1/(\delta_{11}m)} = \omega/1{,}5$. Данное выражение с учетом формул в табл. 24.1 принимает вид:

$$\sqrt{\frac{3EI}{mL_2L_1^2}} = \frac{\omega}{1{,}5},$$

откуда при $I = \pi d^4/64$ получим диаметр гибкого вала

$$d = \sqrt[4]{\frac{64mL_2L_1^2\omega^2}{3E\pi 1{,}5^3}} = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot 25 \cdot 3{,}12 \cdot 2{,}62^2 \cdot 16{,}75^2}{3 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}5^4}} = 38{,}8 \cdot 10^{-3}\ \text{м} = 38{,}8\ \text{мм}.$$

Таким образом, диаметр гибкого вала оказался в 1,45 раза меньше, а его собственная масса в 2,14 раза меньше, чем жесткого вала. Одновременно с уменьшением диаметра вала уменьшаются габариты, масса и стоимость всех примыкающих к валу деталей агрегата. Однако гибкий вал имеет два существенных недостатка:

1) необходимость установки более мощного привода, чем у жесткого вала, для быстрого перехода ротора через резонанс при включении машины;

2) необходимость применения специальных тормозных устройств для быстрой остановки ротора при выключении машины.

24.1.3. Рассчитать угловую критическую скорость жестких валов (см. рис. 24.20) и проверить условия виброустойчивости с учетом собственной массы вала.

Исходные данные. Те же, что и в примере 24.1.1.

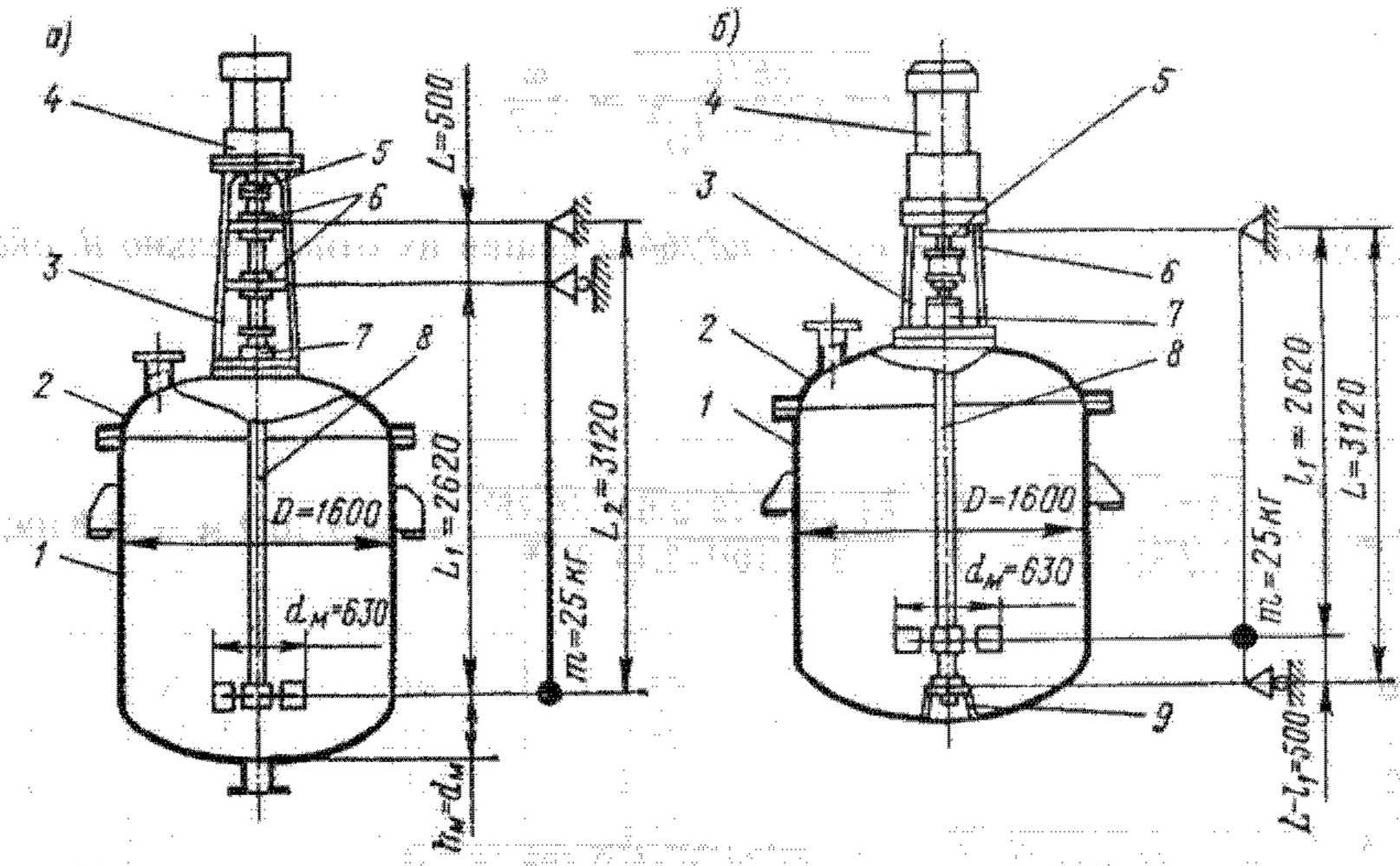


Рис. 24.20. Аппарат с мешалкой и расчетная схема его вала: *а* — консольного; *б* — однопролетного;
1 — корпус; *2* — крышка; *3* — стойка; *4* — мотор-редуктор; *5* — муфта; *6* — подшипник; *7* — уплотнение; *8* — вал; *9* — концевая опора

Р е ш е н и е . 1. Согласно формуле (24.24), определяем критическую скорость вала $\varpi_{кр1}$ без диска (мешалки):

консольного (см. рис. 24.20, *а*): $d = 56{,}8 \cdot 10^{-3}$ м; $m_л = \pi d^2 \rho/4 = 3{,}14 \cdot 0{,}0568^2 \times 7800/4 = 19{,}8$ кг/м; $I = \pi d^4/64 = 3{,}14 \cdot 0{,}0568^4/64 = 5{,}1 \cdot 10^{-7}$ м^4; $\bar{L} = L/L_1 = 0{,}5/2{,}62 = 0{,}2$; $\alpha_1 = f(L) = f(0{,}2) = 1{,}75$ (см. рис. 24.12, *а*);

$$\omega_{кр\,1} = \frac{\alpha_1^2}{L_1^2}\sqrt{EI/m_л} = \frac{1{,}75^2}{2{,}62^2}\sqrt{2 \cdot 10^{11} \cdot 5{,}1 \cdot 10^{-7}/19{,}8} = 32 \text{ рад/с};$$

однопролетного (см. рис. 24.20, *б*): $d = 22{,}7 \cdot 10^{-3}$ м; $m_л = \pi d^2 \rho/4 = 3{,}14 \cdot 0{,}027^2 \times 7800/4 = 3{,}16$ кг/м; $I = \pi d^4/64 = 3{,}14 \cdot 0{,}027^4/64 = 0{,}13 \cdot 10^{-7}$ м^4; $\alpha_1 = 3{,}14$ (см. рис. 24.12, *б*);

$$\omega_{кр\,1} = \frac{\alpha_1^2}{L^2}\sqrt{EI/m_л} = \frac{3{,}14^2}{3{,}12^2}\sqrt{2 \cdot 10^{11} \cdot 0{,}13 \cdot 10^{-7}/3{,}16} = 29{,}2 \text{ рад/с}.$$

2. Критическую скорость вала с диском без учета массы вала можно рассчитать по формуле (24.2). Но так как диаметры жестких валов в примере 24.2.1 были найдены из условия виброустойчивости (24.3), то их критическая скорость с учетом одной лишь массы диска одинакова и равна $\varpi_{кр2} = \varpi/0{,}7 = 16{,}75/0{,}7 = 24$ рад/с.

3. Критическую скорость вала с учетом собственной массы и массы диска согласно формуле (24.5):

консольного вала: $1/\omega_{кр}^{2\,3} = 1/\omega_{кр\,1}^2 + 1/\omega_{кр\,2}^2 = 1/32 + 1/24 = 9 \cdot 8 \cdot 10^{-4} +$
$+ 17{,}5 \cdot 10^{-4} = 27{,}3 \cdot 10^{-4}$ с^2/рад^2; $\omega_{кр} = \sqrt{1/27{,}3 \cdot 10^{-4}} = 19{,}1$ рад/с;

однопролетного вала: $1/\omega_{кр}^2 = 1/\omega_{кр\,1}^2 + 1/\omega_{кр\,2}^2 = 1/29{,}2 + 1/24 = 11{,}7 \cdot 10^{-4} +$
$+ 17{,}5 \cdot 10^{-4} = 29{,}2 \cdot 10^{-4}$ с^2/рад^2; $\omega_{кр} = \sqrt{1/29{,}2 \cdot 10^{-4}} = 18{,}5$ рад/с.

Условия виброустойчивости не удовлетворяются, так как для консольного вала $\varpi/\varpi_{кр} = 16{,}75/19{,}10 \approx 0{,}88 > 0{,}7$ и однопролетного вала $\varpi/\varpi_{кр} = 16{,}75/18{,}50 \approx 0{,}91 > 0{,}7$.

Таким образом, собственная масса вала оказывает значительное влияние на его критическую скорость и пренебрегать ею допустимо лишь в случае, когда масса вала составляет менее 30% массы диска. В нашем же случае масса консольного вала составила $m_л L_2 = 19{,}8 \cdot 3{,}12 = 61{,}6$ кг, а однопролетного — $m_л L = 3{,}16 \cdot 3{,}12 = 9{,}8$ кг, что в обоих случаях значительно больше, чем 30% массы диска ($m0{,}3 = 25 \cdot 0{,}3 = 7{,}5$ кг). Следовательно, рассчитанные в примере 24.1.2 диаметры жестких валов должны быть несколько увеличены так, чтобы при этом удовлетворялось условие виброустойчивости (24.3), в котором $\varpi_{кр}$ должна определяться с учетом собственной массы вала. Определение диаметров виброустойчивых валов с учетом собственной массы ведется или методом последовательных приближений по методике настоящего примера или прямым способом по методу приведения (см. пример 24.1.4).

24.1.4. Для аппаратов емкостью 5 м³ рассчитать диаметр жестких стальных валов, отличающихся между собой только схемами закрепления и местом размещения подшипников в аппарате (см. рис. 24.20).

Исходные данные. Те же, что и в примере 24.1.1.

Решение. Для определения диаметра вала воспользуемся формулами (24.36), (24.37), учитывающими одновременно массу мешалки и собственную массу вала.

Для консольного вала (рис. 24.20, *а*):

$$m_{пр} = m = 25 \text{ кг};$$

$$\xi = 16\rho\omega^2 L_1 L_2/(3E) = 16 \cdot 7800 \cdot 16{,}75^2 \cdot 2{,}62 \cdot 3{,}12/(3 \cdot 2 \cdot 10^{11}) = 4{,}84 \cdot 10^{-4};$$

$$A_5 = 0{,}25\xi L_1^2 = 0{,}25 \cdot 4{,}84 \cdot 10^{-4} \cdot 2{,}62^2 = 8{,}36 \cdot 10^{-4};$$

$$A_6 = 8m_{пр}\xi L_1/(\pi\rho) = 8 \cdot 25 \cdot 4{,}84 \cdot 10^{-4} \cdot 2{,}62/(3{,}14 \cdot 7800) = 0{,}1 \cdot 10^{-4};$$

$$d = \sqrt[4]{A_5 + \sqrt{A_5^2 + A_6}} = \sqrt[4]{8{,}36 \cdot 10^{-4} + \sqrt{(8{,}36 \cdot 10^{-4})^2 + 0{,}1 \cdot 10^{-4}}} =$$
$$= 0{,}063 \text{ м} \approx 65 \text{ мм}.$$

Для однопролетного вала (рис. 24.20, *б*):

$$l_1 = l_1/L = 2{,}62/3{,}12 = 0{,}84; \quad g_{l1} = f(l_1) = f(0{,}81) = 0{,}5 \quad \text{(см. рис. 24.17)};$$

$$m_{э.пр} = mg_{l1}^2 = 25 \cdot 0{,}5^2 = 6{,}25 \text{ кг};$$

$$\xi = \rho\omega^2 L^3/(3E) = 7800 \cdot 16{,}75^2 \cdot 3{,}12^3/(3 \cdot 2 \cdot 10^{11}) = 0{,}36 \cdot 10^{-4};$$

$$A_5 = 0{,}5\xi L^3 = 0{,}5 \cdot 0{,}36 \cdot 10^{-4} \cdot 3{,}12^3 = 1{,}76 \cdot 10^{-4};$$

$$A_6 = 8m_{пр}\xi L/(\pi\rho) = 8 \cdot 6{,}25 \cdot 0{,}36 \cdot 10^{-4} \cdot 3{,}12/(3{,}14 \cdot 7800) = 0{,}23 \cdot 10^{-4};$$

$$d_Б = \sqrt[4]{A_5 + \sqrt{A_5^2 + A_6}} = \sqrt[4]{1{,}76 \cdot 10^{-4} + \sqrt{(1{,}76 \cdot 10^{-4})^2 + 0{,}23 \cdot 10^{-4}}} =$$
$$= 0{,}026 \text{ м} \approx 30 \text{ мм}.$$

24.1.5. Проверить выполнение условия виброустойчивости ротора центрифуги типа АГ (рис. 24.21) и оценить влияние $\varpi_{кр}$ гироскопического момента барабана и вылета его центра массы относительно центра ступицы днища барабана.

Исходные данные. Собственной массой вала и его переменным сечением пренебречь. Диаметр вала принять постоянным по длине и равным диаметру в его опорном сечении *Б*, где $d_в$ = 125 мм. Коэффициент заполнения барабана жидкостью ψ = 1, плотность обрабатываемой среды ρ_c = 1500 кг/м³. Разме-

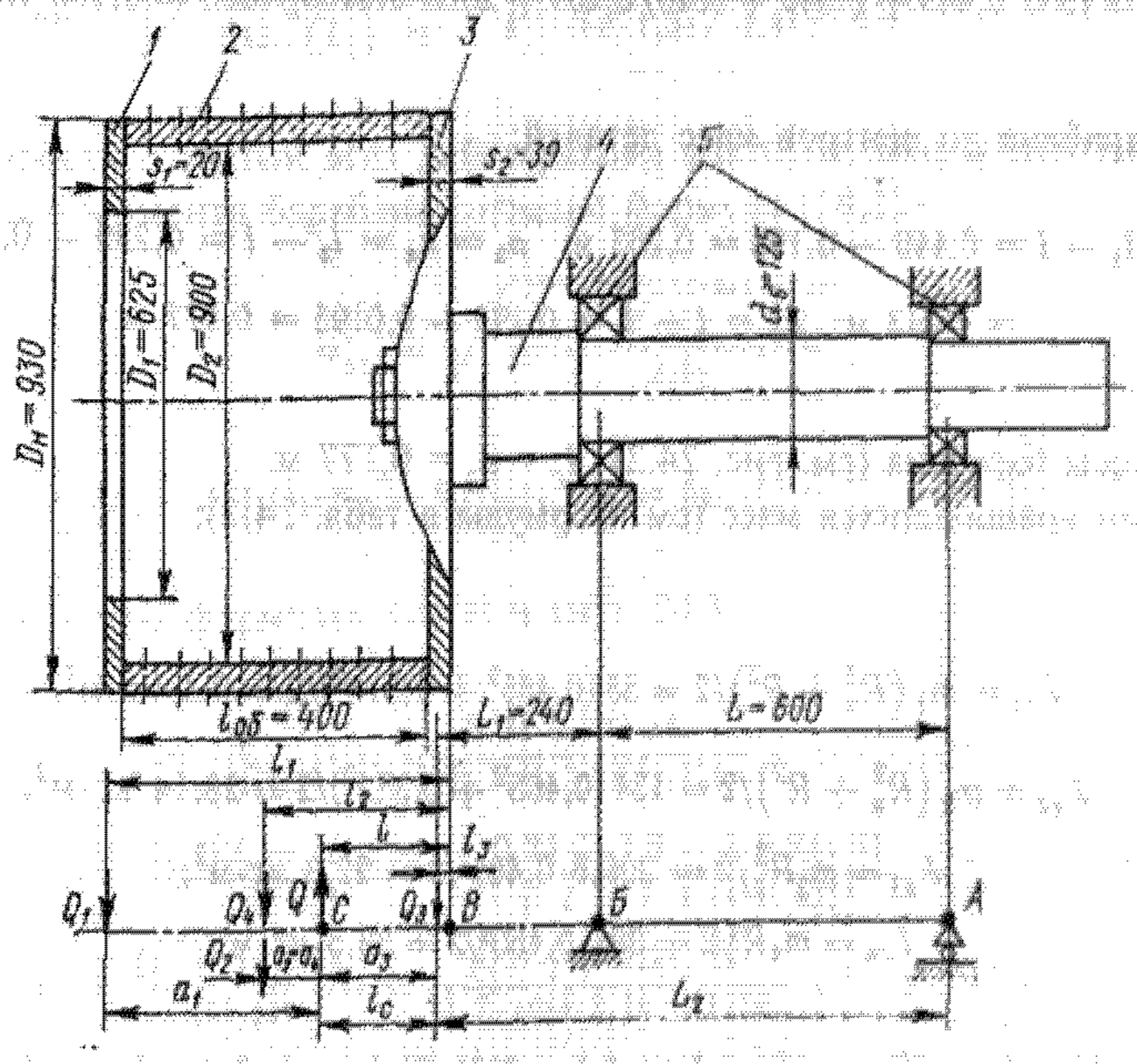


Рис. 24.21. Ротор центрифуги и расчетная схема его консольного вала:
1 — плоский диск; *2* — обечайка; *3* — днище; *4* — вал; *5* — подшипник

ры барабана и вала указаны на рис. 24.21. Материал вала и барабана — сталь ($\rho = 7800$ кг/м^3).

Р е ш е н и е. 1. Масса:

кольцевого плоского диска

$$m_1 = \pi \left(D_н^2 - D_1^2\right) s_1 \rho / 4 = 3{,}14 \left(0{,}93^2 - 0{,}625^2\right) 0{,}02 \cdot 7800/4 = 58 \text{ кг};$$

цилиндрической обечайки

$$m_2 = \pi \left(D_н^2 - D_2^2\right) l_{об} \rho / 4 = 3{,}14 \left(0{,}93^2 - 0{,}9^2\right) 0{,}4 \cdot 7800/4 = 134{,}5 \text{ кг};$$

диска (днища) барабана

$$m_3 = \pi D_н^2 s_2 \rho / 4 = 3{,}14 \cdot 0{,}93^2 \cdot 0{,}039 \cdot 7800 = 206{,}5 \text{ кг};$$

жидкости

$$m_4 = \pi D_2^2 \psi l_{об} \rho_c / 4 = 3{,}14 \cdot 0{,}9^2 \cdot 1 \cdot 0{,}4 \cdot 1500/4 = 381 \text{ кг};$$

заполненного жидкостью барабана

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 = 58 + 134{,}5 + 206{,}5 + 381 = 780 \text{ кг}.$$

2. Сила тяжести: кольцевого плоского диска $Q_1 = m_1 g \approx 580$ Н; цилиндрической обечайки $Q_2 = m_2 g \approx 1345$ Н; диска (днища) $Q_3 = m_3 g \approx 2065$ Н; жидкости $Q_4 = m_4 g \approx 3810$ Н и заполненного жидкостью барабана $Q = mg \approx 7800$ Н.

3. Расстояние:

от центров масс деталей (кольца, обечайки, днища) до точки B (см. рис. 24.21):

$$l_1 = 0{,}5 s_1 + l_{об} + s_2 = 0{,}5 \cdot 0{,}02 + 0{,}4 + 0{,}039 = 0{,}449 \text{ м};$$

$$l_2 = 0{,}5 l_{об} + s_2 = 0{,}5 \cdot 0{,}4 + 0{,}039 = 0{,}239 \text{ м};$$

$$l_3 = 0{,}5 s_2 = 0{,}5 \cdot 0{,}039 = 0{,}0195 \text{ м};$$

от центра массы барабана до края днища из условия равенства нулю суммы моментов относительно точки B

$$l = [Q_1 l_1 + (Q_2 + Q_4) l_2 + Q_3 l_3]/Q =$$

$$= [580 \cdot 0{,}449 + (1345 + 3810)\, 0{,}239 + 2065 \cdot 0{,}0195]/7800 = 0{,}196 \text{ м};$$

от центра массы барабана до центров масс деталей:

$$a_1 = l_1 - l = 0{,}449 - 0{,}196 = 0{,}253 \text{ м}; \quad a_2 = a_4 = l_2 - l = 0{,}239 - 0{,}196 =$$

$$= 0{,}043 \text{ м}; \quad a_3 = l - l_3 = 0{,}196 - 0{,}0195 = 0{,}177 \text{ м}.$$

4. Вылет центра массы барабана (см. рис. 24.21) $l_c = a_3 = 0{,}177$ м.

5. Моменты инерции вращающихся масс (см. формулы в табл. 24.2):

осевые:

$$J_{z1} = m_1 \left(R_н^2 + R^2\right)/2 = 58 \left(0{,}465^2 + 0{,}313^2\right)/2 = 9{,}1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{z2} = m_2 \left(R_н^2 + R^2\right)/2 = 134 \left(0{,}465^2 + 0{,}313^2\right)/2 = 28{,}14 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{z3} = m_3 R_н^2/2 = 206{,}5 \cdot 0{,}465^2/2 = 22{,}3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$J_{z4} = m_4 R^2/2 = 381 \cdot 0{,}450^2/2 = 38{,}5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

экваториальные:

$$J_{x1} = m_1\left(\frac{3R_н^2 + 3R_1^2 + h_1^2}{12} + a_1^2\right) = 58\left(\frac{3\cdot 0{,}465^2 + 3\cdot 0{,}313^2 + 0{,}02^2}{12} + 0{,}253^2\right) =$$

$$= 8{,}3 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$J_{x2} = m_2\left(\frac{6R_н^2 + l_{об}^2}{12} + a_2^2\right) = 134{,}5\left(\frac{6\cdot 0{,}465^2 + 0{,}4^2}{12} + 0{,}043^2\right) = 16{,}7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$J_{x3} = m_3\left(\frac{3R_н^2 + h_3^2}{12} + a_3^2\right) = 206{,}5\left(\frac{3\cdot 0{,}465^2 + 0{,}039^2}{12} + 0{,}176^2\right) = 17{,}6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$J_{x4} = m_4\left(\frac{3R^2 + l_{об}^2}{12} + a_4^2\right) = 381\left(\frac{3\cdot 0{,}45^2 + 0{,}4^2}{12} + 0{,}043^2\right) = 25 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

Следовательно, осевой и экваториальный моменты инерции барабана соответственно составят:

$$J_z = \sum J_{zi} = 9{,}1 + 28{,}14 + 22{,}3 + 38{,}5 = 98{,}04 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$J_x = \sum J_{xi} = 8{,}3 + 16{,}7 + 17{,}6 + 25 = 67{,}6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2.$$

6. Критическая скорость вала при условии, что вся масса барабана сосредоточена в точке B его крепления к валу [см. формулу (24.2) и табл. 24.1],

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{1}{\delta_{11}m}} = \sqrt{\frac{3EI}{L_2L_1^2m}} = \sqrt{\frac{3E\pi d^4}{64L_2L_1^2m}} =$$

$$= \sqrt{\frac{3\cdot 2\cdot 10^{11}\cdot 3{,}14\cdot 0{,}125^4}{64\cdot 0{,}84\cdot 0{,}24^2\cdot 780}} = 436{,}4 \text{ рад/с}.$$

7. Критическая скорость вала при учете вылета l_c центра массы барабана от точки B крепления его на валу и с учетом массы барабана (расчет ведем по предыдущей формуле, в которую необходимо вместо $L_1 = 0{,}24$ м подставить расстояние от опоры Б до сосредоточенной массы $L'_1 = L_1 + l_c = 0{,}24 + 0{,}177 = 0{,}417$ м и длину $L'_2 = L_2 + l_c = 0{,}84 + 0{,}177 = 1{,}017$ м)

$$\omega'_{кр} = \sqrt{\frac{3E\pi d^4}{64L'_2(L'_1)^2m}} = \sqrt{\frac{3\cdot 2\cdot 10^{11}\cdot 3{,}14\cdot 0{,}125^4}{64\cdot 1{,}017\cdot 0{,}417^2\cdot 780}} = 228 \text{ рад/с}.$$

8. Критическая скорость с учетом всех действующих факторов: массы барабана, вылета l_c центра его массы, гироскопического момента барабана согласно формуле (24.12)

$$\omega_{кр}^C = \sqrt{\frac{B_C + \sqrt{B_C^2 + 4A_C}}{2A_C}},$$

где

$$A_C = m(J_z - J_x)(\delta_{1C}\delta_{22} - \delta_{2C}\delta_{12}); \quad B_C = \delta_{22}(J_z - J_x) - m(\delta_{1C} + \delta_{2C}l_C).$$

Коэффициенты влияния по формулам (24.9) и табл. 24.3:

$$\delta_{11} = \frac{L_2L_1^2 64}{3E\pi d^4} = \frac{0{,}84\cdot 0{,}24^2\cdot 64}{3\cdot 2\cdot 10^{11}\cdot 3{,}14\cdot 0{,}125^4} = 0{,}67\cdot 10^{-8} \text{ м/Н};$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{L_1(2L + 3L_1)64}{6E\pi d^4} = \frac{0{,}24(2\cdot 0{,}6 + 3\cdot 0{,}24)64}{6\cdot 2\cdot 10^{11}\cdot 3{,}14\cdot 0{,}125^4} = 3{,}2\cdot 10^{-8} \text{ 1/Н};$$

$$\delta_{22} = \frac{(L + 3L_1)64}{3E\pi d^4} = \frac{(0{,}6 + 3\cdot 0{,}24)64}{3\cdot 2\cdot 10^{11}\cdot 3{,}14\cdot 0{,}125^4} = 0{,}18\cdot 10^{-6} \text{ 1/Н}\cdot\text{м};$$

$$\delta_{1C} = \delta_{11} + \delta_{12}l_C = 0{,}67\cdot 10^{-8} + 3{,}2\cdot 10^{-8}\cdot 0{,}177 = 1{,}23\cdot 10^{-8} \text{ м/Н};$$

$$\delta_{2C} = \delta_{21} + \delta_{22}l_C = 3{,}2\cdot 10^{-8} + 0{,}18\cdot 10^{-6}\cdot 0{,}177 = 6{,}4\cdot 10^{-8} \text{ 1/Н},$$

Тогда

$$A_C = 780\,(98{,}04 - 67{,}6)\,(1{,}23\cdot 10^{-8}\cdot 0{,}18\cdot 10^{-6} - 6{,}4\cdot 10^{-8}\cdot 3{,}2\cdot 10^{-8}) = 4\cdot 10^{-12}\ \text{с}^4;$$

$$B_C = 0{,}18\cdot 10^{-6}\,(98{,}04 - 67{,}6) - 780\,(1{,}23\cdot 10^{-8} + 6{,}4\cdot 10^{-8}\cdot 0{,}177) = -12{,}8\cdot 10^{-6}\ \text{с}^2;$$

$$\omega^C_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{-12{,}8\cdot 10^{-6} + \sqrt{(-12{,}8\cdot 10^{-6})^2 + 4\cdot 4\cdot 10^{-12}}}{2\cdot 4\cdot 10^{-12}}} = 276\ \text{рад/с}.$$

Таким образом, критическая скорость вала: $\varpi_{\text{кр}} = 436{,}41$ рад/с — без учета вылета l_c и гироскопического момента; $\varpi'_{\text{кр}} = 228$ рад/с — с учетом вылета l_c; $\varpi^C_{\text{кр}} = 276$ рад/с — с учетом вылета l_c и гироскопического момента. Следовательно, пренебрежение при расчетах вылетом и гироскопическим моментом способствовало завышению критической скорости на 100 (436,4 — 276)/276 ≈ 58%, а пренебрежение гироскопическим моментом способствовало занижению критической скорости на 100 (276 — 228)/276 ≈ 17,4%, что недопустимо в практических расчетах. Близкую к истинной (в нашем расчете не учтена масса вала, составляющая 80 кг, т.е. 10% от массы барабана) $\varpi^C_{\text{кр}} = 276$ рад/с следует в заключение сопоставить с рабочей угловой скоростью $\varpi = 157$ рад/с для проверки условия (24.3) виброустойчивости $\varpi/\varpi^C_{\text{кр}} = 157/276 = 0{,}57 < 0{,}7$. Таким образом, вал центрифуги является виброустойчивым (работает в докритической области).

24.1.6. Рассчитать $\varpi_{\text{кр}}$ и проверить условие виброустойчивости вала молотковой дробилки.

Исходные данные. Вал изготовлен из стали 45, масса одного молотка $m_{\text{мол}} = 12$ кг; количество молотков $n_1 = 120$ шт.; дисков $n_2 = 11$ шт.; втулок $n_3 = 10$ шт.; осей $n_4 = 6$ шт.; угловая скорость ротора $\varpi = 76{,}8$ рад/с. Размеры ротора указаны на рис. 24.22.

Решение. 1. В связи с размещением практически по всей длине пролета однотипных конструктивных элементов одинаковой массы примем в качестве расчетной схемы ротора стержень на двух шарнирных опорах с равномерно распределенной массой

$$m_л = (m_{\text{вал}} + n_1 m_{\text{мол}} + n_2 m_д + n_3 m_{\text{вт}} + n_4 m_{\text{ос}})/L =$$

$$= [\pi d^2 l \rho/4 + n_1 m_{\text{мол}} + n_2 \pi\,(D^2_д - d^2)\,b\rho/4 +$$

$$+ n_3 \pi\,(D^2_{\text{вт}} - d^2)\,l_{\text{вт}}\rho/4 + n_4 \pi d^2_{\text{ос}} l_{\text{ос}}\rho/4]/L =$$

$$= [3{,}14\cdot 0{,}24^2\cdot 2{,}17\cdot 7800/4 + 120\cdot 12 + 11\cdot 3{,}14\,(0{,}85^2 - 0{,}24^2)\,0{,}02\cdot 7800/4 +$$

$$+ 10\cdot 3{,}14\,(0{,}3^2 - 0{,}24^2)\,0{,}138\cdot 7800/4 + 6\cdot 3{,}14\cdot 0{,}06^2\cdot 1{,}6\cdot 7800/4]\cdot 1/2{,}17 = 1270\ \text{кг/м},$$

где $m_{\text{вал}}$, $m_д$, $m_{\text{вт}}$, $m_{\text{ос}}$ — масса вала, диска, втулки, оси соответственно.

2. Угловая критическая скорость ротора с такой расчетной схемой определяется по формуле (24.24)

$$\omega_{\text{кр}} = (\alpha_1/L_2)^2\sqrt{EI/m_л}.$$

Корень α_1 частотного уравнения согласно рис. 24.12, *б* $\alpha_1 = \pi = 3{,}14$. Момент инерции сечения вала диаметром 240 мм

$$I = \pi d^4/64 = 3{,}14\cdot 0{,}24^4/64 = 1{,}62\cdot 10^{-4}\ \text{м}^4.$$

Тогда

$$\omega_{\text{кр}} = (3{,}14/2{,}17)^2\sqrt{2\cdot 10^{11}\cdot 1{,}62\cdot 10^{-4}/1270} = 337\ \text{рад/с};$$

$$\omega/\omega_{\text{кр}} = 76{,}8/337 \approx 0{,}23 < 0{,}7.$$

Следовательно, условие виброустойчивости жесткого вала молотковой дробилки выполняется с большим запасом.

24.1.7. Вычислить $\varpi_{\text{кр}}$ и проверить условие виброустойчивости ротора центробежного сепаратора.

Исходные данные. Вал закреплен на одной шарнирной и второй податливой опорах с коэффициентом жесткости $c_2 = 2{,}6\cdot 10^5$ Н/м (рис. 24.23). Моменты инерции барабана относительно осей z и x соответственно: $J_z = 39{,}8$ кг/м^2; $J_x = 21$ кг/м^2; $m = 214$ кг; $\varpi = 523{,}6$ рад/с.

Решение. В связи со значительной податливостью опоры можно пренебречь податливостью вала и считать его абсолютно жестким. Тогда критическую скорость ротора можно определить по формуле (24.17)

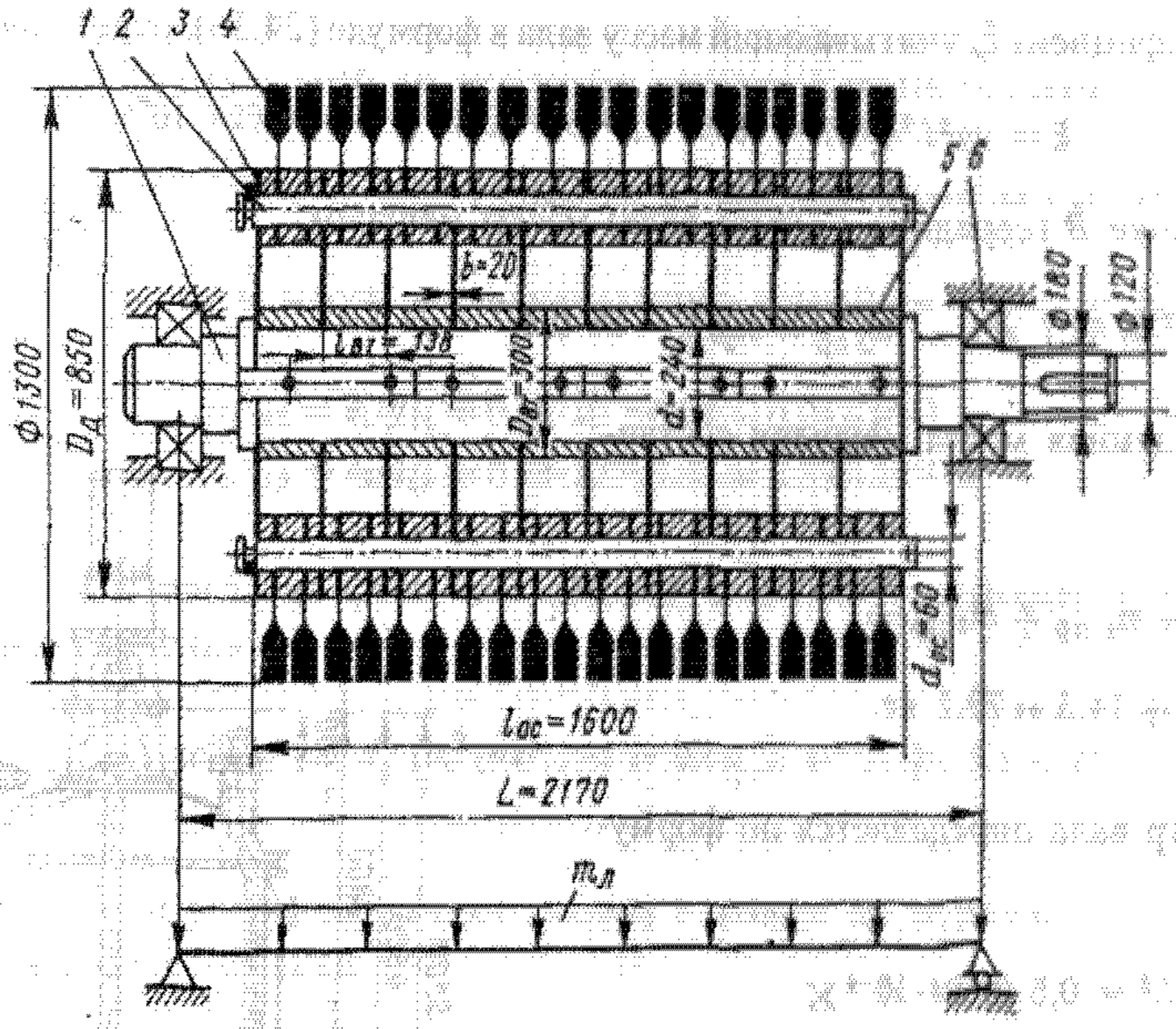


Рис. 24.22. Ротор молотковой дробилки и расчетная схема его однопролетного вала:
1 — вал; *2* — ось; *3* — диск; *4* — молоток; *5* — втулка; *6* — подшипник

$$\omega_{кр}^{п} = \sqrt{\frac{c_z l^3}{J_x + m\left(L_2\right)^2 - J_z}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2{,}6 \cdot 10^5 \cdot 0{,}44^3}{21 + 214 \cdot 0{,}71^2 - 39{,}8}} = 75 \text{ рад/с.}$$

Таким образом, $\varpi/\varpi_{кр}^{п} = 523{,}6/75 = 7$, что обеспечивает хорошее самоцентрирование ротора в послерезонансной области.

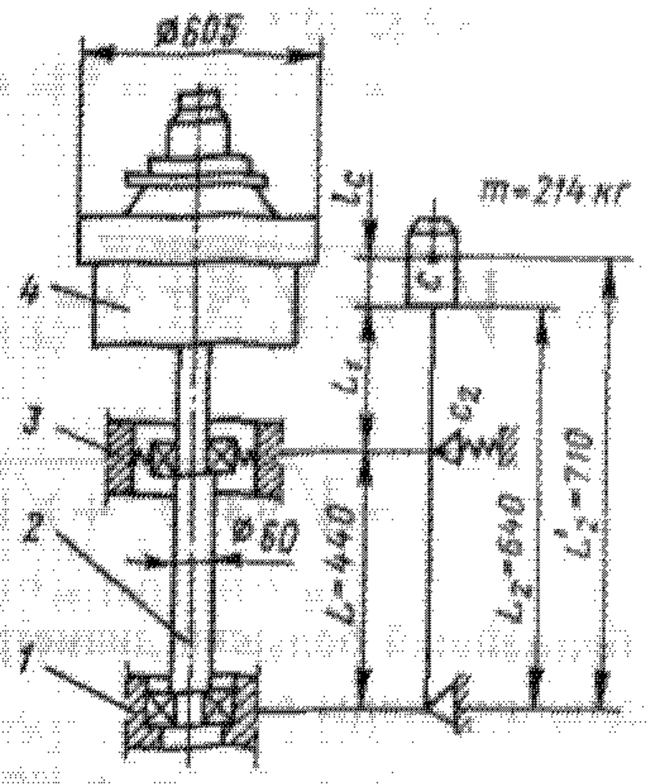


Рис. 24.23. Ротор сепаратора и расчетная схема его консольного вала с податливой опорой:
1 — подшипник; *2* — вал; *3* — упругая опора; *4* — барабан

24.1.8. Для вертикального аппарата, снабженного мешалками (рис. 24.24), выполнить расчет вала постоянного поперечного сечения на жесткость, прочность и виброустойчивость.

Исходные данные. Вал жесткий; длина вала $L = 5500$ мм; координаты центра тяжести мешалок: $l_1 = 2800$ мм, $l_2 = 4600$ мм; координаты опасных сечений: по жесткости $z_1 = 600$ мм (торцовое уплотнение вала); по прочности: $z_2 = 2750$ мм (середина пролета вала); $z_3 = 2800$ мм (шпоночная канавка); концентраторы напряжений в опасных по прочности сечениях: z_2 — отсутствуют; z_3 — шпоночная канавка; угловая скорость вращения вала $\varpi = 12{,}6$ рад/с ($n = 120$ об/мин); материал вала — легированная сталь 15ХМ ($\rho = 7850$ кг/м^3; $E = 2 \cdot 10^{11}$ МПа); диаметр аппарата $D = 2800$ мм; мешалки — пропеллерные; массы мешалок: $m_1 = 66$ кг, $m_2 = 66$ кг; диаметры мешалок: $d_{м1} = 900$ мм, $d_{м2} = 900$ мм; мощность, потребляемая одной мешалкой, $N_1 = N_2 = N = 5000$ Вт; внутри аппарата имеются отражательные перегородки и труба для передавливания реакционной массы; рабочая температура в аппарате $t = 80°C$.

Решение. 1. Расчет на виброустойчивость. Относительные координаты центра тяжести перемешивающих устройств:

$$l_1 = l_1/L = 2800/5500 = 0{,}509; \qquad l_2 = l_2/L = 4600/5500 = 0{,}837.$$

Безразмерные динамические прогибы вала в центре тяжести перемешивающих устройств согласно рис. 24.17:

$$\bar{y}_{23} = \bar{y}_{11} = f(l_1) = f(0{,}509) = 0{,}99; \qquad \bar{y}_{24} = \bar{y}_{12} = f(l_2) = f(0{,}837) = 0{,}47.$$

Безразмерный коэффициент ξ, учитывающий массу вала в формуле (24.36), будет равен

$$\xi = \rho\omega^2 L^2/(3E) = 7850 \cdot 12{,}6^2 \cdot 5{,}5^2/(3 \cdot 2 \cdot 10^{11}) = 0{,}624 \cdot 10^{-4}.$$

Приведенные к точке B (середина пролета вала) массы мешалок:

$$m_{1\,пр} = m_1 \bar{y}_{l1}^2 = 66 \cdot 0{,}99^2 = 64{,}7 \text{ кг}; \qquad m_{2\,пр} = m_2 \bar{y}_{l2}^2 = 66 \cdot 0{,}47^2 = 14{,}5 \text{ кг}.$$

Суммарная приведенная масса мешалок составляет

$$m_{э.\,пр} = m_{1\,пр} + m_{2\,пр} = 64{,}7 + 14{,}5 = 79{,}2 \text{ кг}.$$

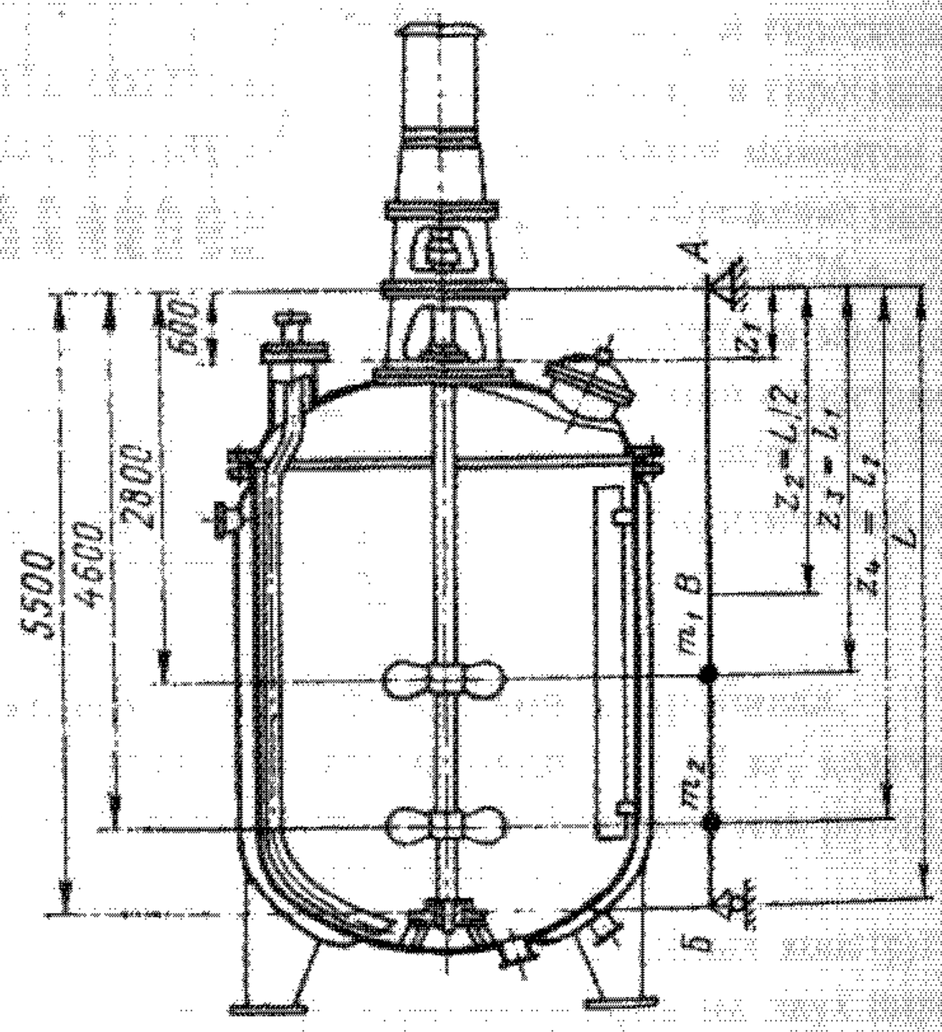


Рис. 24.24. Аппарат с мешалками и расчетная схема его однопролетного вала

Расчетный диаметр вала определяется по формуле (24.36), где:

$$A_5 = 0{,}5\xi L^2 = 0{,}5 \cdot 0{,}624 \cdot 10^{-4} \times \times 5{,}5^2 = 9{,}4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$A_6 = 8m_{э.\,пр}\xi L/(\pi\rho) = 8 \cdot 79{,}2 \times \times 0{,}624 \cdot 10^{-4} \cdot 5{,}5/(3{,}14 \cdot 7850) = 8{,}82 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4.$$

Тогда

$$d_Б = \sqrt{A_5 + \sqrt{A_5^2 + A_6}} = \sqrt{9{,}4 \cdot 10^{-4} + \sqrt{(9{,}4 \cdot 10^{-4})^2 + 8{,}82 \cdot 10^{-6}}} = 0{,}0637 \text{ м} = 63{,}7 \text{ мм}.$$

Принимаем ближайший больший диаметр вала $d = 65$ мм.

Масса единицы длины вала

$$m_л = \pi d^2 \rho/4 = 3{,}14 \cdot 0{,}065^2 \cdot 7800/4 = 26 \text{ кг/м}.$$

Относительная масса мешалок

$$\bar{m}_{э.\,пр} = m_{э.\,пр}/(m_л L) = 79{,}2/(26 \cdot 5{,}5) = 0{,}554.$$

Корень частотного уравнения α_1 согласно рис. 24.12

$$\alpha_1 = f\,[m_{э.\,пр}/(m_л L)] = f\,(0{,}554), \text{ откуда } \alpha_1 = 2{,}6.$$

Момент инерции сечения вала составляет

$$I = \pi d^4/64 = 3{,}14 \cdot 0{,}065^4/64 = 8{,}72 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4.$$

Первая критическая угловая скорость вала вычисляется по формуле (24.24)

$$\omega_{кр} = (\alpha_1/L)^2 \sqrt{EI/m_л} = (2{,}6/5{,}5)^2 \sqrt{2 \cdot 10^{11} \cdot 8{,}72 \cdot 10^{-7}/26} = 18{,}3 \text{ рад/с}.$$

Условие виброустойчивости $\omega/\omega_{кр} < 0{,}7$ выполняется: $\omega/\omega_{кр} = 12{,}6/18{,}3 = 0{,}688 < 0{,}7$.

2. Расчет на жесткость и прочность. Эксцентриситет массы мешалок составляет

$$e_1 = e_2 = 10^{-3}/\sqrt{\omega} = 10^{-3}/\sqrt{12{,}6} = 0{,}28 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Относительная координата опасного по жесткости сечения в месте установки уплотнения вала $\bar{z}_1 = z_1/L = 600/5500 = 0{,}109$.

Безразмерный динамический прогиб вала в опасном по жесткости сечении согласно рис. 24.17, *в* $\bar{y}_{z1} = f(\bar{z}_1) = f(0{,}109) = 0{,}34$.

Приведенные эксцентриситеты массы перемешивающих устройств согласно формуле (24.48):

$$e_{1\,пр} = e_1/\bar{y}_{z1} = 0{,}28 \cdot 10^{-3}/0{,}99 = 0{,}283 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

$$e_{2\,пр} = e_2/\bar{y}_{z2} = 0{,}28 \cdot 10^{-3}/0{,}47 = 0{,}595 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Приведенная масса вала согласно формулам (24.28а) и (24.35) составляет для однопролетного вала постоянного поперечного сечения ($d_z = 1$)

$$m_{в.\,пр} = (\pi d^2 \rho L/4) \int_0^1 d_z^2 \sin^2(\pi z/L)\, d\bar{z} = 0{,}5 m_в L = 0{,}5 \cdot 26 \cdot 5{,}5 = 71{,}5 \text{ кг}.$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет зазоров в опорах по формуле (24.54) составит:

в месте установки верхней мешалки

$$\Delta_{z1} = \Delta_{z3} = (\Delta_Б - \Delta_А)\, z_3/L + \Delta_А,$$

где $\Delta_А$ — для радиального однорядного шарикового подшипника (см. табл. 24.5), $\Delta_А = 0{,}03 \cdot 10^{-3}$ м; $\Delta_Б$ — для подшипника скольжения нижней опоры (см. табл. 24.6), $\Delta_Б = 0{,}03 \cdot 10^{-3}$ м, т.е. $\Delta_А = \Delta_Б$, тогда:

$$\Delta_{z1} = (0{,}03 \cdot 10^{-3} - 0{,}03 \cdot 10^{-3})\, 2{,}8/5{,}5 + 0{,}03 \cdot 10^{-3} = 0{,}03 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

в месте установки нижней мешалки

$$\Delta_{z2} = \Delta_{z4} = (\Delta_Б - \Delta_А)\, z_4/L + \Delta_А = 0 + 0{,}03 \cdot 10^{-3} = 0{,}03 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

в месте установки уплотнения вала

$$\Delta_{z1} = (\Delta_Б - \Delta_А)\, z_1/L + \Delta_А = 0 + 0{,}03 \cdot 10^{-3} = 0{,}03 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Смещение оси вала от оси вращения за счет начальной изогнутости вала (радиальное биение вала):

в месте установки верхней мешалки согласно формуле (24.49) $\varepsilon_{z1} = \varepsilon_{z3} = \varepsilon_в \bar{y}_{z3}$, где $\varepsilon_в$ — начальная изогнутость вала в точке приведения B, принимаемая по табл. 24.7, $\varepsilon_в = f(L/d)$. При $L/d = 55/0{,}065 = 84{,}4$ $\varepsilon_в = 0{,}09 \cdot 10^{-3}$ м; тогда $\varepsilon_{z3} = 0{,}09 \cdot 10^{-3} \times 0{,}99 = 0{,}089 \cdot 10^{-3}$ м;

в месте установки нижней мешалки

$$\varepsilon_{z2} = \varepsilon_{z4} = \varepsilon_в \bar{y}_{z4} = 0{,}09 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}47 = 0{,}042 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

в месте установки уплотнения вала

$$\varepsilon_{z1} = \varepsilon_в \bar{y}_{z1} = 0{,}09 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}34 = 0{,}031 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Смещение оси вала от оси вращения в точке приведения B за счет зазоров в опорах согласно формуле (24.51)

$$\Delta_B = (\Delta_А + \Delta_Б)/2 = (0{,}03 \cdot 10^{-3} + 0{,}03 \cdot 10^{-3})/2 = 0{,}03 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Приведенный эксцентриситет массы вала с мешалками согласно формуле (24.47)

$$e_{пр} = (m_{1пр} e_{1пр} + m_{2пр} e_{2пр})/(m_{в.\,пр} + m_{в.\,пр}) + \Delta_B + \varepsilon_B =$$
$$= (64{,}7 \cdot 0{,}283 \cdot 10^{-3} + 14{,}5 \cdot 0{,}595 \cdot 10^{-3})/(79{,}2 + 71{,}5) + 0{,}03 \cdot 10^{-3} +$$
$$+ 0{,}09 \cdot 10^{-3} = 0{,}298 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Динамический прогиб оси вала в точке приведения B по формуле (24.46)

$$y_B = e_{пр}/[(\omega_{кр}/\omega)^2 - 1] = 0{,}298 \cdot 10^{-3}/[(18{,}3/12{,}6)^2 - 1] = 0{,}27 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Динамическое смещение центров тяжести мешалок по формуле (24.58):
верхней мешалки

$$A_{l1} = y_B \bar{y}_{l1} + \varepsilon_{l1} + \Delta_{l1} + e_1 = 0{,}27 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}99 + 0{,}089 \cdot 10^{-3} + 0{,}03 \cdot 10^{-3} + 0{,}28 \cdot 10^{-3} = 0{,}668 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

нижней мешалки

$$A_{l2} = y_B \bar{y}_{l2} + \varepsilon_{l2} + \Delta_{l2} + e_2 = 0{,}27 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}47 + 0{,}042 \cdot 10^{-3} + 0{,}03 \cdot 10^{-3} + 0{,}28 \cdot 10^{-3} = 0{,}480 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Динамическое смещение оси вала в опасном по жесткости сечении в месте установки уплотнения вала согласно (24.55), (24.56)

$$A_{z1} = y_B \bar{y}_{z1} + \varepsilon_{z1} + \Delta_{z1} = 0{,}27 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}34 + 0{,}031 \cdot 10^{-3} + 0{,}03 \cdot 10^{-3} = 0{,}153 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Динамическое смещение вала в точке приведения B по формуле (24.57)

$$A_B = y_B + \varepsilon_B + \Delta_B = 0{,}27 \cdot 10^{-3} + 0{,}09 \cdot 10^{-3} + 0{,}03 \cdot 10^{-3} = 0{,}36 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Условие жесткости (24.59) $A_{z1} \leq [A]_{z1}$, где $[A]_{z1}$ — допускаемое смещение вала в зоне уплотнительного устройства (см. табл. 24.8). Для сальникового уплотнения $[A]_{z1} = 0{,}1 \cdot 10^{-3}$ м, для торцового уплотнения $[A]_{z1} = 0{,}25 \cdot 10^{-3}$ м. Таким образом, условие жесткости (24.59) выполняется лишь при использовании торцового уплотнения: $0{,}153 \cdot 10^{-3} < 0{,}25 \cdot 10^{-3}$.

Сосредоточенная центробежная сила, действующая на мешалки, рассчитывается по формуле (24.67):
на верхнюю

$$F_1 = m_1 \omega^2 A_{l1} = 66 \cdot 12{,}6^2 \cdot 0{,}688 \cdot 10^{-3} = 6{,}96 \text{ Н};$$

на нижнюю

$$F_2 = m_2 \omega^2 A_{l2} = 66 \cdot 12{,}6^2 \cdot 0{,}480 \cdot 10^{-3} = 5{,}0 \text{ Н}.$$

Приведенная центробежная сила, действующая в точке приведения B, от собственной массы вала согласно формуле (24.69)

$$F_{в.пр} = m_{в.пр} \omega^2 A_B = 71{,}5 \cdot 12{,}6^2 \cdot 0{,}36 \cdot 10^{-3} = 4{,}07 \text{ Н}.$$

Реакции опор:
реакция опоры A (верхней)

$$R_A = B_1/L + F_{в.пр}/2,$$

где

$$B_1 = F_1 (L - l_1) + F_2 (L - l_2) = 6{,}96 (5{,}5 - 2{,}8) + 5{,}0 (5{,}5 - 4{,}6) = 23{,}3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$
$$R_A = 23{,}3 \cdot 1/5{,}5 + 4{,}07/2 = 6{,}27 \text{ Н};$$

реакция опоры $Б$ (нижней)

$$R_Б = B_2/L + F_{в.пр}/2,$$

где

$$B_3 = F_1 l_1 + F_2 l_2 = 6{,}96 \cdot 2{,}8 + 5{,}0 \cdot 4{,}6 = 42{,}5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$
$$R_Б = 42{,}5/5{,}5 + 4{,}07/2 = 9{,}75 \text{ Н}.$$

Изгибающий момент в опасных по прочности сечениях:

между A и B

$$M_{и\,z2} = R_A z_2 = 6{,}27 \cdot 2{,}75 = 17{,}3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

между B и $Б$

$$M_{и\,z3} = R_A z_3 - F_{п.\,пр}(z_3 - L/2) = 6{,}27 \cdot 2{,}8 - 4{,}07\,(2{,}8 - 5{,}5/2) = 17{,}3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Крутящий момент в опасных по прочности сечениях:

в середине пролета вала

$$M_{к\,z2} \approx (N_1 + N_2)/\omega = (5000 + 5000)/12{,}6 = 793 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

в месте установки верхней мешалки

$$M_{к\,z3} = N_2/\omega = 5000/12{,}6 = 397 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления вала в опасных по прочности сечениях z_2, z_3:

$$W_{z2} = W_{z3} = \pi d^3/32 = 3{,}14 \cdot 0{,}065^3/32 = 2{,}69 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Эквивалентные напряжения в этих сечениях:

$$\sigma_{эк\,в\,z2} = \frac{\sqrt{M^2_{и\,z2} + M^2_{к\,z2}}}{W_{z2}} = \frac{\sqrt{17{,}3^2 + 793^2}}{2{,}69 \cdot 10^{-5}} = 2{,}95 \cdot 10^7 \text{ Па};$$

$$\sigma_{эк\,в\,z3} = \frac{\sqrt{M^2_{и\,z3} + M^2_{к\,z3}}}{W_{z3}} = \frac{\sqrt{17{,}3^2 + 397^2}}{2{,}69 \cdot 10^{-5}} = 1{,}48 \cdot 10^7 \text{ Па}.$$

Допускаемые напряжения в сечениях z_i определяются по формуле (24.71)

$$[\sigma]_{zi} = \varepsilon_M \sigma_{-1}/(K_{\sigma z i} n_{\min}).$$

Для вала диаметром d = 65 мм, изготовленного из легированной стали 15ХМ, согласно рис. 3.19 коэффициент $\varepsilon_M = 0{,}67$, а при t = 80°С предел выносливости $\sigma_{-1} = 200$ МПа. Так как на валу в местах установки мешалок имеются шпоночные канавки, выполненные торцовой фрезой, то $K_{\sigma z3} = 1{,}34$ согласно табл. 24.9. В неослабленном сечении $K_{\sigma z2} = 1$. Приняв ориентировочно $n_{\min} = 2$, получим:

$$[\sigma]_{z2} = 0{,}67 \cdot 2 \cdot 10^8/(1 \cdot 2) = 6{,}7 \cdot 10^7 \text{ Па}; \quad [\sigma]_{z3} = 0{,}67 \cdot 2 \times 10^8/(1{,}34 \cdot 2) = 5{,}0 \cdot 10^7 \text{ Па}.$$

Условия прочности выполняются:

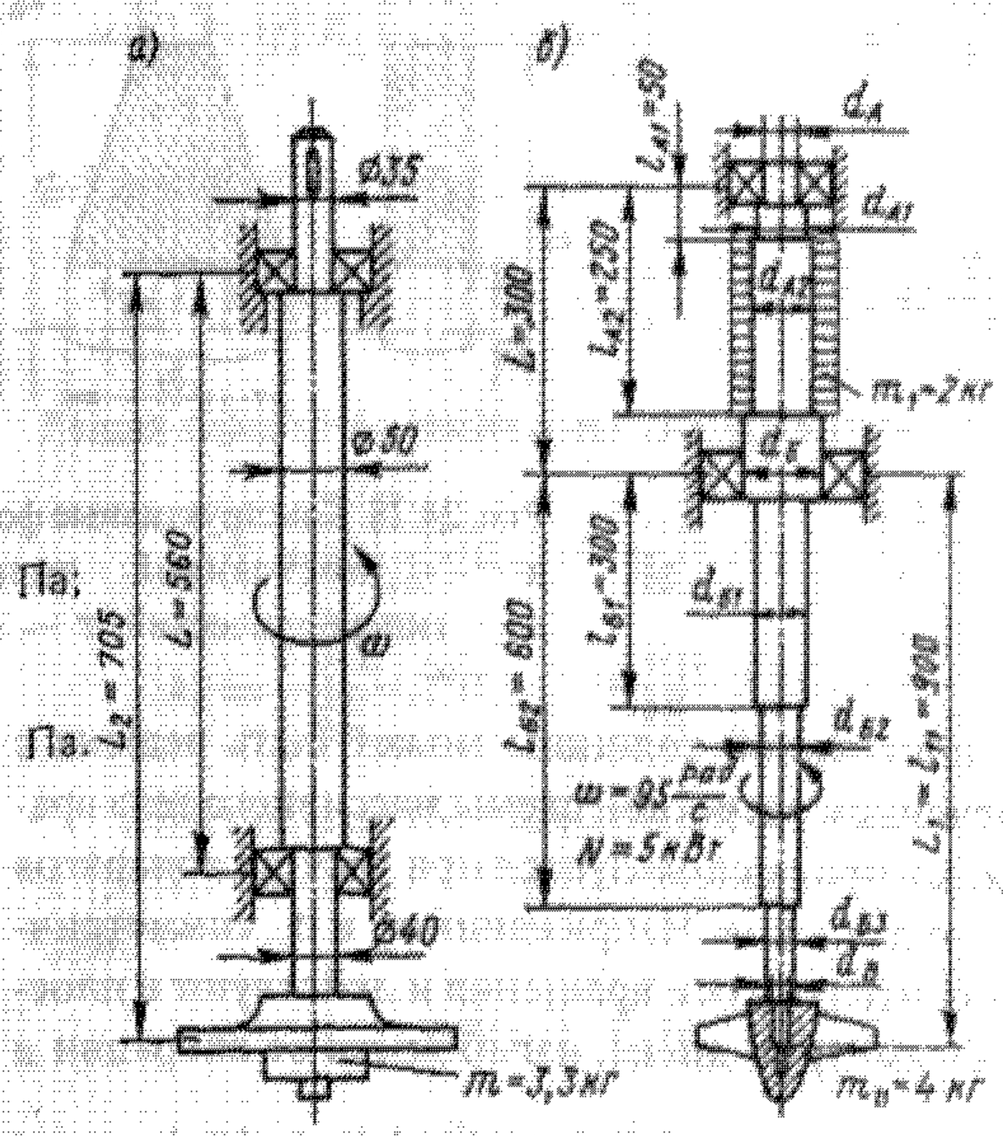


Рис. 24.25. Ротор: *а* — распылительной сушилки; *б* — реактора с герметичным электроприводом; *в* — дезинтегратора

$$\sigma_{экв\ z2} \leqslant [\sigma]_{z2};\ 2.95 \cdot 10^7 < 6.7 \cdot 10^7;$$
$$\sigma_{экв\ z3} \leqslant [\sigma]_{z3};\ 1.48 \cdot 10^7 < 5.0 \cdot 10^7.$$

Таким образом, однопролетный вал диаметром $d = 65$ мм и длиной $L = 5500$ мм при заданной нагрузке является виброустойчивым, прочным и достаточно жестким в опасных сечениях.

24.2. Диски

Быстровращающиеся диски являются важными рабочими элементами роторов молотковых дробилок и дезинтеграторов, распылительных сушилок, коллоидных мельниц, барабанов центрифуг, центробежных насосов и компрессоров, а также ряда другого технологического оборудования.

В зависимости от изменения толщины диска по его радиусу различают диски простого профиля (диски постоянной толщины, конические, гиперболические, рис. 24.28, *а*—*в*) и сложного (рис. 24.28, *г*).

Диски постоянной толщины. В роторах технологического оборудования наибольшее применение нашли диски постоянной толщины, нагруженные по внутренней поверхности радиуса R_1 радиальным напряжением σ_{r1}, возникающим от посадки диска с натягом на вал, а по наружной поверхности радиуса R_2 — радиальным напряжением σ_{r2}, возникающим от центробежного воздействия различного рода лопаток, молотков и других элементов ротора (рис. 24.29).

Задача определения напряжений и деформаций в диске постоянной толщины может быть решена с привлечением расчетной схемы массивного тела вращения, которая используется при расчете аппаратов высокого давления. Напряжения σ_{r1} и σ_{r2} симметричны относительно оси вращения и действуют в плоскости симметрии диска, изгиб диска от вибрации и внешних нагрузок пренебрежимо мал, температура по радиусу и толщине диска постоянна. Условие равновесия выделенного из диска элемента (рис. 24.29) может быть записано в виде:



Рис. 24.28. *Конструктивные формы быстровращающихся дисков:*
а — постоянной толщины; б — конический;
в — гиперболический; г — сложного профиля

$$(\sigma_r + d\sigma_r)\, b\, (r + dr)\, d\varphi - \sigma_r b r d\varphi - \sigma_t b r d\varphi + \rho r^2 b dr d\varphi \omega^2 = 0,$$

$$\text{т. е.}\quad \sigma_r + r\frac{d\sigma_r}{dr} - \sigma_t + \rho r^2 \omega^2 = 0$$

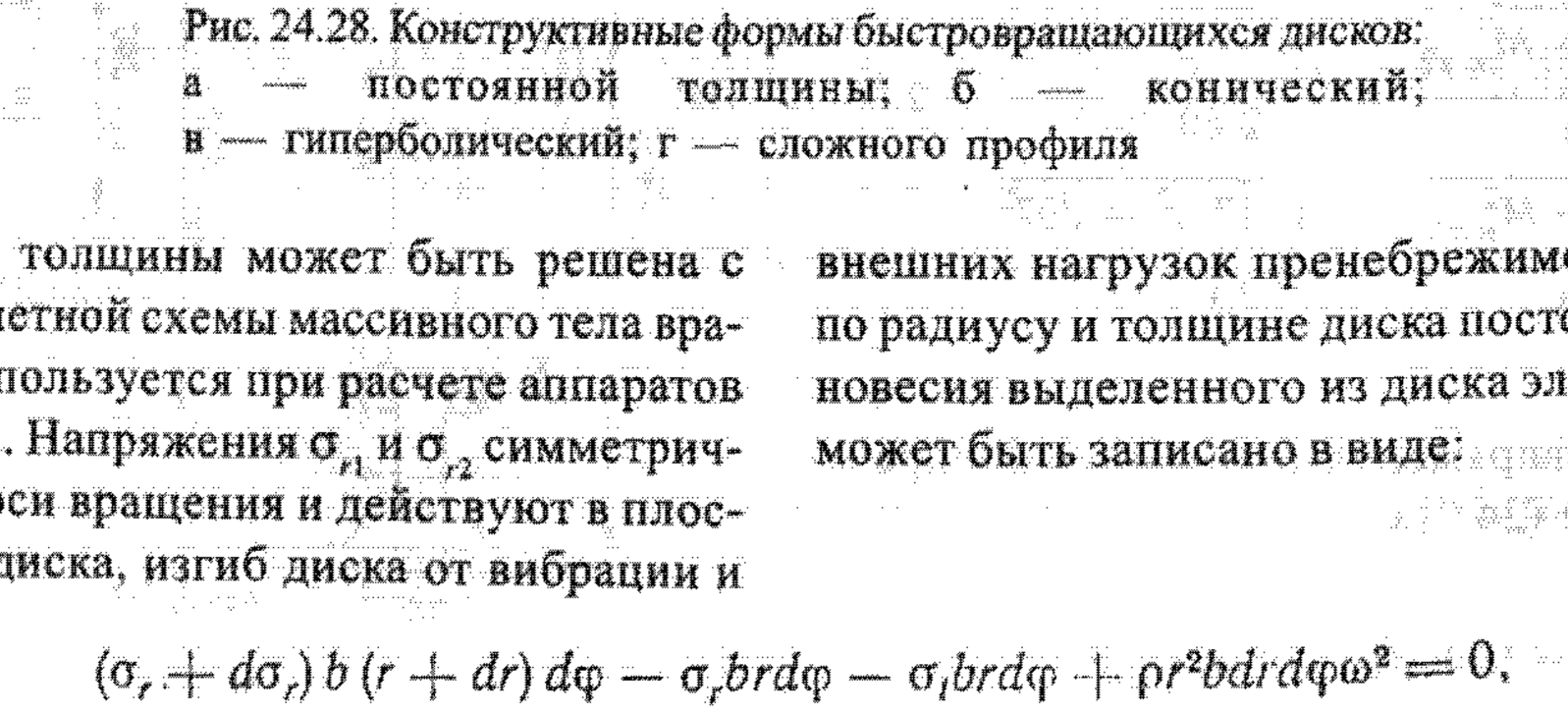


Рис. 24.29. Расчетная схема диска постоянной толщины

или

$$\frac{d}{dr}(\sigma_r r) - \sigma_t = -\rho r^2\omega^2. \qquad (24.73)$$

Из уравнений обобщенного закона Гука:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}(\sigma_r - \mu\sigma_t);\ \varepsilon_t = \frac{1}{E}(\sigma_t - \mu\sigma_r)$$

и уравнений относительных деформаций:

$$\varepsilon_r = du/dr;\quad \varepsilon_t = u/r$$

получим после объединения последних уравнений:

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2}\left(\frac{du}{dr} + \mu\frac{u}{r}\right);$$
$$\sigma_t = \frac{E}{1-\mu^2}\left(\frac{u}{r} + \mu\frac{du}{dr}\right). \qquad (24.74)$$

Подставляя эти зависимости в равенство (24.73), получим следующее дифференциальное уравнение второго порядка с переменными коэффициентами:

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r}\frac{du}{dr} - \frac{u^2}{r^2} = -\frac{1-\mu^2}{E}\rho\omega^2 r,$$

т.е.,

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{du}{dr} + \frac{u}{r}\right) = -Br$$

или

$$\frac{d}{dr}\left[\frac{1}{r}\frac{d}{dr}(ur)\right] = -Br, \qquad (24.75)$$

где

$$B = \frac{1-\mu^2}{E}\rho\omega^2. \qquad (24.76)$$

После интегрирования (24.75) получим

$$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}(ur) = -\frac{Br^2}{2} + 2A_1,$$

откуда

$$\frac{d}{dr}(ur) = -\frac{Br^3}{2} + 2A_1 r, \qquad (24.77)$$

где $2A_1$ — постоянная интегрирования.

Интегрирование выражения (24.77) дает

$$u = A_1 r + A_2/r - Br^3/8, \qquad (24.78)$$

откуда

$$du/dr = A_1 - A_2/r^2 - 3Br^2/8, \qquad (24.79)$$

где A_2 — постоянная интегрирования.

Подстановка зависимостей (24.78) и (24.79) в уравнение (24.74) приводит к формулам для радиальных σ_r и окружных σ_t напряжений на текущем радиусе r диска:

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} \times \left[(1+\mu)A_1 - (1-\mu)\frac{A_2}{r^2} - (3+\mu)\frac{Br^2}{8}\right]; \qquad (24.80)$$

$$\sigma_t = \frac{E}{1-\mu^2} \times \left[(1+\mu)A_1 + (1-\mu)\frac{A_2}{r^2} - (1+3\mu)\frac{Br^2}{8}\right] \qquad (24.81)$$

Для внутреннего радиуса диска $r = R_1$ уравнения (24.80) и (24.81) принимают вид:

$$\sigma_{r(r=R1)} = \sigma_{r1} = \frac{E}{1-\mu^2} \times \left[(1+\mu)A_1 - (1-\mu)\frac{A_2}{R_1^2} - (3+\mu)\frac{BR_1^2}{8}\right];$$

$$\sigma_{t(r=R1)} = \sigma_{t1} = \frac{E}{1-\mu^2} \times \left[(1+\mu)A_1 + (1-\mu)\frac{A_2}{R_1^2} - (1+3\mu)\frac{BR_1^2}{8}\right].$$

Решая совместно последние два уравнения, получим

$$A_1 = \frac{1-\mu}{2E}\sigma_{r1} + \frac{1-\mu}{2E}\sigma_{t1} + \frac{BR_1^2}{4};$$

$$A_2 = \frac{1+\mu}{2E}R_1^2\sigma_{r1} - \frac{1+\mu}{2E}R_1^2\sigma_{t1} - \frac{BR_1^4}{8}.$$

Подстановка этих выражений в формулы (24.80) и (24.81) приводит к окончательной форме уравнений:

$$\sigma_r = \alpha_r\sigma_{r1} + \alpha_t\sigma_{t1} + \alpha_c T; \qquad (24.82)$$

$$\sigma_t = \beta_r\sigma_{r1} + \beta_t\sigma_{t1} + \beta_c T. \qquad (24.83)$$

Здесь для стальных дисков при $\mu = 0{,}3$; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $\rho = 8 \cdot 10^3$ кг/м^3:

$$\alpha_r = \beta_t = (1+x^2)/2;\quad \alpha_t = \beta_r = (1-x^2)/2;$$
$$\alpha_c = -2{,}74\,(3{,}3 - 2{,}6x^2 - 0{,}7x^4);$$
$$\beta_c = -2{,}74\,(1{,}9 - 2{,}6x^2 + 0{,}7x^4),$$

где $x = R_1/r = D_1/D$;

$$T = (2r)^2\,(n/1000)^2, \qquad (24.84)$$

где n — частота вращения диска, об/мин; r — текущий радиус диска, м; σ_{r1}; σ_{t1}; σ_{t1}; σ_t — радиальные и окружные напряжения на внутреннем и текущем радиусах соответственно, МПа.

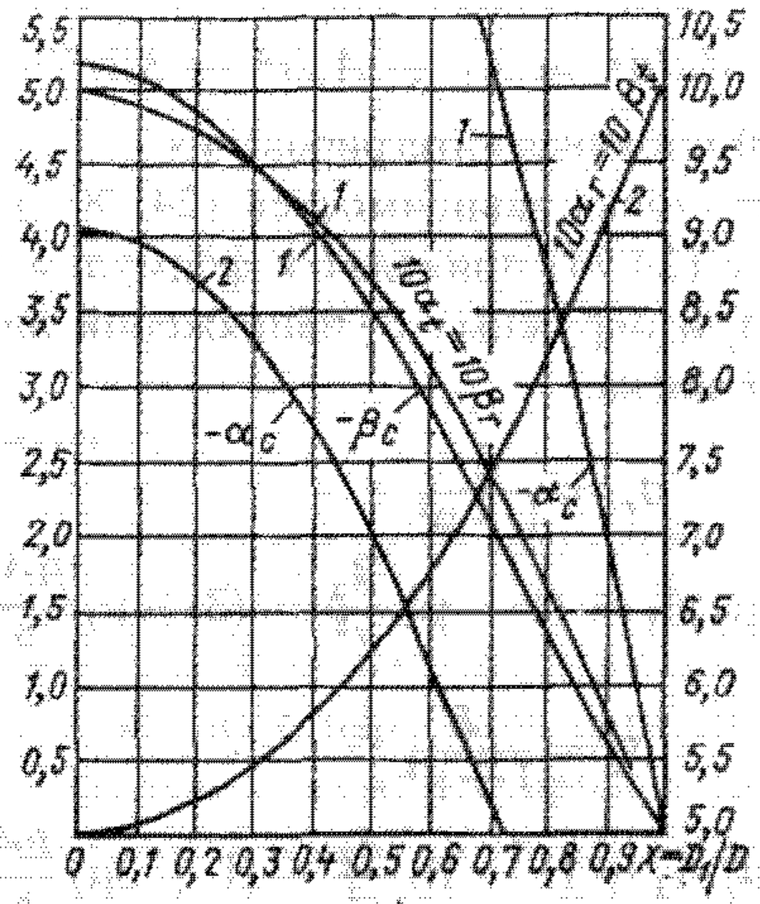


Рис. 24.30. Номограмма для определения коэффициентов α и β уравнений (24.82), (24.83) при расчете дисков постоянной толщины (слева ось ординат для кривых *1*; справа — для кривых *2*)

Если диск изготовлен не из стали с плотностью ρ, а из другого материала с плотностью $\rho_м$, то необходимо последнее слагаемое в формулах (24.82) и (24.83) умножить на поправочный коэффицент $\rho_м/\rho$. На рис. 24.30 даны значения коэффициентов α и β графически. Чтобы применить уравнения (24.82) и (24.83) для расчета напряжений в любой точке диска и, следовательно, для построения эпюр напряжений $\sigma_r = f(r)$; $\sigma_t = f(r)$, необходимо из заданных начальных условий определить σ_{r1}. Эту величину находят благодаря условию

$$\sigma_{r(r=R2)} = \sigma_{r2} = \sum F_u/(2\pi R_2), \qquad (24.85)$$

где $\sum F_u$ — суммарная центробежная сила по наружному контуру диска ($2\pi R_2$) от действия лопаток, молотков и других элементов. Если такие элементы отсутствуют, то $\sigma_{r2} = 0$ (например, диск распылительной сушилки). Граничное условие (24.85) при подстановке в (24.82) позволяет определить

$$\sigma_{r1} = (\sigma_{r2} - \alpha_{r(R2)}\sigma_{r1} - \alpha_{c(R2)} T_{(R2)})/\alpha_{t(R2)} \qquad (24.86)$$

и перейти к расчету напряжений σ_r и σ_t по формулам (24.82) и (24.83) для любого радиуса r, а затем и к построению эпюры напряжений по радиусу диска. Эпюра иллюстрирует участки с максимальными напряжениями σ_r^{max} σ_t^{max} и позволяет перейти к оценке местных запасов прочности диска по напряжениям:

$$n_м = \sigma_{д10^4}/\sigma_{max}; \quad n_м = \sigma_т/\sigma_{max}, \quad n_м \geq [n_м], \qquad (24.87)$$

где $n_м$ — запас прочности (местный); $\sigma_{д10^4}$ — предел длительной прочности материала, зависящий от рабочей температуры и длительности работы диска; $\sigma_т$ — предел текучести материала; σ_{max} — наибольшее напряжение (радиальное или окружное) на данном радиусе диска, $\sigma_{max} = \max\{\sigma_r^{max}; \sigma_t^{max}\}$; $[n_м]$ — допускаемый местный запас прочности, принимаемый обычно $[n_м] = 2$.

Конические диски. Напряжения σ_r и σ_t на любом радиусе стального конического диска (см. рис. 24.28, *б*) могут быть вычислены по уравнениям (24.82), (24.83). При этом коэффициенты α и β, зависящие от безразмерных параметров

$$\varkappa = D/D_к; \quad \varkappa_1 = D_1/D_к, \qquad (24.88)$$

находят по графикам (рис. 24.31—24.36), а параметры T и $D_к$ определяют по формулам:

$$T = T_к = D_к^2\,(n/1000)^2; \qquad (24.89)$$

$$D_к = D_1 + (D_2 - D_1)\,b_1/(b_1 - b_2), \qquad (24.90)$$

где $D_к$ — диаметр полного конуса, м; D — диаметр, на котором определяют напряжения, м.

Дальнейший расчет конического диска ничем не отличается от расчета диска постоянной толщины и осуществляется в соответствии с формулами (24.85)—(24.87). Как показывают расчеты, максимальные (окружные) напряжения в коническом диске значительно ниже, чем у диска постоянной толщины (при одинаковых окружных скоростях и внешних нагрузках). Изготовление конического диска нетрудоемко, поэтому конические диски более экономичны и применяются чаще, чем диски постоянной толщины.

Гиперболические диски. Изменение толщины гиперболического диска (см. рис. 24.28, *в*) по его радиусу описывается уравнением гиперболы

$$b = A/r^a,$$

где A и a — постоянные.

Задаваясь из конструктивных соображений толщинами b_1 и b_2 на радиусах R_1 и R_2, можно найти значения величины a — показателя гиперболы:

$$b_1 = A/R_1^a; \quad b_2 = A/R_2^a$$

или после почленного деления

$$b_1/b_2 = (R_1/R_2)^a = (D_1/D_2)^a,$$

т.е.

$$a = \log(b_1/b_2)/\log(D_1/D_2). \qquad (24.91)$$

Зная показатель a из (24.91), через коэффициенты $x_r = D_1/D$ и $z_r = b/b_1$ по рис. 24.37—24.42 находят α и β, а по остальным формулам (24.82), (24.83) вычисляют напряжения на любом радиусе стального гиперболического диска. Параметр T вычисляют при этом по формуле (24.84).

Дальнейший расчет гиперболического диска полностью аналогичен расчету диска постоянной толщины и выполняется согласно формулам (24.85)—(24.87). Как показывают расчеты, значения максимальных окружных напряжений гиперболических дисков еще ниже, чем конических, при одинаковых

окружных скоростях и внешних нагрузках. Поэтому, даже несмотря на некоторую сложность изготовления гиперболического профиля, такие диски нашли широкое применение при конструировании роторов центробежных компрессоров, дисковых распылителей и других быстроходных агрегатов.

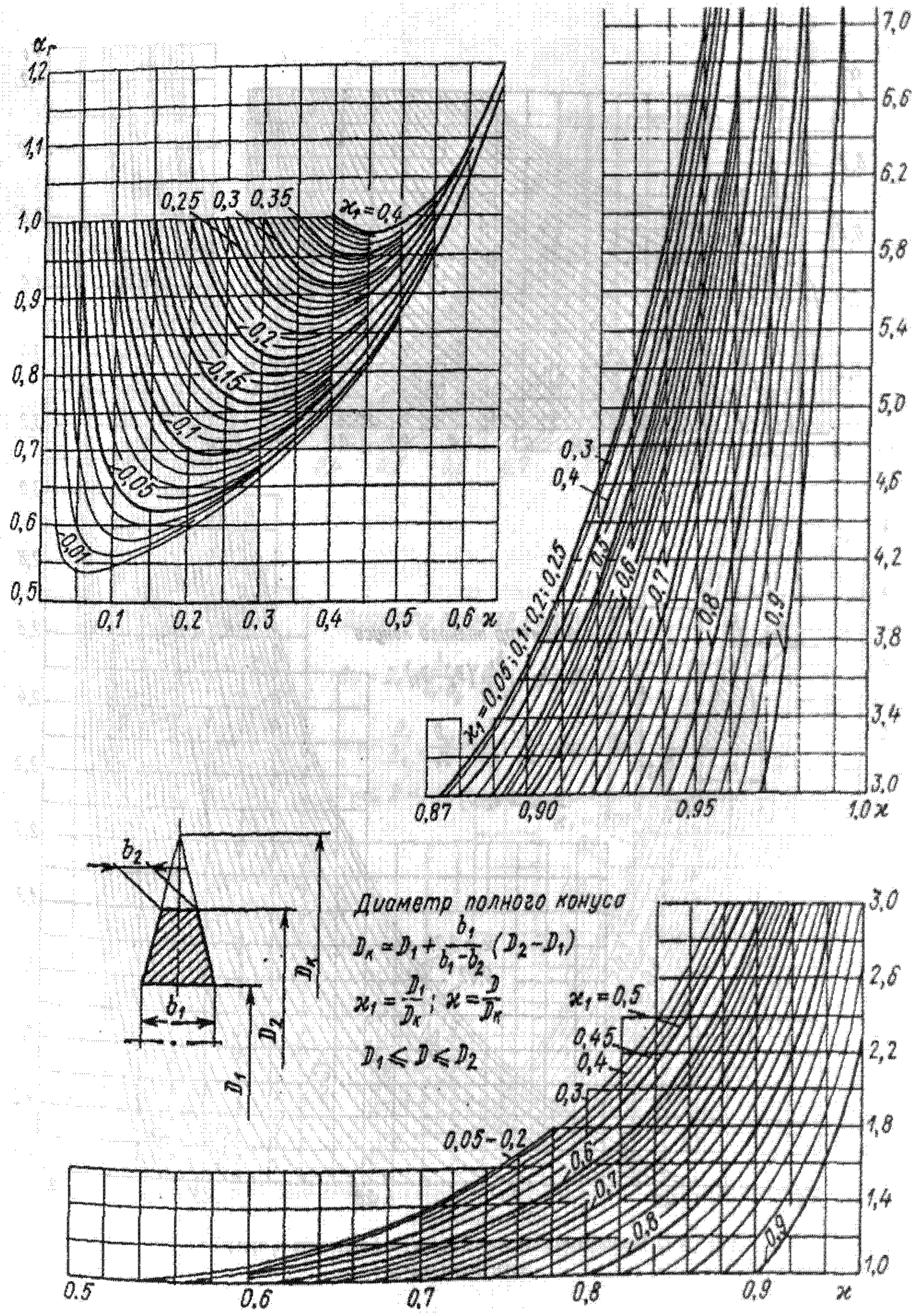


Рис. 24.31. Номограмма для определения коэффициента α_r при расчете конических дисков

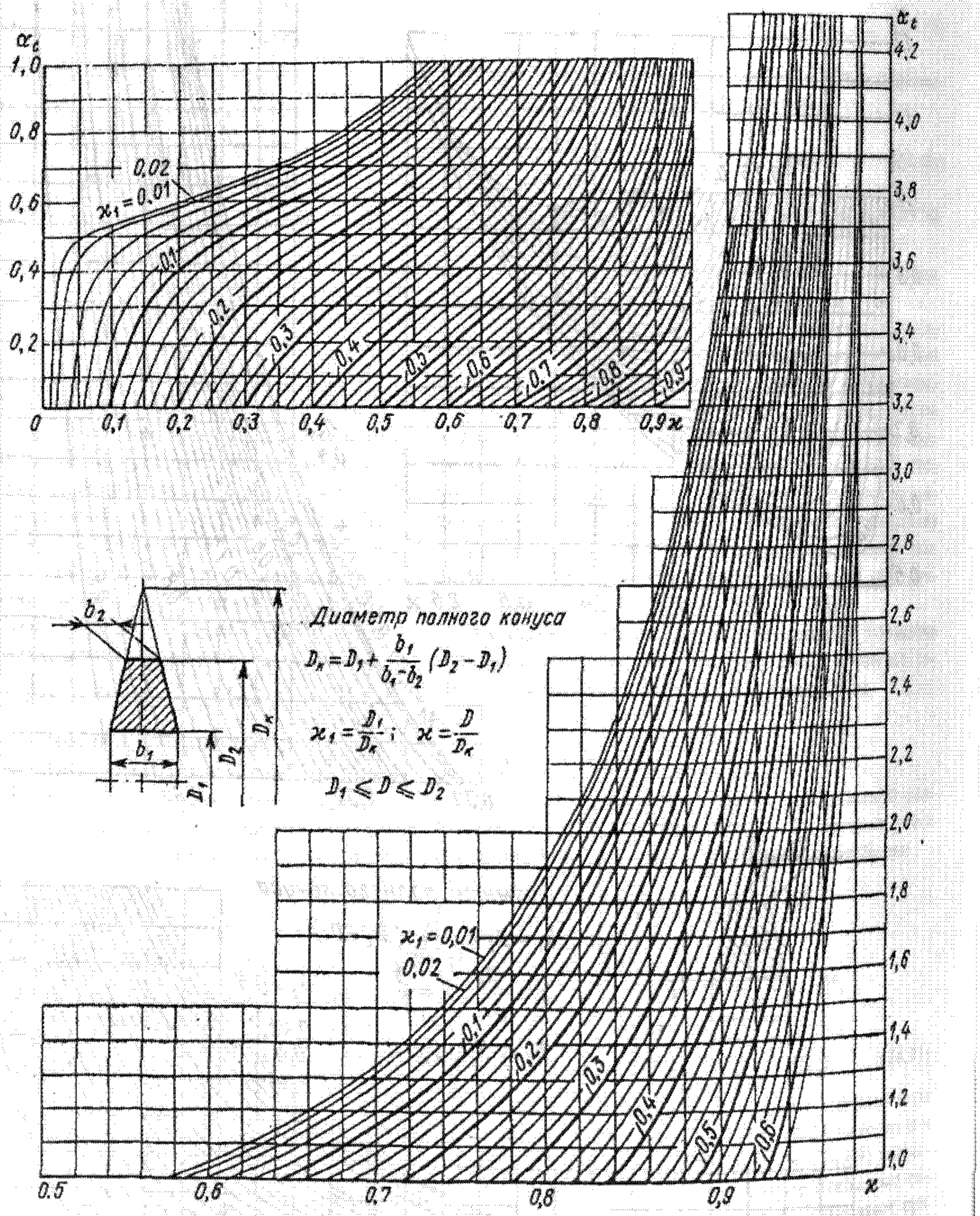


Рис. 24.32. Номограмма для определения коэффициента α_t при расчете конических дисков

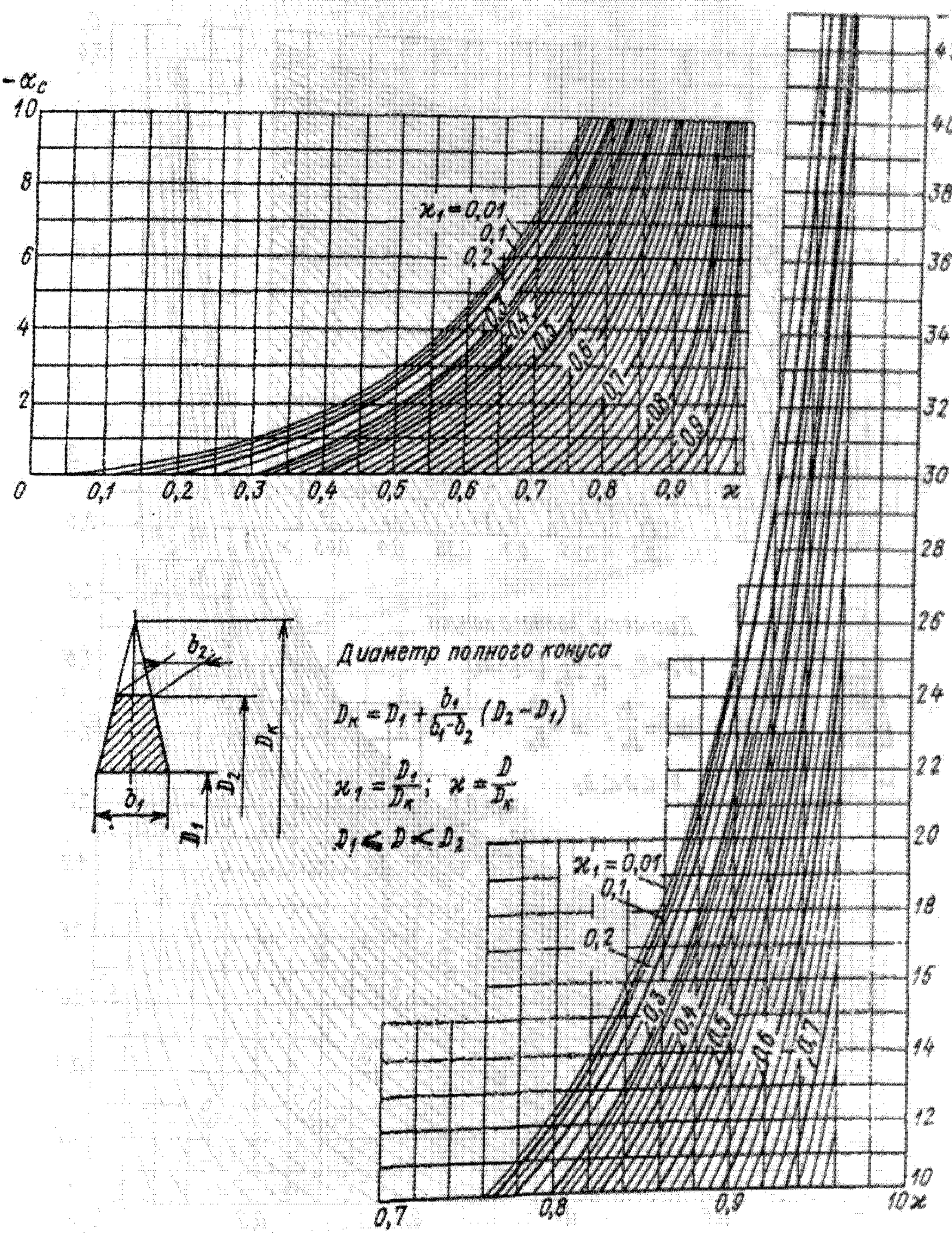


Рис. 24.33. Номограмма для определения коэффициента $-\alpha_c$ при расчете конических дисков

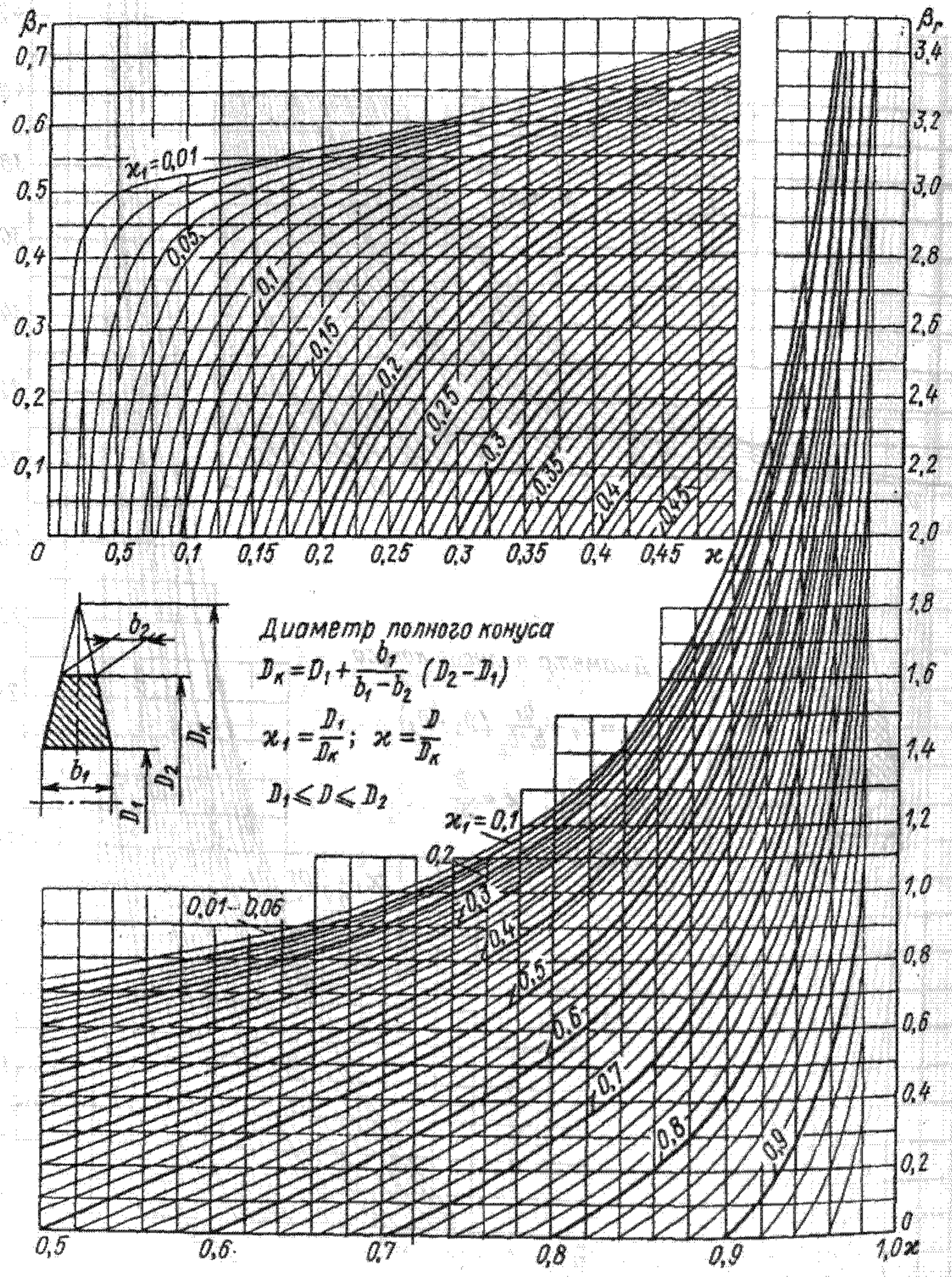


Рис. 24.34. Номограмма для определения коэффициента β_r при расчете конических дисков

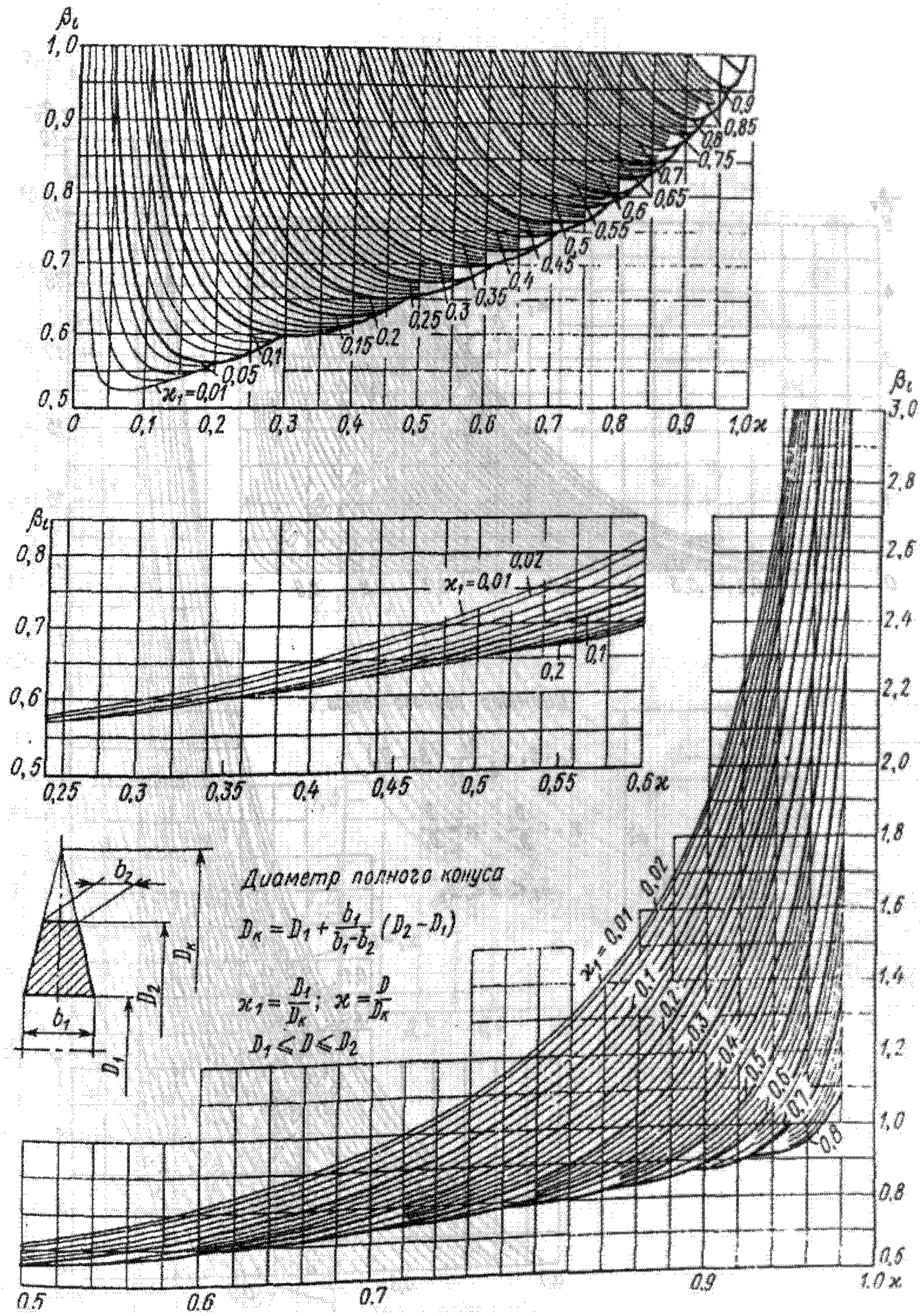


Рис. 24.35. Номограмма для определения коэффициента β_t при расчете конических дисков

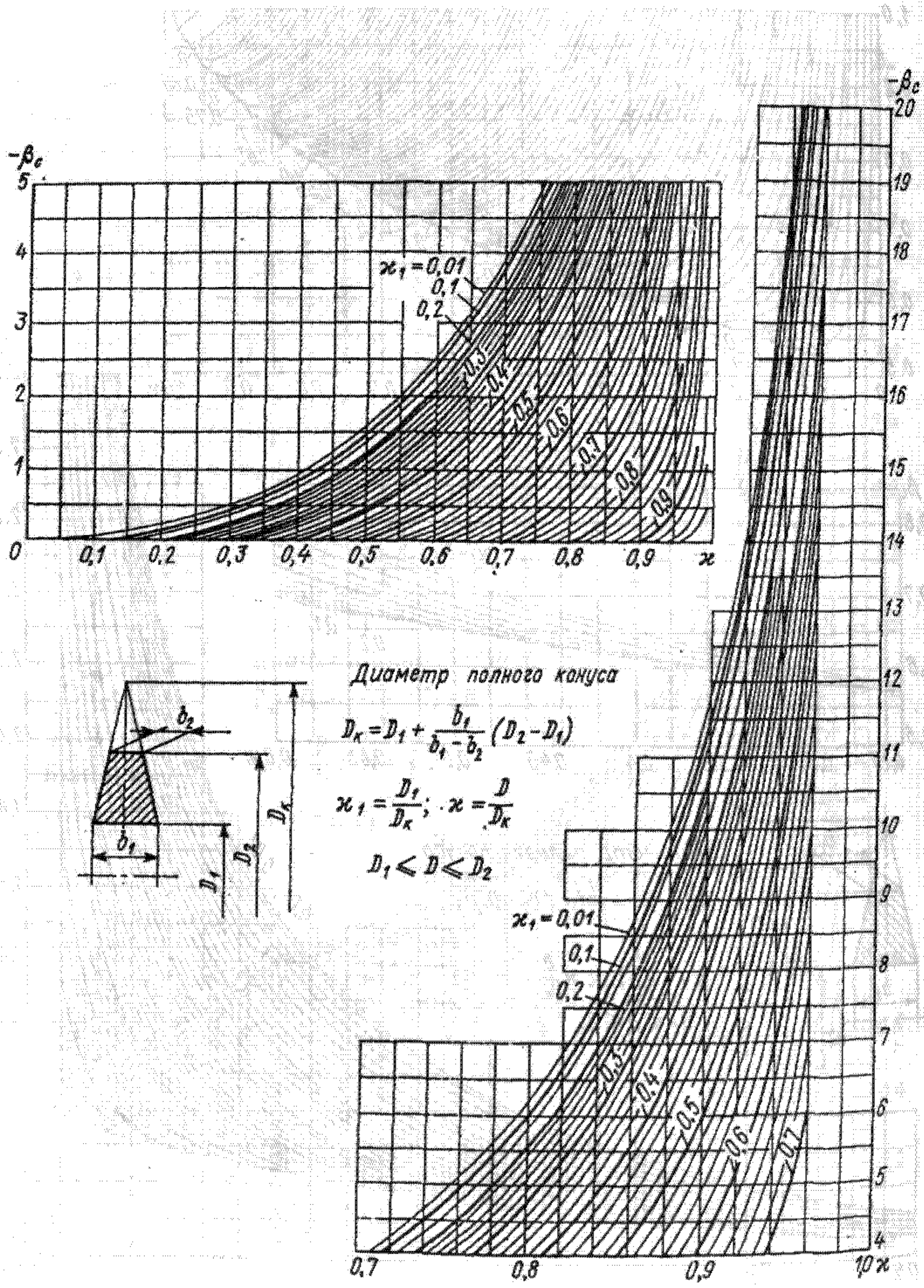


Рис. 24.36. Номограмма для определения коэффициента — β_c при расчете конических дисков

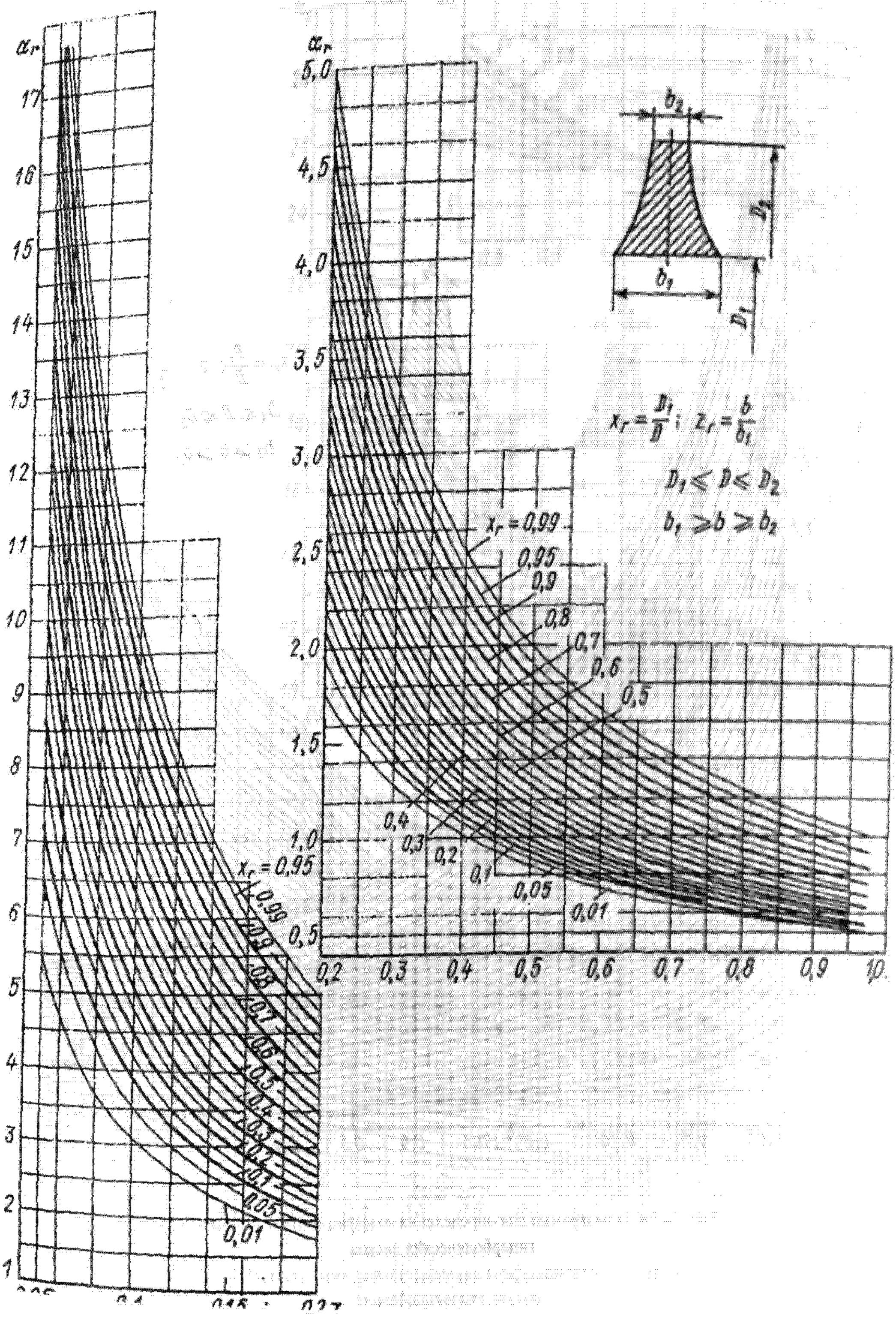


Рис. 24.37. Номограмма для определения коэффициента α_r при расчете гиперболических дисков

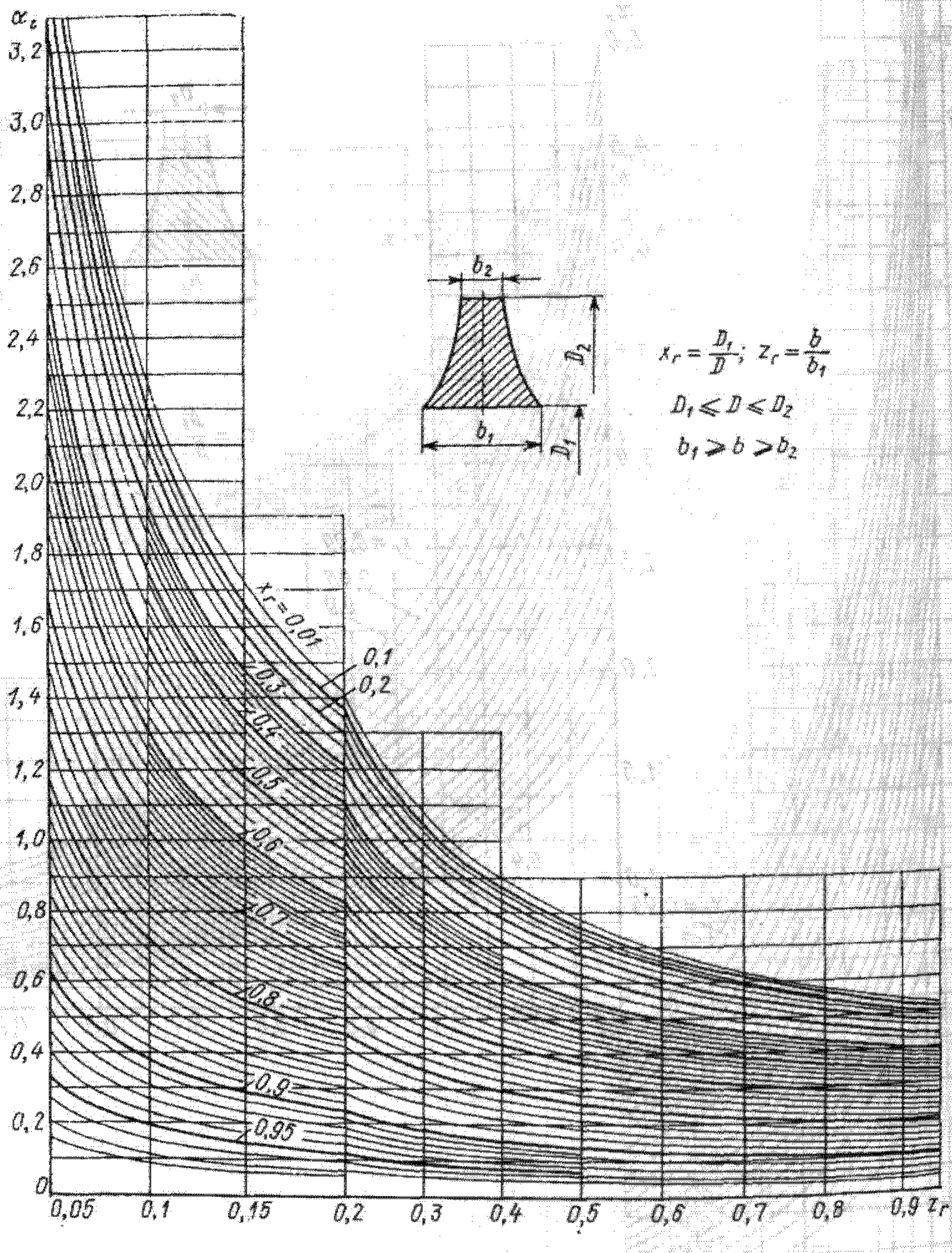


Рис. 24.38. Номограмма для определения коэффициента α_r при расчете гиперболических дисков

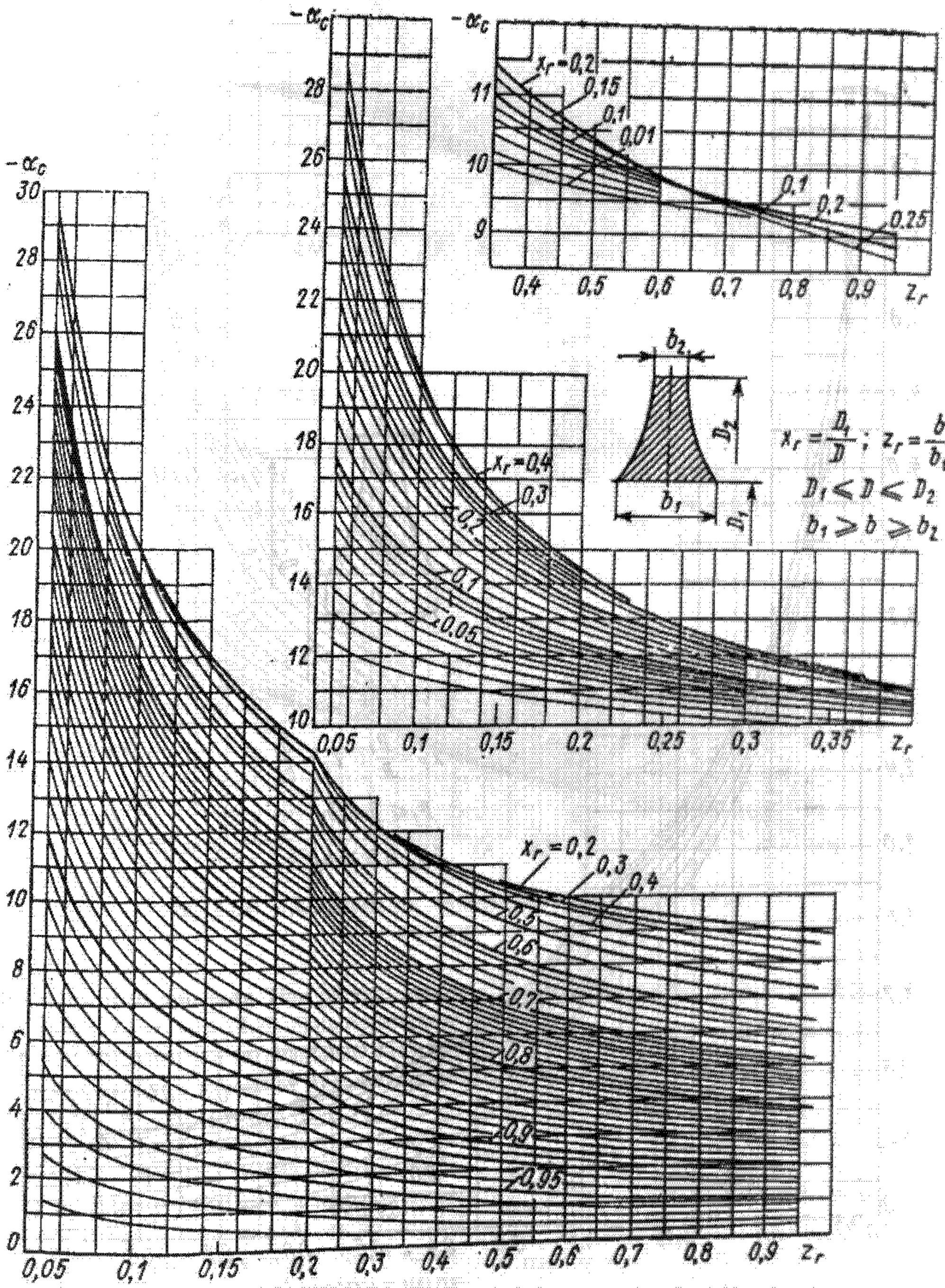


Рис. 24.39. Номограмма для определения коэффициента $-\alpha_c$ при расчете гиперболических дисков

31-3—2871

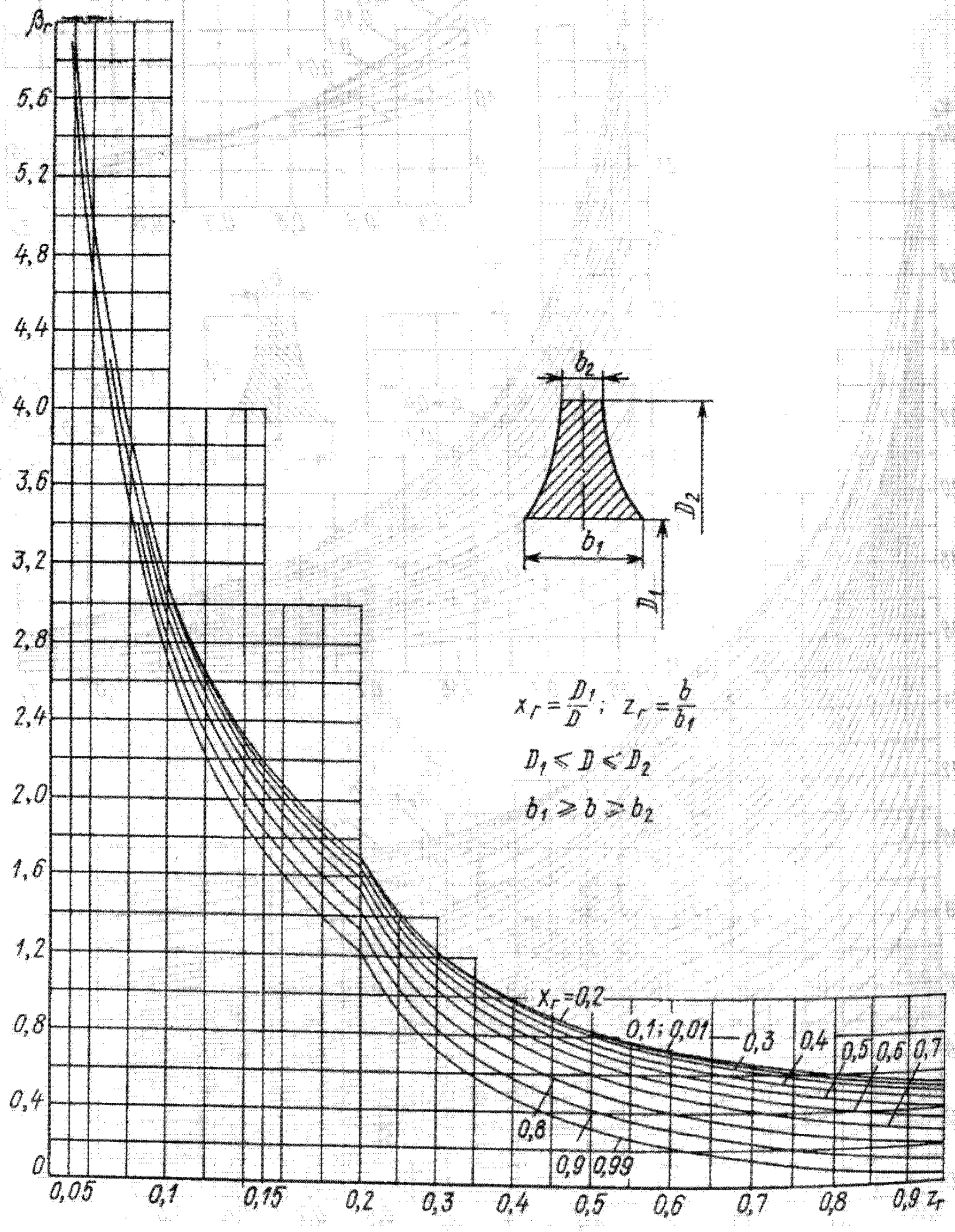


Рис. 24.40. Номограмма для определения коэффициента β_r при расчете гиперболических дисков

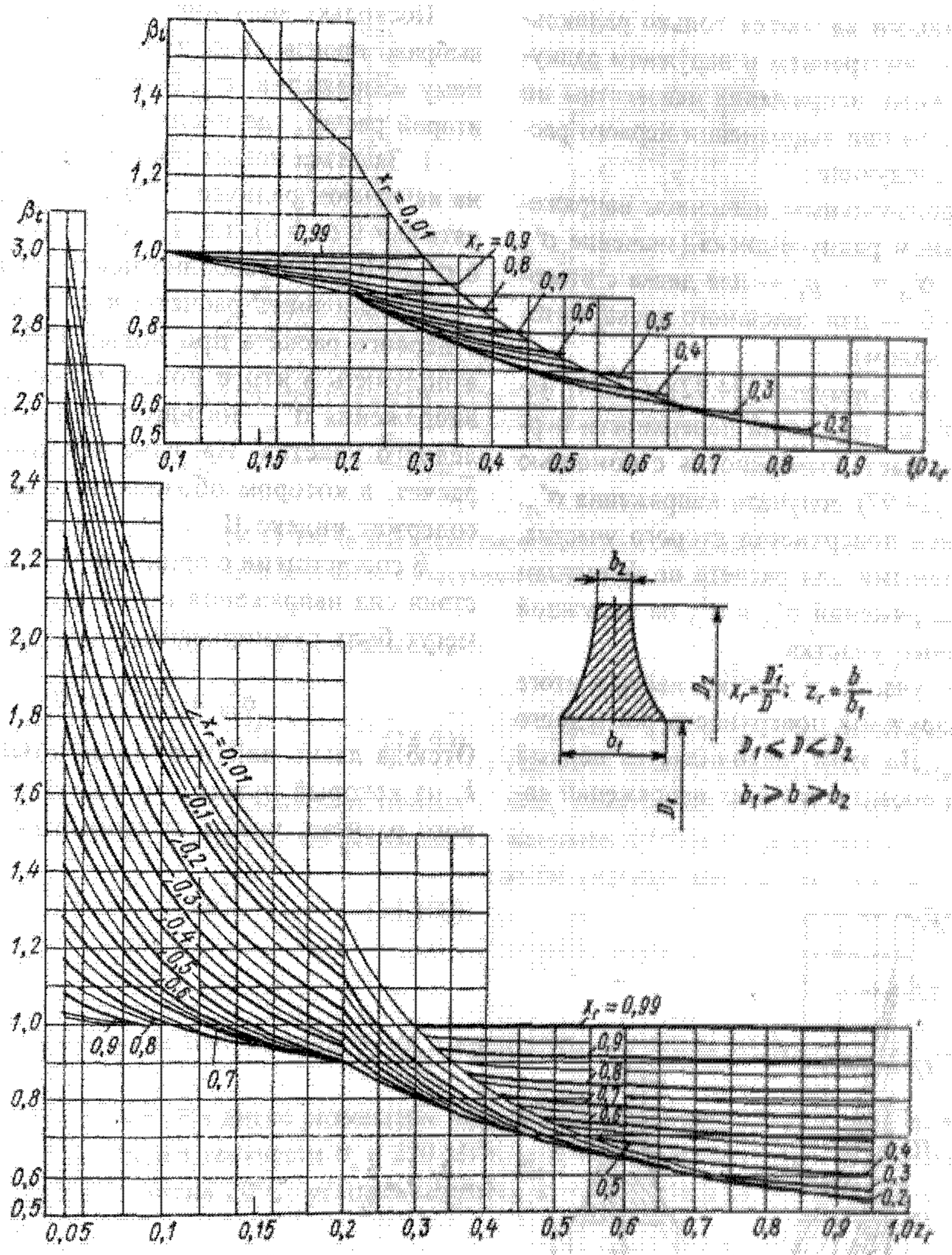


Рис. 24.41. Номограмма для определения коэффициента β_t при расчете гиперболических дисков

Диски сложного профиля. При расчете дисков сложного профиля (см. рис. 24.28, *г*) пользуются методом аппроксимации, когда реальный сложный профиль диска условно заменяют участками простейшего профиля, для которых точное решение известно. В частности, широко применяется разбивка диска сложного профиля на ряд участков постоянной толщины (рис. 24.43) с последовательным применением к каждому i-му участку уравнений (24.82), (24.83), связывающих между собой напряжения σ^*_{ri}, σ^*_{ti} в начале (радиус r_i) участка с напряжениями $\sigma_{r(i+1)}$, $\sigma_{t(i+1)}$ в конце (радиус r_{i+1}) участка:

$$\sigma_{r(i+1)} = \sigma^*_{ri}\alpha_{r(i+1)} + \sigma^*_{ti}\alpha_{t(i+1)} + T_{i+1}\alpha_{c(i+1)}; \quad (24.92)$$

$$\sigma_{t(i+1)} = \sigma^*_{ri}\beta_{r(i+1)} + \sigma^*_{ti}\beta_{t(i+1)} + T_{i+1}\beta_{c(i+1)}, \quad (24.93)$$

где коэффициенты α и β, как и ранее, зависят от

$$x_i = r_i/r_{i+1}, \quad (24.94)$$

а сомножитель

$$T_{i+1} = (2r_{i+1})^2 (n/1000)^2. \quad (24.95)$$

Поскольку на i-м радиусе происходит «скачок» толщины b (см. рис. 24.43), то напряжения σ_{ri}, σ_{ti} в конце $i-1$-го участка связаны с напряжениями σ^*_{ri}, σ^*_{ti} в начале i-го участка следующими зависимостями:

$$\sigma^*_{ri} = \sigma_{ri} b_{i-1}/b_i; \quad (24.96)$$

$$\sigma^*_{ti} = \sigma_{ti} + \mu(\sigma^*_{ri} - \sigma_{ri}), \quad (24.97)$$

полученными соответственно из условия равенства радиальных сил и равенства радиальных напряжений на границе «скачка» толщины диска. Чтобы удовлетворить заданным граничным условиям σ_{r1} и σ_{rm}, применяют метод двух расчетов.

Так как заданными являются только радиальные напряжения на внутреннем и наружном радиусах диска, а окружные напряжения неизвестны ни на одном радиусе, то при выполнении первого расчета необходимо следующее.

1. Задаться произвольным значением напряжений σ^{I}_{r1} на начальном радиусе диска (значение σ^{I}_{r1} задано; например: $\sigma^{I}_{r1} = -p_1$ — для диска с отверстием; $\sigma^{I}_{r1} = \sigma^{I}_{t1} = 0$ — для сплошного диска, выточенного заодно с валом).

2. Вычислить по формулам (24.92), (24.93) напряжения σ^{I}_{r2} и σ^{I}_{t2} на наружной поверхности первого участка, что дает возможность с помощью формул (24.96) и (24.97) получить напряжения σ^{*}_{r2}, σ^{*}_{t2} на внутренней поверхности второго участка, являющиеся исходными для расчета по формулам (24.92), (24.93) напряжений σ^{I}_{r3} и σ^{I}_{t3} на наружной поверхности второго участка.

3. Переходя от участка к участку, найти в итоге напряжения на наружной поверхности последнего участка σ^{I}_{rn} и σ^{I}_{tn}. На этом заканчивается первый расчет, в котором обозначения всех напряжений содержат индекс I.

Поскольку значение σ^{I}_{r1} в первом расчете было выбрано произвольно, то σ^{I}_{rn} не будет равно заданному напряжению σ_{rn}. Поэтому далее выполняется второй расчет, где необходимо следующее.

1. Задаться новым произвольным значением σ^{II}_{r1} на начальном радиусе R_1 диска и, кроме того, принять $\varpi = 0$ ($n = 0$), т.е. $T = 0$ (невращающийся диск) и $\sigma^{II}_{t1} = 0$ (диск свободно покоится на валу).

2. Выполнить расчеты в соответствии с пп. 2, 3 первого расчета при новых принятых условиях и получить в итоге новое значение радиального напряжения σ^{II}_{rn} на наружной поверхности последнего участка. На этом заканчивается второй расчет, в котором обозначения всех напряжений содержат индекс II.

В соответствии с принципом независимости действия сил напряжения первого и второго расчетов могут быть суммированы:

$$\sigma^{I}_{rn} + k\sigma^{II}_{rn} = \sigma_{rn}. \qquad (24.98)$$

Отсюда легко найти поправочный коэффициент k, на который нужно умножить напряжения второго расчета, чтобы суммированные с напряже-

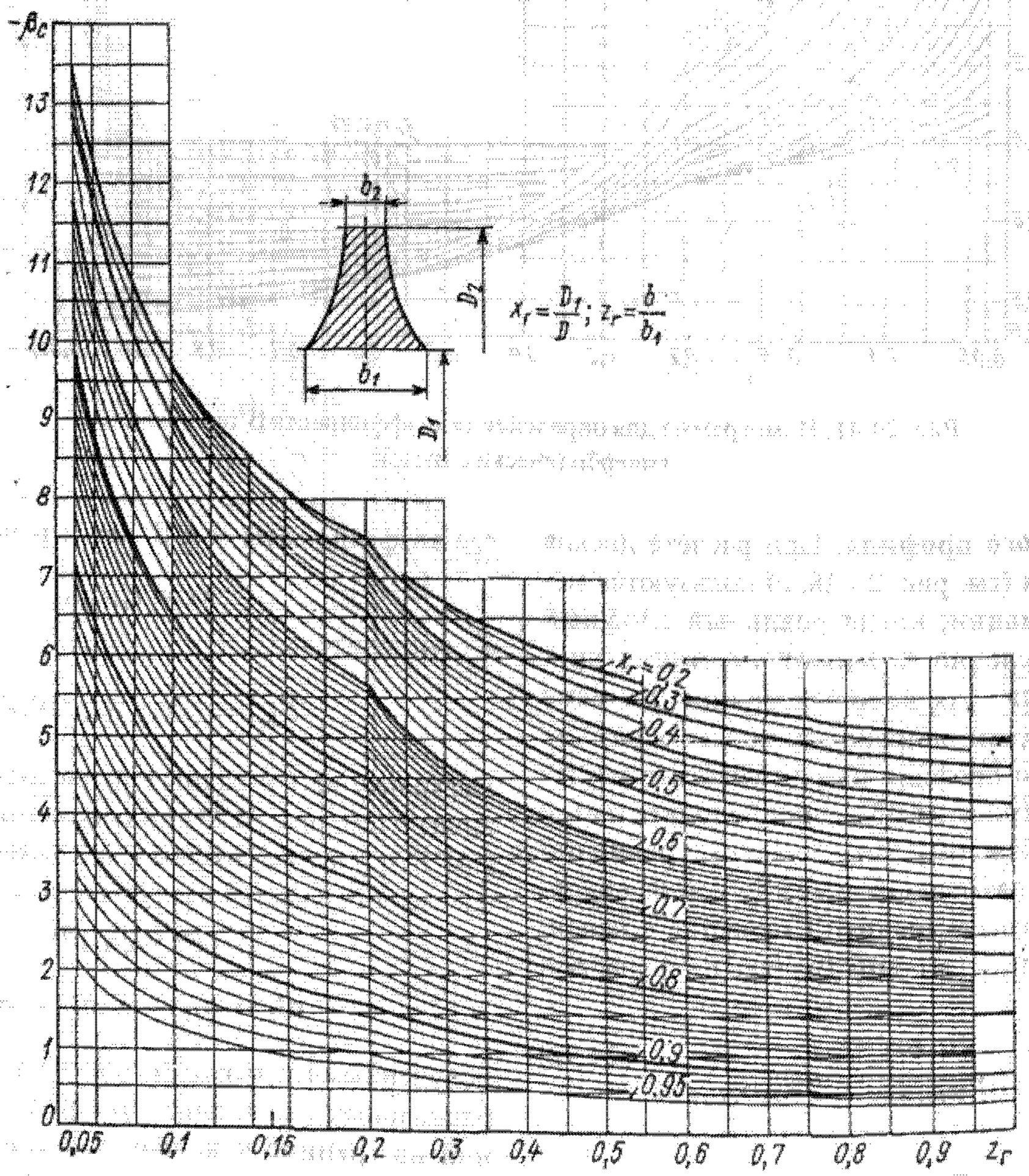


Рис. 24.42. Номограмма для определения коэффициента — β_r при расчете гиперболических дисков

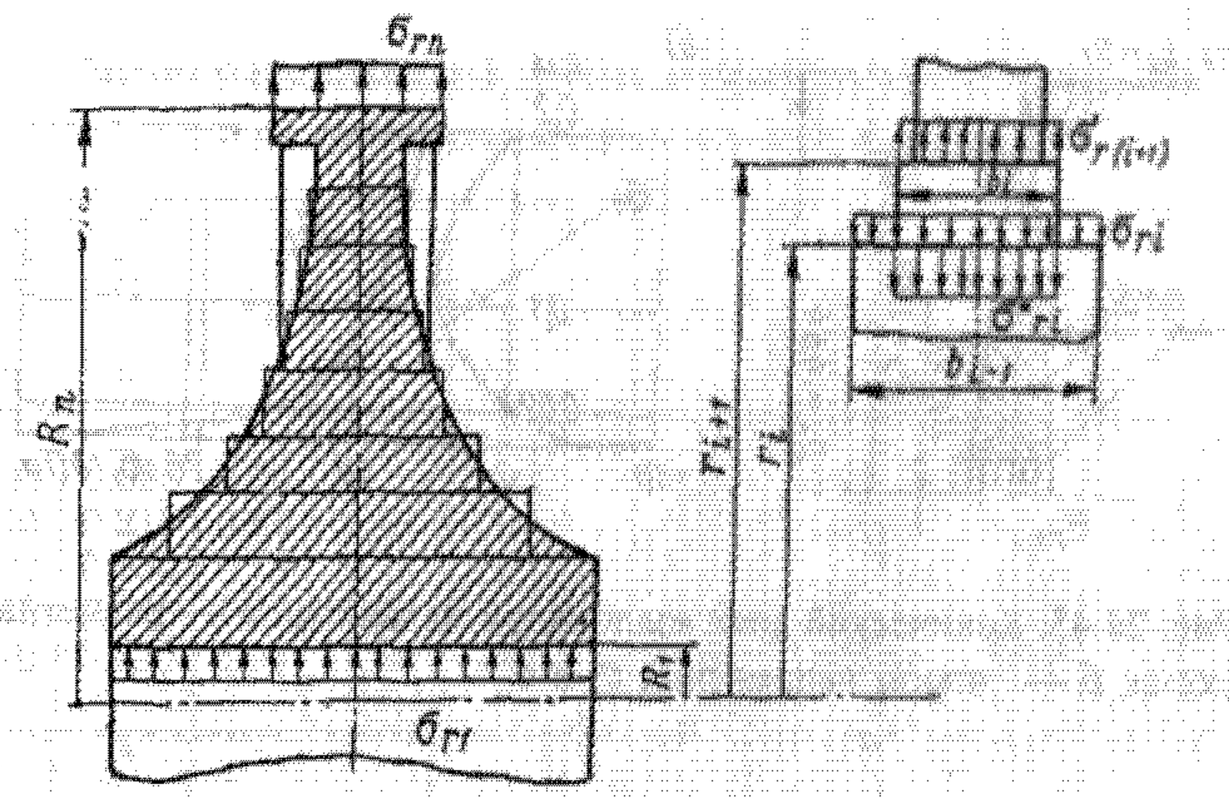


Рис.24.43. Расчетная схема диска сложного профиля с его аппроксимацией участками постоянной толщины

ниями первого расчета они дали бы истинные напряжения в диске,

$$k = (\sigma_{rn} - \sigma'_{rn})/\sigma''_{rn}, \qquad (24.99)$$

Расчет диска заканчивается определением истинных напряжений σ_r, σ_t на любом радиусе r_i по формулам:

$$\sigma_{ri} = \sigma'_{ri} + k\sigma''_{ri}, \qquad (24.100)$$

$$\sigma_{ti} = \sigma'_{ti} + k\sigma''_{ti}. \qquad (24.101)$$

Далее, как и для дисков постоянной толщины, строятся эпюры радиальных и окружных напряжений, выявляются участки с максимальными напряжениями σ_r^{max}, σ_t^{max} и по формуле (24.87) оцениваются местные запасы прочности.

Примеры

24.2.1. Построить эпюры напряжений σ_r, σ_t и проверить прочность диска молотковой дробилки (см. рис. 24.22).

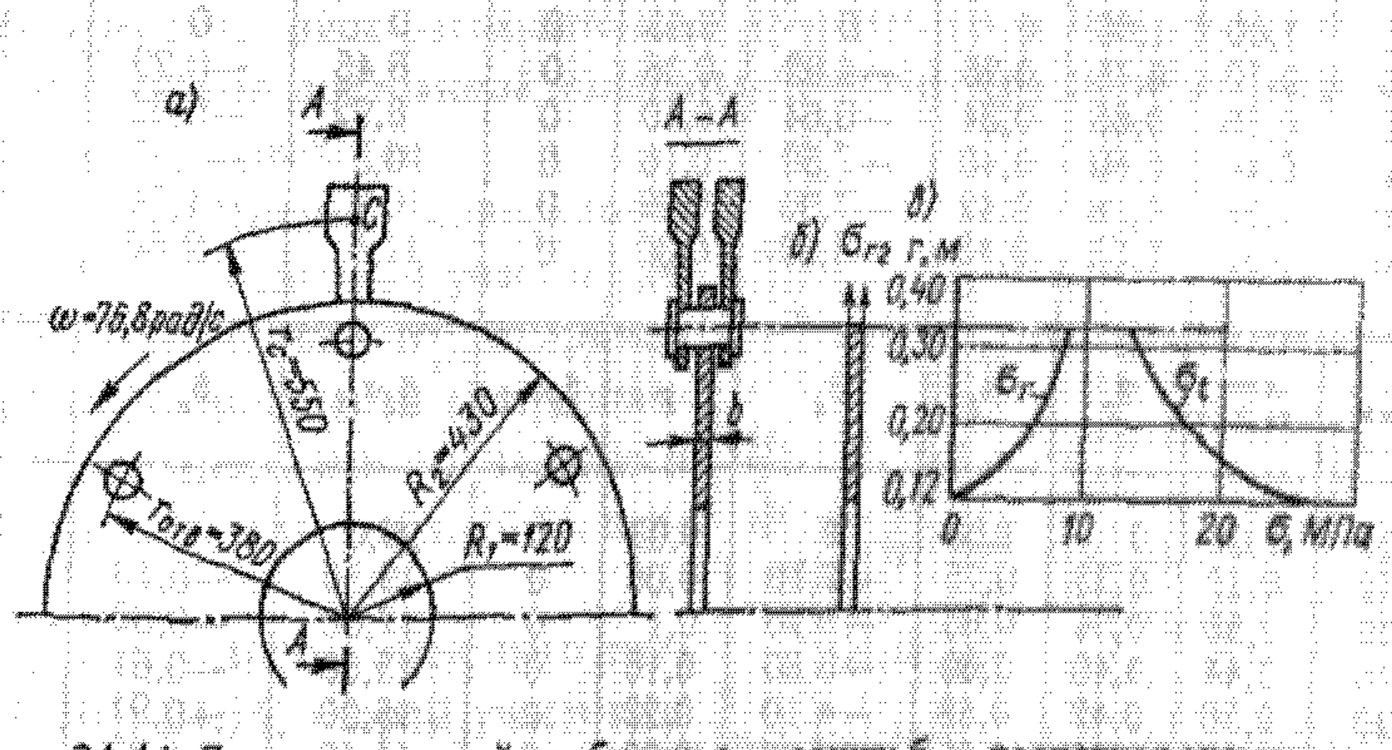
Исходные данные. На диске размещены молотки в количестве $z_м = 12$ с массой $m_м = 10$ кг; материал диска — сталь 20; предел текучести $\sigma_т = 220$ МПа; напряжение на внутренней поверхности диска $\sigma_{r1} = 0$; рабочая температура диска 20°С; угловая скорость $\omega = 76{,}8$ рад/с ($n = 735$ об/мин); размеры диска согласно рис. 24.44.

Решение. Как видно из рис. 24.44, диск молотковой дробилки можно привести к расчетной схеме диска постоянной толщины, нагруженного по радиусу $r_{отв}$ крепления молотков радиальным напряжением

$$\sigma_{r\,отв} = \frac{m_м z_м \omega^2 r_C}{2\pi r_{отв} b} 10^{-6} = \frac{10 \cdot 12 \cdot 76{,}8^2 \cdot 0{,}55 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}02} = 9{,}1 \text{ МПа},$$

а по внутреннему радиусу R_1 — радиальным напряжением $\sigma_{r1} = 0$.

Для построения эпюр напряжений σ_r, σ_t по радиусу диска необходимо знать σ_{t1} — тангенциальное напряжение на внутреннем радиусе диска R_1. Найдем его значение из граничного условия $\sigma_r = \sigma_{r\,отв} = 9{,}1$ МПа при $r = r_{отв} = 380$ мм, тогда $x = R_1/r = 120/380 = 0{,}32$; $T = (2r)^2 (n/1000)^2 = (2 \cdot 0{,}38)^2 (735/1000)^2 = 0{,}3$.



24.44. Диск молотковой дробилки: а — эскиз; б — расчетная схема; в — эпюры напряжений σ_r и σ_t

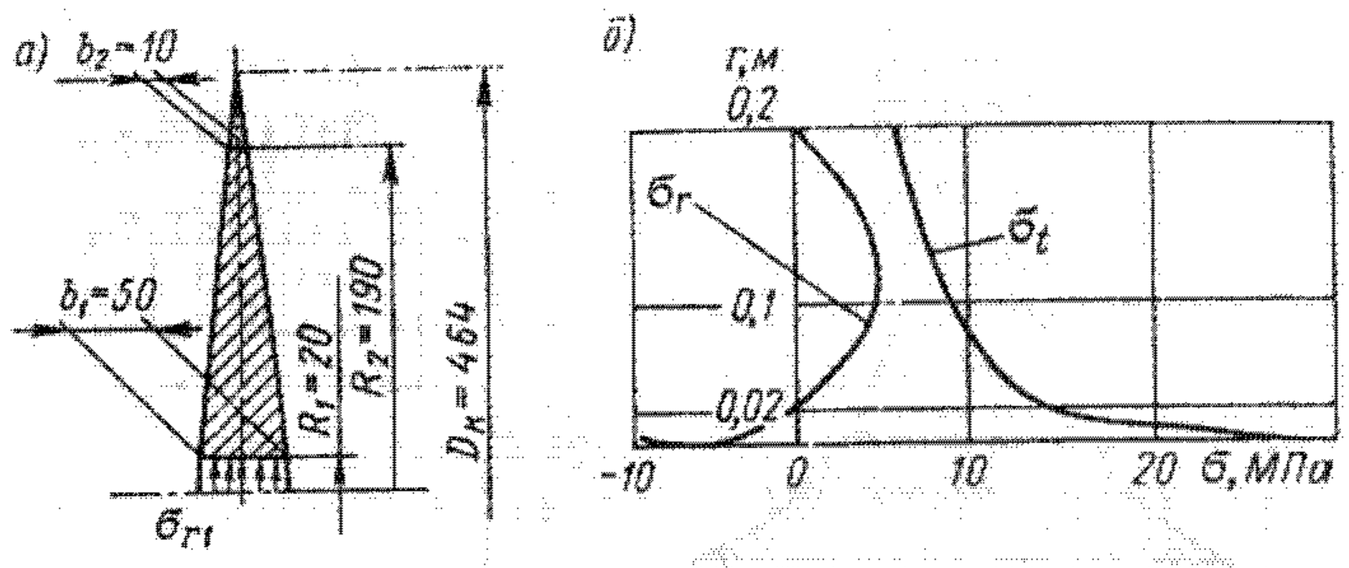


Рис. 24.45. Конический диск коллоидной мельницы: *а* — расчетная схема; *б* — эпюры напряжений σ_r и σ_t

Согласно рис. 24.30, $\alpha_c = -8{,}3$; $\alpha_r = f(x) = f(0{,}32)$, откуда $\alpha_r = 0{,}554$; $\alpha_t = f(x) = f(0{,}32)$, откуда $\alpha_t = 0{,}448$. Подставим эти параметры в уравнение (24.82): $\sigma_{r\,отв} = 9{,}1 = 0{,}554 \cdot 0 + 0{,}448\sigma_{t1} + (-8{,}3)\,0{,}3$, откуда $\sigma_{t1} = (9{,}1 + 8{,}3 \cdot 0{,}3)/0{,}448 = 26$ МПа.

Дальнейшие расчеты по уравнениям (24.82), (24.83) целесообразно вести в табличной форме (табл. 24.14).

Таким образом, как видно из табл. 24.14 и эпюры напряжений (см. рис. 24.44, *в*), наиболее нагруженной является внутренняя поверхность диска радиусом R_1, где $\sigma_{max} = \sigma_r^{max} = 26$ МПа. Местный запас прочности диска составляет согласно формуле (24.87) $n_м = \sigma_т/\sigma_{max} = 220/26 = 8{,}46$, что значительно больше допускаемого $[n_м] = 2$.

24.2.2. **Рассчитать на прочность конический диск коллоидной мельницы.**

Исходные данные. Угловая скорость вращения $\varpi = 314$ рад/с ($n = 3000$ об/мин), радиальные напряжения от посадки диска на вал $\sigma_{r1} = -10$ МПа, напряжения на внешнем контуре $\sigma_{r2} = 0$, материал диска — сталь 15Х5М, предел текучести $\sigma_т = 220$ МПа при $t = 20$°С, размеры диска указаны на рис. 24.45.

Решение. Чтобы воспользоваться уравнениями (24.82), (24.83) для конического диска, необходимо предварительно вычислить ряд вспомогательных величин и коэффициентов. Диаметр полного конуса согласно формуле (24.90)

$$D_к = D_1 + (D_2 - D_1)\,b_1/(b_1 - b_2) = 40 + (380 - 40)\,50/(50 - 10) = 464 \text{ мм}.$$

Численные значения безразмерных параметров, определяемых по формулам (24.88): $æ = D/D_к$; $æ_1 = D_1/D_к$, указаны в табл. 24.15.

Найдем из граничного условия $\sigma_{r2} = 0$ и уравнения (24.82) необходимое для дальнейших расчетов значение тангенциального напряжения σ_{t1}:

$$\sigma_{r2} = \alpha_{r\,(R2)}\sigma_{r1} + \alpha_{t\,(R2)}\sigma_{t1} + \alpha_{c(R2)}T_к = 0,$$

Таблица 24.14

Расчет радиальных σ_r и тангенциальных σ_t напряжений в диске постоянной толщины

r, мм	$x = R_1/r$	α_r	α_t	α_c	T	$\alpha_r\sigma_{r1}$	$\alpha_t\sigma_{t1}$	$\alpha_c T$	σ_r, МПа
120	1,00	1,00	0	0	0,03	0	0	0	0
170	0,70	0,75	0,25	—4,92	0,06	0	6,45	—0,29	6,2
220	0,55	0,65	0,34	—6,64	0,10	0	8,92	—0,66	8,3
270	0,44	0,60	0,40	—7,50	0,16	0	10,3	—1,20	9,1
320	0,38	0,58	0,42	—7,90	0,22	0	10,9	—1,74	9,1
380	0,32	0,55	0,45	—8,20	0,30	0	11,6	—2,50	9,1

r, мм	$x = R_1/r$	β_r	β_t	β_c	T	$\beta_r\sigma_{r1}$	$\beta_t\sigma_{t1}$	$\beta_c T$	σ_t, МПа
120	1,00	0	1,00	0	0,03	0	26,0	0	26,0
170	0,70	0,25	0,75	—2,10	0,06	0	19,50	—0,13	19,4
220	0,55	0,34	0,65	—3,20	0,1	0	17,00	—0,32	16,7
270	0,44	0,40	0,60	—3,80	0,16	0	15,60	—0,61	15,0
320	0,38	0,42	0,58	—4,10	0,22	0	15,00	—0,91	14,0
380	0,32	0,45	0,55	—4,46	0,30	0	14,40	—1,33	13,0

Таблица 24.15

Расчет радиальных σ_r и тангенциальных σ_t напряжений в коническом диске при $\varkappa = D_1/D_к = 0{,}086$

r, мм	$\varkappa = R_1/r$	$\varkappa = D/D_к$	α_r	α_t	α_c	$T_к$	$\alpha_r\sigma_{r1}$	$\alpha_t\sigma_{t1}$	$\alpha_c T_к$	σ_r, МПа
20	1,00	0,086	1,00	0	0	1,94	—10,0	0	0	—10
50	0,40	0,215	0,65	0,48	—0,5	1,94	—6,5	12,8	—0,97	5,3
100	0,20	0,430	0,78	0,68	—2,0	1,94	—7,8	18,2	—3,88	6,5
150	0,13	0,646	1,17	1,03	—5,6	1,94	—11,7	27,6	—10,80	5,1
190	0,10	0,820	2,20	1,88	—14,7	1,94	—22,0	50,4	—28,50	0

r, мм	$\varkappa = R_1/r$	$\varkappa = D/D_к$	β_r	β_t	β_c	$T_к$	$\beta_r\sigma_{r1}$	$\beta_t\sigma_{t1}$	$\beta_c T_к$	σ_t, МПа
20	1,00	0,086	0	1,00	0	1,94	0	26,8	0	26,8
50	0,40	0,215	0,45	0,62	—0,25	1,94	—4,5	16,6	—0,50	11,6
100	0,20	0,430	0,64	0,66	—1,00	1,94	—6,4	17,7	—1,94	9,4
150	0,13	0,645	0,85	0,81	—3,00	1,94	—8,5	21,7	—5,80	7,4
190	0,10	0,820	1,30	1,19	—6,70	1,94	—13,0	31,9	—13,00	5,9

где $T_к = D^2_к\,(n/1000)^2 = 0{,}464^2\,(3000/1000)^2 = 1{,}94$; коэффициенты же $\alpha_{r(R2)}$, $\alpha_{t(R2)}$, $\alpha_{c(R2)}$ определим по рис. 23.31—24.36 в зависимости от безразмерных параметров:

$$\varkappa_1 = D_1/D_к = 40/464 = 0{,}086;\quad \varkappa = D_2/D_к = 380/464 = 0{,}82.$$

Для этих значений $\varkappa_1$ и $\varkappa$ $\alpha_{r\,(R2)} = 2{,}19$; $\alpha_{t\,(R2)} = 1{,}88$; $\alpha_{c\,(R2)} = -14{,}7$.

Тогда $\sigma_{t1} = (\sigma_{r2} - \alpha_{r\,(R2)}\sigma_{r1} - \alpha_{c\,(R2)}T_к)/\alpha_{t\,(R2)} = [0 - 2{,}19\,(-10) - (-14{,}7)\,1{,}94]/1{,}88 = 26{,}8$ МПа.

Напряжения σ_r и σ_t на любом радиусе диска легко найти по формулам (24.82), (24.83):

$$\sigma_r = \alpha_r\sigma_{r1} + \alpha_t\sigma_{t1} + \alpha_c T_к;\quad \sigma_t = \beta_r\sigma_{r1} + \beta_t\sigma_{t1} + \beta_c T_к.$$

Результаты расчетов представлены в табл. 24.15. Как и в примере 24.2.1, наиболее нагруженной оказалась внутренняя цилиндрическая поверхность диска, где $\sigma_{max} = \sigma_t^{max} = 26{,}8$ МПа. Местный запас прочности диска в соответствии с формулой (24.87) составляет $n_м = \sigma_т/\sigma_{max} = 220/26{,}8 = 8{,}22$, что больше допускаемого коэффициента запаса $[n_м] = 2$.

24.2.3. Построить эпюру напряжений σ_r и σ_t и проверить прочность диска распылительной сушилки.

Исходные данные. Угловая скорость $\omega = 1610$ рад/с ($n = 15365$ об/мин); диск изготовлен из стали 16ГС; размеры диска указаны на рис. 24.46, *а*; радиальные напряжения от посадки ступицы диска на вал $\sigma_{r1} = -5$ МПа; напряжения на внешнем контуре $\sigma_{r2} = 0$; предел текучести материала диска при $t = 20°C$ $\sigma_т = 280$ МПа.

Решение. Как известно, диск распылительной сушилки представляет собой диск сложного профиля, состоящий из двух дисков постоянной толщины. Поэтому при расчете воспользуемся уравнениями (24.92)—(24.97) метода двух расчетов.

Первый расчет. На внутренней поверхности диска (ступицы) радиусом R_1 (первый участок) зададимся произвольным значением σ^I_{r1}, например $\sigma^I_{r1} = 30$ МПа. Это даст возможность для различных значений радиуса ступицы, как это сделано в примере 24.3.1, вычислить σ^I_r и σ^I_t (табл. 24.16, первый участок).

При переходе к расчету диска, имеющего толщину $b_2 = 13{,}5$ мм (табл. 24.16, второй участок) с учетом резкого скачка значений его толщины от

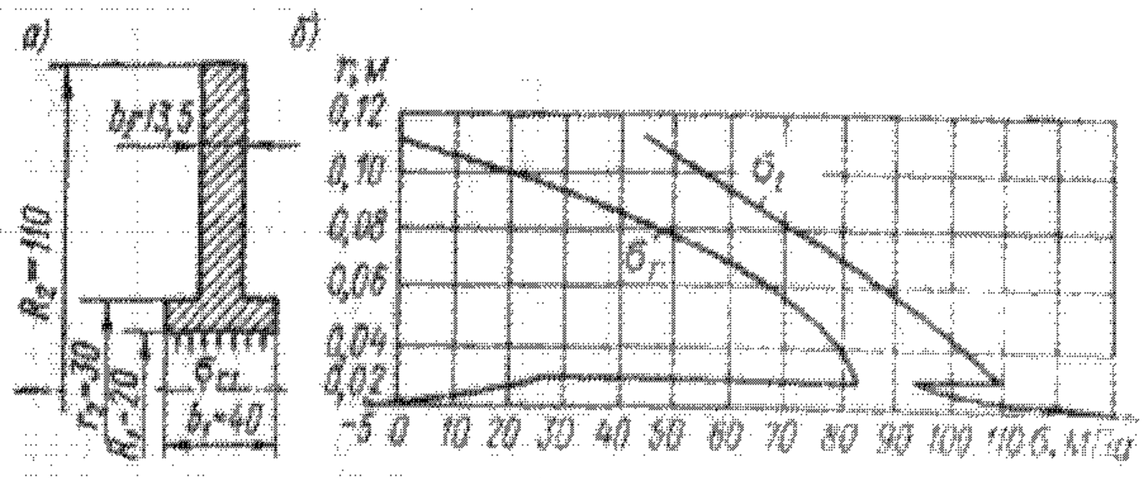


Рис.24.46. Ступенчатый диск распылительной сушилки: а — расчетная схема; б — эпюры напряжений σ_r и σ_t

$b_1 = 40$ мм до $b_2 = 13{,}5$ мм, необходимо по формулам (24.96) и (24.97) для внутренней поверхности диска с $b_2 = 13{,}5$ мм вычислить новые значения σ^{I*}_r и σ^{I*}_t с помощью уже известных σ^{I}_r и σ^{I}_t на наружной поверхности диска с толщиной $b_1 = 40$ мм. В нашем случае при $r = r^2 = 30$ мм; $\sigma^{I}_r = 0{,}14$ МПа; $\sigma^{I}_t = 18{,}6$ МПа:

$$\sigma^{I*}_r = \sigma^{I}_r b_1/b_2 = 0{,}14 \cdot 40/13{,}5 = 0{,}4 \text{ МПа};$$

$$\sigma^{I*}_t = \sigma^{I}_t + \mu\left(\sigma^{I*}_r - \sigma_r\right) = 18{,}6 + 0{,}3\,(0{,}4 - 0{,}14) = 18{,}7 \text{ МПа}.$$

Именно эти значения напряжений указаны при радиусе $r = r_2 = 30$ мм в табл. 24.16, второй участок.

Зная эти напряжения, далее по формулам (24.92), (24.93) рассчитываем напряжения σ^{I}_r и σ^{I}_t на радиусах 40; 50; 60; 80; 110 мм (см. табл. 24.16, второй участок), определяя для них коэффициенты α и β, как для самостоятельного диска постоянной толщины при $R_1 = r_2 = 30$ мм; $R_2 = 110$ мм.

Второй расчет. Зададимся новым произвольным значением $\sigma^{II}_{rl} = 60$ МПа, кроме того, положим $n = 0$, $T = 0$, $\sigma^{II}_{rl} = 0$ (невращающийся диск, свободно посаженный на вал).

Дальнейшие расчеты выполняются по тем же формулам (24.92)—(24.97), и их результаты для удобства сведены в табл. 24.17, в которой приведены значения напряжений σ^{II}_r и σ^{II}_t для различных радиусов.

Поправочный коэффициент по формуле (24.99)

$$k = \left(\sigma_{rn} - \sigma^{I}_{rn}\right)/\sigma^{II}_{rn} = [0 - (-88{,}1)]/50{,}5 = 1{,}74,$$

так как напряжение на наружном контуре диска $\sigma_{rn} = 0$ и согласно табл. 24.16, 24.17 для $R_n = 110$ мм $\sigma^{I}_r = -88{,}1$ МПа; $\sigma^{II}_{rn} = 50{,}5$ МПа.

Истинные значения σ_r и σ_t для различных радиусов диска определяются по формулам (24.100) и (24.101). Результаты вычислений сведены в табл. 24.18.

Как видно из эпюр напряжений (см. рис. 24.46, *б*), наиболее нагруженной оказалась внутренняя поверхность ступицы диска при $r = R_1 = 20$ мм, где $\sigma_{max} = \sigma_t^{max} = 134$ МПа. Учитывая, что для стали 16ГС $\sigma_t = 280$ МПа, коэфициент запаса прочности (местный) по формуле (24.87) $n_м = \sigma_t/\sigma_{max} = 280/134 = 2{,}08$, т.е. условие (24.87) местной прочности рассмотренного диска распылительной сушилки по пределу текучести выполняется, $[n_м] = 2$.

Таблица 24.16

Первый расчет радиальных σ^{I}_r и тангенциальных σ^{I}_t напряжений в диске сложного профиля

Участки	r, мм	$x = R_1/r$	α_r	α_t	α_c	T	$\alpha_r\sigma^{I}_{r1}$	$\alpha_t\sigma^{I}_{t1}$	$\alpha_c T$	σ^{I}_r, МПа
Первый ($R_1 = 20$ мм)	20	1,00	1,00	0	0	0,38	—5,00	0	0	—5,00
	25	0,80	0,82	0,17	—3,6	0,59	—4,10	5,10	—2,10	—1,00
	30	0,67	0,73	0,27	—5,4	0,85	—3,65	8,10	—4,59	0,14
Второй ($R_1 = r_2 = 30$ мм)	30	1,00	1,00	0	0	0,85	0,40	0	0	0,40
	40	0,75	0,78	0,21	—4,3	1,50	0,31	3,93	—6,45	—2,20
	50	0,60	0,68	0,31	—6,2	2,35	0,27	5,80	—14,60	—8,53
	60	0,50	0,63	0,37	—7,1	3,38	0,25	6,92	—24,00	—16,83
	80	0,38	0,57	0,42	—7,8	6,00	0,23	7,85	—46,80	—38,70
	110	0,27	0,54	0,46	—8,5	11,40	0,22	8,60	—96,90	—88,10

Участки	r, мм	$x = R_1/r$	β_r	β_t	β_c	T	$\beta_r\sigma^{I}_{r1}$	$\beta_t\sigma^{I}_{t1}$	$\beta_c T$	σ^{I}_t, МПа
Первый ($R_1 = 20$ мм)	20	1,00	0	1,00	0	0,38	0	30,0	0	30,00
	25	0,80	0,17	0,82	—1,4	0,50	—0,850	24,6	—0,83	23,00
	30	0,67	0,27	0,73	—2,3	0,85	—1,350	21,9	—1,96	18,60
Второй ($R_1 = r_2 = 30$ мм)	30	1,00	0	1,00	0	0,85	0	18,7	0	18,70
	40	0,75	0,21	0,78	—1,75	1,50	0,084	14,6	—2,63	12,04
	50	0,60	0,31	0,68	—2,85	2,35	0,124	12,7	—6,70	6,12
	60	0,50	0,37	0,63	—3,5	3,38	0,148	11,8	—11,80	0,15
	80	0,38	0,42	0,57	—4,2	6,00	0,168	10,7	—25,20	—14,40
	110	0,27	0,46	0,54	—4,7	11,40	0,184	10,1	—53,40	—43,20

Таблица 24.17

Второй расчет радиальных σ^{II}_r и тангенциальных σ^{II}_t напряжений в диске сложного профиля

Участки	r, мм	$x = R_1/r$	α_r	α_t	$\alpha_r\sigma^{II}_{r1}$	$\alpha_t\sigma^{II}_{t1}$	σ^{II}_r, МПа
Первый ($R_1 = 20$ мм)	20	1,00	1,00	0	0	0	0
	25	0,80	0,82	0,17	0	10,2	10,2
	30	0,67	0,73	0,27	0	16,2	16,2
Второй ($R_1 = r_2 = 30$ мм)	30	1,00	1,00	0	48,0	0	48,0
	40	0,75	0,78	0,21	37,4	11,2	48,6
	50	0,60	0,68	0,31	32,6	16,5	39,1
	60	0,50	0,63	0,37	30,2	19,7	49,9
	80	0,38	0,57	0,42	27,4	22,4	49,8
	110	0,27	0,54	0,46	26,0	24,6	50,5

Участки	r, мм	$x = R_1/r$	β_r	β_t	$\beta_r\sigma^{II}_{r1}$	$\beta_t\sigma^{II}_{t1}$	σ^{II}_t, МПа
Первый ($R_1 = 20$ мм)	20	1,00	0	1,00	0	60,0	60,0
	25	0,80	0,17	0,82	0	49,2	49,2
	30	0,67	0,27	0,73	0	43,8	43,8
Второй ($R_1 = r_2 = 30$ мм)	30	1,00	0	1,0	0	53,3	53,3
	40	0,75	0,21	0,78	10,2	41,6	51,8
	50	0,60	0,31	0,68	14,8	36,2	51,0
	60	0,50	0,37	0,63	17,7	34,6	52,3
	80	0,38	0,42	0,57	20,2	30,4	50,6
	110	0,27	0,46	0,54	22,1	28,8	50,9

Таблица 24.18

Расчет истинных значений радиальных σ_r и тангенциальных σ_t напряжений в диске сложного профиля

Участки	r, мм	σ^{I}_r	σ^{II}_r	σ^{II}_{rk}	σ_r	σ^{I}_t	σ^{II}_t	σ^{II}_{tk}	σ_t
		МПа							
Первый	20	—5,00	0	0	—5,00	30,00	60,0	104,0	134,00
	25	—1,00	10,2	17,7	16,70	23,00	49,2	86,5	109,50
	30	0,14	16,2	28,2	28,34	18,60	43,8	76,4	95,00
Второй	30	0,40	48,0	83,5	83,90	18,70	53,3	92,8	111,50
	40	—2,20	48,6	84,6	82,40	12,04	51,8	90,3	102,34
	50	—8,53	49,1	85,5	76,97	6,12	51,0	88,6	94,72
	60	—16,83	49,8	86,4	69,57	0,15	52,3	91,0	91,15
	80	—38,70	49,9	86,5	47,80	—14,40	50,6	88,7	74,30
	110	—88,10	50,5	88,1	0	—43,20	50,9	88,6	45,40

24.3. Быстровращающиеся обечайки

Одними из основных элементов конструкций роторов центрифуг (см. рис. 24.21), сепараторов (см. рис. 24.23) и т.п. технологического оборудования являются цилиндрические или конические обечайки. В общем случае (рис. 24.48) они находятся под совместным действием:

распределенных по поверхности инерционных нагрузок от собственной массы обечайки $q_и$ и массы обрабатываемой среды p_c;

краевых силы Q_0 и момента M_0.

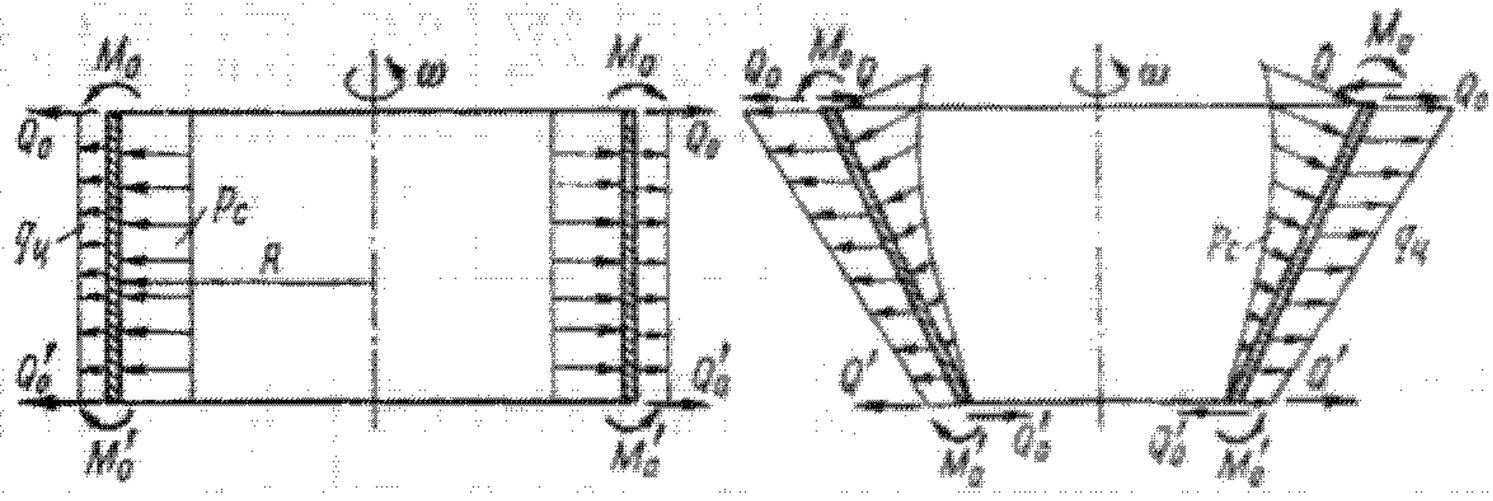


Рис.24.48. Схема действия нагрузок на обечайки ротора

Нормальные напряжения, возникающие в быстровращающихся обечайках от действия указанных нагрузок, определяют в узлах их сопряжений с другими деталями ротора по формулам (14.87) и (14.88), а на участках обечайки, отстоящих от края, — по формулам:

$$\frac{\sigma_m}{R_1} + \frac{\sigma_t}{R_2} = \frac{p_n}{s} \qquad (24.102)$$

или

$$s_m = \frac{p_n R_2}{2s}, \qquad (24.103)$$

так как нормальные к боковой поверхности распределенные нагрузки можно рассматривать как внутреннее давление, растягивающее обечайку.

Выражения (24.102) и (24.103) являются основными уравнениями безмоментной теории оболочек, исходя из которых $p_n = p_R$, $p_t = 0$, а также условия прочности $\sigma = \max(\sigma_m, \sigma_t) \le \varphi[\sigma]$ и соответствующих значений главных радиусов кривизны R_1 и R_2 получают основные расчетные зависимости для цилиндрических, конических, сферических и эллиптических обечаек.

Так, на элемент единичной площадки боковой поверхности ротора действуют:

центробежная нагрузка (рис. 24.49) от собственной массы элемента

$$q_и = m_э \varpi^2 r_э,$$

где $m_э = \rho s 1 \cdot 1$ — масса элемента обечайки; ϖ — угловая скорость ротора; $r_э$ — расстояние от оси ротора до выделенного элемента; ρ — плотность материала обечайки; s — толщина стенки обечайки.

Давление обрабатываемой среды (инерционная нагрузка)

$$p_c = 0{,}5\rho_c \omega^2 R^2 \psi. \qquad (24.104)$$

Нормальная составляющая распределенной по боковой поверхности инерционной нагрузки от собственной массы обечайки:

цилиндрической

$$p_м = \rho s \omega^2 R; \qquad (24.105)$$

конической на ее широком краю

$$p_м = \rho s \omega^2 R \cos\alpha, \qquad (24.105а)$$

где ψ — условный коэффициент заполнения ротора, $\psi = 1 - (R_0/R)^2$; R — радиус обечайки; α — половина угла при вершине конической обечайки.

Для обечаек роторов нормальная составляющая внутреннего давления $p_n = p_м + p_c$, тогда на основе уравнений (24.102) и (24.103) получают расчетные зависимости для определения толщины стенки (s) на участках, удаленных от края, и формулы для вычисления допускаемой угловой скорости вращения $[\varpi]$.

В узле соединения обечайки с другими деталями ротора действуют краевые нагрузки Q_0 и M_0, а также распорная сила Q, которые вызывают в зоне их действия дополнительные локальные напряжения. Эти дополни-

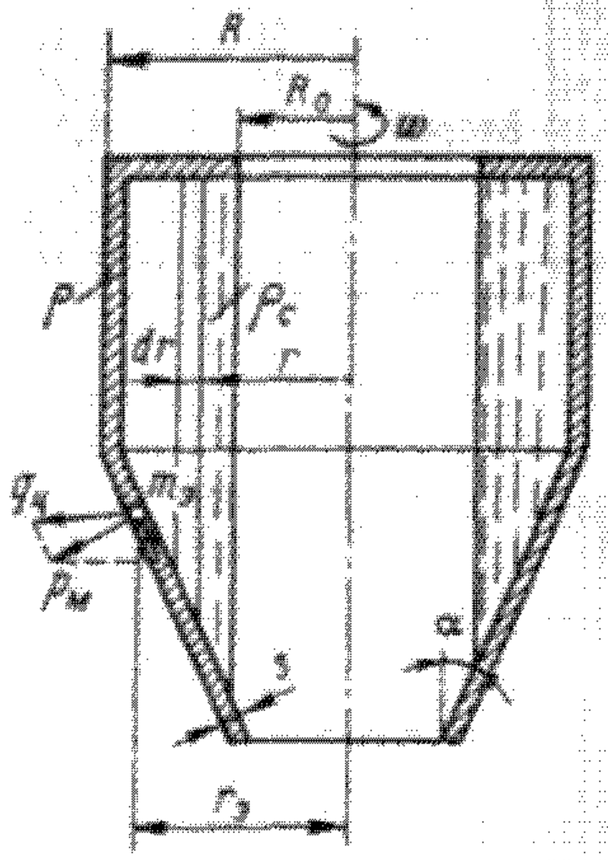


Рис. 24.49. Схема действия центробежной нагрузки на единичный элемент обечайки

Таблица 24.20

Нормативное допускаемое напряжение σ^*_p, МПа, для материала ротора

Марка стали	Расчетная температура стенки, °С		Марка стали	Расчетная температура стенки, °С	
	20	100		20	100
Ст3	117	110	06ХН28МДТ	110	100
20	122	118	10Х18Н9ТЛ	72	72
25Л	86	72	08Х22Н6Т (ЭП53);	175	150
12Х18Н10Т;	134	127	08Х21Н6М2Т (ЭП54)		
10Х17Н13М2Т;			09Х15Н8Ю	366	334
10Х17Н13М3Т			30ХГСА	366	350

тельные краевые напряжения следует учитывать при расчете толщины стенки в пределах данной «краевой зоне».

Основные положения и расчетные зависимости следующие.

1. Расчетные нагрузки — это, как правило, рабочие нагрузки, действующие на ротор при рабочей частоте вращения с максимальным заполнением обрабатываемой средой.

2. Расчетная температура стенки ротора принимается равной температуре обрабатываемой среды, соприкасающейся со стенкой.

3. Допускаемое напряжение для обечайки, борта и днища ротора

$$[\sigma]_p = \eta\sigma^*_p, \qquad (24.106)$$

где σ^*_p — нормативное допускаемое напряжение материала ротора при расчетной температуре; η — поправочный коэффициент, учитывающий способ изготовления обечайки, борта и днища ротора. Нормативное допускаемое напряжение σ^*_p для углеродистых и легированных сталей определяется по формуле:

$$\sigma^*_p = \min\{\sigma_т/n_{т.\,p};\ \sigma_{0,2}/n_{т.\,p};\ \sigma_в/n_{в.\,p}\}, \qquad (24.107)$$

где $n_{т.\,p}$ — коэффициент запаса прочности делалей ротора по пределу текучести, $n_{т.\,p} = 2{,}0$; $n_{в.\,p}$ — коэффициент запаса прочности делалей ротора по пределу прочности, $n_{в.\,p} = 3{,}0$; $\sigma_т$ и $\sigma_{0,2}$ — минимальные значения предела текучести и условного предела текучести при расчетной температуре; $\sigma_в$ — минимальные значения предела прочности при расчетной температуре.

В табл. 24.20 приведены значения σ^*_p для некоторых марок углеродистых и легированных сталей. Значения поправочного коэффициента представлены в разделе 12.3.

4. Расчетные значения модуля продольной упругости E в зависимости от температуры приведены в табл. 12.6.

5. Коэффициенты прочности сварных соединений φ в зависимости от конструкции и способа соединения даны в табл. 12.8.

6. Коэффициент уменьшения допускаемого напряжения для перфорированных обечаек ротора[1]

$$\varphi_o = \min\{\varphi;\ 1 - d_o/t_o\}, \qquad (24.108)$$

где d_o — диаметр отверстия; t_o — шаг отверстий.

7. Коэффициент перфорации обечаек $k_п$ при расположении отверстий:

по вершинам квадратов и в шахматном порядке[1]

$$k_п = 0{,}785\,(d_o/t_o)^2; \qquad (24.109)$$

по вершинам равносторонних треугольников[1]

$$k_п = 0{,}907\,(d_o/t_o)^2. \qquad (24.110)$$

8. Прибавки к расчетным толщинам конструктивных элементов определяются по формуле (12.7).

9. Толщина стенки сплошной обечайки ротора:

цилиндрической

$$s = \rho_c\omega^2R^3\psi/[2\,(\varphi\,[\sigma]_p - \rho\omega^2R^2)] + c + c_0; \qquad (24.111)$$

конической

$$s_к = \rho_c\omega^2R^3\psi/[2\,(\varphi\,[\sigma]_p - \rho\omega^2R^2)\cos\alpha] + c + c_0. \qquad (24.112)$$

10. Толщина стенки перфорированной обечайки ротора:

цилиндрической

$$s = \rho_c\omega^2R^3\psi/\{2[\varphi_o\,[\sigma]_p - (1 - k_п)\rho\omega^2R^2]\} + c + c_0; \qquad (24.113)$$

конической

$$s_к = \rho_c\omega^2R^3\psi/\{2\,[\varphi_o\,[\sigma]_p - (1 - k_п)\,\rho\omega^2R^2]\cos\alpha\} + c + c_0. \qquad (24.114)$$

[1] Формулы применимы при $k_п \leqslant 0{,}2$ и $d_o^2/(4Rs) < 0{,}02$.

11. Допускаемая угловая скорость сплошной обечайки:

цилиндрической

$$[\omega] = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{\varphi[\sigma]_p}{\rho_c R\psi/[2(s-c)]-\rho}}; \quad (24.115)$$

конической

$$[\omega] = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{\varphi[\sigma]_p}{\rho_c R\psi/[2(s_m-c)\cos\alpha]-\rho}}. \quad (24.116)$$

12. Допускаемая угловая скорость перфорированной обечайки:

цилиндрической

$$[\omega] = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{\varphi_o[\sigma]_p}{\rho_c R\psi/[2(s-c)]-\rho(1-k_m)}}; \quad (24.117)$$

конической

$$[\omega] = \frac{1}{R}\times \sqrt{\frac{\varphi_o[\sigma]_p}{\rho_c R\psi/[2(s_m-c)\cos\alpha]-\rho(1-k_m)}}. \quad (24.118)$$

13. Краевая сила Q_0 и краевой момент M_0, действующие в узлах сопряжения обечайки с другими деталями ротора, определяются из уравнений совместности радиальных Δ и угловых θ деформаций (см. раздел 14.3), составляемых для краев вращающихся элементов в месте соединения их друг с другом. В общем случае (без учета правила знаков):

уравнение совместимости радиальных деформаций

$$\Delta^{\circ}_{p_M} + \Delta^{\circ}_{p_c} + \Delta^{\circ}_{Q_0} + \Delta^{\circ}_{M_0} = = \Delta^{\pi}_{p_M} + \Delta^{\pi}_{p_c} + \Delta^{\pi}_{(Q_0-Q)} + \Delta^{\pi}_{M_0}; \quad (24.119)$$

уравнение совместимости угловых деформаций

$$\theta^{\circ}_{p_M} + \theta^{\circ}_{p_c} + \theta^{\circ}_{Q_0} + \theta^{\circ}_{M_0} = = \theta^{\pi}_{p_M} + \theta^{\pi}_{p_c} + \theta^{\pi}_{(Q_0-Q)} + \theta^{\pi}_{M_0}. \quad (24.120)$$

где $\Delta^{\circ}_{p_M}$, $\Delta^{\circ}_{p_c}$, $\Delta^{\circ}_{Q_0}$, $\Delta^{\circ}_{M_0}$ — радиальные деформации края обечайки от действия соответственно инерционных нагрузок собственной массы оболочки $p_м$ и массы обрабатываемой среды p_c, а также краевых силы Q_0 и момента M_0; $\Delta^{\pi}_{p_M}$, $\Delta^{\pi}_{p_c}$, $\Delta^{\pi}_{(Q_0-Q)}$, $\Delta^{\pi}_{M_0}$ — радиальные деформации края сопрягаемой с обечайкой детали от действия соответственно инерционных нагрузок $p_м$ и p_c, краевой и распорной сил Q_0 и Q, краевого момента M_0; $\theta^{\circ}_{p_M}$, $\theta^{\circ}_{p_c}$, $\theta^{\circ}_{Q_0}$, $\theta^{\circ}_{M_0}$ — угловые деформации края обечайки от действия соответственно нагрузок $p_м$, p_c, Q_0, M_0; $\theta^{\pi}_{p_M}$, $\theta^{\pi}_{p_c}$, $\theta^{\pi}_{(Q_0-Q)}$, $\theta^{\pi}_{M_0}$ — угловые деформации края сопрягаемой с обечайкой детали от действия соответственно нагрузок $p_м$, p_c, Q_0, Q, M_0. Выражения для радиальных Δ и угловых θ деформаций края элементов ротора от действия указанных нагрузок сведены в табл. 24.21 и 24.22.

14. Нормальные напряжения на наружной (—) и внутренней (+) поверхностях края обечайки[1]:

меридиональное

$$\sigma_{mo} = \sigma^{p_M}_{mo} + \sigma^{p_c}_{mo} + \sigma^{(Q_0-Q)}_{mo} + \sigma^{M_0}_{mo} \text{ или}$$
$$\sigma_{mo} = \sum U/(s-c) \pm 6\sum M_m/(s-c)^2; \quad (24.121)$$

кольцевое

$$\sigma_{to} = \sigma^{p_M}_{to} + \sigma^{p_c}_{to} + \sigma^{(Q_0-Q)}_{to} + \sigma^{M_0}_{to} \text{ или}$$
$$\sigma_{to} = \sum T/(s-c) \pm 6\sum M_t/(s-c)^2; \quad (24.122)$$

эквивалентное

$$\sigma_{экв.o} = \max\{\sigma_{mo}; \sigma_{to}\}. \quad (24.123)$$

где $\sigma^{p_M}_{mo}$, $\sigma^{p_c}_{mo}$, $\sigma^{(Q_0-Q)}_{mo}$, $\sigma^{M_0}_{mo}$ — меридиональные напряжения, возникающие на краю обечайки от действия соответственно инерционных $p_м$ и p_c, краевых (Q_0-Q) и M_0 нагрузок, $\sigma^{p_M}_{to}$, $\sigma^{p_c}_{to}$, $\sigma^{(Q_0-Q)}_{to}$, $\sigma^{M_0}_{to}$ — кольцевые напряжения, возникающие на краю обечайки от действия соответственно инерционных $p_м$, p_c и краевых (Q_0-Q), M_0 нагрузок; ΣU и ΣT — сумма меридиональных и сумма окружных (тангенциальных) усилий соответственно, действующих на краю обечайки, от действия нагрузок $p_м$, p_c, (Q_0-Q), M_0; ΣM_m, ΣM_t — сумма меридиональных и сумма тангенциальных моментов соответственно, действующих на краю обечайки, от действия нагрузок $p_м$, p_c, (Q_0-Q), M_0.

Формулы для определения напряжений $\sigma^{p_M}_{mo}$, $\sigma^{p_M}_{to}$, $\sigma^{p_c}_{mo}$, $\sigma^{p_c}_{to}$, $\sigma^{(Q_0-Q)}_{mo}$, $\sigma^{(Q_0-Q)}_{to}$, $\sigma^{M_0}_{mo}$, $\sigma^{M_0}_{to}$, усилий U, T и моментов M_m, M_t представлены в табл. 24.21.

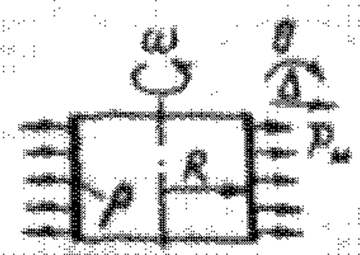
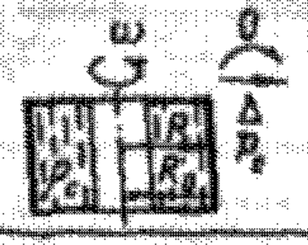
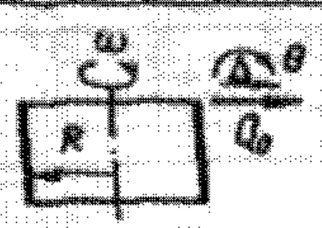
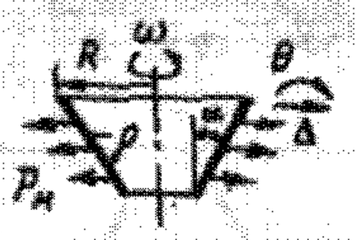
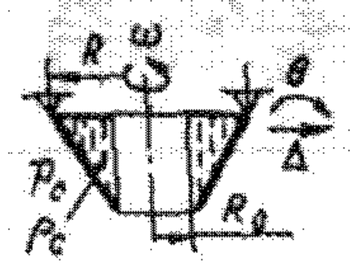
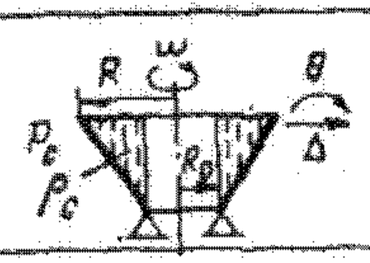
15. Нормативные напряжения на верхней (+) и нижней (—) поверхностях края плоских элементов (бортовина):

радиальное

$$\sigma_{rn} = \sigma^{p_M}_{rn} + \sigma^{p_c}_{rn} + \sigma^{Q_0}_{rn} + \sigma^{M_0}_{rn} \text{ или}$$
$$\sigma_{rn} = \sum P/(s_n-c) \pm 6\sum M_r/(s_n-c)^2; \quad (24.124)$$

[1] При направлении действия нагрузки, противоположном указанному в табл. 24.21, знак перед соответствующим слагаемым следует изменить на обратный.

Формулы для определения нагрузок, перемещений и напряжений на краю обечайки ротора

Нагрузка	Усилие		Момент		Перемещение		Напряжение		Примечание
	меридиональное U	кольцевое T	меридиональный M_m	кольцевой M_t	радиальное Δ	угловое θ	меридиональное σ_{m0}	кольцевое σ_{t0}	
	0	$p(s-c)\times$ $\times\omega^2R^2$	0	0	$\frac{\rho\omega^2R^3}{E}$	0	0	$\rho\omega^2R^2$	—
	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{8}\psi^2$	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{2}\psi$	0	0	$\frac{\rho_c\omega^2R^4}{2E(s-c)}\psi\left(1-\frac{\mu\psi}{4}\right)$	0	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{8(s-c)}\psi^2$	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{2(s-c)}\psi$	$\psi=1-\frac{R_0^2}{R^2}$
	0	$2\beta RQ_0$	0	0	$\frac{2\beta R^2}{E(s-c)}Q_0$	$\frac{2\beta^2R^2}{E(s-c)}Q_0$	0	$\frac{2\beta R}{s-c}Q_0$	$\beta=\frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{R(s-c)}}$
	0	$2\beta^2RM_0$	M_0	μM_0	$\frac{2\beta^2R^2}{E(s-c)}M_0$	$\frac{4\beta^3R^2}{E(s-c)}M_0$	$\pm\frac{6M_0}{(s-c)^2}$	$\frac{2\beta^2RM_0}{s-c}\pm\frac{6\mu M_0}{(s-c)^2}$	
	0	$\rho(s_н-c)\omega^2R^2$	0	0	$\frac{\rho\omega^2R^3}{E}$	$(3+\mu)\frac{\rho\omega^2R^2}{E}\operatorname{tg}\alpha$	0	$\rho\omega^2R^2$	—
	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{8\cos\alpha}\psi^2$	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{2\cos\alpha}\psi$	0	0	$\frac{\rho_c\omega^2R^4}{8E(s_н-c)\cos\alpha}\times$ $\times\psi(4-\mu\psi)$	$\frac{\rho_c\omega^2R^3\sin\alpha}{8E(s_н-c)\cos^2\alpha}\times$ $\times[8(1+\psi)-\psi^2]$	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{8(s_н-c)\cos\alpha}\psi^2$	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{2(s_н-c)\cos\alpha}\psi$	$\psi=1-\frac{R_0^2}{R^2}$; $\beta_н=\frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{\frac{R(s_н-c)}{\cos\alpha}}}$; $Q=\frac{\rho_c\omega^2R^3}{8}\psi^2\operatorname{tg}\alpha$
	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{8\cos\alpha}\psi^2$	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{2\cos\alpha}\psi$	0	0	$\frac{\rho_c\omega^2R^4\psi}{2E(s_н-c)\cos\alpha}$	$\frac{\rho_c\omega^2R^3\sin\alpha}{E(s_н-c)\cos^2\alpha}(1+\psi)$	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{8(s_н-c)\cos\alpha}\psi^2$	$\frac{\rho_c\omega^2R^3}{2(s_н-c)\cos\alpha}\psi$	

Продолжение табл. 24.21

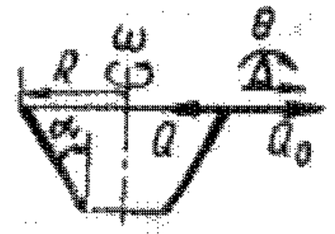
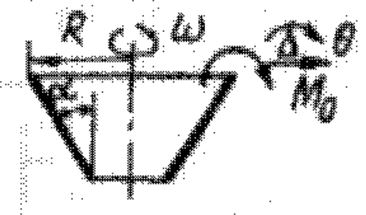
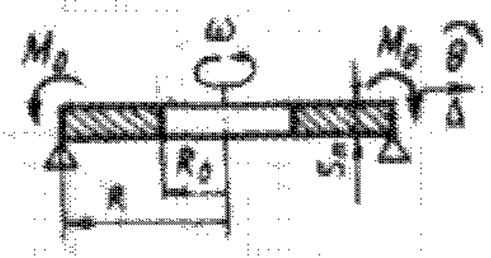
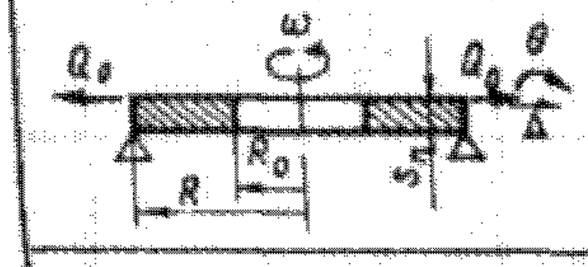
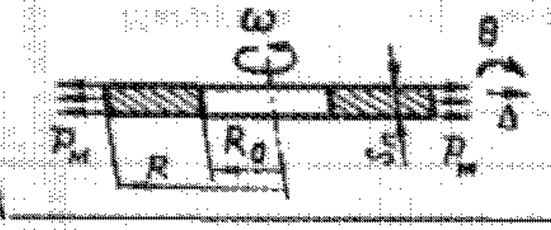
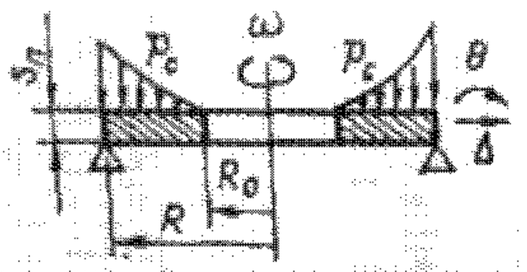
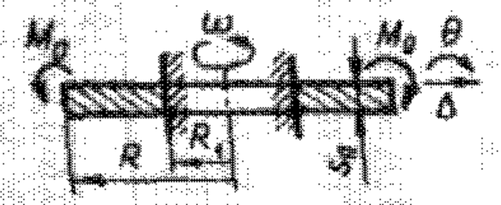
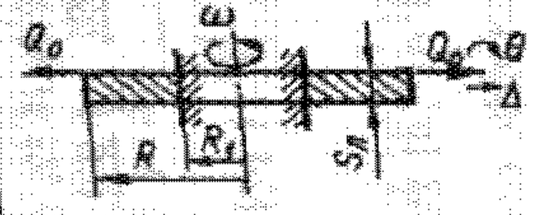
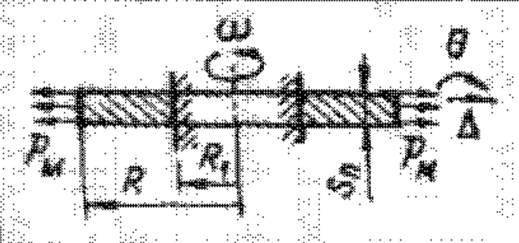
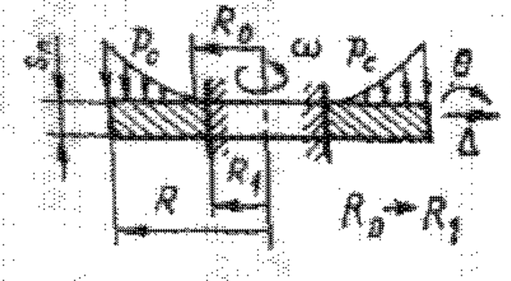
Нагрузка	Усилие: меридиональное U	Усилие: кольцевое T	Момент: меридиональный M_m	Момент: кольцевой M_l	Перемещение: радиальное Δ	Перемещение: угловое θ	Напряжение: меридиональное σ_{mo}	Напряжение: кольцевое σ_{lo}	Примечание
	$(Q_0-Q)\sin\alpha$	$2\beta_к R\,(Q_0-Q)$	0	0	$\dfrac{2\beta_к R^2\,(Q_0-Q)}{E\,(s_к-c)}$	$\dfrac{2\beta_к^2 R^2\,(Q_0-Q)}{E\,(s_к-c)\cos\alpha}$	$\dfrac{\sin\alpha\,(Q_0-Q)}{s_к-c}$	$\dfrac{2\beta_к R\,(Q_0-Q)}{s_к-c}$	$\psi=1-\dfrac{R_0^2}{R^2}$; $\beta_к=\sqrt[4]{\dfrac{3\,(1-\mu^2)}{\dfrac{R\,(s_к-c)}{\cos\alpha}}}$; $Q=\dfrac{\rho_c\omega^2R^3}{8}\psi^2\operatorname{tg}\alpha$
	0	$\dfrac{2\beta_к^2 R}{\cos\alpha}M_0$	M_0	μM_0	$\dfrac{2\beta_к^2 R^2 M_0}{E\,(s_к-c)\cos\alpha}$	$\dfrac{4\beta_к^3 R^2 M_0}{E\,(s_к-c)\cos^2\alpha}$	$\pm\dfrac{6M_0}{(s_к-c)^2}$	$\dfrac{2\beta_к^2 R M_0}{(s_к-c)\cos\alpha}\pm\dfrac{6\mu M_0}{(s_к-c)^2}$	

Таблица 24.22

Формулы для определения перемещений по наружному контуру диска постоянной толщины

Нагрузка	Радиальное перемещение Δ	Угловое перемещение θ	Примечание
	$\dfrac{6R}{E\,(s_п-c)^2(1-\lambda^2)}\,[1-\mu+(1+\mu)\,\lambda^2]\,M_0$	$\dfrac{12R}{E\,(s_п-c)^3\,(1-\lambda^2)}\,[1-\mu+(1+\mu)\,\lambda^2]\,M_0$	$\lambda=\dfrac{R_0}{R}$
	$\dfrac{4R}{E\,(s_п-c)(1-\lambda^2)}\,[1-\mu+(1+\mu)\,\lambda^2]\,Q_0$	$\dfrac{6R}{E\,(s_п-c)^2(1-\lambda^2)}\,[1-\mu+(1+\mu)\,\lambda^2]\,Q_0$	
	$\dfrac{\rho\omega^2R^3}{4E}\,[1-\mu+(3+\mu)\,\lambda^2]$	0	

Продолжение табл. 24.22

Нагрузка	Радиальное перемещение Δ	Угловое перемещение θ	Примечание
	$-\frac{\rho_c\omega^2R^5}{16E(s_n-c)^2(1-\lambda^2)}\{3(1+\mu)[(1-\lambda^4)(1-2\lambda^2)-2\lambda^6\ln\lambda^2]-(1+5\mu)(1-\lambda^2)^2\}$	$-\frac{\rho_c\omega^2R^5}{8E(s_n-c)^2(1-\lambda^2)}\{3(1+\mu)[(1-\lambda^4)(1-2\lambda^2)-2\lambda^6\ln\lambda^2]-(1+5\mu)(1-\lambda^2)^2\}$	$\lambda=\frac{R_0}{R}$
	$\frac{6R}{E(s_n-c)^2}\frac{(1-\mu)(2+\mu)+(1+\mu)(2-\mu)\lambda_1^2}{(2+\mu)-(2-\mu)\lambda_1^2}M_0$	$\frac{12R}{E(s_n-c)^3}\frac{(1-\mu)(2+\mu)+(1+\mu)(2-\mu)\lambda_1^2}{(2+\mu)-(2-\mu)\lambda_1^2}M_0$	
	$\frac{4R}{E(s_n-c)}\frac{(1-\mu^2)[(2+\mu)+(2-\mu)\lambda_1^2]+(2+\mu^2)\lambda_1^2}{[(1+\mu)+(1-\mu)\lambda_1^2][(2+\mu)-(2-\mu)\lambda_1^2]}Q_0$	$\frac{6R}{E(s_n-c)^2}\frac{(1-\mu)(2+\mu)+(1+\mu)(2-\mu)\lambda_1^2}{(2+\mu)-(2-\mu)\lambda_1^2}Q_0$	$\lambda_1=\frac{R_1}{R}$
	$\frac{\rho\omega^2R^3}{4E}\frac{(2\mu^2+3\mu-5)\lambda_1^4+[2(1-\mu)-(3+\mu)\mu^2]\lambda_1^2-(1+\mu)^2}{(1-\mu)\lambda_1^2+(1+\mu)}$	0	
	$\frac{\rho_c\omega^2R^5(1-\mu^2)}{16E(s_n-c)^2[1+\mu+\lambda_1^2(1-\mu)]}\times$ $\times\{2(1+\mu)(1-\lambda_1^2)^3-3\lambda_1^2[(1-\lambda_1^2)^2+\lambda_1^4(1-2\ln\lambda_1^2)]\}$	$\frac{\rho_c\omega^2R^5(1-\mu^2)}{8E(s_n-c)^3[1+\mu+\lambda_1^2(1-\mu)]}\times$ $\times\{2(1+\mu)(1-\lambda_1^2)^3-3\lambda_1^2[(1-\lambda_1^2)^2+\lambda_1^4(1-2\ln\lambda_1^2)]\}$	

кольцевое

$$\sigma_{t\text{п}} = \sigma_{t\text{п}}^{p_\text{м}} + \sigma_{t\text{п}}^{p_\text{с}} + \sigma_{t\text{п}}^{Q_0} + \sigma_{t\text{п}}^{M_0} \text{ или}$$
$$\sigma_{t\text{п}} = \sum T/(s_\text{п} - c) \pm 6 \sum M_t (s_\text{п} - c)^2; \quad (24.125)$$

эквивалентное

$$\sigma_{\text{экв. п}} = \max \{\sigma_{r\text{п}};\ \sigma_{t\text{п}}\}, \quad (24.126)$$

где $\sigma_{r\text{п}}^{p_\text{м}}, \sigma_{r\text{п}}^{p_\text{с}}, \sigma_{r\text{п}}^{Q_0}, \sigma_{r\text{п}}^{M_0}$ — радиальные напряжения, возникающие на краю днища (борта) от действия соответственно инерционных $p_м$, $p_с$ и краевых Q_0, M_0 нагрузок; $\sigma_{t\text{п}}^{p_\text{м}}, \sigma_{t\text{п}}^{p_\text{с}}, \sigma_{t\text{п}}^{Q_0}, \sigma_{t\text{п}}^{M_0}$, — кольцевые напряжения, возникающие на краю днища (борта) от действия соответственно инерционных $p_м$, $p_с$ и краевых Q_0, M_0 нагрузок; $\sum P$, $\sum T$ — сумма радиальных и сумма окружных усилий соответственно, действующих по контуру плоского элемента, от нагрузок $p_м$, $p_с$, Q_0, M_0; $\sum M_r$, $\sum M_t$ — сумма радиальных и сумма тангенциальных моментов соответственно, действующих по контуру плоского элемента, от нагрузок $p_м$, $p_с$, Q_0, M_0.

16. Толщина стенки на краю обечайки s_0 и сопрягаемого с ней плоского элемента $s_\text{п}$ определяется методом последовательных приближений до обеспечения условия прочности:

$$\sigma_{\text{экв. о}} \leqslant \varphi [\sigma]_{\text{р. кр}}; \quad (24.127)$$

$$\sigma_{\text{экв. п}} \leqslant [\sigma]_{\text{р. кр}}, \quad (24.128)$$

где $[\sigma]_{\text{р. кр}}$ — допускаемое напряжение в зоне краевого эффекта с учетом локального (местного) характера распределения напряжений от краевых нагрузок, $[\sigma]_{\text{р. кр}} = 1{,}3\,[\sigma]_\text{р}$.

Для первого приближения:

$$s_0 = \sqrt{6M_0/(\varphi [\sigma]_{\text{р. кр}} - \sigma_{m\text{о}}^{p_\text{с}})} + c + c_1; \quad (24.129)$$

$$s_\text{п} \approx 1{,}5 s_0. \quad (24.130)$$

17. Размер краевой зоны (рис. 24.50) по длине образующей обечайки:

цилиндрической

$$l_\text{ц} = 0{,}7\sqrt{D(s_0 - c)}; \quad (24.131)$$

конической

$$l_\text{к} = 0{,}7\sqrt{D(s_0 - c)/\cos\alpha}. \quad (24.132)$$

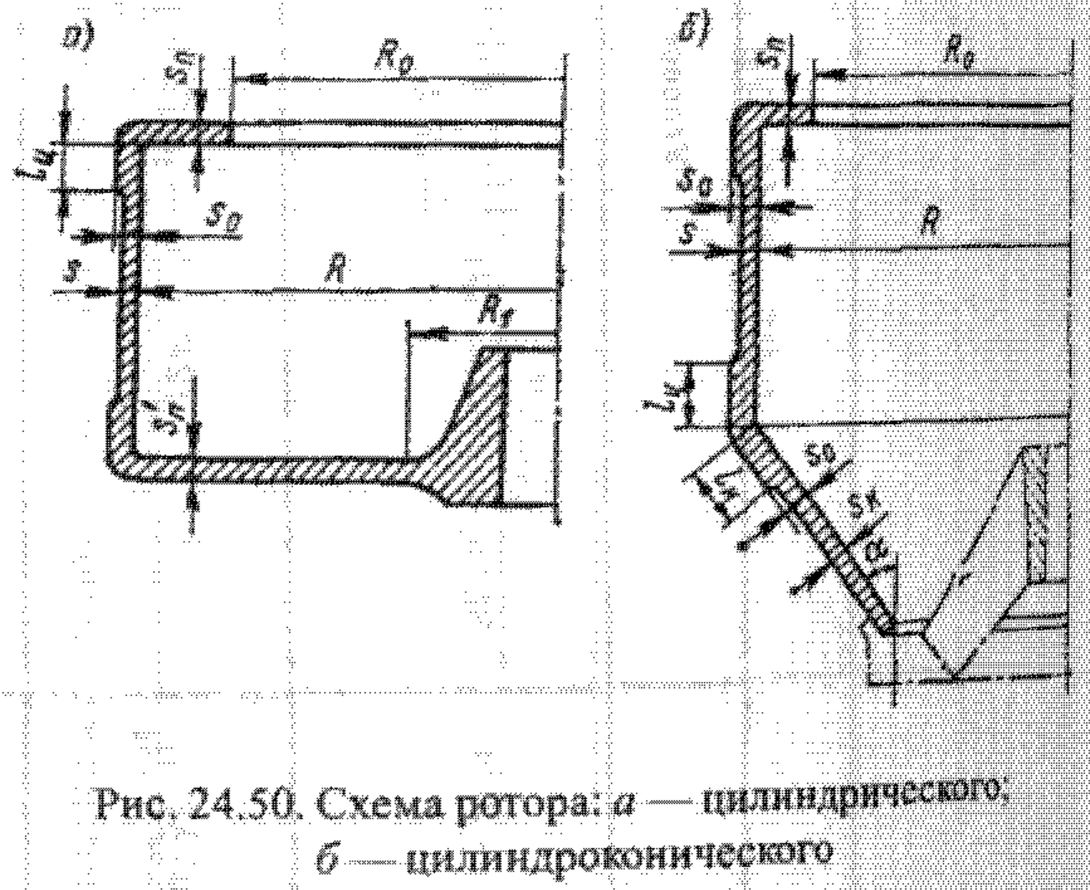


Рис. 24.50. Схема ротора: *а* — цилиндрического; *б* — цилиндроконического

Примеры

24.3.1. Определить допускаемое значение угловой скорости цилиндроконического ротора саморазгружающейся центрифуги (см. рис. 24.50,*б*) и проверить прочность соединения обечаек ротора.

Исходные данные. Внутренний диаметр ротора $D = 2R = 1200$ мм, длина цилиндрической обечайки $l = 900$ мм, угол при вершине конической обечайки $2\alpha = 46^\circ$, диаметр загрузочного отверстия $D_0 = 2R_0 = 840$ мм. Исполнительная толщина стенок цилиндрической и конической обечаек ротора $s = s_к = 14$ мм. Рабочая угловая скорость ротора $\omega = 100$ рад/с. Плотность и температура обрабатываемой среды соответственно $\rho_с = 1500$ кг/м^3, $t = 100$°С. Материал ротора — листовой прокат из стали 20 плотностью $\rho = 7850$ кг/м^3, коэффициент Пуассона $\mu = 0{,}3$. Прибавка к расчетной толщине стенки $c = 1$ мм. Коэффициент прочности сварных швов $\varphi = 0{,}9$.

Решение. Допускаемое напряжение материала ротора при рабочей температуре по формуле (24.106)

$$[\sigma]_\text{р} = \eta\sigma_\text{р}^* = 1 \cdot 118 = 118 \text{ МПа} = 118 \cdot 10^6 \text{ Па},$$

где $\eta = 1$ (см. раздел 12.3); $\sigma_\text{р}^* = 118$ МПа (см. табл. 24.20).

Допускаемое напряжение в зоне краевого эффекта

$$[\sigma]_{\text{р. кр}} = 1{,}3\,[\sigma]_\text{р} = 1{,}3 \cdot 118 = 153{,}4 \text{ МПа}.$$

Допускаемая угловая скорость:

цилиндрической обечайки по формуле (24.115)

$$[\omega]_\text{ц} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{\varphi [\sigma]_\text{р}}{\rho_с R\psi/[2(s - c)] - \rho}} = \frac{1}{0{,}6}\sqrt{\frac{0{,}9 \cdot 118 \cdot 10^6}{1500 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}51/[2(14 - 1)10^{-3}] - 7850}} = 173{,}46 \text{ рад/с},$$

где $\psi = 1 - (R_0/R)^2 = 1 - (0{,}42/0{,}6)^2 = 0{,}51$;

конической оболочки по формуле (24.116)

$$[\omega]_к = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{\varphi[\sigma]_р}{\rho_с R\psi/[2(s_к - c)\cos\alpha] - \rho}} = \frac{1}{0{,}6}\sqrt{\frac{0{,}9\cdot 118\cdot 10^6}{1500\cdot 0{,}6\cdot 0{,}51/[2(14-1)10^{-3}\cos 23^\circ] - 7850}} = 161{,}3 \text{ рад/с};$$

ротора цилиндрического

$$[\omega] = \min\{[\omega]_д; [\omega]_к\} = \min\{173{,}46; 161{,}3\} = 161{,}3 \text{ рад/с}.$$

Уравнения совместимости деформаций для узла соединения цилиндрической и конической обечаек ротора (рис. 24.51) с учетом направления действия нагрузок:

$$\left.\begin{aligned} \Delta^{ц}_{p_м} + \Delta^{ц}_{p_с} + \Delta^{ц}_{M_0} + \Delta^{ц}_{Q_0} &= \Delta^{к}_{p_м} + \Delta^{к}_{p_с} + \Delta^{к}_{M_0} + \Delta^{к}_{(Q_0 - Q)};\\ -\theta^{ц}_{p_м} - \theta^{ц}_{p_с} - \theta^{ц}_{M_0} + \theta^{ц}_{Q_0} &= \theta^{к}_{p_м} + \theta^{к}_{p_с} + \theta^{к}_{M_0} + \theta^{к}_{(Q_0 - Q)}, \end{aligned}\right\} \quad (24.133)$$

где (согласно формулам табл. 24.21) для края цилиндрической оболочки при $s = 14$ мм:

$$\Delta^{ц}_{p_с} = \frac{\rho_с\omega^2 R^4}{2E(s-c)}\psi\left(1 - \mu\frac{\psi}{4}\right) = \frac{1500\cdot 100^2\cdot 0{,}6^4}{2E(0{,}014 - 0{,}001)}0{,}51\left(1 - 0{,}3\frac{0{,}51}{4}\right) = 36{,}674\cdot 10^6/E \text{ м};$$

$$\Delta^{ц}_{p_м} = \rho\omega^2 R^3/E = 7850\cdot 100^2\cdot 0{,}6^3/E = 16{,}956\cdot 10^6/E \text{ м};$$

$$\beta = \sqrt[4]{3(1-\mu^2)}/\sqrt{R(s-c)} = \sqrt[4]{3(1-0{,}3^2)}/\sqrt{0{,}6(14-1)10^{-3}} = 14{,}55 \text{ м}^{-1};$$

$$\Delta^{ц}_{Q_0} = \frac{2\beta R^2}{E(s-c)}Q_0 = \frac{2\cdot 14{,}55\cdot 0{,}6^2}{E(0{,}014 - 0{,}001)}Q_0 = 805{,}846Q_0/E \text{ м};$$

$$\Delta^{ц}_{M_0} = \frac{2\beta^2 R^2}{E(s-c)}M_0 = \frac{2\cdot 14{,}55^2\cdot 0{,}6^2}{E(0{,}014 - 0{,}001)}M_0 = 11725{,}061M_0/E \text{ м};$$

$$\theta^{ц}_{p_м} = \theta^{ц}_{p_с} = 0;$$

$$\theta^{ц}_{Q_0} = \frac{2\beta^2 R^2}{E(s-c)}Q_0 = \frac{2\cdot 14{,}55^2\cdot 0{,}6^2}{E(0{,}014 - 0{,}001)}Q_0 = 11725{,}061Q_0/E \text{ рад};$$

$$\theta^{ц}_{M_0} = \frac{4\beta^2 R^2}{E(s-c)}M_0 = \frac{4\cdot 14{,}55^2\cdot 0{,}6^2}{E(0{,}014 - 0{,}001)}M_0 = 341199{,}13M_0/E \text{ рад};$$

для широкого края конической обечайки при $s_к = s = 14$ мм; $\alpha = 23^\circ$:

$$\Delta^{к}_{p_с} = \frac{\rho_с\cdot\omega^2 R^4\psi}{2E(s_к - c)\cos\alpha} = \frac{1500\cdot 100^2\cdot 0{,}6^4\cdot 0{,}51}{2E(0{,}014 - 0{,}001)\cos 23^\circ} = 41{,}45\cdot 10^6/E \text{ м};$$

$$\Delta^{к}_{p_м} = \rho\omega^2 R^3/E = 7850\cdot 100^2\cdot 0{,}6^3/E = 16{,}96\cdot 10^6/E \text{ м};$$

$$\beta_к = \frac{\sqrt[4]{3(1-\mu^2)}}{\sqrt{R(s_к - c)/\cos\alpha}} = \frac{\sqrt[4]{3(1-0{,}3^2)}}{\sqrt{0{,}6(14-1)10^{-3}/\cos 23^\circ}} = 13{,}96 \text{ м}^{-1};$$

$$Q = \frac{\rho_с\omega^2 R^3}{8}\psi^2\operatorname{tg}\alpha = \frac{1500\cdot 100^2\cdot 0{,}6^3}{8}\cdot 0{,}51^2\operatorname{tg}23^\circ = 44714{,}06 \text{ Н/м};$$

$$\Delta^{к}_{(Q_0 - Q)} = \frac{2\beta_к R^2(Q_0 - Q)}{E(s_к - c)} = \frac{2\cdot 13{,}96\cdot 0{,}6^2}{E(0{,}014 - 0{,}001)}(Q_0 - 44714{,}06) = 773{,}17Q_0/E - 34{,}57\cdot 10^6/E \text{ м};$$

$$\Delta^{к}_{M_0} = \frac{2\beta_к^2 R^2 M_0}{E(s_к - c)\cos\alpha} = \frac{2\cdot 13{,}96^2\cdot 0{,}6^2 M_0}{E(0{,}014 - 0{,}001)\cos 23^\circ} = 11\,732\,M_0/E \text{ м};$$

$$\theta^{к}_{p_с} = \frac{\rho_с\omega^2 R^3\sin\alpha}{E(s_к - c)\cos^2\alpha}(1+\psi) = \frac{1500\cdot 100^2\cdot 0{,}6^3\sin 23^\circ}{E(0{,}014 - 0{,}001)\cos^2 23^\circ}(1 + 0{,}51) = 173{,}85\cdot 10^6/E \text{ рад};$$

$$\theta^{к}_{p_м} = \frac{(3+\mu)\rho\omega^2 R^2}{E}\operatorname{tg}\alpha = \frac{1}{E}(3 + 0{,}3)\,7850\cdot 100^2\cdot 0{,}6^2\cdot\operatorname{tg}23^\circ = 39{,}54\cdot 10^6/E \text{ рад};$$

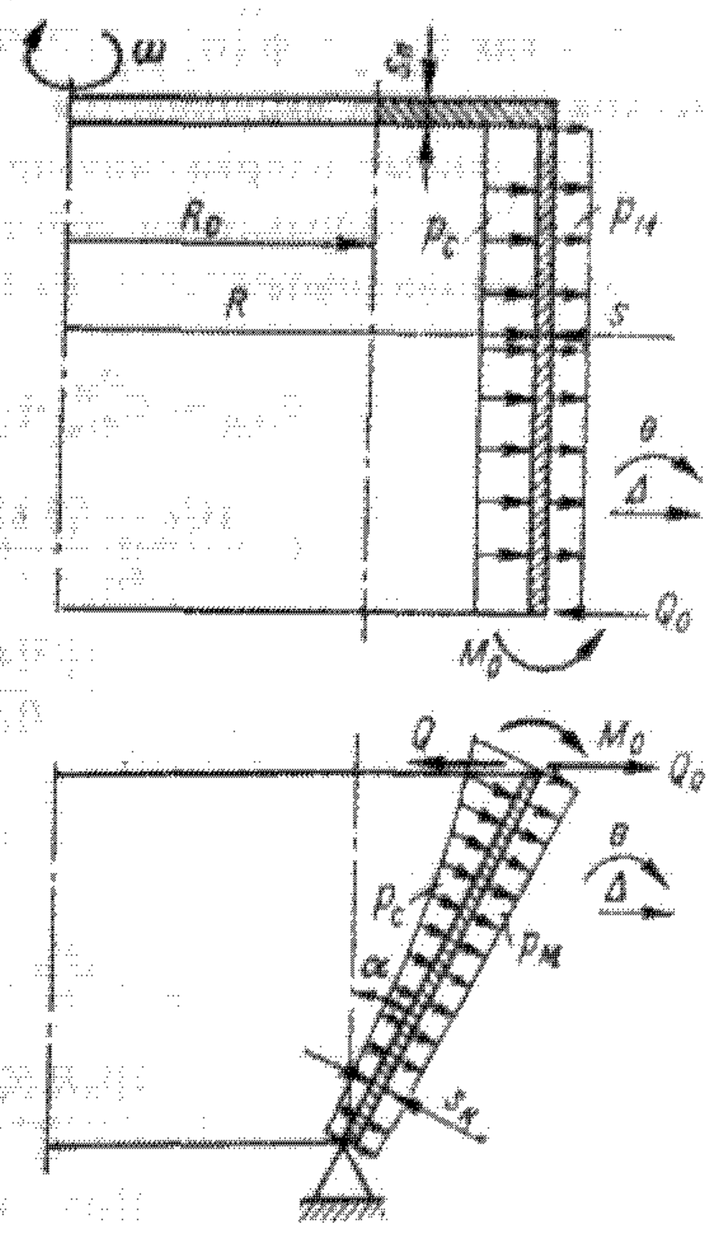


Рис. 24.51. Расчетная схема узла соединения цилиндрической и конической обечаек ротора

$$\theta^{к}_{(Q_0-Q)} = \frac{2\beta^2_к R^2 (Q_0 - Q)}{E (s_к - c) \cos\alpha} = \frac{2 \cdot 13{,}96^2 \cdot 0{,}6^2 (Q_0 - 44\,714{,}06)}{E (0{,}014 - 0{,}001) \cos 23^\circ} =$$

$$= 11\,732 Q_0/E - 524{,}585 \cdot 10^6/E \text{ рад};$$

$$\theta^{к}_{M_0} = \frac{4\beta^3 R^2 M_0}{E (s_к - c) \cos^2\alpha} = \frac{4 \cdot 13{,}96^3 \cdot 0{,}6^2 M_0}{E (0{,}014 - 0{,}001) \cos^2 23^\circ} = 356040{,}61\ M_0/E \text{ рад}.$$

Подставив найденные значения радиальных и угловых деформаций в систему уравнений (24.133), получим:

$$\left.\begin{aligned} 6{,}939 M_0 + 1579{,}016 Q_0 &= 29{,}794 \cdot 10^6; \\ 697239{,}74 M_0 + 6{,}939 Q_0 &= 311{,}195 \cdot 10^6. \end{aligned}\right\}$$

Отсюда: краевая сила $Q_0 = 18866{,}94$ Н/м; краевой момент $M_0 = 447{,}66$ Н · м/м.

Нормальные напряжения на внутренней поверхности края *цилиндрической* обечайки с учетом формул в табл. 24.21 и направления действия нагрузок (см. рис. 24.51):

меридиональное [по формуле (24.121)]

$$\sigma_{mц} = \sigma^{p_м}_{mц} + \sigma^{p_c}_{mц} + \sigma^{Q_0}_{mц} + \sigma^{M_0}_{mц} = 0 + 0 + \frac{\rho_c \omega^2 R^3}{8 (s - c)} \psi^2 + \frac{6 M_0}{(s - c)^2} =$$

$$= \frac{1500 \cdot 100^2 \cdot 0{,}6^3}{8 (0{,}014 - 0{,}001)} 0{,}51^2 + \frac{6 \cdot 447{,}66}{(0{,}014 - 0{,}001)^2} = 23{,}99 \cdot 10^6 \text{ Па} \approx 24 \text{ МПа};$$

кольцевое [по формуле (24.122)]

$$\sigma_{tц} = \sigma^{p_м}_{tц} + \sigma^{p_c}_{tц} - \sigma^{Q_0}_{tц} + \sigma^{M_0}_{tц} = \rho\omega^2 R^2 + \frac{\rho_c \omega^2 R^3}{2 (s - c)} \psi - \frac{2\beta R}{s - c} Q_0 +$$

$$+ \frac{2\beta^2 R}{s - c} M_0 + \frac{6\mu M_0}{(s - c)^2} = 7850 \cdot 100^2 \cdot 0{,}6^2 + \frac{1500 \cdot 100^2 \cdot 0{,}6^3}{2 (0{,}014 - 0{,}001)} 0{,}51 -$$

$$- \frac{2 \cdot 14{,}55 \cdot 0{,}6}{0{,}014 - 0{,}001} 18866{,}94 + \frac{2 \cdot 14{,}55^2 \cdot 0{,}6}{0{,}014 - 0{,}001} 447{,}66 + \frac{6 \cdot 0{,}3 \cdot 447{,}66}{(0{,}014 - 0{,}001)^2} =$$

$$= 79{,}98 \cdot 10^6 \text{ Па} \approx 79{,}98 \text{ МПа};$$

эквивалентное

$$\sigma_{экв.\,ц} = \max \{\sigma_{mц}; \sigma_{tц}\} = \max \{24; 79{,}98\} = 79{,}98 \text{ МПа}.$$

Так как $\sigma_{экв.\,ц} < \varphi [\sigma]_{р.кр}$ (79,98 МПа < 0,9 · 153,4 = 138,06 МПа), то условие прочности края цилиндрической обечайки выполняется.

Нормальные напряжения на внутренней поверхности края *конической* обечайки с учетом формул в табл. 24.21 и направления действия нагрузок:

меридиональное

$$\sigma_{mк} = \sigma^{p_м}_{mк} + \sigma^{p_c}_{mк} + \sigma^{(Q_0-Q)}_{mк} + \sigma^{M_0}_{mк} = 0 + \frac{\rho_c \omega^2 R^3}{8 (s_к - c) \cos\alpha} \psi^2 +$$

$$+ \frac{(Q_0 - Q) \sin\alpha}{s_к - c} + \frac{6 M_0}{(s_к - c)^2} = \frac{1500 \cdot 100^2 \cdot 0{,}6^3}{8 (0{,}014 - 0{,}001) \cos 23^\circ} 0{,}51^2 +$$

$$+ \frac{18866{,}94 - 44714{,}06}{0{,}014 - 0{,}001} \sin 23^\circ + \frac{6 \cdot 447{,}66}{(0{,}014 - 0{,}001)^2} =$$

$$= 23{,}56 \cdot 10^6 \text{ Па} \approx 23{,}6 \text{ МПа};$$

кольцевое

$$\sigma_{tк} = \sigma^{p_м}_{tк} + \sigma^{p_c}_{tк} + \sigma^{(Q_0-Q)}_{tк} + \sigma^{M_0}_{tк} = \rho\omega^2 R^2 + \frac{\rho_c \omega^2 R^3}{2 (s_к - c) \cos\alpha} \psi +$$

$$+ \frac{2\beta_к R (Q_0 - Q)}{s_к - c} + \frac{2\beta^2_к R M_0}{(s_к - c) \cos\alpha} + \frac{6\mu M_0}{(s_к - c)^2} = 7850 \cdot 100^2 \cdot 0{,}6^2 +$$

$$+ \frac{1500 \cdot 100^2 \cdot 0{,}6^3}{2 (0{,}014 - 0{,}001) \cos 23^\circ} 0{,}51 + \frac{2 \cdot 13{,}96 \cdot 0{,}6 (18866{,}94 - 44714{,}06)}{0{,}014 - 0{,}001} +$$

$$+ \frac{2 \cdot 13{,}96^2 \cdot 0{,}6 \cdot 447{,}66}{(0{,}014 - 0{,}001) \cos 23^\circ} + \frac{6 \cdot 0{,}3 \cdot 447{,}66}{(0{,}014 - 0{,}001)^2} = 77{,}55 \cdot 10^6 \text{ Па} = 77{,}55 \text{ МПа};$$

эквивалентное

$$\sigma_{экв.\,к} = \max\{\sigma_{m\,к};\ \sigma_{t\,к}\} = \max\{23{,}6;\ 77{,}55\} = 77{,}55\ \text{МПа}.$$

Так как

$$\sigma_{экв.\,ц} < \varphi[\sigma]_{р.\,кр}\ (79{,}98\ \text{МПа} < 138{,}06\ \text{МПа});$$
$$\sigma_{экв.\,к} < \varphi[\sigma]_{р.\,кр}\ (77{,}55\ \text{МПа} < 138{,}06\ \text{МПа}),$$

то условие прочности узла соединения цилиндрической и конической обечаек ротора выполняется.

24.3.2. В роторе осадительной центрифуги (см. рис. 24.50, *а*) определить толщину стенки цилиндрической обечайки в ее средней части и в месте соединения с бортом.

Исходные данные. Рабочая угловая скорость ротора $\omega = 75{,}4$ рад/с. Диаметр обечайки $D = 2R = 1800$ мм, рабочая температура стенки $t = 20°C$, материал ротора — сталь 20 плотностью $\rho = 7850$ кг/м^3. Диаметр загрузочного отверстия $D_0 = 2R_0 = 1260$ мм, плотность обрабатываемой среды $\rho_c = 1650$ кг/м^3. Коэффициент прочности сварных швов $\varphi = 0{,}9$, прибавка к расчетной толщине стенки $c = 1$ мм. Коэффициент Пуассона $\mu \approx 0{,}3$. Допускаемые напряжения $[\sigma]_p = 120$ МПа, $[\sigma]_{p.\,кр} = 156$ МПа.

Решение. Условный коэффициент заполнения ротора

$$\psi = 1 - (R_0/R)^2 = 1 - (0{,}63/0{,}9)^2 = 0{,}51.$$

Исполнительная толщина стенки обечайки по формуле (24.111)

$$s_0 = \frac{\rho_c \omega^2 R^3 \psi}{2(\varphi[\sigma]_p - \rho\omega^2 R^2)} + c + c_0 = \frac{1650 \cdot 75{,}4^2 \cdot 0{,}9^3 \cdot 0{,}51}{2(0{,}9 \cdot 120 \cdot 10^6 - 7850 \cdot 75{,}4^2 \cdot 0{,}9^2)} +$$
$$+ 1 \cdot 10^{-3} + 0{,}73 \cdot 10^{-3} = 0{,}026\ \text{м} = 26\ \text{мм}.$$

Толщина плоского борта в первом приближении по формуле (24.130)

$$s_п \approx 1{,}5s = 1{,}5 \cdot 26 = 39\ \text{мм}.$$

Уравнение совместимости деформаций для узла соединения обечайки и борта (рис. 24.52) с учетом направления действия нагрузок:

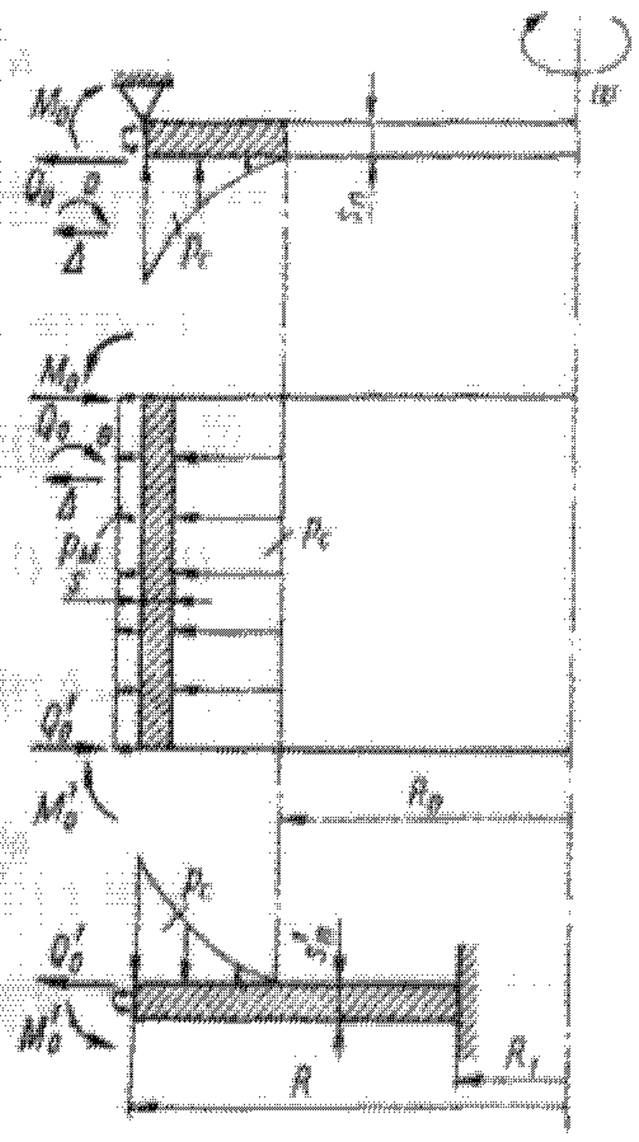


Рис. 24.52. Расчетная схема ротора

$$\begin{array}{l} \Delta^{ц}_{p_м} + \Delta^{ц}_{p_c} - \Delta^{ц}_{Q_0} + \Delta^{ц}_{M_0} = \\ = \Delta^{п}_{p_м} + \Delta^{п}_{p_c} + \Delta^{п}_{Q_0} + \Delta^{п}_{M_0}; \\ -\theta^{ц}_{p_м} - \theta^{ц}_{p_c} + \theta^{ц}_{Q_0} - \theta^{ц}_{M_0} = \\ = \theta^{п}_{p_м} + \theta^{п}_{p_c} + \theta^{п}_{Q_0} + \theta^{п}_{M_0}; \end{array} \qquad (24.134)$$

радиальные и угловые деформации края цилиндрической обечайки от действия $p_м$, p_c, Q_0 и M_0 (по формулам табл. 24.21):

$$\Delta^{ц}_{p_м} = \rho\omega^2 R^3/E = 7850 \cdot 75{,}4^2 \cdot 0{,}9^3/E = 32{,}53 \cdot 10^6/E\ \text{м};$$

$$\Delta^{ц}_{p_c} = \frac{\rho_c \omega^2 R^4}{2E(s-c)} \psi\left(1 - \mu\frac{\psi}{4}\right) = \frac{1650 \cdot 75{,}4^2 \cdot 0{,}9^4}{2E(0{,}026 - 0{,}001)} 0{,}51\left(1 - 0{,}3\frac{0{,}51}{4}\right) =$$
$$= 60{,}26 \cdot 10^6/E\ \text{м};$$

$$\beta = \sqrt[4]{3(1-\mu^2)}/\sqrt{R(s-c)} = \sqrt[4]{3(1-0{,}3^2)}/\sqrt{0{,}9(26-1)10^{-3}} = 8{,}57\ \text{м}^{-1};$$

$$\Delta^{ц}_{Q_0} = \frac{2\beta R^2}{(s-c)E} Q_0 = \frac{2 \cdot 8{,}57 \cdot 0{,}9^2}{(0{,}026 - 0{,}001)E} Q_0 = 555{,}34 Q_0/E\ \text{м};$$

$$\Delta^{ц}_{M_0} = \frac{2\beta^2 R^2}{(s-c)E} M_0 = \frac{2 \cdot 8{,}57^2 \cdot 0{,}9^2}{(0{,}026 - 0{,}001)E} M_0 = 4759{,}23\ M_0/E\ \text{м};$$

$$\theta^{ц}_{p_м} = \theta^{ц}_{p_c} = 0;$$

$$\theta^{ц}_{Q_0} = \frac{2\beta^2 R^2}{(s-c)E} Q_0 = \frac{2 \cdot 8{,}57^2 \cdot 0{,}9^2}{(0{,}026 - 0{,}001)E} Q_0 = 4759{,}23 Q_0/E\ \text{рад};$$

$$\theta^{ц}_{M_0} = \frac{4\beta^3 R^2}{(s-c)E} M_0 = \frac{4 \cdot 8{,}57^3 \cdot 0{,}9^2}{(0{,}026 - 0{,}001)E} M_0 = 81573{,}188 M_0/E\ \text{рад};$$

радиальные и угловые деформации наружного края плоского борта от действия $p_м$, p_c, Q_0 и M_0 (по формулам табл. 24.22) при $\lambda = R_0/R = 0{,}63/0{,}9 = 0{,}7$:

$$\Delta^п_{p_м} = \frac{\rho\omega^2 R^3}{4E}\left[(1-\mu)+(3+\mu)\lambda^2\right] = \frac{7850\cdot 75{,}4^2\cdot 0{,}9^3}{4E}\left[(1-0{,}3)+(3+\right.$$

$$\left.+0{,}3)\,0{,}7^2\right] = 18{,}845\cdot 10^6/E \text{ м};$$

$$\Delta^п_{p_c} = -\frac{\rho_c\omega^2 R^5}{16E(s_п-c)^2(1-\lambda^2)}\left\{3(1+\mu)\left[(1-\lambda^4)(1-2\lambda^2)-2\lambda^6\ln\lambda^2\right]-\right.$$

$$\left.-(1+5\mu)(1-\lambda^2)^3\right\} = -\frac{1650\cdot 75{,}4^2\cdot 0{,}9^5}{16E(0{,}039-0{,}001)^2(1-0{,}7^2)}\left\{3(1+0{,}3)\left[(1-\right.\right.$$

$$\left.\left.-0{,}7^4)(1-2\cdot 0{,}7^2)-2\cdot 0{,}7^6\ln 0{,}7^2\right]-(1+5\cdot 0{,}3)(1-0{,}7^2)^3\right\} = -179{,}7\cdot 10^6/E \text{ м};$$

$$\Delta^п_{Q_0} = \frac{4R}{E(s_п-c)(1-\lambda^2)}\left[1-\mu+(1+\mu)\lambda^2\right]Q_0 =$$

$$= \frac{4\cdot 0{,}9}{E(0{,}039-0{,}001)(1-0{,}7^2)}\left[1-0{,}3+(1+0{,}3)\,0{,}7^2\right]Q_0 = 248{,}36\ Q_0/E \text{ м};$$

$$\Delta^п_{M_0} = \frac{6R}{E(s_п-c)^2(1-\lambda^3)}\left[1-\mu+(1+\mu)\lambda^2\right]M_0 =$$

$$= \frac{6\cdot 0{,}9}{E(0{,}039-0{,}001)^2(1-0{,}7^3)}\left[1-0{,}3+(1+0{,}3)\,0{,}7^3\right]M_0 = 9803{,}65\ M_0/E \text{ м};$$

$$\theta^п_{p_м} = 0;$$

$$\theta^п_{p_c} = -\frac{\rho_c\omega^2 R^5}{8E(s_п-c)^3(1-\lambda^2)}\left\{3(1+\mu)\left[(1-\lambda^4)(1-2\lambda^2)-2\lambda^6\ln\lambda^2\right]-\right.$$

$$\left.-(1+5\mu)(1-\lambda^2)^3\right\} = -\frac{1650\cdot 75{,}4^2\cdot 0{,}9^5}{8E(0{,}039-0{,}001)^3(1-0{,}7^2)}\left\{3\,(1+0{,}3)\left[(1-\right.\right.$$

$$\left.\left.-0{,}7^4)(1-2\cdot 0{,}7^2)-2\cdot 0{,}7^6\ln 0{,}7^2\right]-(1+5\cdot 0{,}3)(1-0{,}7^2)^3\right\} =$$

$$= -9457{,}78\cdot 10^6/E \text{ рад};$$

$$\theta^п_{Q_0} = \frac{6R}{E(s_п-c)^2(1-\lambda^3)}\left[1-\mu+(1+\mu)\lambda^2\right]Q_0 =$$

$$= \frac{6\cdot 0{,}9}{E(0{,}039-0{,}001)^3(1-0{,}7^2)}\left[1-0{,}3+(1+0{,}3)\,0{,}7^2\right]Q_0 =$$

$$= 9803{,}65\ Q_0/E \text{ рад};$$

$$\theta^п_{M_0} = \frac{12R}{E(s_п-c)^3(1-\lambda^2)}\left[1-\mu+(1+\mu)\lambda^2\right]M_0 =$$

$$= \frac{12\cdot 0{,}9}{E(0{,}039-0{,}001)^3(1-0{,}7^2)}\left[1-0{,}3+(1+0{,}3)\,0{,}7^2\right]M_0 =$$

$$= 515981{,}57\ M_0/E \text{ рад}.$$

Подставляя найденные значения величин деформации в систему уравнений (24.134) и группируя однородные члены, получим:

$$\left.\begin{aligned} 803{,}7Q_0 + 5044{,}42M_0 &= 253{,}65\cdot 10^6;\\ 5044{,}42Q_0 + 597554{,}7M_0 &= 9457{,}78\cdot 10^6. \end{aligned}\right\} \qquad (24.135)$$

Отсюда при $s = 26$ мм краевые нагрузки: $Q_0 = 228\,354{,}8$ Н/м; $M_0 = 13899{,}76$ Н · м/м.

Меридиональное напряжение от действия сил инерции обрабатываемой среды (см. табл. 24.21)

$$\sigma^{p_c}_{mo} = \frac{\rho_c\omega^2 R^3}{8(s-c)}\psi^2 = \frac{1650\cdot 75{,}4^2\cdot 0{,}9^3}{8(0{,}026-0{,}001)}\,0{,}51^2 = 8{,}89\cdot 10^6 \text{ Па},$$

Толщина стенки обечайки в краевой зоне в первом приближении по формуле (24.129)

$$s_0 = \sqrt{6M_0/(\varphi[\sigma]_{р.\,мр} - \sigma^{p_c}_{mo})} + c + c_0 =$$

$$= \sqrt{6\cdot 13899{,}76/(0{,}9\cdot 156\cdot 10^6 - 8{,}89\cdot 10^6)} + 1\cdot 10^{-3} + 1{,}82\cdot 10^{-3} =$$

$$= 28\cdot 10^{-3} \text{ м} = 28 \text{ мм}.$$

Сила Q_0 и момент M_0 при толщине стенки $s_0 = 28$ мм определяются путем вычисления радиальных и угловых деформаций обечайки и борта по формулам табл. 24.21 и 24.22 и подстановки их в систему уравнений совместности деформаций (24.134).

Преобразуя уравнения, получим:

$$\left.\begin{aligned} 743{,}36Q_0 + 5719{,}9M_0 &= 249{,}18\cdot10^6; \\ 5719{,}9Q_0 + 583363{,}4M_0 &= 9457{,}78\cdot10^6. \end{aligned}\right\}$$

Отсюда при $s_0 = 28$ мм краевые нагрузки: $Q_0 = 227\,633{,}9$ Н/м; $M_0 = 13980{,}54$ Н · м/м.

Напряжения в обечайке на внутренней поверхности края (см. пример 24.3.1):

меридиональное

$$\sigma_{mo} = \frac{6M_0}{(s_0-c)^2} + \frac{\rho_c\omega^2R^2}{8(s_0-c)}\psi^2 = \frac{6\cdot13980{,}54}{(0{,}028-0{,}001)^2} +$$

$$+ \frac{1650\cdot75{,}4^2\cdot0{,}9^2}{8(0{,}028-0{,}001)}0{,}51^2 = 123{,}3\ \text{МПа};$$

кольцевое

$$\sigma_{to} = \rho\omega^2R^2 + \frac{\rho_c\omega^2R^2}{2(s_0-c)}\psi - \frac{2\beta_0R}{s_0-c}Q_0 + \left[\frac{2\beta_0^2R}{s_0-c} + \frac{6\mu}{(s_0-c)^2}\right]M_0 =$$

$$= 7850\cdot75{,}4^2\cdot0{,}9^2 + \frac{1650\cdot75{,}4^2\cdot0{,}9^2}{2(0{,}028-0{,}001)}0{,}51 - \frac{2\cdot8{,}25\cdot0{,}9}{0{,}028-0{,}001}227633{,}9 +$$

$$+ \left[\frac{2\cdot8{,}25^2\cdot0{,}9}{0{,}028-0{,}001} + \frac{6\cdot0{,}3}{(0{,}028-0{,}001)^2}\right]13980{,}54 = 73{,}48\ \text{МПа},$$

где

$$\beta_0 = \sqrt[4]{3(1-\mu^2)}/\sqrt{R(s_0-c)} = \sqrt[4]{3(1-0{,}3^2)}/\sqrt{0{,}9(28-1)10^{-3}} = 8{,}25\ \text{м}^{-1};$$

эквивалентное

$$\sigma_{экв.\,o} = \max\{\sigma_{mo};\ \sigma_{to}\} = \max\{123{,}3\ \text{МПа};\ 73{,}48\ \text{МПа}\} = 123{,}3\ \text{МПа}.$$

Так как $\sigma_{экв} < \varphi[\sigma]_{р.кр}$ (123 МПа < 0,9 · 156 = 140,4 МПа), то условие прочности края цилиндрической обечайки выполняется.

Размер краевой зоны по длине образующейся обечайки (см. рис. 24.50)

$$l_ц = 0{,}7\sqrt{D(s_0-c)} = 0{,}7\sqrt{1{,}8(0{,}028-0{,}001)} \approx 0{,}154\ \text{м} = 154\ \text{мм}.$$

24.4. Тихоходные барабаны

Аппараты, выполненные в виде вращающихся горизонтальных барабанов (рис. 24.53), широко распространены в промышленности и применяются для проведения ряда процессов, например сушки, обжига и кальцинирования материалов. Вращающиеся барабанные аппараты состоят из барабана, габаритные размеры которого определяются необходимой величиной рабочего или реакционного пространства. Внутри барабан может иметь насадку для лучшего перемещения и пересыпания материала с целью улучшения теплопередачи. Барабан наклонен к горизонту под небольшим углом 1—5°. Барабан вращается с помощью венцовой шестерни, которая связана с шестерней, сидящей на валу редуктора.

Для передачи давления от масс всех вращающихся частей аппарата барабан снабжен бандажами, которые опираются на опорные ролики так называемой опорной станции. Количество опорных станций зависит от длины барабана, расстояние между опорами не превышает 18—20 м. Опорные ролики изготовляются обычно из более мягкого, чем бандаж, или одинакового с ним материала. Чаще всего бандаж (см. рис. 24.53) представляет собой кольцо прямоугольного сечения, свободно надетое на установленные по окружности барабана башмаки, под которые подкладываются усиливающие и регулирующие подкладки. Подбором толщины регулирующих подкладок достигается совмещение центров барабана и бандажа. Также применяются бандажи, жестко скрепленные с барабаном. Жесткое крепление бандажа на корпус ухудшает его взаимодействие с опорными роликами и требует большой точности при изготовлении и монтаже конструкции. При

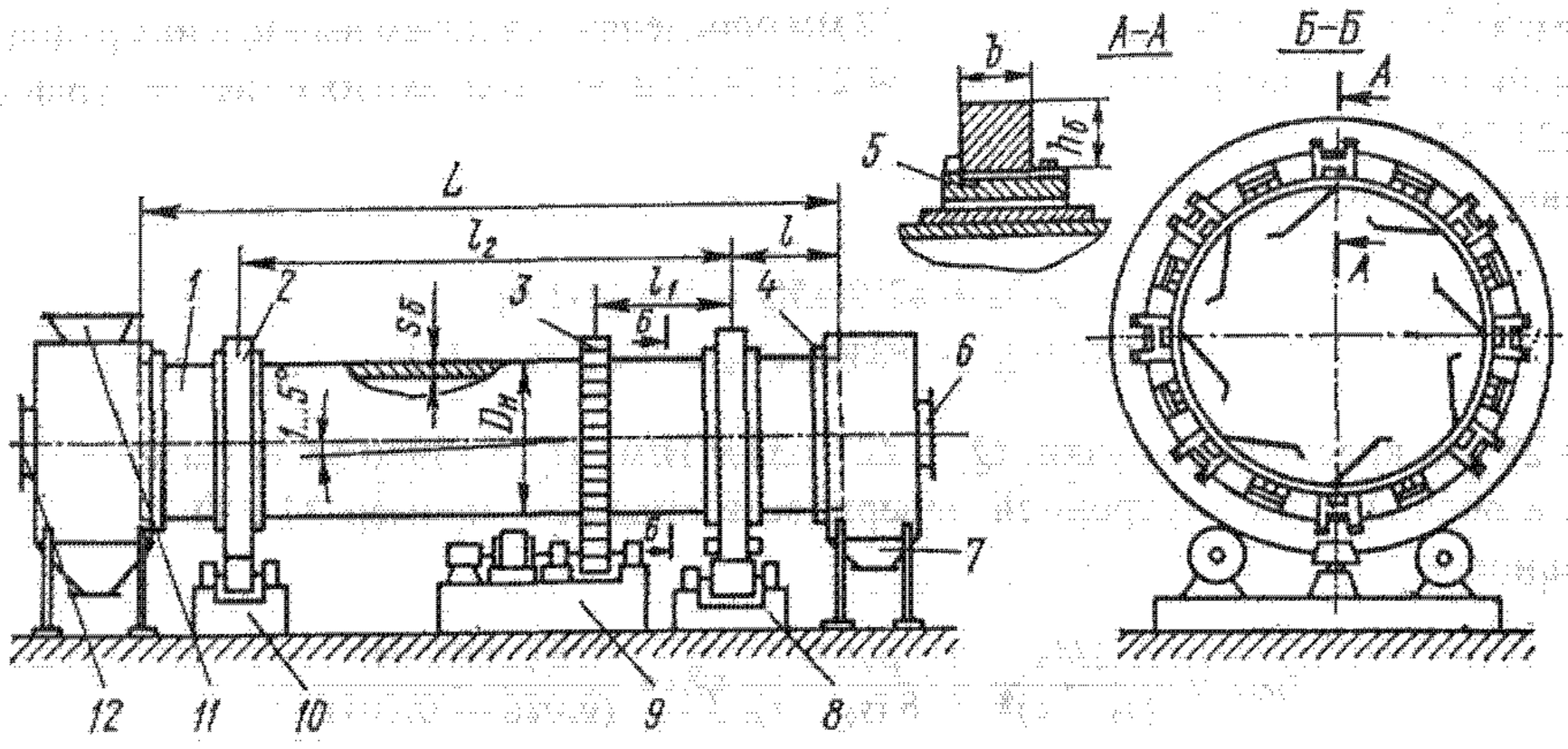


Рис. 24.53. Вращающийся барабанный аппарат:
1 — барабан; 2 — бандаж; 3 — венцовая шестерня; 4 — уплотнение; 5 — башмак; 6 — штуцер входа сушильного агента; 7 — штуцер выхода материала; 8 — опорно-упорная станция; 9 — приводная станция; 10 — опорная станция; 11 — штуцер входа материала; 12 — штуцер выхода газа

свободной посадке бандажа на барабан необходимо предусматривать температурные зазоры, иначе в стенках барабана при разогреве возникают концентрации напряжений из-за дополнительных нагрузок. По обоим концам барабана устанавливают камеры, наобходимые для загрузки и выгрузки материала, а также для подвода и отвода сушильного агента. Зазор между вращающимися барабаном и наподвижными камерами уплотняется лабиринтными, сальниковыми или манжетными уплотнениями.

Основные расчетные зависимости для аппарата, имеющего две опоры, следующие.

1. Расчет барабана на прочность. Толщина стенки барабана

$$s_б = (0{,}007 - 0{,}01)\, D_н, \qquad (24.136)$$

где $D_н$ — наружный диаметр барабана.

Масса обрабатываемого материала, находящегося в аппарате,

$$m_м = \rho_м L \psi \pi D_в^2/4, \qquad (24.137)$$

где $D_в$ — внутренний диаметр барабана; ψ — коэффициент заполнения барабана; $\rho_м$ — насыпная плотность материала; L — длина барабана.

Масса футеровки

$$m_ф = \rho_ф L_ф \pi (D_в^2 - D_ф^2)/4, \qquad (24.138)$$

где $D_ф$ — внутренний диаметр футеровки; $D_ф = D_в - 2s_ф$; $\rho_ф$ — плотность футеровки; $s_ф$ — толщина футеровки; $L_ф$ — длина футеровки.

Поперечная сила, действующая на барабан в месте крепления венцовой шестерни,

$$Q_в = (m_ш + m_{кр})\, g, \qquad (24.139)$$

где $m_ш$ — масса венцовой шестерни; $m_{кр}$ — масса элементов крепления венцовой шестерни; g — ускорение свободного падения.

Суммарная масса (футеровки, обрабатываемого материала и барабана)

$$m = m_м + m_ф + m_к, \qquad (24.140)$$

где $m_к$ — масса корпуса барабана.

Линейная нагрузка

$$q = mg/L. \qquad (24.141)$$

Реакции опор от действия q и $Q_в$ (рис. 24.54):

$$\left.\begin{aligned} R_А &= qL/2 + Q_в l_1/l_2; \\ R_Б &= qL/2 + Q_в (l_2 - l_1)/l_2. \end{aligned}\right\} \qquad (24.142)$$

Максимальный изгибающий момент, действующий на барабан (на двух опорах),

$$M_{max} = qL(2l_2 - L)/8 + Q_в (l_2 - l_1) l_1/l_2. \qquad (24.143)$$

Момент сопротивления сечения барабана

$$W = s_б \pi D_{ср}^2/4, \qquad (24.144)$$

где $D_{ср}$ — средний диаметр барабана.

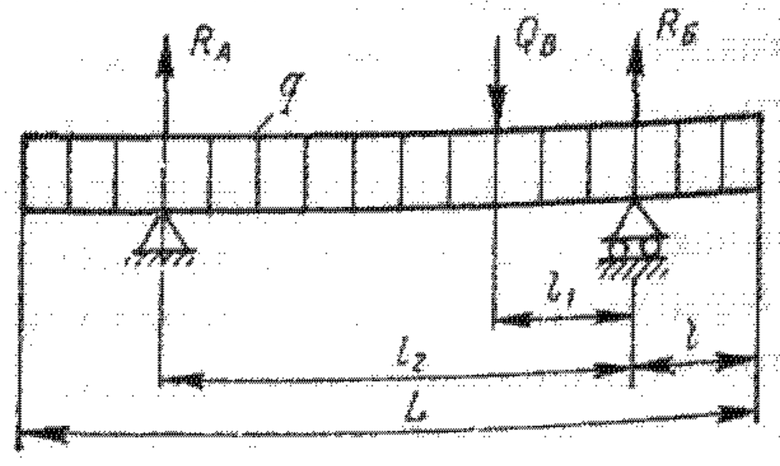


Рис. 24.54. Распределение нагрузок на барабан

Напряжение в барабане

$$\sigma = M_{max}/W \leqslant [\sigma], \qquad (24.145)$$

где $[\sigma] = 5 - 10$ МПа — допускаемое напряжение для аппаратов из сталей марок ВСт2, ВСт3, 10, 15 без футеровки; $[\sigma] = 20$ МПа — для аппаратов с футеровкой.

2. Расчет барабана на жесткость. Суммарный максимальный прогиб от действующих нагрузок

$$y_{max} = \frac{D_{ср}^3}{8EI_x}(0{,}04q_1 + 0{,}002q_2), \qquad (24.146)$$

где q_1 — линейная нагрузка от массы обрабатываемого материала; q_2 — линейная нагрузка от масс (футеровки, насадки и барабана); E — модуль упругости материала корпуса при рабочей температуре; $I_x = 1s_6^3/12$ — момент инерции единичного кольцевого участка барабана.

Относительный прогиб

$$\varepsilon = y_{max}/D_{ср} \leqslant [\varepsilon], \qquad (24.147)$$

где $[\varepsilon] = 1/300$ — допускаемый относительный прогиб (барабан с футеровкой); $[\varepsilon] = 1/200$ — допускаемый относительный прогиб (барабан без футеровки).

3. Нагрузки на свободно надетый бандаж, опирающийся на башмаки. Реакция опорного ролика (рис. 24.55)

$$R_р = R_{оп}/(2\cos j), \qquad (24.148)$$

где $R_{оп} = \max(R_А, R_Б)$ — реакция опоры; j — половина угла между роликами.

Угол между башмаками

$$j_1 = 2\pi/n_б, \qquad (24.149)$$

где $n_б$ — число башмаков (четное число).

Силы, действующие на башмак,

$$Q_0 = 4R_{оп}/n_б; \qquad (24.150)$$

когда один башмак расположен в самой нижней точке вертикального диаметра (рис. 24.56),

$$Q_i = Q_0 \cos(ij_1), \qquad (24.151)$$

где $i = 0, 1, 2, \ldots, n_{б1}$;

$$n_{б1} = (n_б - 2)/4; \qquad (24.152)$$

когда внизу расположены два башмака симметрично относительно вертикального диаметра,

$$Q_i = Q_0 \cos(i + 1/2)\, j_1, \qquad (24.153)$$

где $i = 0, 1, 2, \ldots, n_{б2}$;

$$n_{б2} = n_б/4. \qquad (24.154)$$

Здесь i — порядковый номер башмака; $n_{б1}$, $n_{б2}$ — число башмаков в одном квадранте.

Изгибающий момент M_0 и нормальная сила N_0, действующие в ключевом сечении бандажа, показаны на рис. 24.56. Бандаж является замкнутой статически неопределимой системой, нагруженной внешними силами, симметричными относительно вертикали. Действие каждой пары сил рассматривают отдельно и затем результат суммируют. Определив силы, действующие на каждый башмак, находим расчетные углы для отдельных пар сил (см. рис. 24.56):

$$\left.\begin{aligned} &Q_0;\ \ \theta_0 = 180°;\\ &Q_1;\ \ \theta_1 = \theta_0 - j_1;\\ &Q_2;\ \ \theta_2 = \theta_1 - j_1;\\ &\cdots\cdots\cdots\\ &Q_n;\ \ \theta_n = \theta_{n-1} - j_1. \end{aligned}\right\} \qquad (24.155)$$

Чтобы система стала статически определимой, необходимо мысленно рассечь бандаж в ключевом сечении и нарушенную связь заменить моментом M_0 и нормальной силой N_0, значения которых легко определить с помощью метода Кастельяно.

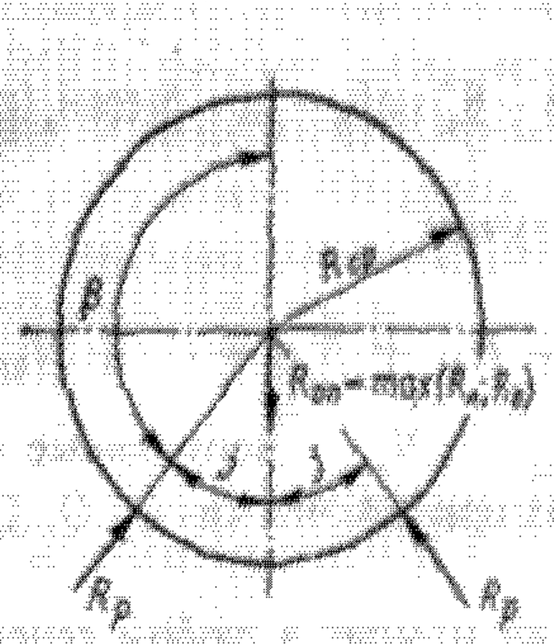


Рис. 24.55. Схема действия опорных реакций

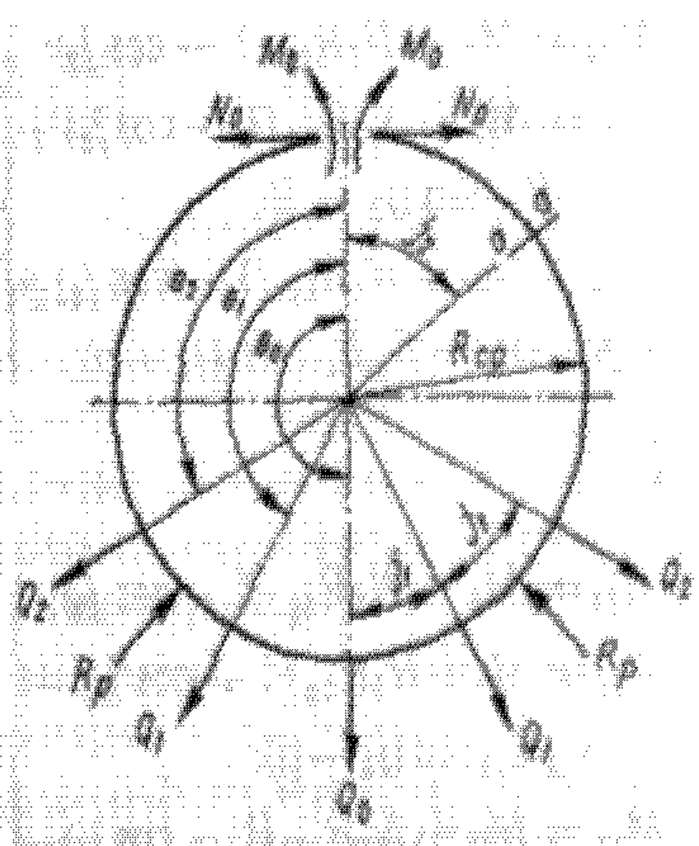


Рис. 24.56. Нагрузки, действующие на бандаж

$$\left.\begin{aligned}
M_{00} &= -\frac{Q_0 R_{ср}}{2\pi}[1 + 1/\cos\beta - (\pi-\beta)\operatorname{tg}\beta];\\
M_{01} &= -\frac{Q_1 R_{ср}}{\pi}[1 - \cos\theta_1/\cos\beta - \\
&\quad (\pi-\theta_1)\sin\theta_1 + (\pi-\beta)\cos\theta_1\operatorname{tg}\beta];\\
M_{02} &= -\frac{Q_2 R_{ср}}{\pi}[1 - \cos\theta_2/\cos\beta - \\
&\quad (\pi-\theta_2)\sin\theta_2 + (\pi-\beta)\cos\theta_2\operatorname{tg}\beta];\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
M_{0n} &= -\frac{Q_n R_{ср}}{\pi}[1 - \cos\theta_n/\cos\beta - \\
&\quad (\pi-\theta_n)\sin\theta_n + (\pi-\beta)\cos\theta_n\operatorname{tg}\beta].
\end{aligned}\right\} \quad (24.156)$$

где $R_{ср} = D_{ср.б}/2$ — средний радиус бандажа, который для расчетов можно определить из соотношения $D_{ср.б} = (1{,}14 - 1{,}22)D_{в}$.

Суммируя, получим

$$M_0 = M_{00} + M_{01} + M_{02} + \cdots + M_{0n}, \quad (24.157)$$

где $M_{00}, M_{01}, M_{02}, \ldots, M_{0n}$ — изгибающие моменты от действующих на бандаж сил $Q_0, Q_1, Q_2, \ldots, Q_n$ соответственно (см. рис. 24.56);

$$\left.\begin{aligned}
N_{00} &= -Q_0/2\pi(\pi-\beta)\operatorname{tg}\beta;\\
N_{01} &= -Q_1/\pi[(\pi-\theta_1)\sin\theta_1 - (\pi-\beta)\cos\theta_1\operatorname{tg}\beta];\\
N_{02} &= -Q_2/\pi[(\pi-\theta_2)\sin\theta_2 - (\pi-\beta)\cos\theta_2\operatorname{tg}\beta];\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
N_{0n} &= -Q_n/\pi[(\pi-\theta_n)\sin\theta_n - (\pi-\beta)\cos\theta_n\operatorname{tg}\beta].
\end{aligned}\right\} \quad (24.158)$$

Суммируя, получим

$$N_0 = N_{00} + N_{01} + N_{02} + \cdots + N_{0n}, \quad (24.159)$$

где $N_{00}, N_{01}, N_{02}, \ldots, N_{0n}$ — нормальные внутренние силы в сечениях приложения сил $Q_0, Q_1, Q_2, \ldots, Q_n$ соответственно.

Изгибающий момент в любом сечении бандажа (см. рис. 24.56):

если $\theta < \beta$:

$$\left.\begin{aligned}
0 \leqslant j_2 \leqslant \theta \quad & M_{j2} = M_0 + N_0 R_{ср}(1 - \cos j_2);\\
\theta \leqslant j_2 \leqslant \beta \quad & M_{j2} = M_0 + N_0 R_{ср}(1 - \cos j_2) + \\
& \quad + Q_i R_{ср}\sin(j_2 - \theta);\\
\beta \leqslant j_2 \leqslant \pi \quad & M_{j2} = M_0 + N_0 R_{ср}(1 - \cos j_2) + \\
& + Q_i R_{ср}\sin(j_2 - \theta) - R_p R_{ср}\sin(j_2 - \beta);
\end{aligned}\right\} \quad (24.160)$$

если $\theta > \beta$:

$$\left.\begin{aligned}
0 \leqslant j_2 \leqslant \beta \quad & M_{j2} = M_0 + N_0 R_{ср}(1 - \cos j_2);\\
\beta \leqslant j_2 \leqslant \theta \quad & M_{j2} = M_0 + N_0 R_{ср}(1 - \cos j_2) - \\
& \quad - R_p R_{ср}\sin(j_2 - \beta);\\
\theta \leqslant j_2 \leqslant \pi \quad & M_{j2} = M_0 + N_0 R_{ср}(1 - \cos j_2) - \\
& - R_p R_{ср}\sin(j_2 - \beta) + Q_i R_{ср}\sin(j_2 - \theta).
\end{aligned}\right\} \quad (24.161)$$

Выражения (24.160) или (24.161) позволяют определить максимальный изгибающий момент M_{max}, значение которого подставляется в формулу (24.166) для определения высоты сечения бандажа.

4. Нагрузки на бандаж, жестко скрепленный с корпусом. В этом случае реакцию опоры можно считать равномерно распределенной по окружности бандажа. Нагрузки N_0 и M_0 в ключевом сечении:

$$N_0 = -\frac{R_{оп} R_{ср}}{2\pi}[1/2 + (\pi-\beta)\operatorname{tg}\beta]; \quad (24.162)$$

$$M_0 = -\frac{R_{оп} R_{ср}}{2\pi}[1/2 + 1/\cos\beta - (\pi-\beta)\operatorname{tg}\beta]. \quad (24.163)$$

Изгибающие моменты в любом сечении:

если $0 \leq j_2 \leq \beta$,

$$M_{j2} = M_0 + N_0 R_{ср}(1 - \cos j_2) - q_3 R_{ср}^2 (j_2 \sin j_2 - 2\sin^2 j_2/2); \quad (24.164)$$

если $\beta \leq j_2 \leq \pi$,

$$M_{j2} = M_0 + N_0 R_{ср}(1 - \cos j_2) - q_3 R_{ср}^2 (j_2 \sin j_2 - 2\sin^2 j_2/2) - R_p R_{ар}\sin(\theta - \beta), \quad (24.165)$$

где $q_3 = R_{оп}/(2\pi R_{ср})$.

При $\beta = 150^\circ$ в результате решения уравнений (24.164) и (24.165) для определения максимального изгибающего момента в бандаже получено $M_{max\,б} = 0{,}0857\, R_{оп} R_{ср}$. Значение $M_{max\,б}$ подставляется в формулу (24.164) для определения высоты сечения бандажа.

5. Геометрические размеры бандажа и опорного ролика. Ширина бандажа

$$b = 0{,}59^2 \frac{R_p E_1 E_2 2 (D_{н.б} + d_p)}{[\sigma_к]^2 (E_1 + E_2) D_{н.б} d_p}, \quad (24.166)$$

где E_1 и E_2 — модули упругости материала бандажа и опорного ролика соответственно; $[\sigma_к]$ — допускаемое контактное напряжение (табл. 24.25); $D_{н.б}$ — наружный диаметр бандажа; d_p — диаметр опорного ролика, для расчетов можно принять $0{,}25D_{н.б} \leq d_p \leq 0{,}33D_{н.б}$.

Таблица 24.25

Допускаемое контактное напряжение

Марка стали	$[\sigma_к]$, МПа	Марка стали (чугуна)	$[\sigma_к]$, МПа
Ст3	400	Ст6	600
Ст5	500	СЧ18-36	200

Высота сечения бандажа

$$h_б = \sqrt{6M_{max\,б}/(b[\sigma]_{из})}, \quad (24.167)$$

где $M_{max\,б}$ — максимальный изгибающий момент, зависящий от схемы крепления бандажа; $[\sigma]_{из}$ — допускаемое напряжение на изгиб. Как показала практика эксплуатации бандажей, для стальных бандажей $[\sigma]_{из}$ можно принять приблизительно 50 МПа.

Наружный диаметр бандажа

$$D_{н.б} = D_{ср.б} + h_б. \quad (24.168)$$

Внутренний диаметр бандажа:

бандаж надет на башмаки

$$D_{в.б} = D_{ср.б} - h_б, \quad (24.169)$$

бандаж жестко скреплен с барабаном

$$D_{в.б} = D_н. \quad (24.170)$$

Диаметр внешней опорной поверхности башмаков

$$D_{оп} = D_{в.б} - \Delta t \alpha_t D_{ср.б} - u_б, \quad (24.171)$$

где α_t — коэффициент линейного расширения материала барабана; Δ_t — разность между температурами барабана при монтаже и в рабочем состоянии; $u_б = 2$ мм — максимальный монтажный зазор между внутренним диаметром бандажа и наружным диаметром башмаков.

Ширина опорного ролика

$$b_р = b + \alpha_t \Delta t l_2 + u_р, \quad (24.172)$$

где $u_р$ — конструктивная добавка, компенсирующая отклонения, возникающие при монтаже, $u_р = 30 - 40$ мм; l_2 — расстояние между бандажами (опорами).

Контактные напряжения, возникающие в материале бандажа и ролика:

$$\sigma_к = 0{,}59\sqrt{q_к \frac{E_1 E_2}{(E_1 + E_2)} \frac{2(D_{н.б} + d_р)}{D_{н.б} d_р}} \leqslant [\sigma_к], \quad (24.173)$$

где $q_к$ — усилие, приходящееся на единицу длины контакта, $q_к = R_р/b$.

Ширина упорного ролика

$$b_{у.р} = 0{,}59^2 \frac{E_1 E_2 (m + m_ш + m_{кр} + 2m_б) g \sin\beta_б}{(E_1 + E_2)[\sigma_к]^2 0{,}5 D_{н.б} \sin(\beta'/2)}, \quad (24.174)$$

где $\beta_б$ — угол наклона барабана, $\beta_б = 1 - 5°$; β' — угол конусности упорного ролика, $\beta' = 17°$; E_1 и E_2 — модули упругости материала бандажа и упорного ролика; $m_б$ — масса бандажа.

Диаметр упорного ролика $D_{у.р}$ можно определить по формуле:

$$D_{у.р} = D_{н.б} \sin(\beta'/2). \quad (24.175)$$

6. Напряжения в бандаже от температурных полей стенки

на наружной поверхности

$$\sigma_{t\,н} = \frac{\alpha_t E \Delta t_в}{2(1-\mu)}\{1/\ln(D_{н.н}/D_{в.н}) - 2D^2_{н.н}/(D^2_{н.н} - D^2_{в.н})\}; \quad (24.176)$$

на внутренней поверхности

$$\sigma_{t\,в} = \frac{\alpha_t E \Delta t_в}{2(1-\mu)}\{1/\ln(D_{н.н}/D_{в.н}) - 2D^2_{в.н}/(D^2_{н.н} - D^2_{в.н})\}, \quad (24.177)$$

где μ — коэффициент Пуассона, $\mu = 0{,}3$; $\Delta t_в$ — перепад температур в сечении бандажа, $\Delta t_в = t°_в - t°_н$ (здесь $t°_в$ — температура внутренней поверхности бандажа; $t°_н$ — температура наружной поверхности бандажа). Температуру бандажа с достаточной точностью для расчетов можно определить, пользуясь моделью теплообмена между корпусом барабана и бандажом, при следующих допущениях: 1) изменение температур в поперечном сечении бандажа происходит по законам теплопроводности при охлаждении прямого ребра постоянной толщины; 2) температура внутренней поверхности бандажа одинакова во всех точках; 3) коэффициент теплоотдачи во внешнюю среду одинаков для торцовой и боковой поверхностей бандажа; 4) распределение термических сопротивлений, приходящихся на стальные подкладки под бандаж $\Phi_п$, воздушный зазор между ними $\Phi_в$ и радиальный зазор между бандажом и подкладками $\Phi_р$ при установившемся режиме следующие: $\Phi_п = 35\%$; $\Phi_в = 45\%$; $\Phi_р = 20\%$. Тогда

$$t''_в = \frac{t_н\{1 + \text{th}(m^2 h_п)\alpha_в/(m^2\lambda_п)\}}{\alpha_в \Phi_{экв}\{1 + \text{th}(m^2 h_п)\lambda_п/\alpha_в) + \{1 + \text{th}(m^2 h_п)\alpha_в/(m^2\lambda_п)\}}; \quad (24.178)$$

$$t'_в = \frac{t''_в}{\text{ch}(m^2 h_п) + \alpha_в \text{sh}(m^2 h_п)/(m^2\lambda_п)}; \quad (24.179)$$

$$\frac{1}{\Phi_{экв}} = \frac{0{,}35}{h_п/\lambda_п} + \frac{0{,}45}{h_п/\lambda_п} + \frac{0{,}2}{h_п/\lambda_п + \delta_р/\lambda_в}, \quad (24.180)$$

где $\Phi_{экв}$ — эквивалентное термическое сопротивление подкладок, воздушных просветов между ними и радиального зазора между бандажом и подкладками; $h_п$ — высота подкладок; $\delta_р$ — радиальный зазор между бандажом и подкладками при установившемся режиме работы, $\delta_р = (1 - 3)$ мм; $\lambda_в$ — коэффициент теплопроводности материала бандажа; $\lambda_п$ — коэффициент теплопроводности материала подкладок; $\lambda_в$ — коэффициент теплопроводности воздуха; $\alpha_в$ — коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности бандажа в окружающую среду при работе вполсила в по-

мещении, $\alpha_6 = 10 - 12$ Вт/(м$^2 \cdot$ °С); $t_к$ — температура корпуса барабана; th (ωh_6); ch (ωh_6); sh (ωh_6) — гиперболические функции; ω — симплекс,

$$\omega = \sqrt{2\alpha_6/(\lambda_6 b)}. \qquad (24.181)$$

7. Расчет бандажа на выносливость. Напряжения на наружной поверхности бандажа:

максимальное

$$\sigma^н_{max} = \sigma_{tн} + \sigma^н_{j2}, \qquad (24.182)$$

где $\sigma^н_{j2}$ — напряжение в сечении бандажа j_2 на наружной поверхности, $\sigma^н_{j2} = M_{j2}/W_6$ (здесь M_{j2} — изгибающий момент в сечении j_2; W_6 — момент сопротивления бандажа, $W_6 = bh^2_6/6$);

минимальное

$$\sigma^н_{min} = \sigma_{tн} + \sigma^н_{j2=\beta}, \qquad (24.183)$$

где $\sigma^н_{j2=\beta}$ — напряжение в сечении $j_2 = \beta$ бандажа под опорой на наружной поверхности, $\sigma^н_{j2=\beta} = M^н_{j2=\beta}/W_6$;

среднее

$$\sigma^н_c = (\sigma^н_{max} + \sigma^н_{min})/2; \qquad (24.184)$$

амплитуда напряжений цикла

$$\sigma^н_a = (\sigma^н_{max} - \sigma^н_{min})/2. \qquad (24.185)$$

Напряжения на внутренней поверхности бандажа:

максимальное

$$\sigma^в_{max} = \sigma_{tв} + \sigma^в_{j2=\beta}, \qquad (24.186)$$

где $\sigma^в_{j2=\beta}$ — напряжение в сечении бандажа $j_2 = \beta$ на внутренней поверхности под опорой, $\sigma^в_{j2=\beta} = -M^в_{j2=\beta}/W_6$;

минимальное

$$\sigma^в_{min} = \sigma_{tв} + \sigma^в_{j2}, \qquad (24.187)$$

где $\sigma^в_{j2}$ — напряжение в сечении бандажа j_2 на внутренней поверхности под опорой, $\sigma^в_{j2} = -M^в_{j2}/W_6$;

среднее

$$\sigma^в_c = (\sigma^в_{max} + \sigma^в_{min})/2; \qquad (24.188)$$

амплитуда напряжений цикла

$$\sigma^в_a = (\sigma^в_{max} - \sigma^в_{min})/2. \qquad (24.189)$$

Коэффициент запаса прочности:

на наружной поверхности

$$n^н_{min} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma^н_a K_\sigma/\varepsilon_м \varepsilon_п + \psi_\sigma \sigma^н_m}; \qquad (24.190)$$

на внутренней поверхности

$$n^в_{min} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma^в_a K_\sigma/\varepsilon_м \varepsilon_п + \psi_\sigma \sigma^в_m}, \qquad (24.191)$$

где K_σ — коэффициент концентрации напряжений стыковых швов с полным проваром: для углеродистой стали $K_\sigma = 1{,}2$ и для низколегированной стали $K_\sigma = 1{,}4$; ψ_σ — коэффициент, характеризующий чувствительность металла к асимметрии цикла, для углеродистых сталей $\psi_\sigma = 0{,}1 - 0{,}2$, для легированных сталей $\psi_\sigma = 0{,}2 - 0{,}3$; $\varepsilon_п$ — коэффициент состояния поверхности (табл. 24.26); $\varepsilon_м$ — коэффициент влияния абсолютных размеров поперечного сечения бандажа на сопротивление усталости (табл. 24.27); σ_{-1} — предел выносливости, для углеродистых сталей $\sigma_{-1} = (0{,}4 - 0{,}46)\,\sigma_в$, для легированных сталей $\sigma_{-1} = (0{,}45 - 0{,}55)\,\sigma_в$. Значения предела прочности $\sigma_в$ для некоторых сталей представлены в табл. 24.26.

Условие выносливости бандажа:

$$n^н_{min} \geqslant [n_{min}]; \quad n^в_{min} \geqslant [n_{min}], \qquad (24.192)$$

где $[n_{min}]$ — нормативный коэффициент запаса прочности, определяемый по формуле:

$$[n_{min}] = [n_1][n_2][n_3]. \qquad (24.193)$$

Здесь $[n_1]$ — коэффициент, учитывающий неточность в определении нагрузок и напряжений, $[n_1] = 1{,}2 - 1{,}5$ — при повышенной точности, $[n_1] = 2 - 3$ — при меньшей точности; $[n_2]$ — коэффициент, учитывающий неоднородность материала и повышенную его чувствительность к недостаткам механической обработки, $[n_2] = 1{,}5 - 2$ — при расчете на усталость; $[n_3]$ — коэффициент условий работы, учитывающий степень ответственности детали, $[n_3] = 1 - 1{,}5$.

Таблица 24.26

Предел прочности $\sigma_в$ и коэффициент состояния поверхности $\varepsilon_п$

Показатели	Марка стали				
	10	20	30Л	35Л	45Л
Предел прочности $\sigma_в$, МПа	350	400	480	500	550
Коэффициент состояния поверхности $\varepsilon_п$	0,86	0,84	0,84	0,84	0,82

Таблица 24.27

Коэффициент влияния абсолютных размеров сечения бандажа $\varepsilon_м$ на сопротивление усталости

Сталь	Площадь поперечного сечения бандажа $A_б \cdot 10^4$, м²									
	3,14	7,065	12,56	19,625	28,26	50,24	78,5	176,6	314	706,5
Углеродистая	0,92	0,88	0,85	0,815	0,79	0,72	0,7	0,66	0,64	0,62
Легированная	0,84	0,78	0,74	0,7	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57	0,55

Примеры

24.4.1. Произвести расчет на прочность барабана сушилки, имеющей две опорные станции.

Исходные данные. Барабан не футерован и имеет насадку, наружный диаметр барабана $D_н$ = 1200 мм, длина барабана (см. рис. 24.53) L = 10 000 мм, l = 2050 мм, l_2 = 5900 мм, l_1 = 900 мм, коэффициент заполнения барабана материалом ψ = 0,15, насыпная плотность обрабатываемого материала $\rho_м$ = 700 кг/м³, масса корпуса барабана с насадкой $m_к$ = 3000 кг, нагрузка от венцовой шестерни $Q_ш$ = 7500 Н, материал барабана — ВСт3, допускаемое напряжение $[\sigma]$ = 10 МПа.

Решение. Толщина стенки барабана согласно (24.136) $s_б \geq 0{,}007 D_н = 0{,}007 \cdot 1200 = 8{,}4$ мм; принимаем $s_б$ = 10 мм.

Внутренний диаметр барабана

$$D_в = D_н - 2s_б = 1200 - 2 \cdot 10 = 1180 \text{ мм} = 1{,}18 \text{ м}.$$

Масса материала, находящегося в сушилке,

$$m_м = \psi \rho_м L \pi D_в^2/4 = 0{,}15 \cdot 700 \cdot 10 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}18^2/4 = 1148 \text{ кг}.$$

Суммарная масса барабана и материала

$$m = m_к + m_м = 3000 + 1148 = 4148 \text{ кг}.$$

Линейная нагрузка

$$q = mg/L = 4148 \cdot 9{,}81/10 = 4065 \text{ Н/м}.$$

Реакция на опорах согласно (24.142):

$$R_А = qL/2 + Q_ш l_1/l_2 = 4065 \cdot 10/2 + 7500 \cdot 0{,}9/5{,}9 = 21\,469 \text{ Н};$$

$$R_Б = qL/2 + Q_ш (l_2 - l_1)/l_2 = 4065 \cdot 10/2 + 7500 (5{,}9 - 0{,}9)/5{,}9 = 26\,680 \text{ Н}.$$

Максимальный изгибающий момент, действующий на барабан согласно (24.143)

$$M_{max} = qL (2l_2 - L)/8 + Q_ш (l_2 - l_1) l_1/l_2 =$$
$$= 4065 \cdot 10 (2 \cdot 5{,}9 - 10)/8 + 7500 (5{,}9 - 0{,}9) 0{,}9/5{,}9 = 14\,866 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления сечения корпуса барабана

$$W = s_б \pi D_{ср}^2/4 = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}19^2/4 = 1{,}11 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3,$$

где

$$D_{ср} = (D_н + D_в)/2 = (1200 + 1180)/2 = 1190 \text{ мм} = 1{,}19 \text{ м}.$$

Напряжение в корпусе барабана

$$\sigma = M_{max}/W = 14\,866/1{,}11 \cdot 10^{-2} = 1{,}34 \cdot 10^{+6} \text{ Па} = 1{,}34 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполняется: $\sigma \leq [\sigma]$ (1,34 < 10 МПа).

24.4.2. Произвести расчет барабана сушилки на жесткость (определить прогиб).

Исходные данные. Наружный диаметр барабана $D_н = 1200$ мм, длина барабана $L = 10\,000$ мм, материал корпуса — ВСт3, модуль упругости $E = 1{,}87 \cdot 10^5$ МПа, масса обрабатываемого материала $m_м = 2500$ кг, масса барабана $m_к = 3000$ кг, допускаемый относительный прогиб барабана без футеровки $[\varepsilon] = 1/200$.

Решение. Линейная нагрузка от массы обрабатываемого материала

$$q_1 = gm_м/L = 9{,}81 \cdot 2500/10 \approx 2500 \text{ Н/м}.$$

Линейная нагрузка от массы барабана

$$q_2 = gm_к/L = 9{,}81 \cdot 3000/10 \approx 3000 \text{ Н/м}.$$

Толщина стенки барабана согласно (24.136)

$$s_б \geqslant 0{,}007D_н = 0{,}007 \cdot 1200 = 8{,}4 \text{ мм} = 8{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ м};$$

принимаем $s_б = 10$ мм.

Момент инерции единичного кольца барабана

$$I_x = 1s_б^3/12 = 1\,(10 \cdot 10^{-3})^3/12 = 83{,}3 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3.$$

Средний диаметр барабана

$$D_{ср} = D_н - s_б = 1200 - 10 = 1190 \text{ мм} = 1{,}19 \text{ м}.$$

Суммарный прогиб от действующих нагрузок согласно (24.146)

$$y_{max} = \frac{D_{ср}^3}{8EI_x}(0{,}04q_1 + 0{,}002q_2) =$$

$$= \frac{1{,}19^3}{8 \cdot 1{,}87 \cdot 10^{11} \cdot 83{,}3 \cdot 10^{-9}}(0{,}04 \cdot 2500 + 0{,}002 \cdot 3000) = 0{,}143 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$$

Относительный прогиб согласно (24.147)

$$\varepsilon = y_{max}/D_{ср} = 0{,}143 \cdot 10^{-2}/1{,}19 = 0{,}0012 = 1/833.$$

Условие жесткости выполнено: $\varepsilon \leq [\varepsilon]$ (1/833 < 1/200).

24.4.3. Определить геометрические размеры бандажа, свободно надетого на корпус сушилки, из условия его работы на изгиб и контактную прочность.

Исходные данные. Наружный диаметр барабана $D_н = 1200$ мм, число башмаков $n_б = 8$, реакция опоры $R_{оп} = 50$ кН, диаметр опорного ролика $d_р = 300$ мм, угол между опорными роликами $j = 30°$, материал бандажа и роликов — сталь 45Л, модуль упругости $E_1 = E_2 = 2 \cdot 10^5$ МПа, допускаемое напряжение на изгиб $[\sigma]_{из} = 50$ МПа, допускаемое контактное напряжение $[\sigma]_к = 500$ МПа.

Решение. Реакция опорного ролика

$$R_р = R_{оп}/(2 \cos j) = 50/(2 \cos 30°) = 28{,}9 \text{ кН} = 28{,}9 \cdot 10^{-3} \text{ МН}.$$

Угол между башмаками $j_1 = 2\rho/n_б = 2 \cdot 180°/8 = 45°$.

Число башмаков в одном квадранте $n_{б1} = (n_б - 2)/4 = (8 - 2)/4 = 1{,}5$; принимаем $n_{б1} = 2$.

Сила, действующая на самый нижний башмак, по формуле (24.150)

$$Q_0 = 4R_{0\text{п}}/n_6 = 4 \cdot 50/8 = 25 \text{ кН}.$$

Силы, действующие на башмаки, по формуле (24.151):

$$Q_1 = Q_0 \cos j_1 = 25 \cos 45^\circ = 17{,}7 \text{ кН}; \; Q_2 = Q_0 \cos (2j_1) = 25 \cos 90^\circ = 0.$$

Расчетные углы для определения пар сил:

$$Q_0;\ \theta_0 = 180^\circ;\ \sin 180^\circ = 0,\ \cos 180^\circ = -1;$$

$$Q_1;\ \theta_1 = 135^\circ;\ \sin 135^\circ = 0{,}7;\ \cos 135^\circ = -0{,}7;$$

$$Q_2;\ \theta_2 = 90^\circ;\ \sin 90^\circ = 1;\ \cos 90^\circ = 0;$$

$$\beta = 150^\circ;\ \operatorname{tg} 150^\circ = -0{,}57;\ \cos 150^\circ = -0{,}866.$$

Средний радиус бандажа при $D_{\text{ср. б}} = 1{,}2\, D_{\text{в}} = 1{,}2 \cdot 1200 = 1440$ мм.

$$R_{\text{ср}} = D_{\text{ср. б}}/2 = 1440/2 = 720 \text{ мм} = 0{,}72 \text{ м}.$$

Изгибающий момент в местах приложения сил по формуле (24.156)

$$M_{00} = -\frac{Q_0 R_{\text{ср}}}{2\pi}\left[1 + 1/\cos\beta - (\pi - \beta)\operatorname{tg}\beta\right] =$$

$$= -\frac{25 \cdot 0{,}72}{2 \cdot 3{,}14}\left[1 + 1/\cos 150^\circ - (3{,}14 - 2{,}61)\operatorname{tg} 150^\circ\right] = -0{,}45 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_{01} = -\frac{Q_1 R_{\text{ср}}}{\pi}\left[1 - \cos\theta_1/\cos\beta - (\pi - \theta_1)\sin\theta_1 + (\pi - \beta)\cos\theta_1 \operatorname{tg}\beta\right] =$$

$$= -\frac{17{,}7 \cdot 0{,}72}{3{,}14}\left[1 - \cos 135^\circ/\cos 150^\circ - (3{,}14 - 2{,}355)\sin 135^\circ + \right.$$

$$\left. + (3{,}14 - 2{,}61)\cos 135^\circ \operatorname{tg} 150^\circ\right] = 0{,}63 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Суммарный изгибающий момент в ключевом сечении

$$M_0 = M_{00} + M_{01} = -0{,}45 + 0{,}63 = 0{,}18 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Нормальное усилие по формуле (24.159) $N_0 = N_{00} + N_{01}$, где

$$N_{00} = -(Q_0/2\pi)(\pi - \beta)\operatorname{tg}\beta = (25/2 \cdot 3{,}14)(3{,}14 - 2{,}61)\,0{,}57 = 1{,}18 \text{ кН};$$

$$N_{01} = -(Q_1/\pi)\left[(\pi - \theta_1)\sin\theta_1 - (\pi - \beta)\cos\theta_1 \operatorname{tg}\beta\right] =$$

$$= -(17{,}7/3{,}14)\left[(3{,}14 - 2{,}355)\,0{,}7 - (3{,}14 - 2{,}61)\,0{,}7 \cdot 0{,}57\right] = -1{,}92 \text{ кН}.$$

Тогда $N_0 = 1{,}18 - 1{,}92 = -0{,}74$ кН.

Значения изгибающих моментов, действующих на бандаж, рассчитанные по формулам (24.160) и (24.161), сведены в табл. 24.28, а эпюра изгибающих моментов в бандаже представлена на рис. 24.57.

Ширина бандажа по формуле (24.165) при $D_{\text{н.б}} > D_{\text{ср.б}}$ ($D_{\text{н.б}} = 1{,}5$м)

$$b = 0{,}59^3 \frac{R_p E_1 E_2 2 (D_{\text{н. б}} + d_p)}{[\sigma_{\text{к}}]^2 (E_1 + E_2) D_{\text{н. б}} d_p} =$$

$$= 0{,}59^3 \frac{28{,}9 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 (1{,}5 + 0{,}3)}{500^2 (2 \cdot 10^5 + 2 \cdot 10^5)\, 1{,}5 \cdot 0{,}3} = 0{,}032 \text{ м} = 32 \text{ мм}.$$

Высота сечения бандажа по формуле (24.167)

$$h_б = \sqrt{6M_{max\,б}/(b\,[\sigma]_{из})} = \sqrt{6 \cdot 2{,}71 \cdot 10^3/(0{,}032 \cdot 50 \cdot 10^6)} = 0{,}1 \text{ м}.$$

24.4.4. Определить перепад температур по высоте сечения бандажа, изготовленного из стали 35Л.

Исходные данные. Температура корпуса под бандажом $t_к = 330°C$, сечения бандажа: $h_б = 0{,}4$ м, $b = 1$ м, высота подкладок $h_п = 0{,}09$ м, радиальный зазор между бандажом и подкладками $\delta_з = 0{,}001$ м, коэффициент теплопроводности: стали бандажа $\lambda_б = 50{,}66$ Вт/(м·°С), стали подкладок $\lambda_п = 52{,}3$ Вт/(м·°С), воздуха $\lambda_в = 0{,}025$ Вт/(м·°С), коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности бандажа в окружающую среду $\alpha_б = 12$ Вт/(м²·°С).

Решение. Эквивалентное термическое сопротивление из выражения (24.180)

$$\frac{1}{\Phi_{экв}} = \frac{0{,}35}{h_п/\lambda_п} + \frac{0{,}45}{h_п/\lambda_в} + \frac{0{,}2}{h_п/\lambda_п + \delta_з/\lambda_в} =$$

$$= \frac{0{,}35}{0{,}09/52{,}3} + \frac{0{,}45}{0{,}09/0{,}025} + \frac{0{,}2}{0{,}09/52{,}3 + 0{,}001/0{,}025} = 210{,}925 \text{ Вт/(м}^2 \cdot °C).$$

Тогда $\Phi_{экв} = 1/210{,}925 = 0{,}0047$ м²·°С/Вт.

Симплекс

$$\omega = \sqrt{2\alpha_б/(\lambda_б b)} = \sqrt{2 \cdot 12/(50{,}66 \cdot 1)} = 0{,}6883 \text{ м}^{-1}.$$

Температура внутренней поверхности бандажа

$$t_б^{вн} = \frac{t_к\,[1 + \text{th}\,(\omega h_б)\,\alpha_б/(\omega\lambda_б)]}{\alpha_б \Phi_{экв}\,[1 + \text{th}\,(\omega h_б)\,\lambda_б\omega/\alpha_б] + [1 + \text{th}\,(\omega h_б)\,\alpha_б/(\omega\lambda_б)]} =$$

$$= \frac{330\,[1 + 0{,}272 \cdot 12/(0{,}6883 \cdot 50{,}66)]}{12 \cdot 0{,}0047\,[1 + 0{,}272 \cdot 50{,}66 \cdot 0{,}6883/12] + [1 + 0{,}272 \cdot 12/(0{,}6883 \cdot 50{,}66)]} = 302°\text{C},$$

где

$$\text{th}\,(\omega h_б) = \text{th}\,(0{,}6883 \cdot 0{,}4) = 0{,}272;$$

$$\text{ch}\,(\omega h_б) = \text{ch}\,(0{,}6883 \cdot 0{,}4) = 1{,}04;$$

$$\text{sh}\,(\omega h_б) = \text{sh}\,(0{,}6883 \cdot 0{,}4) = 0{,}285.$$

Температура наружной поверхности бандажа

$$t_б^{н} = \frac{t_б^{вн}}{\text{ch}\,(\omega h_б) + \alpha_б\,\text{sh}\,(\omega h_б)/(\omega\lambda_б)} = \frac{302}{1{,}04 + 12 \cdot 0{,}285/(0{,}6883 \cdot 50{,}66)} = 265°\text{C}.$$

Перепад температур в бандаже

$$\Delta t_б = t_б^{вн} - t_б^{н} = 302 - 265 = 37°\text{C}.$$

Таблица 24.28

Значения изгибающих моментов в бандаже

l_x, ...°	$M_{1/2}$, кН·м	l_x, ...°	$M_{1/2}$, кН·м
0	0,180	135	—1,08
20	0,135	140	0,03
45	—0,042	150	2,24
60	—0,190	170	—1,09
90	—0,056	180	—2,71

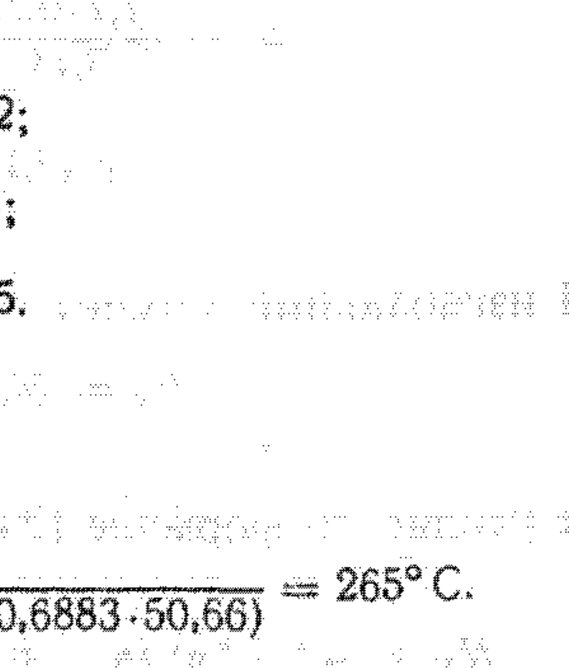


Рис. 24.57. Эпюра изгибающих моментов в бандаже

24.4.5. Произвести расчет температурных напряжений и определить запас выносливости $n_{\sigma\Sigma}$ в сечении $j_2 = 180°$ бандажа барабанного аппарата.

Исходные данные. Наружный диаметр бандажа $D_{н.б} = 2730$ мм, высота бандажа $h = 140$ мм ширина бандажа $b = 200$ мм, изгибающий момент сечения бандажа в месте установки опор $M_{j2=150} = -3{,}35 \cdot 10^4$ Н · м, изгибающий момент (в сечении $j_2 = 180°$) $M_{j2=180} = 1{,}34 \cdot 10^4$ Н · м, материал бандажа — сталь 35Л, коэффициент линейного расширения $\alpha_t = 11{,}9 \cdot 10^{-6}$ 1/°С, модуль упругости $E = 2{,}01 \cdot 10^5$ МПа перепад температур в бандаже $\Delta_{tб} = 57$°С, коэффициент Пуассона $\mu = 0{,}3$, предел выносливости $\sigma_{-1} = 200$ МПа

Решение. Внутренний диаметр бандажа

$$D_{в.б} = D_{н.б} - 2h = 2730 - 2 \cdot 140 = 2450 \text{ мм} = 2{,}45 \text{ м}.$$

Момент сопротивления бандажа

$$W_б = bh_б^2/6 = 0{,}2 \cdot 0{,}14^2/6 = 0{,}65 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Максимальное напряжение в сечении бандажа под опорой ($j_2 = 150°$):
на наружной поверхности

$$\sigma^н_{j_2=150} = M_{j_2=150}/W_б = -3{,}35 \cdot 10^4/0{,}65 \cdot 10^{-3} = -515 \cdot 10^5 \text{ Па} = -51{,}5 \text{ МПа};$$

на внутренней поверхности

$$\sigma^в_{j2=150} = -M_{j2=150}/W_б = 3{,}35 \cdot 10^4/0{,}65 \cdot 10^{-3} = 515 \cdot 10^5 \text{ Па} = 51{,}5 \text{ МПа},$$

Максимальное напряжение в сечении $j_2 = 180°$:
на наружной поверхности

$$\sigma^н_{j2=180} = M_{j2=180}/W_б = 1{,}34 \cdot 10^4/0{,}65 \cdot 10^{-3} = 206 \cdot 10^5 \text{ Па} = 20{,}6 \text{ МПа};$$

на внутренней поверхности

$$\sigma^в_{j2=180} = -M_{j2=180}/W_б = -1{,}34 \cdot 10^4/0{,}65 \cdot 10^{-3} = -206 \cdot 10^5 \text{ Па} = -20{,}6 \text{ МПа}.$$

Напряжение в бандаже от температурного перепада:
на наружной поверхности по формуле (24.176)

$$\sigma_{tн} = \frac{\alpha_t E \Delta t_б}{2(1-\mu)}\left[1/\ln(D_{н.б}/D_{в.б}) - 2D^2_{в.б}/(D^2_{н.б} - D^2_{в.б})\right] =$$

$$= \frac{11{,}9 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}01 \cdot 10^{11} \cdot 57}{2(1-0{,}3)}\left[1/\ln(2{,}73/2{,}45) - 2 \cdot 2{,}45^2/(2{,}73^2 - 2{,}45^2)\right] =$$

$$= 939 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = 93{,}9 \text{ МПа};$$

на внутренней поверхности по формуле (24.177)

$$\sigma_{tв} = \frac{\alpha_t E \Delta t_б}{2(1-\mu)}\left[1/\ln(D_{в.б}/D_{в.б}) - 2D^2_{в.б}/(D^2_{н.б} - D^2_{в.б})\right] =$$

$$= \frac{11{,}9 \cdot 10^{-6} \cdot 2{,}01 \cdot 10^{11} \cdot 57}{2(1-0{,}3)}\left[1/\ln(2{,}73/2{,}45) - 2 \cdot 2{,}73^2/(2{,}73^2 - 2{,}45^2)\right] =$$

$$= -1008{,}9 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2 = -100{,}89 \text{ МПа}.$$

Напряжения на наружной поверхности бандажа согласно (24.181)—(24.185):
максимальное

$$\sigma^н_{max} = \sigma_{tн} + \sigma^н_{j2=180} = 93{,}9 + 20{,}6 = 114{,}5 \text{ МПа};$$

минимальное

$$\sigma^{н}_{min} = \sigma_{tн} + \sigma^{н}_{f2=150} = 93{,}9 - 51{,}5 = 42{,}4 \text{ МПа};$$

среднее

$$\sigma^{н}_{m} = (\sigma^{н}_{max} + \sigma^{н}_{min})/2 = (114{,}5 + 42{,}4)/2 = 78{,}45 \text{ МПа};$$

амплитуда напряжений цикла

$$\sigma^{н}_{a} = (\sigma^{н}_{max} - \sigma^{н}_{min})/2 = (114{,}5 - 42{,}4)/2 = 36{,}05 \text{ МПа}.$$

Напряжение на внутренней поверхности бандажа по формулам (24.186)—(24.189):

минимальное

$$\sigma^{в}_{min} = \sigma_{tв} + \sigma^{в}_{f2=180} = -100{,}89 - 20{,}6 = -121{,}49 \text{ МПа};$$

максимальное

$$\sigma^{в}_{max} = \sigma_{tв} + \sigma^{в}_{f2=150} = -100{,}89 + 51{,}5 = -49{,}39 \text{ МПа};$$

среднее

$$\sigma^{в}_{m} = (\sigma^{в}_{max} + \sigma^{в}_{min})/2 = (-49{,}39 - 121{,}49)/2 = 85{,}44 \text{ МПа};$$

амплитуда напряжений цикла

$$\sigma^{в}_{a} = (\sigma^{в}_{max} - \sigma^{в}_{min})/2 = (-49{,}39 + 121{,}49)/2 = 36{,}05 \text{ МПа}.$$

Коэффициент концентрации напряжений стыков швов с полным проваром для стали 35Л, из которой изготовлен бандаж, $K_\sigma = 1{,}2$.

Коэффициент чувствительности материала бандажа к асимметрии цикла принимаем $\psi_\sigma = 0{,}1$.

Коэффициент состояния поверхности для стали 35Л согласно табл. 24.26 $\varepsilon_ц = 0{,}84$.

Коэффициент влияния размеров поперечного сечения бандажа на сопротивление усталости принимаем согласно табл. 24.27 $\varepsilon_м = 0{,}644$.

Коэффициент запаса прочности:

на наружной поверхности

$$n^{н}_{min} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma^{н}_{a} K_\sigma/(\varepsilon_м \varepsilon_п) + \psi_\sigma \sigma^{н}_{m}} = \frac{200}{36{,}05 \cdot 1{,}2/(0{,}644 \cdot 0{,}84) + 0{,}1 \cdot 78{,}45} = 2{,}278;$$

на внутренней поверхности

$$n^{в}_{min} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma^{в}_{a} K_\sigma/(\varepsilon_м \varepsilon_п) + \psi_\sigma \sigma^{в}_{m}} = \frac{200}{36{,}05 \cdot 1{,}2/(0{,}644 \cdot 0{,}84) + 0{,}1 \cdot 85{,}44} = 2{,}259.$$

Нормативный коэффициент запаса прочности по формуле (24.193)

$$[n_{min}] = [n_1]\,[n_2]\,[n_3] = 1{,}3 \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}3 = 2{,}53,$$

где $[n_1] = 1{,}3$ — при средней точности определения нагрузок и напряжений; $[n_2] = 1{,}5$ — нижнее значение коэффициента, учитывающего неоднородность материала бандажа — сталь 35Л; $[n_3] = 1{,}3$ — при средней степени ответственности детали. Так как условие (24.192) выполняется: $n^{н}_{min} < [n_{min}]$ (2,278 < 2,53) и $n^{в}_{min} < [n_{min}]$ (2,259 < 2,53), то выносливость бандажа при заданных нагрузках обеспечена.

24.5. Механические перемешивающие устройства

24.5.1. Мешалки

Мешалки являются одним из основных элементов аппарата для перемешивания жидких сред. Они предназначены для передачи механической энергии от динамических элементов аппарата к перемешиваемой среде. ГОСТ 20680—75 регламентирует 12 типов мешалок. Каждый тип мешалки имеет обозначение, указанное цифрами в скобках: трехлопастная с углом наклона лопасти $\alpha = 24°$ (01); винтовая (02); турбинная открытая (03); турбинная закрытая (04); шестилопастная, с углом наклона лопасти $\alpha = 45°$ (05); клетьевая (06); лопастная (07); шнековая (08); якорная (09); рамная (10); ленточная (11); ленточная со скребками (12).

Все мешалки условно могут быть разделены на быстроходные и тихоходные. Под *быстроходными* понимаются мешалки, используемые для перемешивания жидких сред преимущественно при турбулентном и переходном режимах движения жидкости; под *тихоходными* — при ламинарном режиме движения жидкости.

Быстроходные и тихоходные мешалки обычно применяются в аппаратах, симплекс геометрического подобия которых $\Gamma_n = D/d_м$ соответственно определяется неравенствами: $2{,}0 \le \Gamma_D \le 8{,}0$ и $1{,}04 \le \Gamma_D \le 2{,}0$.

Мешалки обычно устанавливаются по оси аппарата на расстоянии $h_{м2}$ от его дна.

Для быстроходных мешалок

$$0{,}4 \le h_{м2}/d_м \le 1{,}0.$$

Максимальное расстояние от дна аппарата составляет $h_{м2} = 0{,}5H$, где H — высота уровня жидкости в аппарате.

Для тихоходных мешалок

$$h_{м2}/d_м = (0{,}5-5{,}0)(\Gamma_D - 1{,}0).$$

Максимальное расстояние от дна аппарата составляет $h_{м2} = 0{,}25\,D$.

Быстроходные мешалки могут быть также использованы и в виде многорядных перемешивающих устройств, когда на одном и том же валу устанавливаются две, три, четыре и более одинаковых мешалок. При этом минимальное расстояние между двумя соседними мешалками не должно быть меньше их диаметра $d_м$; минимальная высота H в случае установки двух мешалок на валу должна выбираться из соотношения $H \ge 1{,}3\,D$.

В табл. 24.29 приведены конструкции быстроходных мешалок по ГОСТ 20680—75 и ОСТ 26-01-1245—75.

Быстроходные мешалки могут использоваться в гладкостенных аппаратах, а также в аппаратах, оборудованных различными внутренними устройствами. Помимо этого, мешалки с наклонными лопастями могут использоваться в аппаратах с циркуляционной трубой.

Трехлопастная мешалка (рис. 24.58) представляет собой конструкцию, состоящую из втулки с внутренним диаметром d, к наружному диаметру $d_{вт}$ которой приварены три плоские лопатки под углом 24° к плоскости вращения мешалки. Ширина b лопастей мешалки выбирается равной $0{,}2\,d_м$.

Винтовая мешалка с постоянным шагом по винтовой линии (рис. 24.59) представляет собой втулку с наружным диаметром $d_{вт}$ и внутренним диаметром d. К наружной поверхности втулки под углом 120° одна к другой приварены три плоские лопасти шириной b. При этом угол наклона β лопастей на диаметре $d_{вт}$ больше угла наклона α на диаметре $d_м$, причем $\operatorname{tg}\beta = \operatorname{tg}\alpha\,(d_м/d_{вт})$, а $\operatorname{tg}\alpha = p/\pi$. От диаметра $d_{вт}$ до диаметра $d_м$ угол β изменяется при сохранении равенства $p = \text{const}$.

Диаметр $d_м$ винтовой мешалки выбирается из ряда: 50, 75, 100, 150, 180, 200, 225, 250, 300, 325 и 350 мм. Отраслевой стандарт ограничивает этот ряд максимальным диаметром $d_м = 250$ мм.

Мешалки из этого ряда имеют $p = 0{,}6$; $0{,}8$; $1{,}0$ и $1{,}2$ и втулочное отношение $d_{вт}/d_м = 0{,}4$. Возможно также использование мешалок с втулочным отношением 0,3.

Винтовая мешалка с крыловидным профилем лопасти представляет собой конструкцию, состоящую из цилиндрической втулки с внутренним d и наружным диаметром $d_{вт}$, заодно с которой отлиты три лопасти сложной пространственной крыловидной формы (рис. 24.60). Мешалка имеет переменный по радиусу шаг, однако этот шаг на внешнем ее диаметре равен единице.

Винтовая мешалка с постоянной толщиной лопасти представляет собой конструкцию, состоящую из цилиндрической втулки с внутренним d и с наружным $d_{вт}$ диаметром, к периферии которой приварены три лопасти постоянной толщины (рис. 24.61).

Лопасти винтовой мешалки имеют форму лепестка с размерами, определяемыми по выражениям: $b = 0{,}22\,d_м$; $R = 0{,}4\,d_м$; $R_1 = 0{,}064\,d_м$.

Турбинные открытые мешалки (рис. 24.62) представляют собой конструкцию, состоящую из цилиндрической втулки с внутренним d и наружным $d_{вт}$ диаметрами, на периферии которой установлен колесный диск диаметром $d_2 = 0{,}75\,d_м$, несущий на себе шесть плоских лопастей, равномерно расположенных по его окружности. Длина каждой лопасти равна $l = 0{,}25\,d_м$. Внутренний диаметр расположения лопастей равен $d_1 = 0{,}5\,d_м$. Высота лопасти равна $b = 0{,}2\,d_м$.

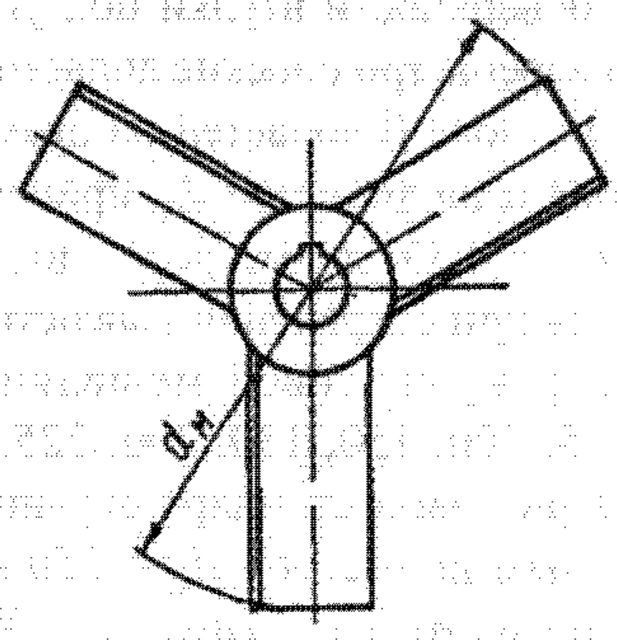
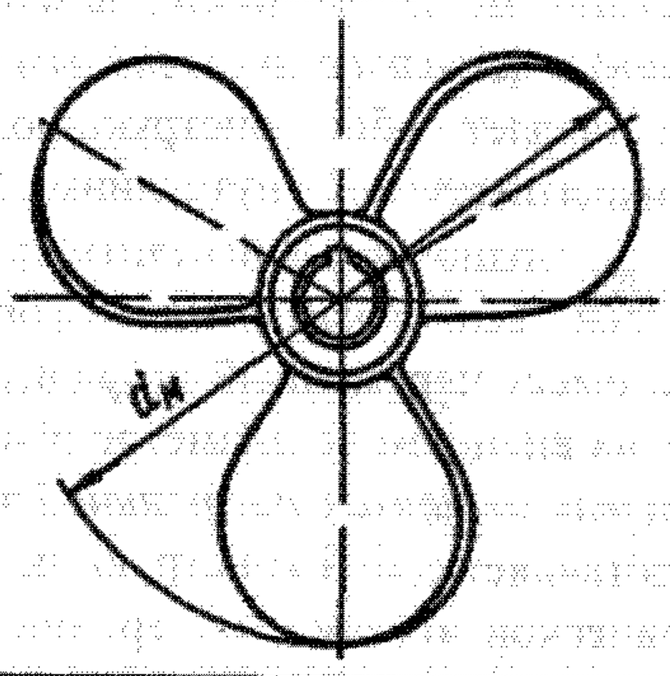
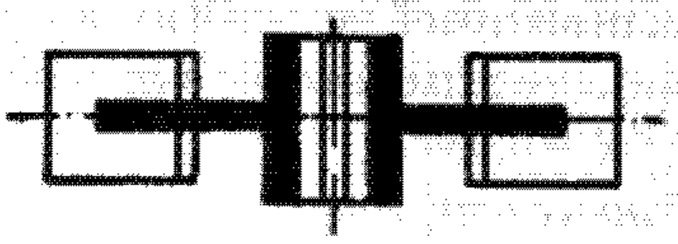
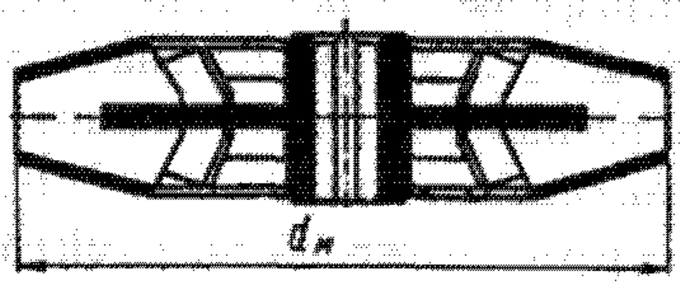
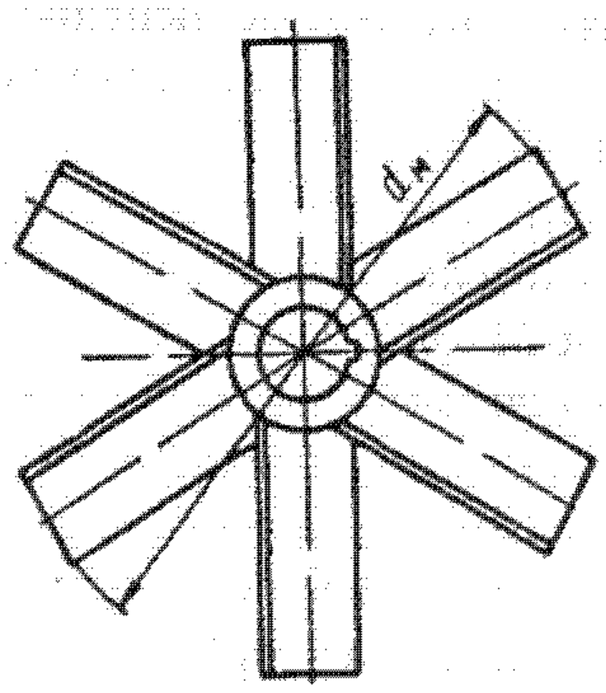
Открытые турбинные мешалки выпускаются в двух исполнениях: неразъемные (исполнение 1) — на весь диапазон диаметров; разъемные (исполнение 2) — на диаметры 450—1400 мм.

Турбинные закрытые мешалки в отличие от открытых имеют плоские лопасти конической формы с углом при вершине 22° 30′. Лопасти с обеих сторон закрыты коническими дисками (рис. 24.63). Размеры d_1, d_2 и l для закрытых мешалок определяются по тем же формулам, что и для открытых, при этом $s_1 = s_2 = s$.

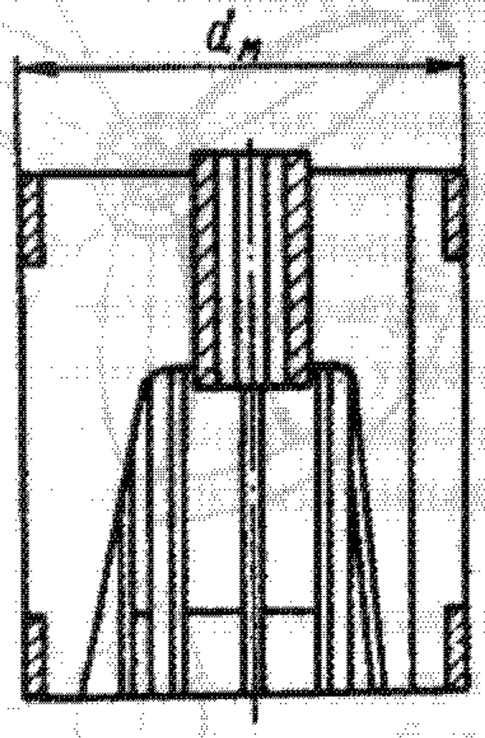
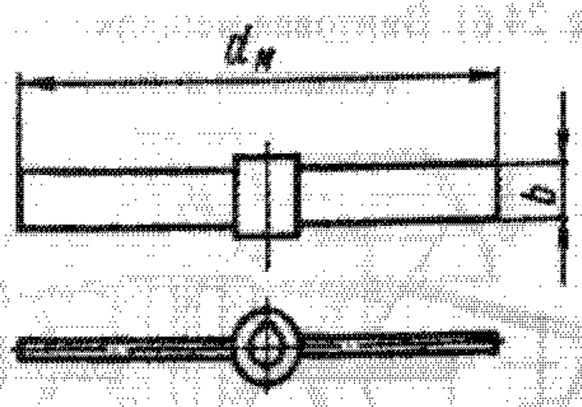
Закрытая турбинная мешалка может быть использована для подачи газа в перемешиваемую жидкость. В этом случае ее обычно монтируют в центральной всасывающей трубе, имеющей на нижнем конце конусообразное

Таблица 24.29

Быстроходные мешалки

Обозначение	Конструкция мешалки	Диаметр мешалки $d_м$, мм	
		по ГОСТ 20680—75	по ОСТ 26-01-1245—75
01	Трехлопастная 		От 80 до 1250 соответствует ГОСТ 20680—75, далее применяются только 1320 и 1400
02	Винтовая 	80; 100; 125; 160; 180; 200; 220; 250; 280; 320; 360; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250; 1400; 1600; 1800; 2000; 2240; 2500	Не применяется. Заменяется трехлопастной
03	Турбинная открытая 		От 80 до 1250 соответствует ГОСТ 20680—75, далее применяются только 1320 и 1400
04	Турбинная закрытая 		
05	Шестилопастная 		От 100 до 1250 соответствует ГОСТ 20680—75, далее применяются только 1320 и 1400

Продолжение табл. 24.29

Обозначение	Конструкция мешалки	Диаметр мешалки $d_м$, мм	
		по ГОСТ 20680—75	по ОСТ 26-01-1245—75
06	Клетьевая 	80; 100; 125; 160; 180; 200; 220; 250; 280; 320; 360; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250; 1400; 1600; 1800; 2000; 2240; 2500	От 80 до 1250 соответствует ГОСТ 20680—75
07	Лопастная 	Весь указанный выше ряд и далее 2800, 3150, 3550	От 125 до 2240 соответствует ГОСТ 20680—75

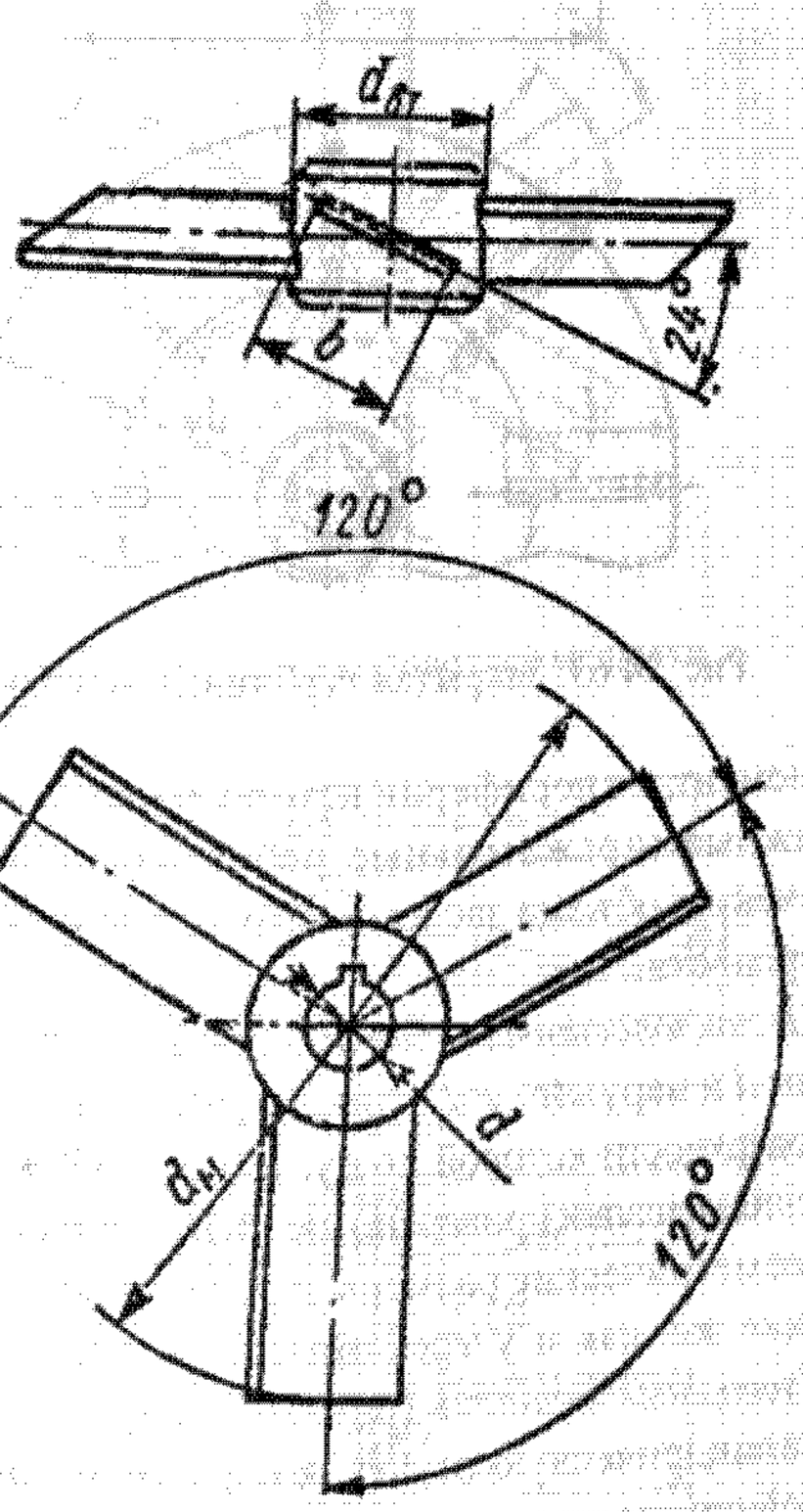
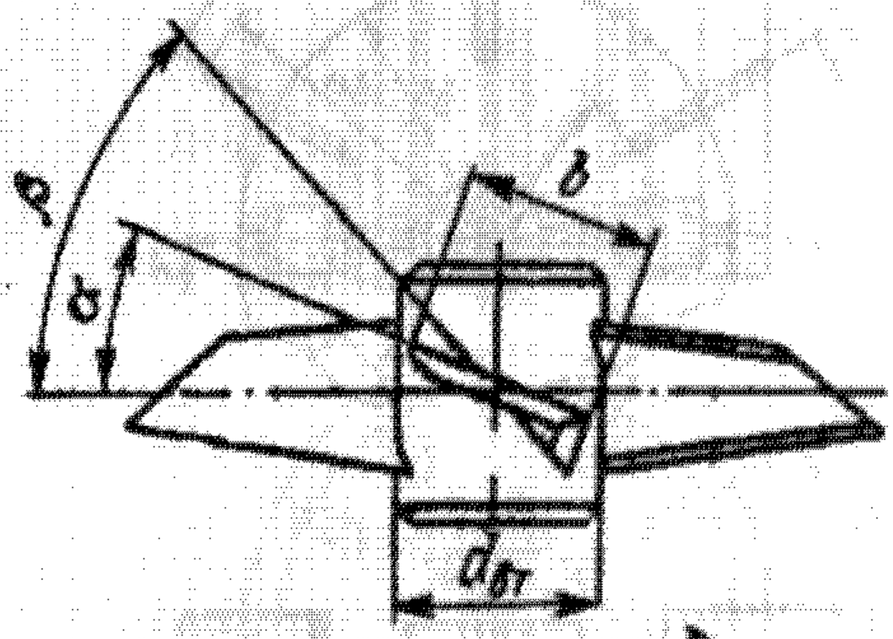


Рис. 24.58. Трехлопастная мешалка



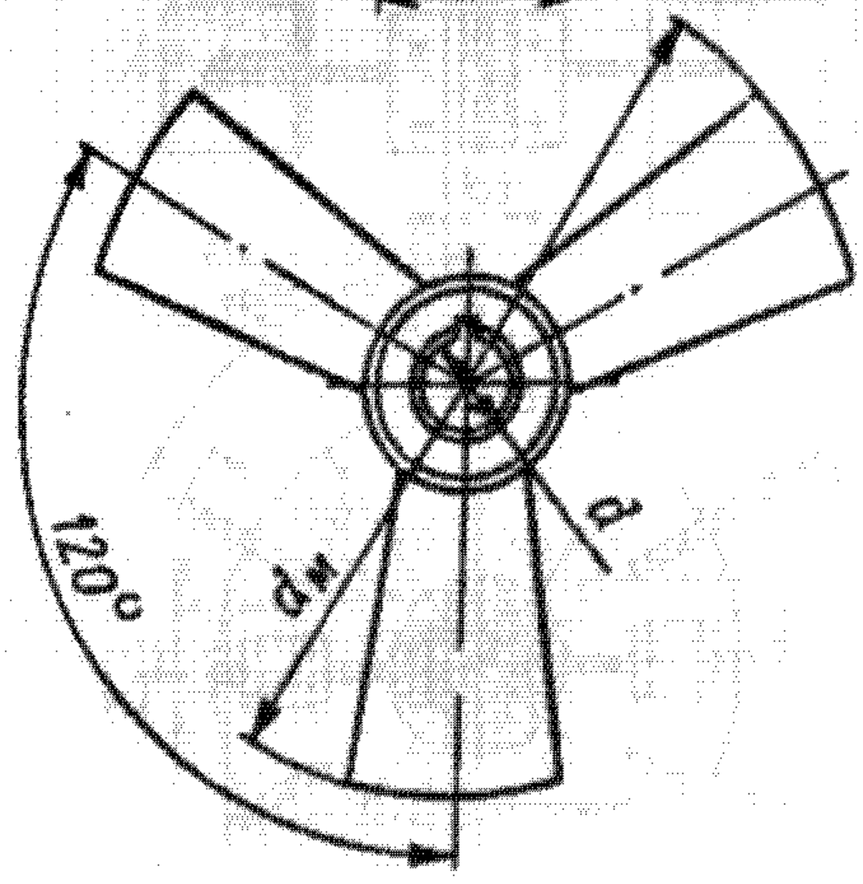


Рис. 24.59. Винтовая мешалка с постоянным шагом винтовой линии

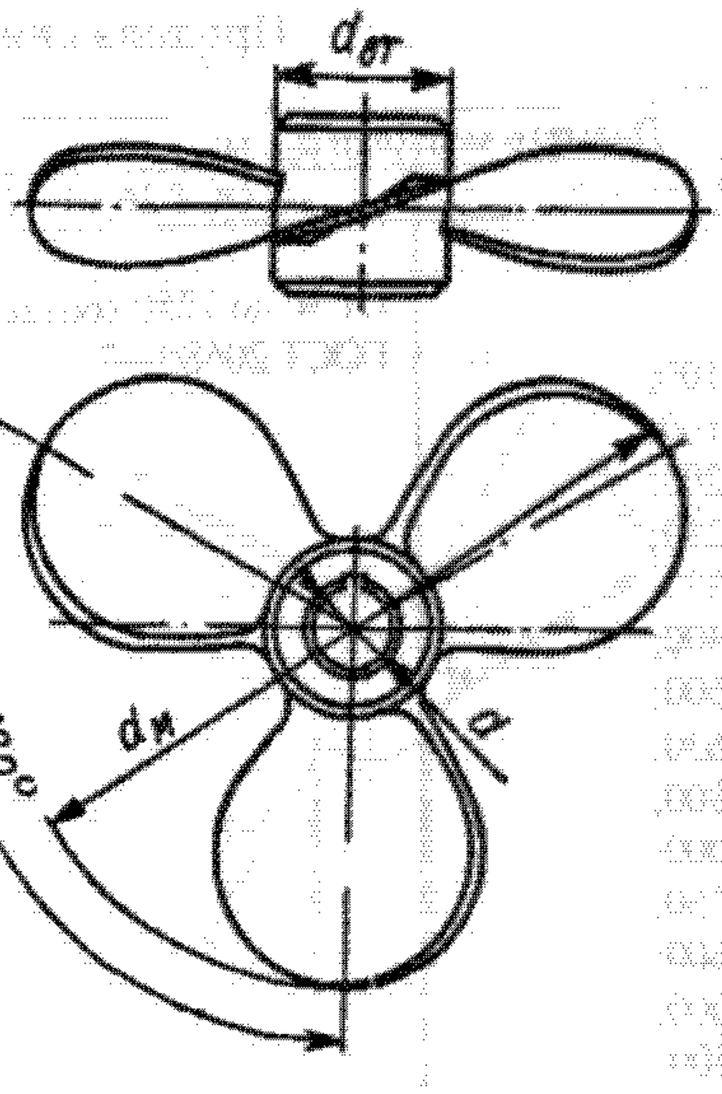


Рис. 24.60. Литая винтовая мешалка с профилем крыловидной формы

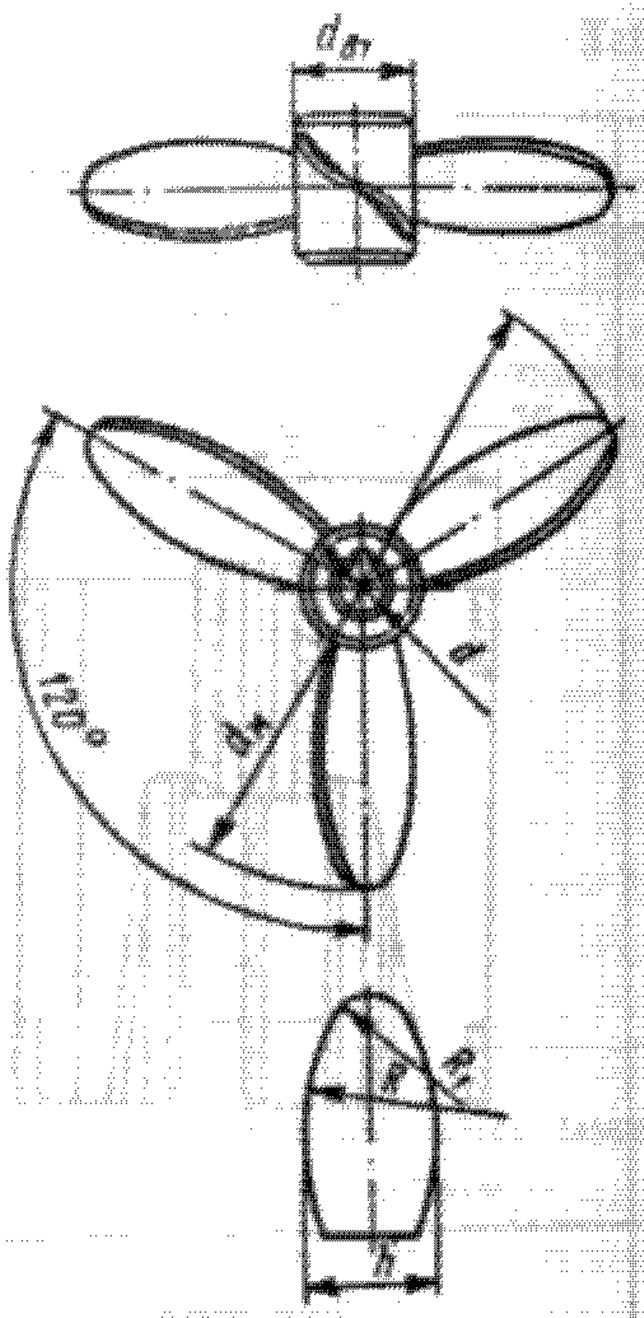


Рис. 24.61. Винтовая мешалка с постоянной толщиной лопасти

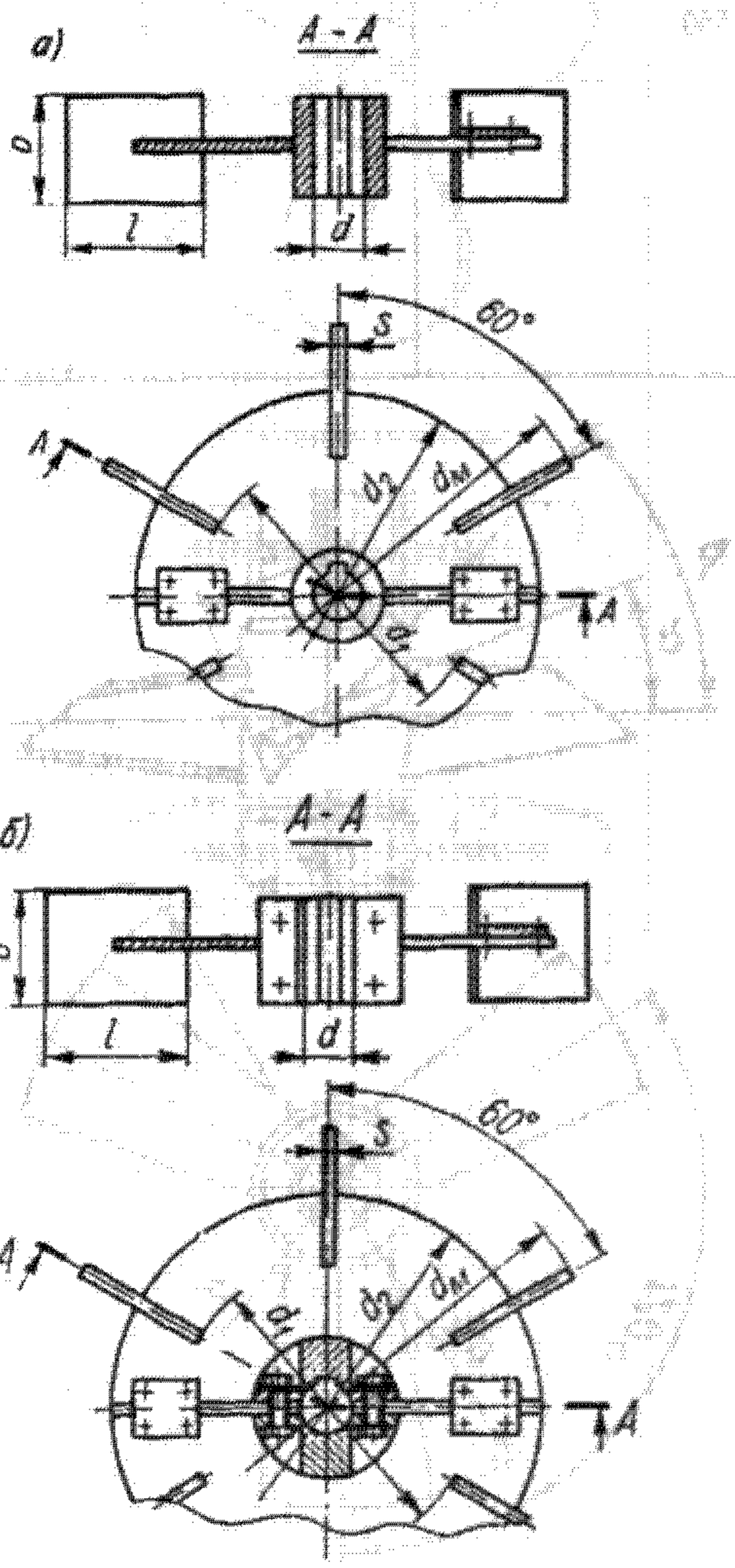


Рис. 24.62. Открытая турбинная мешалка: *а* — неразъемная; *б* — разъемная

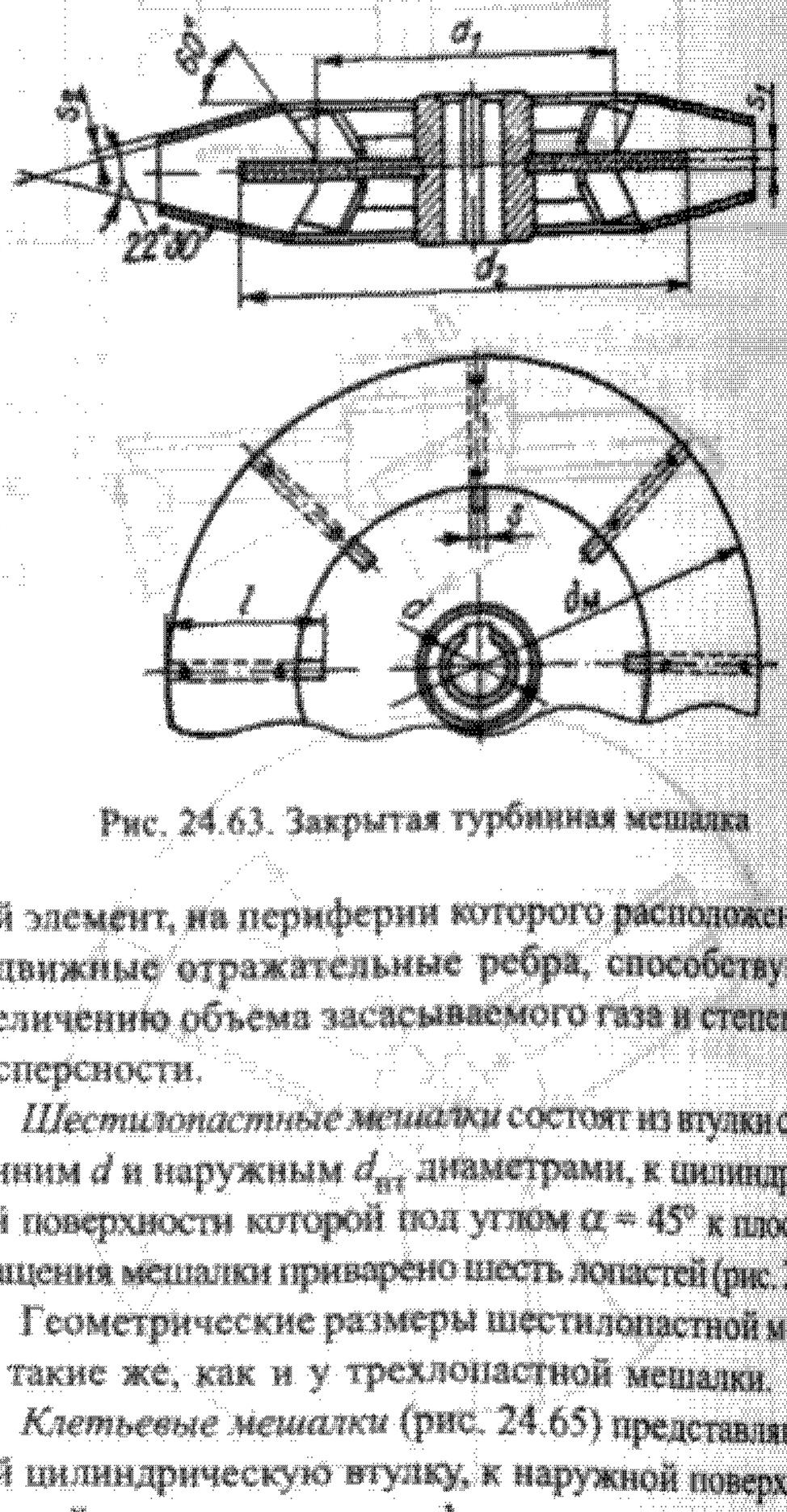


Рис. 24.63. Закрытая турбинная мешалка

кий элемент, на периферии которого расположены неподвижные отражательные ребра, способствующие увеличению объема засасываемого газа и степени его дисперсности.

Шестилопастные мешалки состоят из втулки с внутренним d и наружным $d_{вт}$ диаметрами, к цилиндрической поверхности которой под углом $\alpha = 45°$ к плоскости вращения мешалки приварено шесть лопастей (рис. 24.64).

Геометрические размеры шестилопастной мешалки такие же, как и у трехлопастной мешалки.

Клетьевые мешалки (рис. 24.65) представляют собой цилиндрическую втулку, к наружной поверхности которой приварены четыре фигурные лопасти *4*, скрепленные бандажами *1* и *3*. К внутренней поверхности бандажей приварены две плоские лопасти *2*, расположен-

ные равномерно по окружности между фигурными лопастями.

Лопастные мешалки (рис. 24.66) состоят из втулки, к цилиндрической поверхности которой под углом 90° к плоскости ее вращения приварены две плоские лопасти. Мешалки изготавливаются неразъемными и разъемными. Весь ряд мешалок, начиная с $d_м = 80$ мм и кончая $d_м = 2240$ мм включительно, изготавливается неразъемным. При этом для сохранения прочности, начиная с $d_м = 710$ мм, мешалки имеют укрепляющие ребра, толщина .которых равна толщине лопастей мешалки s. Длина укрепляющих ребер выбирается из соотношения $l_р = 0{,}63\ d_м$; суммарная ширина укрепляющих ребер — $b_р = 1{,}56\ b$, где b — ширина лопасти, $b = 0{,}1\ d_м$. Разъемные лопастные мешалки изготавливают начиная с $d_м = 710$ мм.

Лопастные эмалированные мешалки представляют собой конструкцию, состоящую из вала и полых лопастей, приваренных к валу таким образом, чтобы внутренние полости этих лопастей сообщались между собой. Все поверхности вала и лопастей покрывают стеклоэмалью. Лопастные эмалированные мешалки показаны на рис. 24.67—24.69.

Эмалированные мешалки могут устанавливаться в гладкостенных эмалированных аппаратах или в аппаратах с отражательными перегородками. Эмалированные отражательные перегородки представляют собой четыре плоские трубы, закрепленные на патрубках в крышке аппарата. Отражательные перегородки могут быть заменены на отражатели (рис. 24.70), которые также представляют собой цилиндрическую полую трубу диаметром $d_э$, перпендикулярно поверхности которой приварены две плоские лопасти шириной $b_э$. При этом $d_э \approx 0{,}05\ D$, $b_э \approx 0{,}07\ D$ и $l_э \approx 0{,}175\ D$. Зазор $\delta_э$ выбирают равным $\delta_э = (0{,}025 — 0{,}125)D$.

В аппарате обычно используются три или четыре отражателя, так как в этом случае асимметрия потока жидкости и радиальная сила, действующая на вал мешалки, будут минимальными.

Высота лопасти двухлопастной эмалированной мешалки составляет $b = 0{,}1\ d_м$, трехлопастной $b = 0{,}122\ d_м$, двухлопастной ($\alpha = 45°$) $b = 0{,}14\ d_м$.

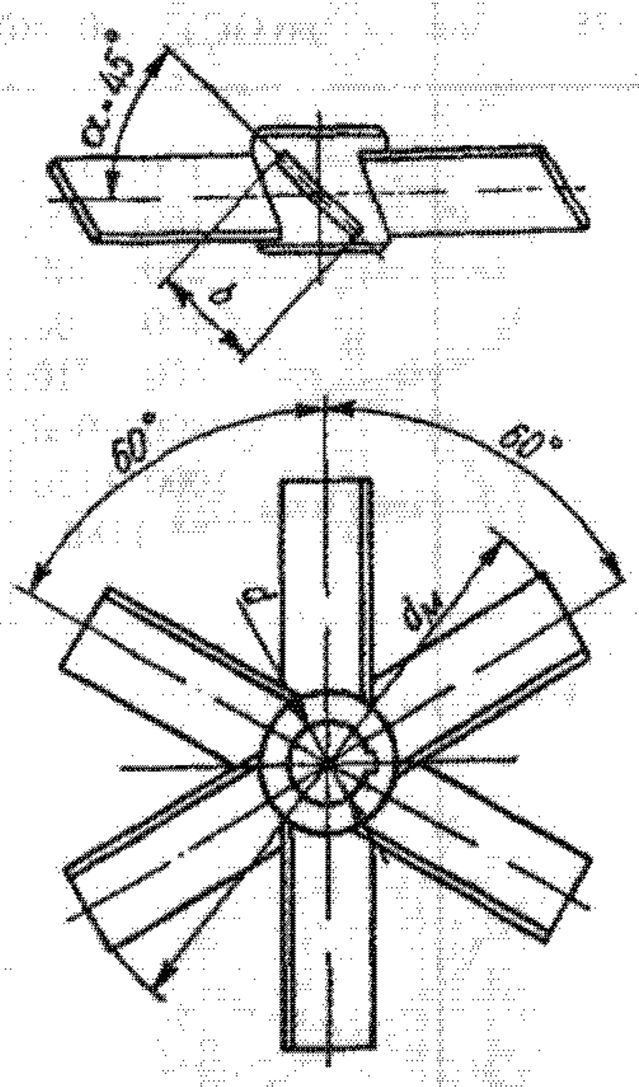


Рис. 24.64. Шестилопастная мешалка

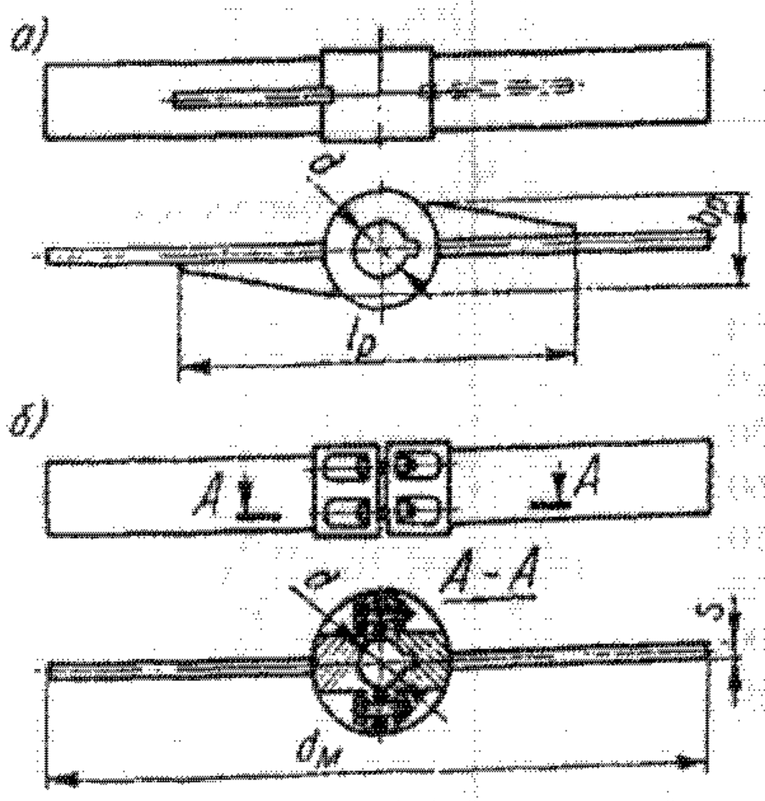


Рис. 24.66. Лопастная мешалка: *а* — неразъемная; *б* — разъемная

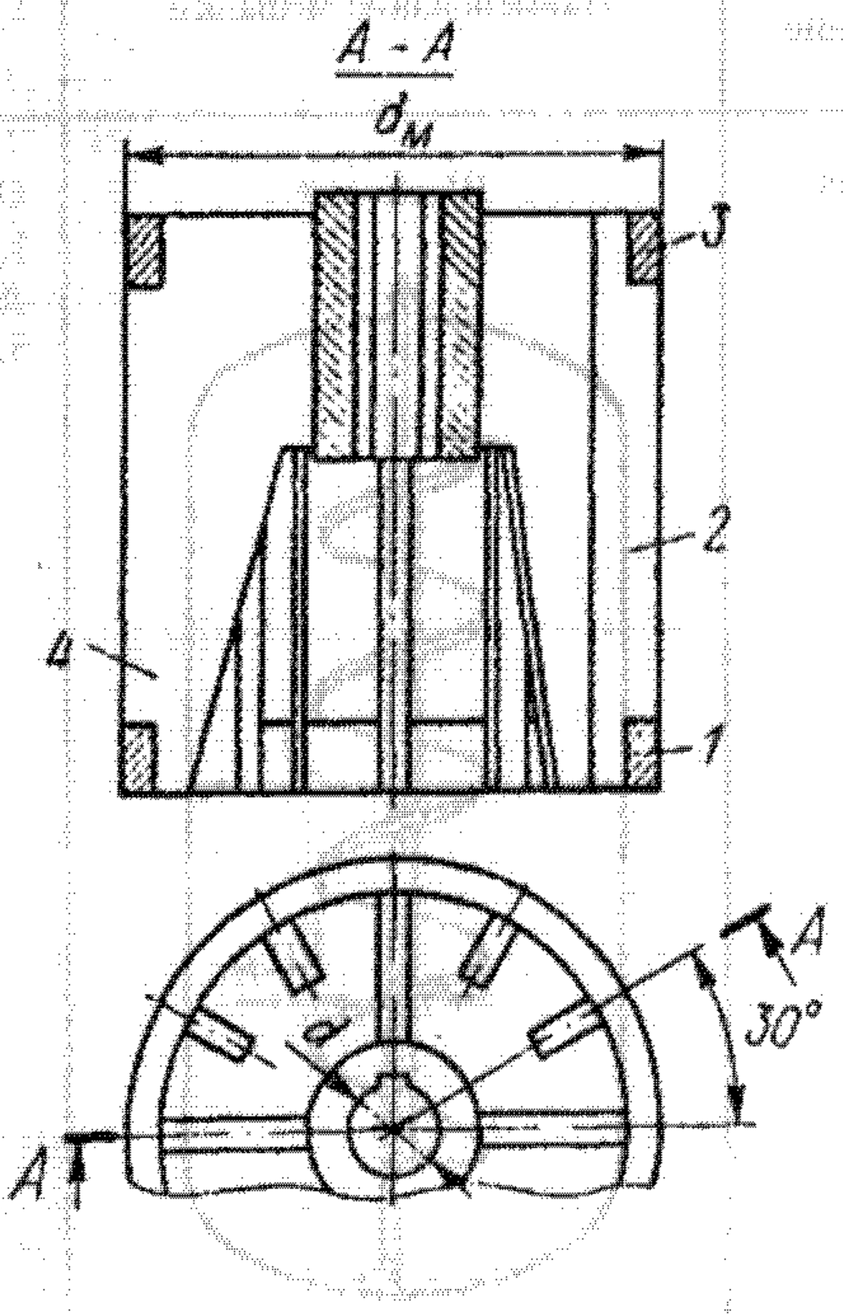


Рис. 24.65. Клетьевая мешалка

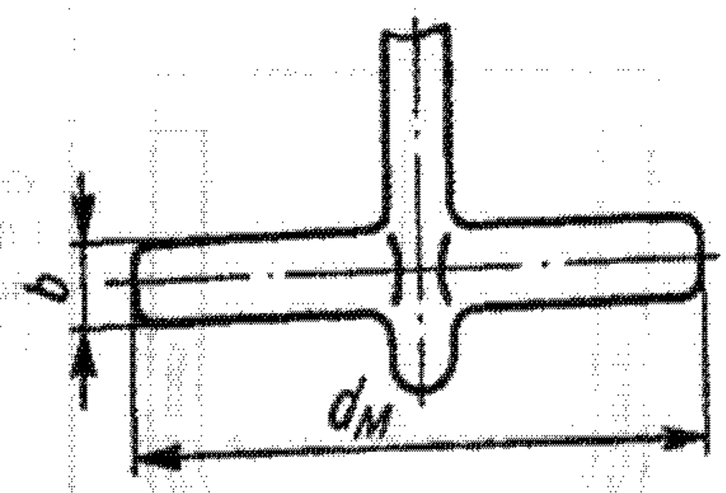


Рис. 24.67. Двухлопастная эмалированная мешалка

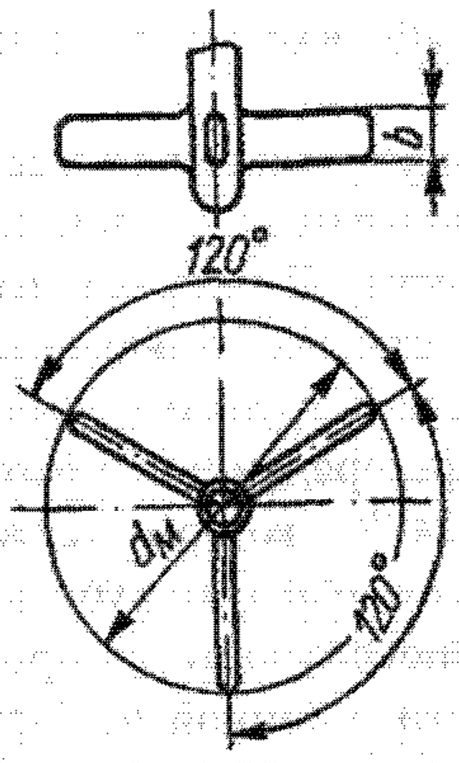


Рис. 24.68. Трехлопастная эмалированная мешалка

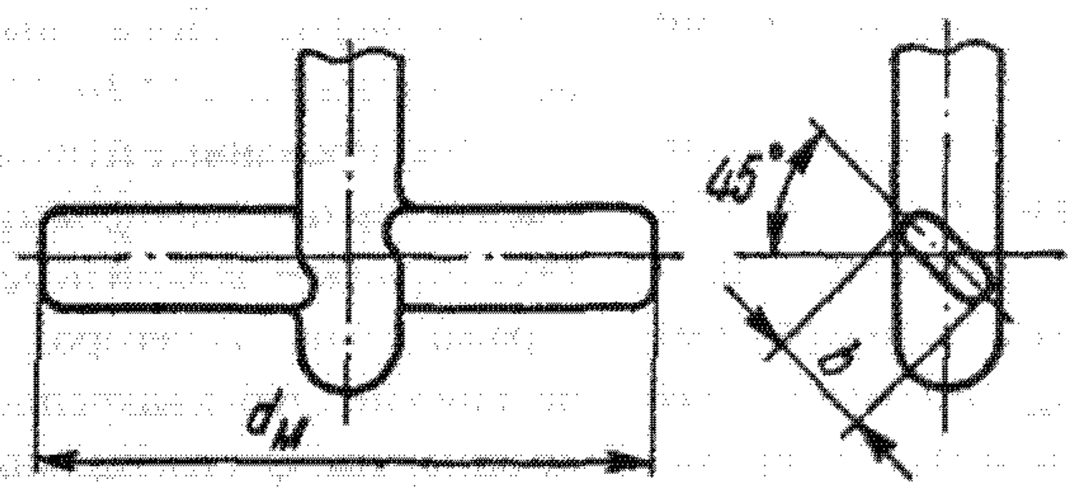


Рис. 24.69. Двухлопастная эмалированная мешалка с углом наклона лопасти $\alpha = 45°$

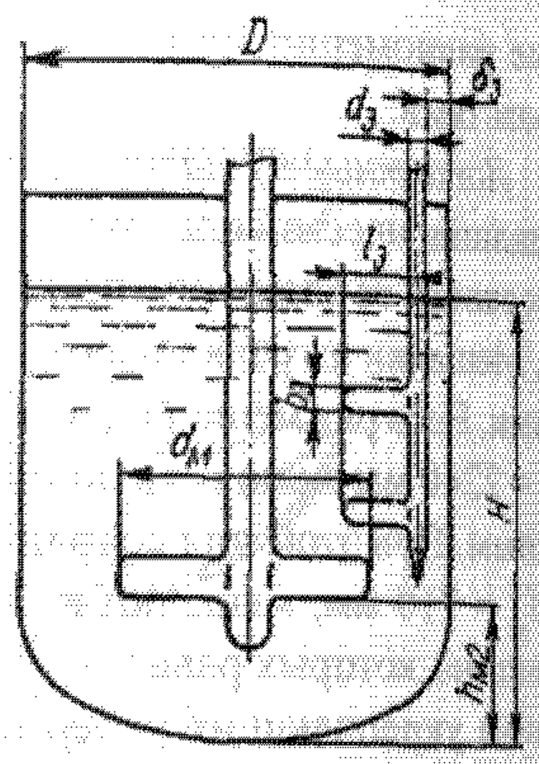
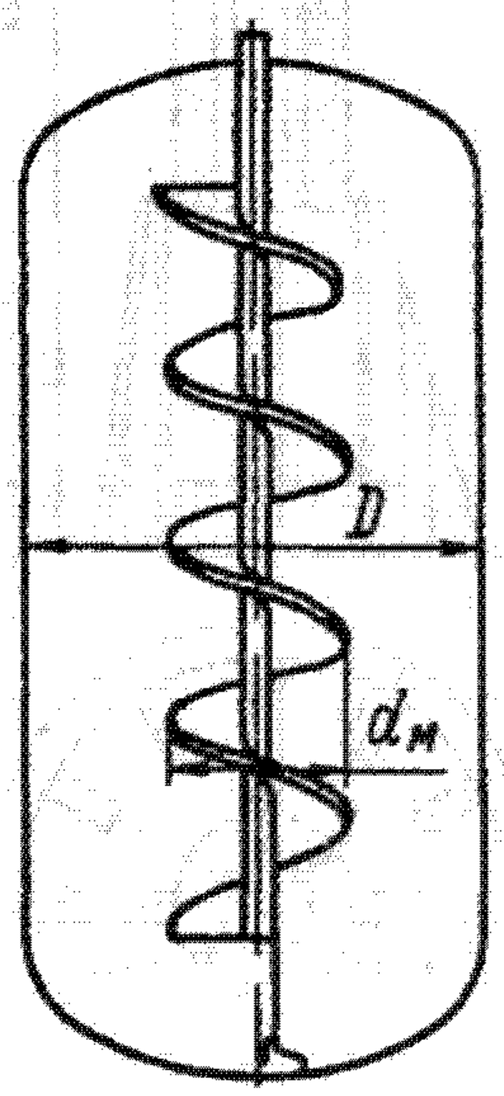
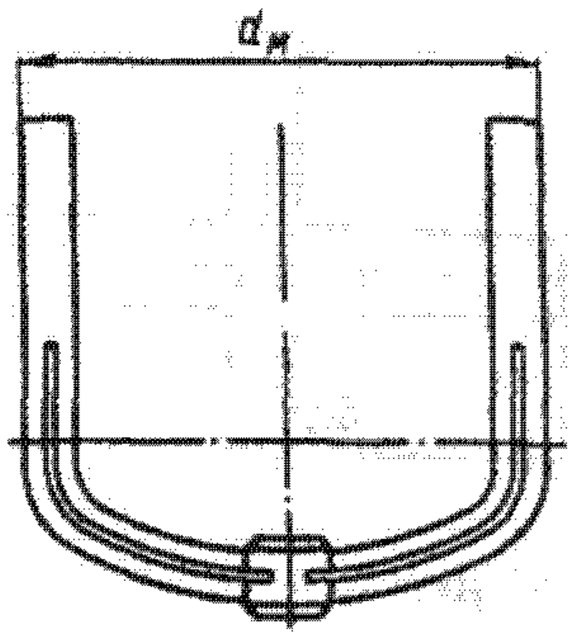


Рис. 24.70. Схема установки эмалированных мешалок в аппарате с отражателем

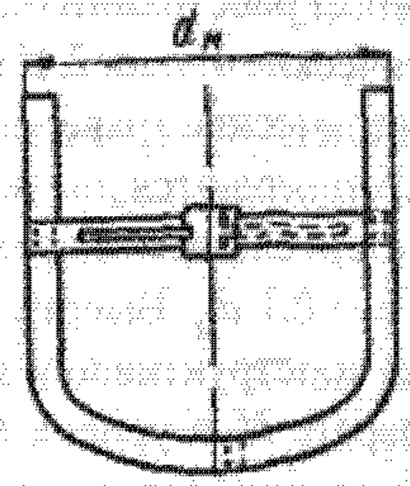
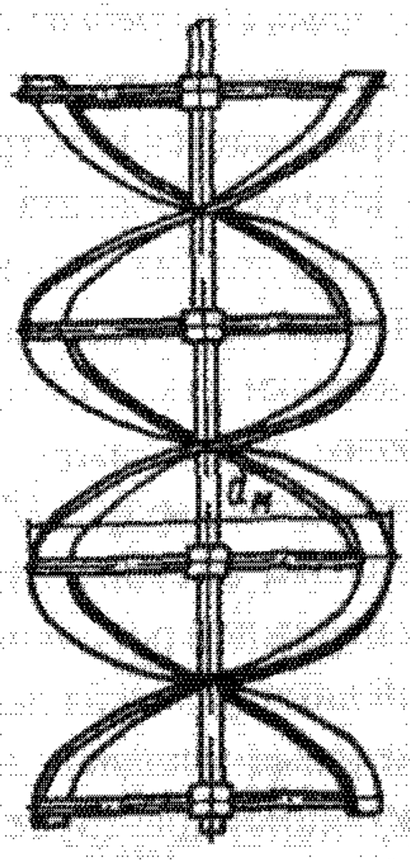
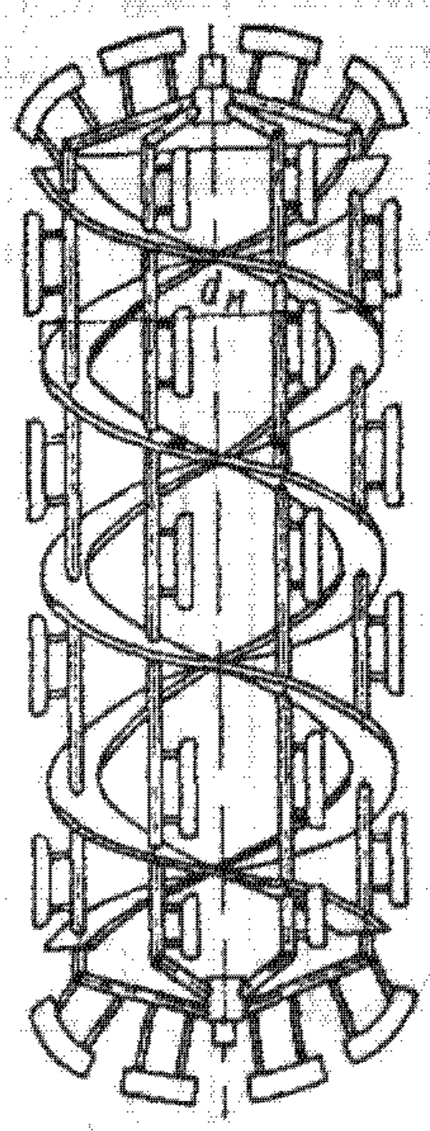
В табл. 24.30 приведены конструкции тихоходных мешалок по ГОСТ 20680—75 и ОСТ 26-01-806—73.

Таблица 24.30

Тихоходные мешалки

Обозначение	Наименование мешалки	Γ_D	Диаметр мешалки $d_м$, мм	
			по ГОСТ 20680—75	по ОСТ 26-01-806—73
08	Шнековая 	От 1,8 до 5,0	80; 100; 125; 160; 180; 200; 220; 250; 280; 320; 360; 400; 450; 500; 560; 630; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1250; 1400; 1600; 1800; 2000; 2240; 2500; 2800	100; 140; 160; 200; 250; 300; 400; 500; 600; 710; 800; 900; 1000; 1120; 1180
09	Якорная 	От 1,05 до 1,3	200; 220; 250; 280; 300; 320; 360; 400; 450; 500; 530; 560; 600; 630; 710; 750; 800; 850; 900; 950; 1000; 1060; 1120; 1180	Не применяются

Продолжение табл. 24.30

Обозначение	Наименование мешалки	Γ_D	Диаметр мешалки d_M, мм	
			по ГОСТ 20680—75	по ОСТ 26-01-806—73
10	Рамная 	От 1,05 до 1,3	1250; 1320; 1400; 1500; 1600; 1700; 1800; 1900; 2000; 2120; 2240; 2360; 2500; 2650; 2800; 3000; 3150; 3350; 3550; 3750; 4000; 4250; 4500; 4750	От 200 до 3000* соответствует ГОСТ 20680—75
11	Ленточная 	От 1,04 до 1,3	200; 300; 360; 450; 560; 630; 750; 850; 950; 1120; 1320; 1500; 1700; 1900; 2120; 2240; 2500; 2650; 2800; 3000; 3150; 3350; 3550; 3750; 4000; 4250; 4500; 4750	От 200 до 2800 соответствует ГОСТ 20680—75 (отсутствуют диаметры 630; 850)
12	Ленточная со скребками 	От 1,04 до 1,1	560; 630; 750; 850; 950; 1120; 1320; 1500; 1700; 1900; 2120; 2240; 2500; 2650; 2800; 3000; 3150; 3350	1000; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000

* Для рамных мешалок — по ОСТ 26-01-1245—75.

Тихоходные мешалки в основном применяют для гомогенизации и усреднения высоковязких и неньютоновских сред, интенсификации тепломассообмена.

Тихоходные мешалки, как правило, используются только в гладкостенных аппаратах, исключением является шнековая мешалка, которая может быть также использована в аппаратах с циркуляционной трубой и с отражательными перегородками.

Якорная мешалка состоит из цилиндрической втулки, к наружной поверхности которой приварены две профилированные лопасти. Профиль лопастей мешалки соответствует внутренней поверхности корпуса аппарата (рис. 24.71): в нижней своей части лопасти имеют эллиптическую или коническую форму, а в верхней — они представляют собой две плоские вертикальные пластины, торец которых параллелен цилиндрической части корпуса аппарата. Наружный диаметр якорной мешалки выбирается в соответствии с данными, приведенными в табл. 24.30.

Разновидностью якорной мешалки является якорная эмалированная мешалка (рис. 24.72), выполняемая из полых труб, приваренных перпендикулярно к цилиндрической поверхности вала. При этом высоту H_1 выбирают по формуле $H_1 = 0{,}6\,d_м$, а толщину — по выражению $b = 0{,}1\,d_м$.

Рамная мешалка состоит из одной или двух цилиндрических втулок, к наружным поверхностям которых приварены две плоские радиальные лопасти, на периферии которых установлены по одной плоской профилированной лопасти (рис. 24.73 и 24.74).

В зависимости от размеров рамные мешалки выпускаются неразъемными (исполнение 1) для диаметров 200—1600 мм и разъемными (исполнение 2) для диаметров 800—3000 мм. При этом разъемные мешалки изготавливаются двух вариантов: мешалки с диаметром 300—1600 мм имеют одну разъемную ступицу, а мешалки с диаметрами 1700 — 3000 мм — две разъемные ступицы. Как первый, так и второй тип мешалок приспособлен к использованию в аппаратах с эллиптическим или коническим днищем. При изготовлении рамных мешалок выдерживаются следующие соотношения их основных размеров: $r = 0{,}152\,d_м$; $R = 0{,}82\,d_м$; $l = l_1 = 0{,}3\,d_м$.

Ленточные мешалки (рис.24.75) представляют собой конструкцию, состоящую из вертикального вала, на котором на равном расстоянии одна от другой установлены цилиндрические втулки *2*. К каждой втулке приварены две цилиндрические траверсы *1*, на периферийную часть которых опираются две плоские ленты *4* и *5* шириной b с относительным шагом $p = (t/d_м) = 1{,}0$. Ширина лопасти $b = 0{,}1\,d_м$. Высота ленточной мешалки H_1 принимается конструктивно в зависимости от высоты корпуса аппарата H и уровня H жидкости в нем.

Ленточные мешалки используются в аппаратах, имеющих следующие геометрические характеристики: $1{,}0 \le (H/D) \le 3{,}0$ и $1{,}04 \le \Gamma_D \le 1{,}3$.

Ленточные мешалки со скребками используются для интенсификации процесса теплоотдачи (рис. 24.76). Высота мешалки H_1 принимается конструктивно в зависимости от высоты корпуса аппарата H и уровня жидкости в нем. Эта высота должна быть кратной $0{,}166\,t$. Все размеры ленточной мешалки со скребками идентичны размерам ленточной мешалки (рис. 24.75), однако применять эту мешалку наиболее рационально в аппаратах, имеющих относительную высоту корпуса $H/D = 2{,}3$ — $3{,}0$.

Шнековая мешалка состоит из цилиндрической втулки или вала, к наружной поверхности которых приварена по винтовой линии плоская лента, имеющая шаг t (рис. 24.77). Шнековые мешалки, как правило, устанавливают в циркуляционной трубе. Однако возможны и другие способы монтажа, показанные на рис. 24.77.

В случае установки шнековой мешалки в циркуляционной трубе должны соблюдаться следующие конструкционные соотношения между отдельными размерами элементов аппарата: $1{,}8 \le \Gamma_B \le 2{,}7$; $0{,}14 \le (d_в/d_м) \le 0{,}30$; $1{,}05 \le d_т/d_м \le 1{,}15$; $1{,}0 \le (H/D) \le 3{,}0$ и $p = t/d_м = \text{const} = 1{,}0$.

В табл. 24.31 приведены рекомендуемые типы мешалок в зависимости от назначения аппарата.

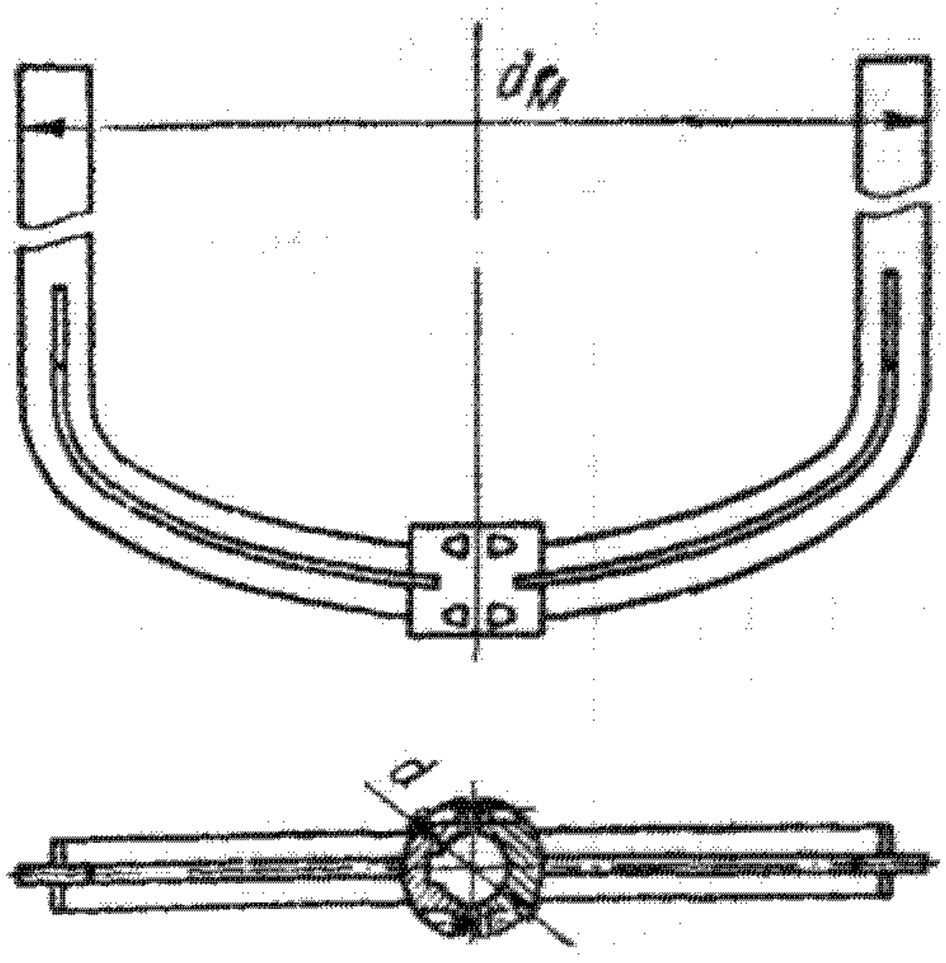


Рис. 24. 71. Якорная мешалка

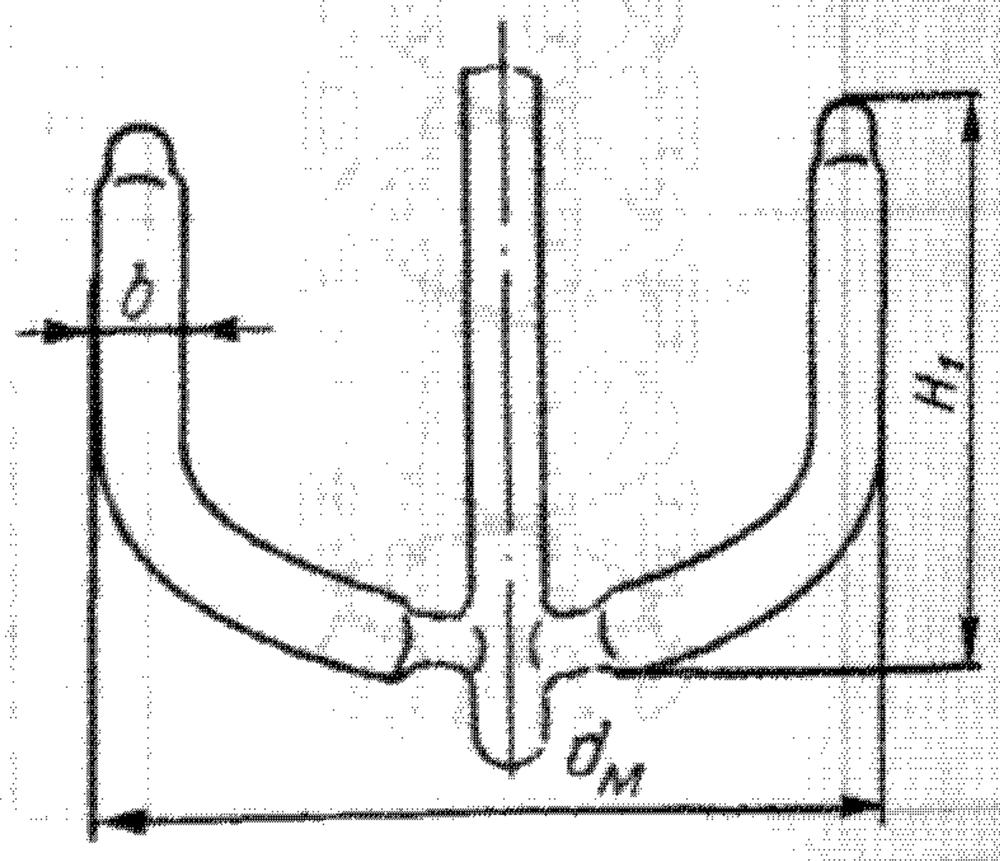


Рис. 24. 72. Якорная эмалированная мешалка

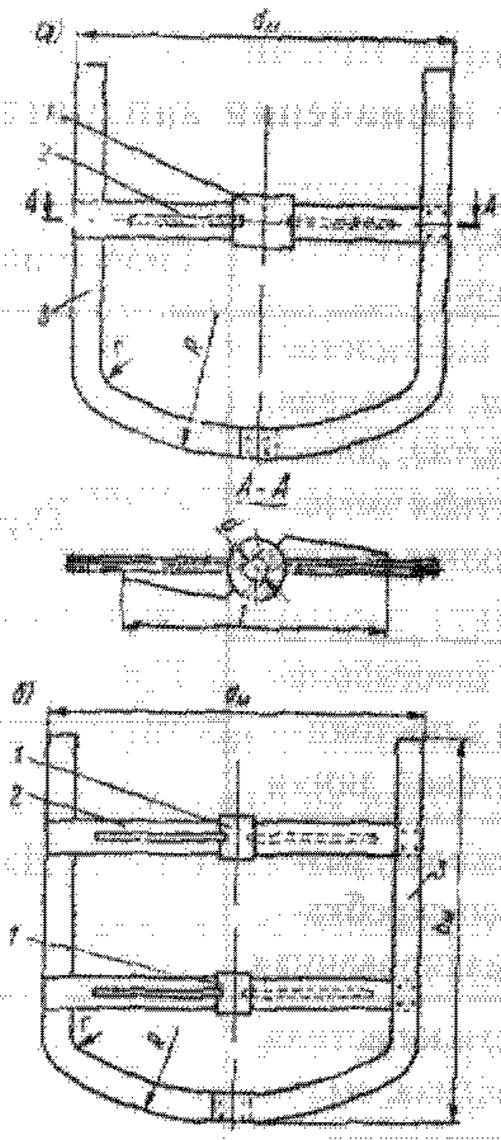


Рис. 24.73. Рамная мешалка для работы в аппаратах с эллиптическим днищем: *а* — с одной ступицей; *б* — с двумя ступицами
1 — ступица; *2* — плоская радиальная лопасть; *3* — плоская периферийная лопасть

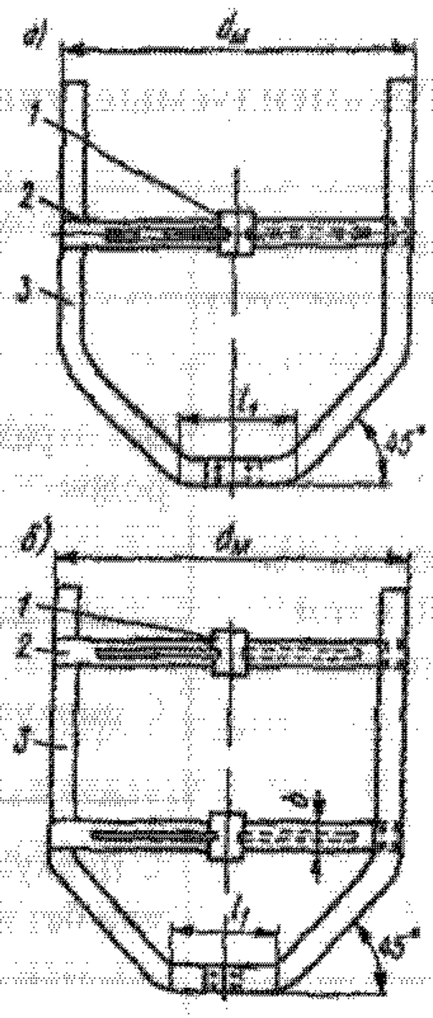


Рис. 24.74. Рамная мешалка (исполнение I) для работы в аппаратах с коническим днищем: *а* — с одной ступицей; *б* — с двумя ступицами; *1* — ступица, *2* — плоская радиальная лопасть, *3* — плоская периферийная лопасть

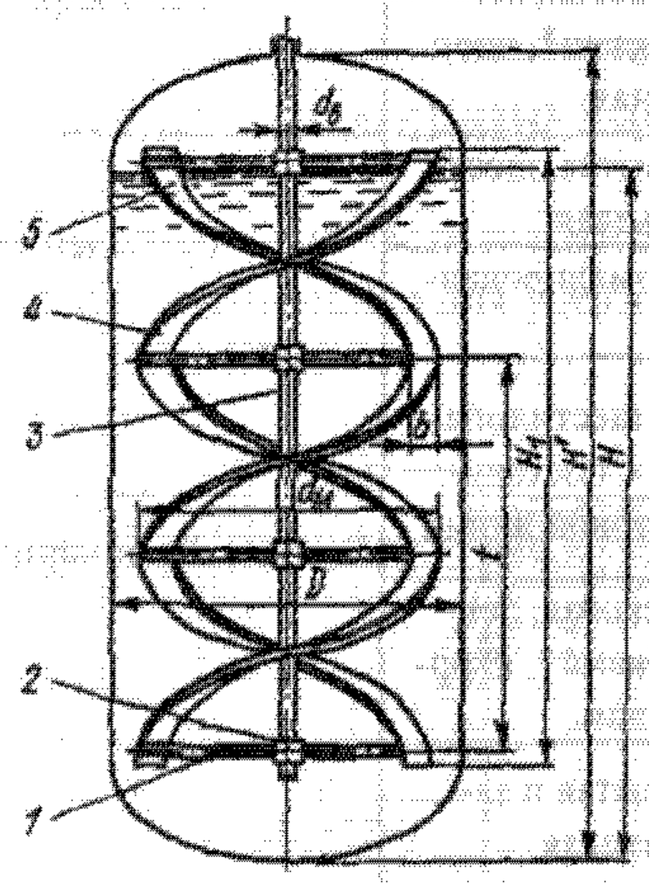


Рис. 24.75. Ленточная мешалка:
1 — радиальная траверса; *2* — втулка; *3* — вал; *4* и *5* — спиральные ленты

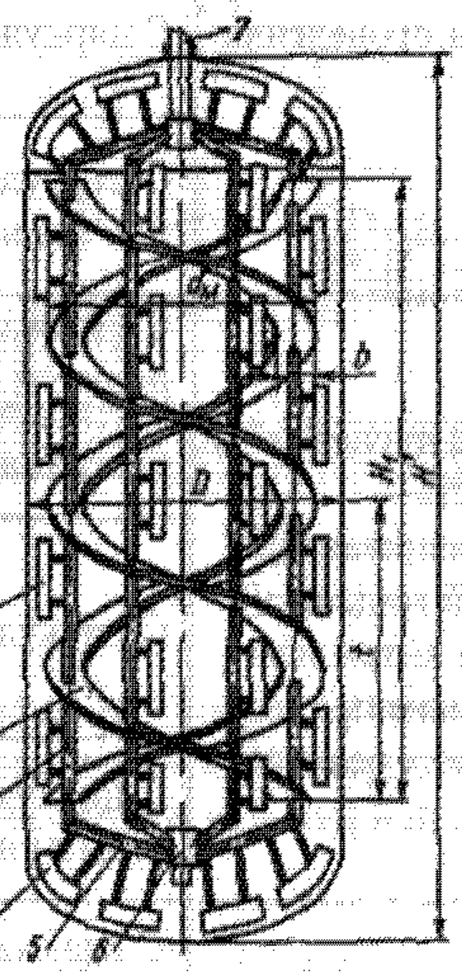


Рис. 24.76. Ленточная мешалка со скребками:
1 — скребок; *2* — спиральная лента; *3* — вертикальная траверса; *4* — скребок с эллиптической торцевой поверхностью; *5* — радиальная траверса; *6* — втулка; *7* — вал

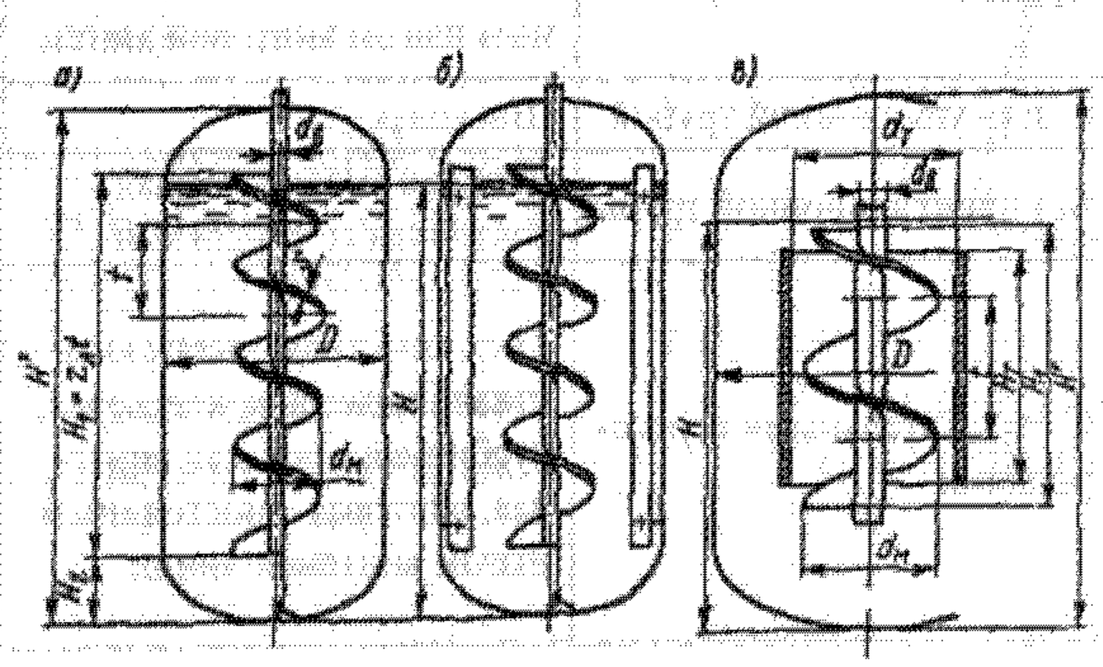


Рис. 24.77. Шнековая мешалка: *а* — в гладкостенном аппарате; *б* — в аппарате с отражательными перегородками; *в* — в аппарате с циркуляционной трубой

Таблица 24.31

Рекомендуемые типы мешалок в зависимости от назначения аппарата

Назначение аппарата	Рекомендуемый тип аппарата	Рекомендуемый тип мешалок	Гидродинамический режим
Смешивание взаиморастворимых жидкостей, в том числе при наличии химической реакции	Без отражательных перегородок	Трехлопастная, шестилопастная, лопастная, клетьевая, турбинная открытая, лопастная и трехлопастная эмалированные с наклонными лопастями	Турбулентный
	С циркуляционной трубой	Трехлопастная, шестилопастная, винтовая с постоянным шагом винтовой линии	
	С циркуляционной трубой или без нее	Ленточная, шнековая, рамная, ленточная со скребками*, якорная эмалированная	Ламинарный
Перемешивание дисперсий в системе твердое тело—жидкость, в том числе для растворения или проведения реакции	С отражательными перегородками или без них**	Лопастная, шестилопастная, клетьевая, лопастная, эмалированная, трехлопастная эмалированная с наклонными лопастями	Турбулентный
	С циркуляционной трубой	Трехлопастная, шестилопастная, винтовая с постоянным шагом винтовой линии	
	С циркуляционной трубой или без нее	Ленточная, шнековая, ленточная со скребками*, якорная эмалированная	Ламинарный
Перемешивание дисперсий в системе жидкость—жидкость (несмешивающиеся одна в другой жидкости), в том числе для интенсификации массообмена при наличии химических реакций	С отражательными перегородками	Турбинная открытая, шестилопастная, клетьевая	Турбулентный
	С отражателями	Трехлопастная эмалированная	
	С циркуляционной трубой	Трехлопастная, шестилопастная, винтовая с постоянным шагом винтовой линии	
	С циркуляционной трубой или без нее	Ленточная, шнековая, ленточная со скребками*, якорная эмалированная	Ламинарный
Перемешивание дисперсий в системе газ — жидкость, в том числе для интенсификации массообмена при наличии химических реакций	С отражательными перегородками	Турбинная открытая и закрытая***, клетьевая	Турбулентный
	С отражателями	Трехлопастная эмалированная при $\Gamma D \geq 1{,}5$	
	С циркуляционной трубой	Трехлопастная, шестилопастная , винтовая с постоянным шагом винтовой линии	
	С циркуляционной трубой	Шнековая	Ламинарный
	Без циркуляционной трубы	Якорная эмалированная, ленточная со скребками	
Перемешивание дисперсий в системе жидкость—жидкость (несмешивающиеся одна в другой жидкости), в том числе для интенсификации массообмена при наличии химических реакций	С отражательными перегородками	Трехлопастная, шестилопастная, лопастная, клетьевая, турбинная открытая винтовая, винтовая с постоянным шагом винтовой линии	Турбулентный при наличии разрыва сплошности, вызванного кавитацией

* Применение рекомендуется только при наличии интенсивного теплообмена.

** Применение аппаратов без отражательных перегородок для суспендирования частиц, плотность которых меньше плотности среды, не рекомендуется.

*** Применение рекомендуется только в составе узлов, используемых для всасывания газа в жидкость.

24.5.2. Валы и опоры валов перемешивающих устройств

Валы аппаратов для перемешивания жидких сред представляют собой элемент их конструкции, предназначенный для передачи момента от мотор-редуктора к мешалке.

В зависимости от объемов аппаратов, частоты вращения вала и передаваемого момента в аппаратах с корпусом одного и того же диаметра могут использоваться валы с различными диаметрами $d_в$ (табл. 24.32).

В соответствии с ОСТ 26-01-1299—75 валы аппаратов могут быть разъемными и неразъемными. Как неразъемные, так и разъемные валы могут устанавливаться в корпусах аппаратов всех типов. При этом длина консольного вала $l_к$ зависит от типа корпуса, в котором используется вал, и вида мешалки, для вращения которой он предназначен, и выбирается из ряда:

$l_к$ = 90, 100, 140, 180, 200, 220, 250, 300, 360, 400, 450, 500, 560, 680, 710, 800, 900, 1000, 1060, 1180, 1320, 1400, 1500, 1600, 1700, 1800, 2000, 2240, 2350, 2650, 2800, 3000, 3150, 3350, 3550, 3750, 4000, 4500, 5000, 5300, 6000, 6300, 6700, 7100 мм.

Длина консольной части вала $l_к$ одинакова для трехлопастных, турбинных, шестилопастных и лопастных мешалок. Для рамных мешалок величина $l_к$ меньше, чем для трехлопастных, а для клетьевых мешалок — меньше, чем для рамных.

В нижней консольной части валов имеется монтажная втулка, предназначенная для удержания вала при его монтаже (рис. 24.78).

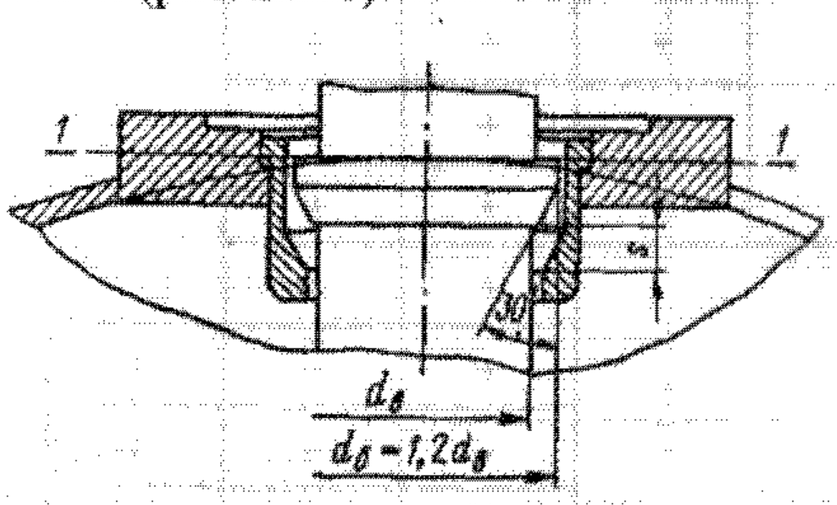


Рис. 24.78. Сопряжение монтажной втулки с элементами корпуса аппарата (сечение *1—1* проходит через точку пересечения внутренней поверхности крышки аппарата с его осью; s≥5мм)

Опоры валов аппаратов представляют собой конструкцию, предназначенную для восприятия осевых и радиальных нагрузок на вал и создания наиболее благоприятных условий для его работы.

В аппаратах для консольных валов используют обычно опоры качения, располагающиеся в стойках привода. Конструкции приводов перемешивающих устройств приведены в томе 2 справочника.

Для увеличения виброустойчивости валов мешалок применяют концевые опоры скольжения, располагающиеся в нижней части корпуса аппарата. Опоры такого типа выполняются внутренними (рис. 24.79) или наружными (рис. 24.80). Концевые опоры внутреннего типа работают погруженными в перемешиваемую среду, поэтому марки материалов, применяемых для трущихся пар этих опор, должны быть коррозионностойкими в перемешиваемой среде. В случае применения наружных концевых опор трения следует предусмотреть их смазку от внешнего источника.

В качестве смазывающей среды может быть использован один из компонентов перемешиваемой жидкости, не содержащей абразивных включений и обладающей наилучшими смазывающими свойствами.

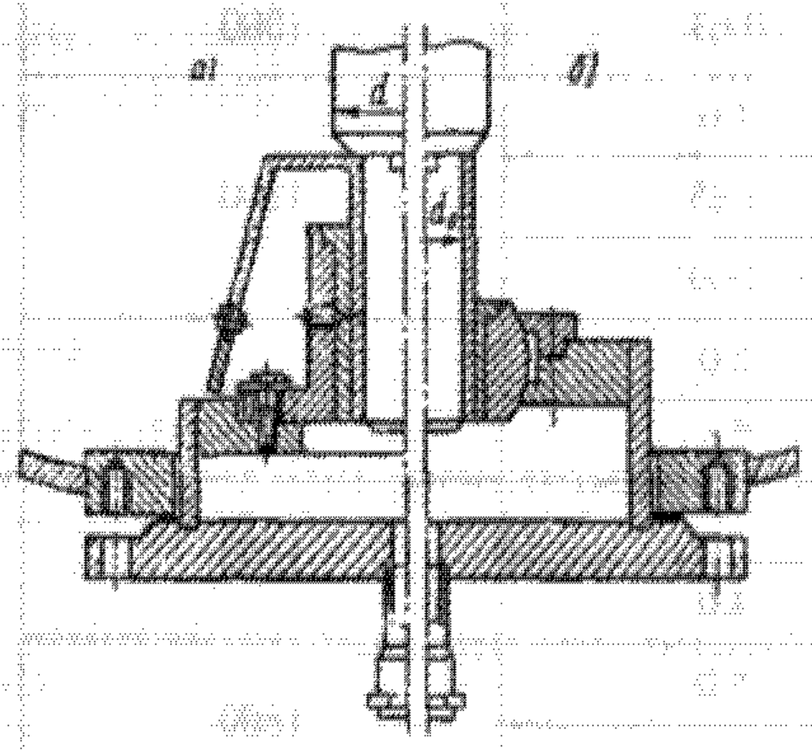


Рис. 24.79. Внутренние опоры трения валов аппаратов:
а — с цилиндрической опорной втулкой;
б — со сферической опорной втулкой

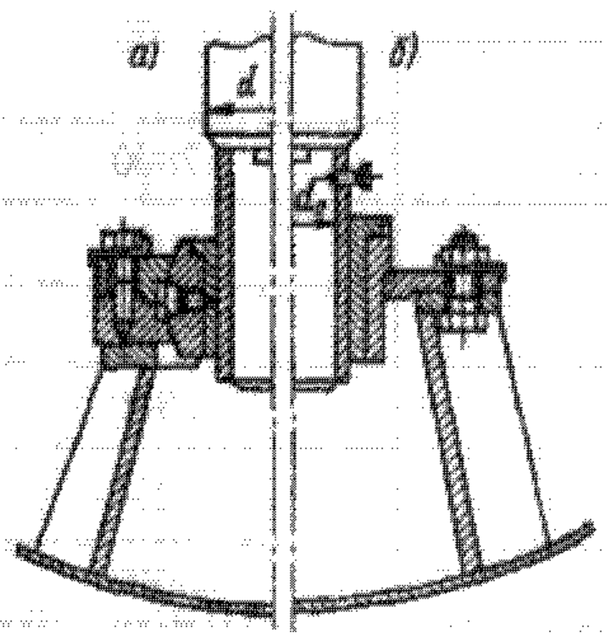


Рис. 24.80. Наружные опоры трения валов аппаратов:
б — с цилиндрической опорной втулкой;
а — со сферической опорной втулкой

Таблица 24.32

Применяемость валов в зависимости от характеристики аппарата

Номинальный объем V, м³	Диаметр аппарата D, мм	Диаметр вала $d_в$, мм							
		25	40	50	65	80	95	110	130
0,01	273*	+							
0,016		+							
0,025	325*	+							
0,040	400	+	+						
0,063		+	+						
0,1	500		+						
0,16	600		+						
0,25	700		+						
0,4	800		+						
0,63	1000		+	+	+				
1,0	1200			+	+				
1,25				+	+	+			
1,60				+	+	+			
2,0	1400			+	+	+			
2,5				+	+	+			
3,2	1600				+	+			
4,0					+	+			
5,0	1800				+	+	+		
6,3					+	+	+		
8	2000				+	+	+		
10	2200					+	+		
12,5	2400					+	+	+	
16						+	+	+	
	2800					+	+	+	
20	2600						+	+	+
	3000						+	+	+
25	2800						+	+	+
	3200						+	+	+
32	3000							+	+
40	3200							+	+
50	3000							+	+
63	3200							+	+

Примечания: 1. Знаком плюс отмечен диаметр вала, который применяется для данного объема аппарата. 2. Наружный диаметр аппарата указан звездочкой.

24.5.2. Стойки вертикальных приводов аппаратов с перемешивающими устройствами (ОСТ 26-01-109—85)

Настоящий стандарт распространяется на вертикальные стойки приводов для аппаратов с перемешивающими устройствами на давление не более 1,6 МПа с диаметром вала в зоне уплотнительного устройства от 40 до 130 мм, применяемых в химической и других отраслях промышленности.

Стойки предназначены для стальных и чугунных аппаратов без покрытий, с эмалевым или полимерным покрытием.

Для футерованных аппаратов стандарт является рекомендуемым.

Стандарт не распространяется на стойки приводов перемешивающих устройств с концевой подшипниковой опорой вала, а также на стойки аппаратов.

Типы и исполнения стоек в сочетании с уплотнительными устройствами должны соответствовать указанным в табл. 24.33.

В стойках типа 1 исполнения 3 допускается применять:

для аппаратов, работающих под избыточным давлением до 0,3 МПа, — торцовые уплотнения типа Т1 по ОСТ 26-01-1243—81;

для аппаратов, работающих под атмосферным давлением,— гидрозатворы по ОСТ 26-01-1242—75.

Основные параметры торцовых уплотнений должны соответствовать ОСТ 26-01-1243—81, сальниковых уплотнений —ОСТ 26-01-1247—75.

Номенклатура и основные параметры применяемых мотор-редукторов типа МП01 и МП02 — по ТУ 2-056-184—80, типа МР1, МП2 и МП3 — по ТУ 2-056-195—80.

Стойки типа 2 исполнения 1, габарит 01 допускается применять с безредукторным приводом, устанавливая электродвигатель через соединительную опорную стойку.

Стойки типов 3 и 4 предназначены для установки на серийно выпускаемых чугунных аппаратах с эмалевым покрытием.

Стойки типа 5 предназначены для установки на стальных аппаратах с эмалевым покрытием.

Применение стоек типов 3, 4 и 5 для других аппаратов не рекомендуется.

Таблица 24.33

Типы и исполнения стоек

Тип	Назначение	Исполнение	Номер рисунка	Давление в корпусе аппарата, не более		Уплотнительные устройства	
				МПа	кгс/см²	торцовые	сальниковые
1	Для стальных аппаратов объемом от 1 до 50 м³	1	24.81	0,6	6	Т4	—
		2		1,6	16		
		3		0,6	6	Т3, Т5	III6, IV6
		4		1,6	16	Т3	—
2	Для стальных аппаратов объемом от 0,25 до 2 м³	1	24.82			Т8	
		2				—	III6, IV6
3	Для аппаратов с эмалевым покрытием	1	24.83	0,6	6		По документации предприятия-изготовителя
4		1	24.84			Т5, Т7	
5		1	24.85			Т7	—

Конструкция и основные размеры стоек должны соответствовать рис. 24.81 —24.85 и табл. 24.34 —24.36.

Пример условного обозначения стойки типа 1, исполнения 2, габарита 03:

Стойка 1203 ОСТ 26-01-109—85.

Стойки должны изготавливаться из чугунных отливок марки СЧ15 и СЧ20 по ГОСТ 1412—79. Допускается изготовление стоек из чугуна других марок, если при этом не ухудшается их качество и не снижается их надежность.

Допускается изготовление сварных стальных стоек типов 1 и 2 без промежуточного разъема, а также с разъемом, смещенным в зону нижнего подшипникового узла, с сохранением габаритных и присоединительных размеров, указанных в настоящем стандарте.

Окна стоек должны быть снабжены съемными защитными ограждениями.

Масса стоек, изготовленных из чугунных отливок, включая массу подшипниковых опор, должна соответствовать указанной в табл. 24.36.

В обоснованных случаях допускается вносить изменения в конструкцию стоек, не приводящие к увеличению габаритов и металлоемкости.

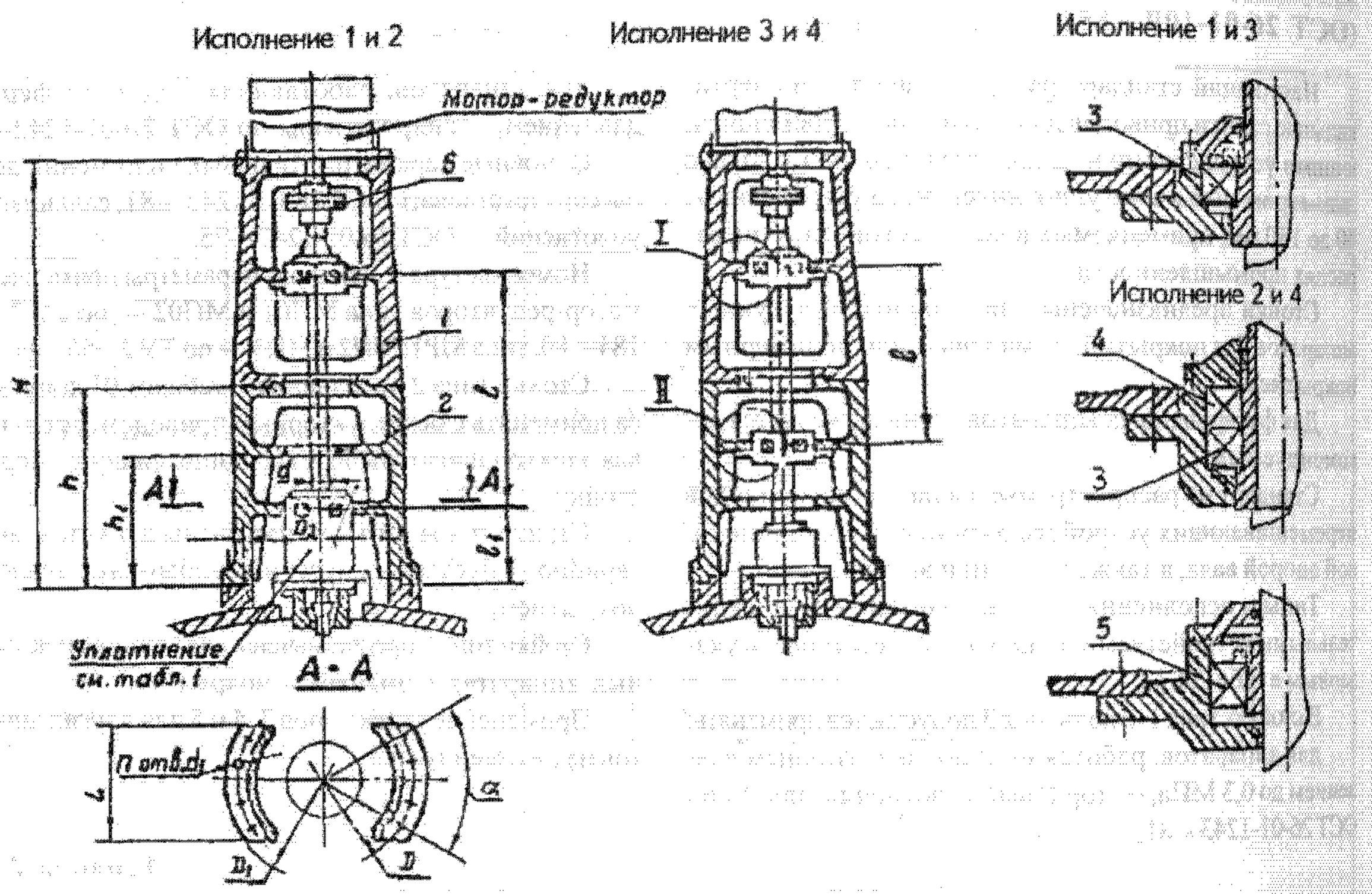


Рис. 24.81. Стойка, тип 1:
1 — стойка верхняя; 2 — стойка нижняя; 3 — подшипник ГОСТ 8338—75; 4 — подшипник ГОСТ 831—75; 5 — подшипник ГОСТ 8545—75; 6 — муфта по чертежам предприятия-изготовителя

Таблица 24.34

Основные размеры стойки, тип 1, мм

Габарит	d	d_1	D	D_1	D_2H9	H, не более	h	h_1	L	Исполнение			
										1 и 2		3 и 4	
										l	l_1	l	l_1
										не более			
01	50	23	500	540	430	985	595	425	350	420	280	300	400
02	65												
03	80	27	630	680	545	1425	650	420	450	710	290	600	520
04	95					1675				800			
05	110		900	960	800	2045	950		720	1000	300	800	535
06	130												

Габарит	α	n	Номер подшипника			Масса, кг, не более	Рекомендуемый тип мотор-редуктора
			поз. 3	поз. 4	поз. 5		
01	72°	8	214	46214	11310	250	МП01-10; МП02-10; МП02-15; МР-1-315; МР-1-500; МР-2-315; МР-2-500; МР-3-500
02			216	46216	11313	290	
03			218	46218	11316	410	
04			322	46322	11319	610	
05	90°	10	330	46330	13525	1060	
06						1150	

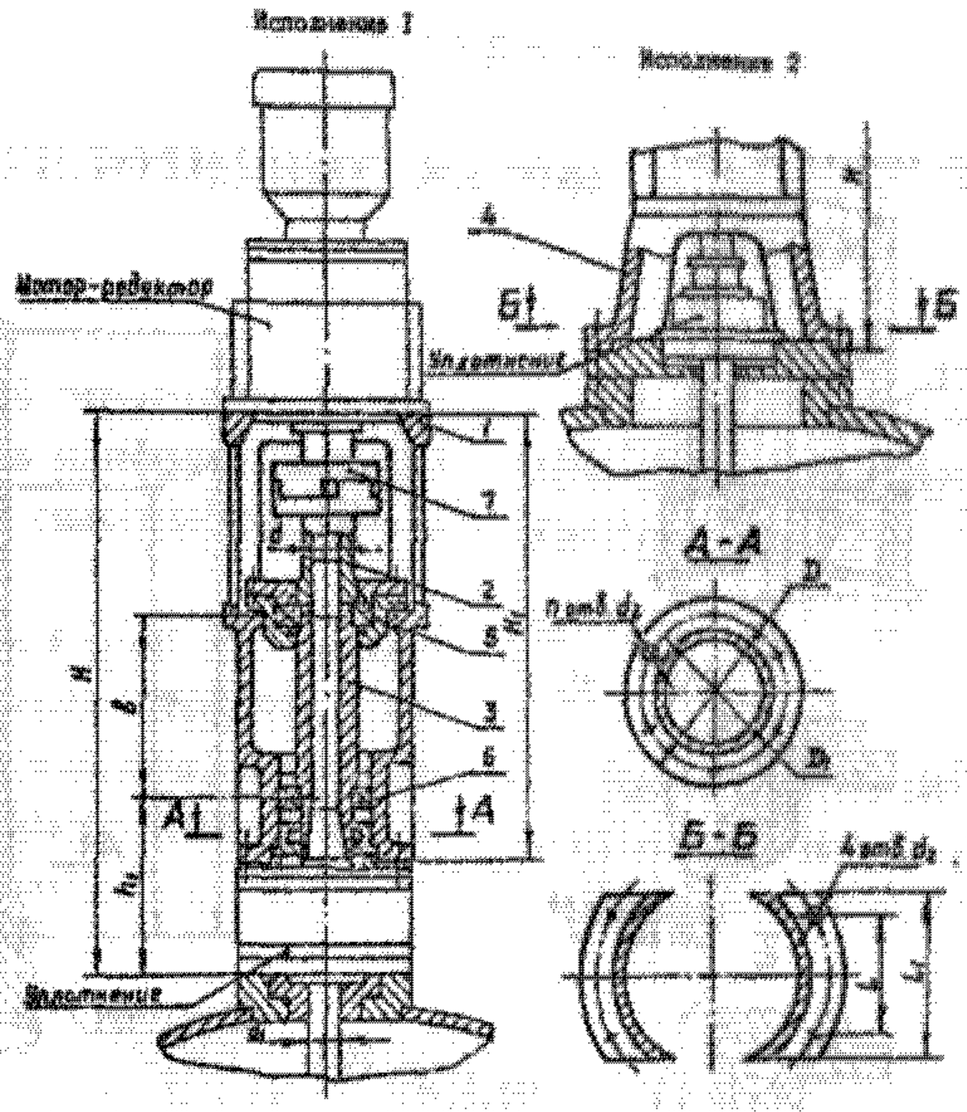


Рис. 24.82. Стойка, тип 2:
1 — стойка опорная; 2 — гайка; 3 — втулка; 4 — основание; 5 — подшипник ГОСТ 8338—75; 6 — подшипник ГОСТ 8338—75; 7 — муфта по чертежам предприятия-изготовителя

Таблица 24.35

Основные размеры стойки, тип 2, мм

Габарит	d	d_1	d_2	D	D_1	H	H_1	h_1	L	L_1	l	n	Номер подшипника		Масса, кг, не более	Рекомендуемый тип мотор-редуктора
													поз. 5	поз. 7		
Исполнение 1																
01	40	40	M14	145	167	652	530	162	—	—	210	6	309	209	116	МП01-10 МП02-10
02		50	M18	240	270	814	610	254			270	12	315	215	160	
03		65													180	
Исполнение 2																
04	40	40	13	295	335	730	530	240	160	190	210	—	309	209	100	МП01-10 МП02-10
05		50	23	350	390	850	610	290	180	220	270		315	215	150	
06		65													170	

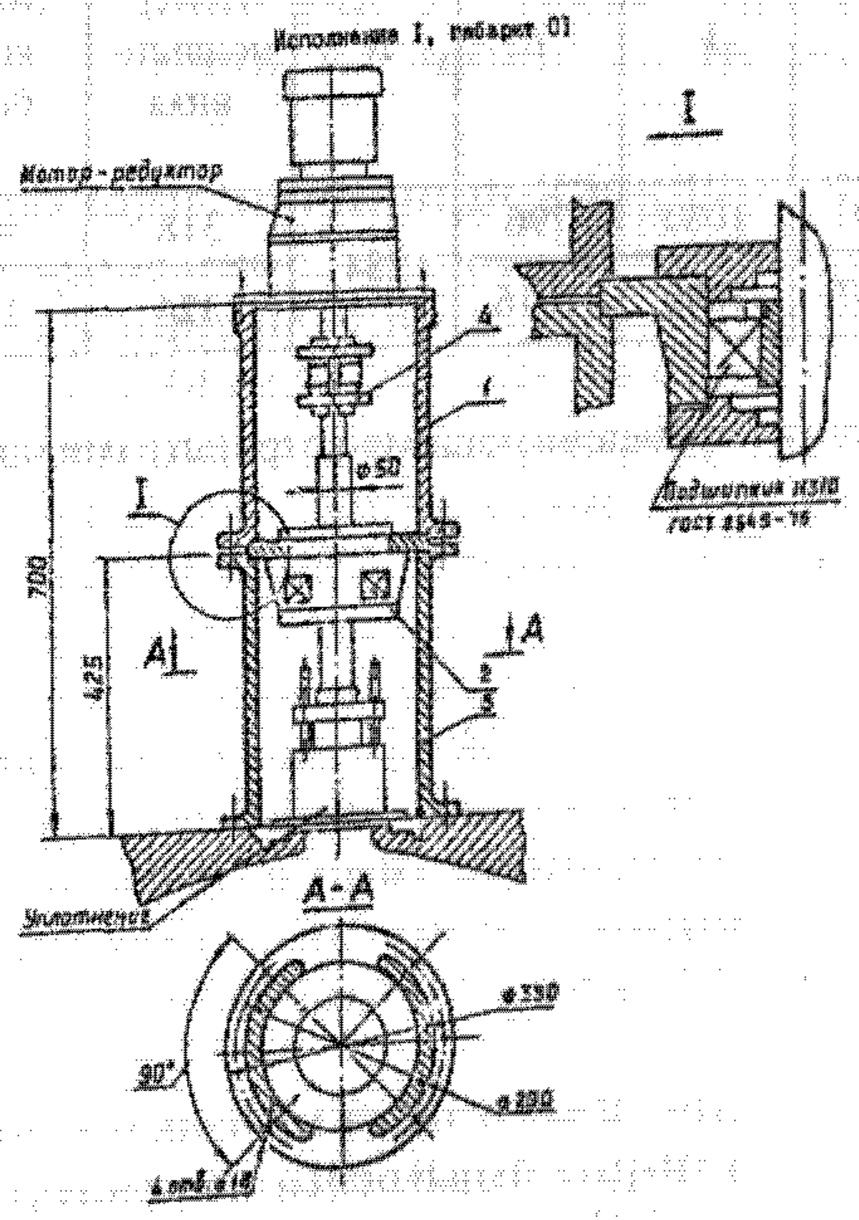


Рис. 24.83. Стойка, тип 3:
1 — стойка верхняя; 2 — подшипниковый узел; 3 — стойка нижняя; 4 — муфта по чертежам предприятия-изготовителя

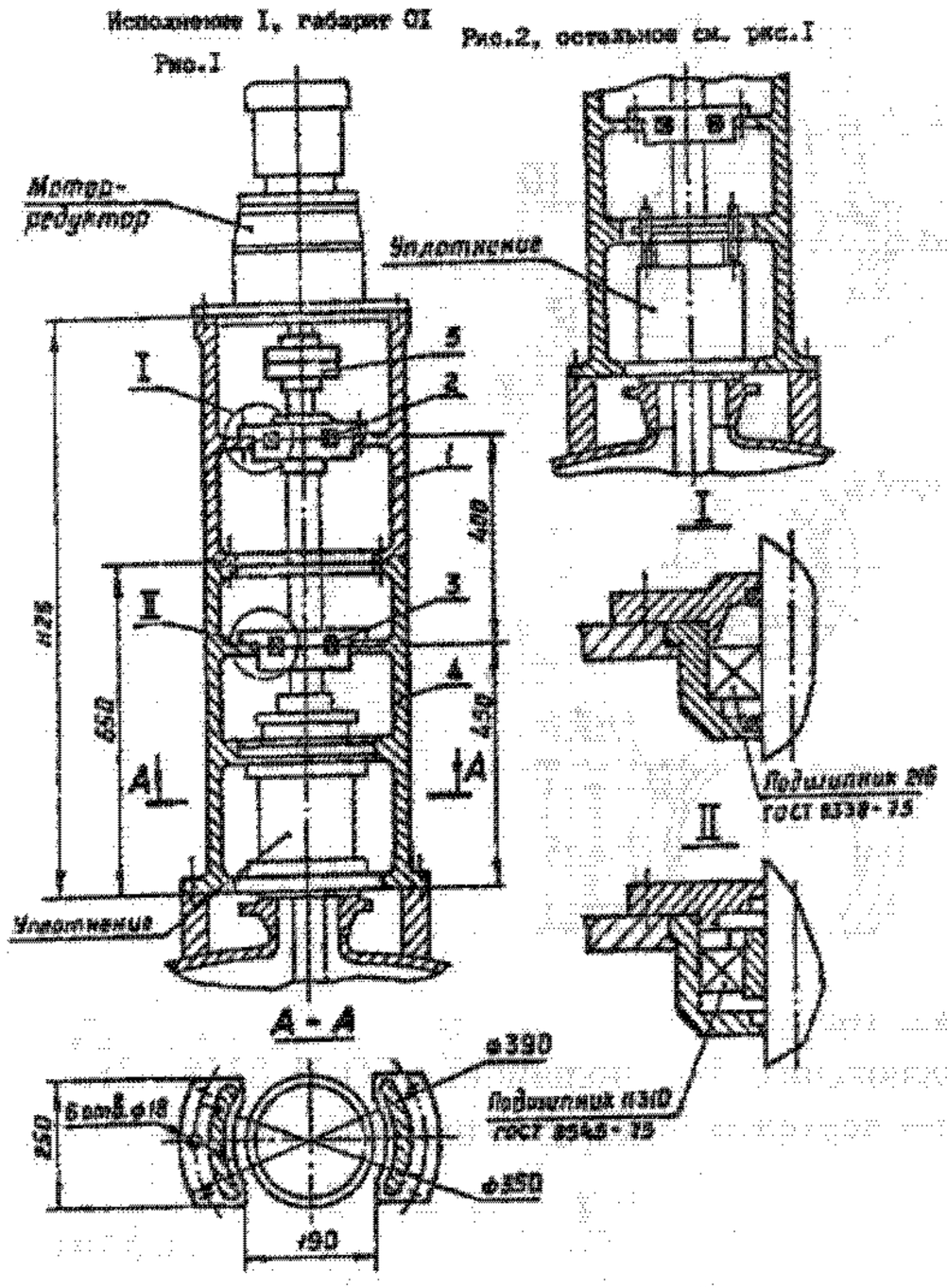


Рис. 24.84. Стойка, тип 4:
1 — стойка верхняя; 2 — подшипниковый узел верхний; 3 — подшипниковый узел нижний; 4 — стойка нижняя; 5 — муфта по чертежам предприятия-изготовителя

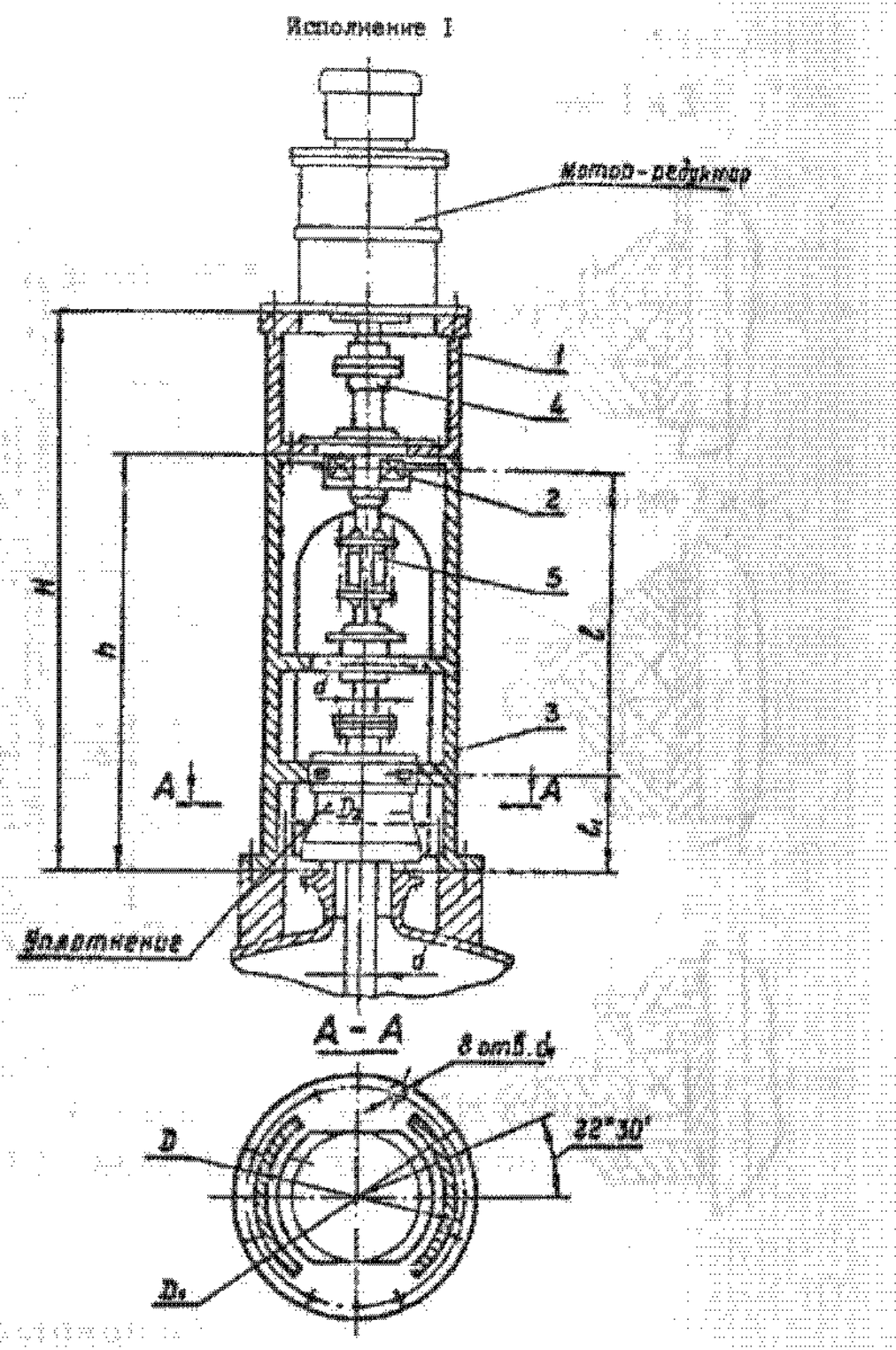


Рис. 24.85. Стойка, тип 5:
1 — стойка верхняя; 2 — подшипник ГОСТ 8338—75; 3 — стойка нижняя; 4, 5 — муфты по чертежам предприятия-изготовителя

Таблица 24.36

Основные размеры стойки, тип 5, мм

Габарит	d	d_1	D	D_1	D_2	H	h	l	l_1	Номер подшипника	Масса, кг, не более	Рекомендуемый тип мотор-редуктора
01	110	22	620	660	500	1470	1080	796	284	318	440	МР-1-315 МР-2-315 МР-1-500
02	130	27	900	970	770	1987	1300	1016		324	1190	

Технологический расчет аппаратов с механическими перемешивающими устройствами проводится в соответствии с РТМ 26-01-90—76.

ГЛАВА 25

УПЛОТНЕНИЕ ВАЛОВ АППАРАТОВ

Для обеспечения требуемой герметичности аппаратов в местах выхода валов наиболее широкое применение нашли торцовые и сальниковые уплотнения.

Торцовые уплотнения (рис. 25.1) позволяют практически полностью предотвратить утечки рабочей среды из аппарата или попадание воздуха внутрь аппарата. Технические данные торцовых уплотнений приведены в табл. 25.1.

При установившемся режиме работы торцового уплотнения допускаются следующие утечки жидкости через пару трения со стороны большего давления:

Диаметр вала, мм . . .	40	50	65	80	95	110	130
Утечки, см³/ч	4	5	6,5	8	9,5	11	13

При неподвижном вале утечки жидкости, а также газовой среды в виде пузырьков не допускаются.

Работоспособность торцовых уплотнений обеспечивается правильным выбором схемы подачи запирающей жидкости, которая одновременно обеспечивает охлаждение и смазку деталей уплотнения. Для уплотнений типов Т1 и Т2 допускается подача уплотняю-

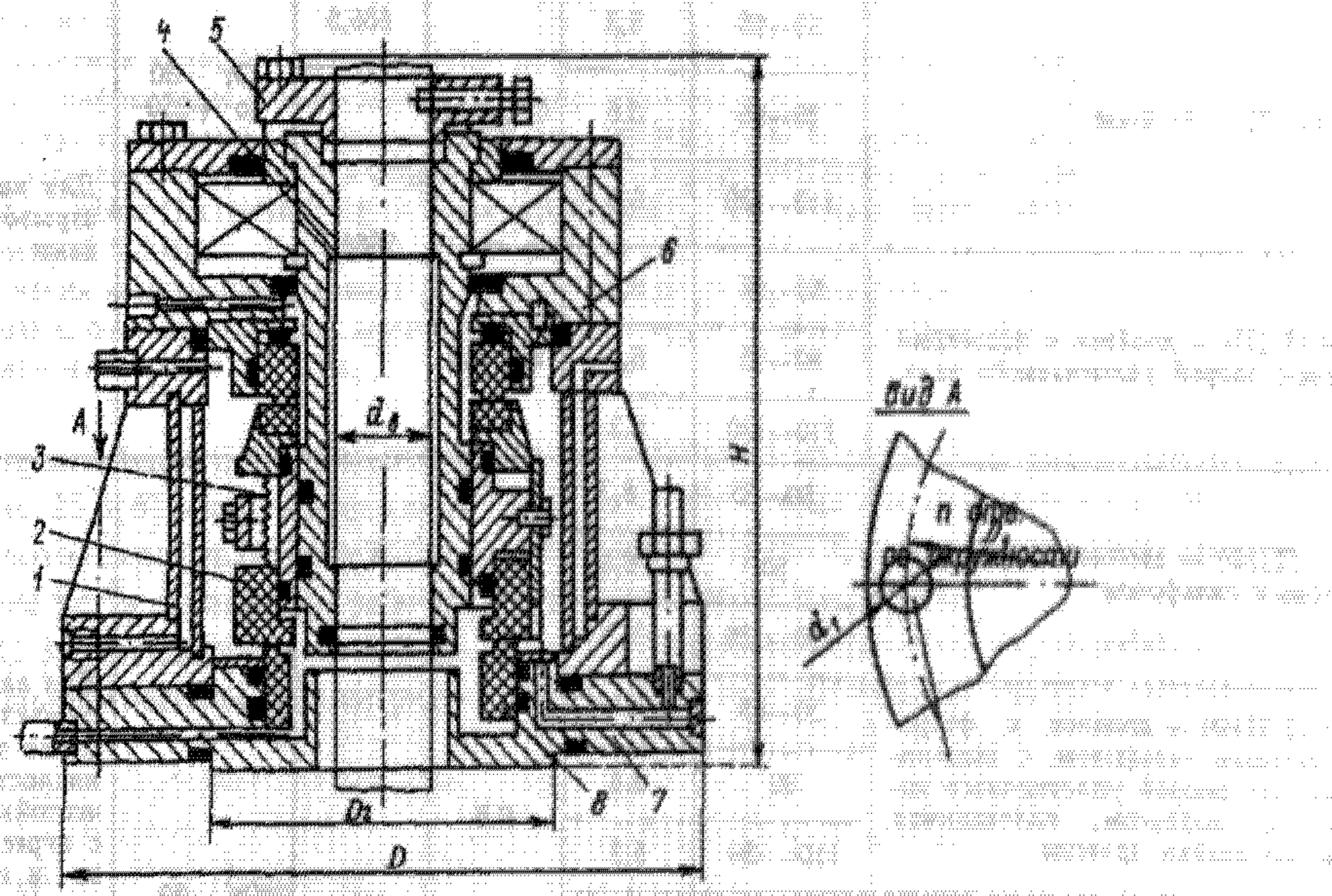


Рис. 25.1. Торцовое уплотнение типа Т4:
1 — корпус; *2* — подвижное кольцо; *3* — пружина; *4* — втулка; *5* — водило; *6* — крышка; *7* — неподвижное кольцо; *8* — уловитель

Для уплотнения валов вертикальных аппаратов, содержащих взрывоопасные, пожароопасные и вредные среды, наибольшее применение нашли торцовые уплотнения типа Т4 (табл. 25.2). Не рекомендуется применять уплотнения типа Т2 для аппаратов, содержащих взрывоопасные, пожароопасные и вредные среды при избыточном давлении. Уплотнения типа Т1 применяют в аппаратах, где требуется стерильность технологического процесса, например в биохимическом производстве.

Радиальное и угловое биения вала аппарата в зоне торцового уплотнения, а также смещения неподвижных деталей корпуса уплотнения относительно оси вала не должны превышать 0,2 мм и 0,25° соответственно.

Потери расчетной мощности на дополнительные осевые усилия и трение при наибольшей скорости вращения вала аппарата определяют по рис. 25.2.

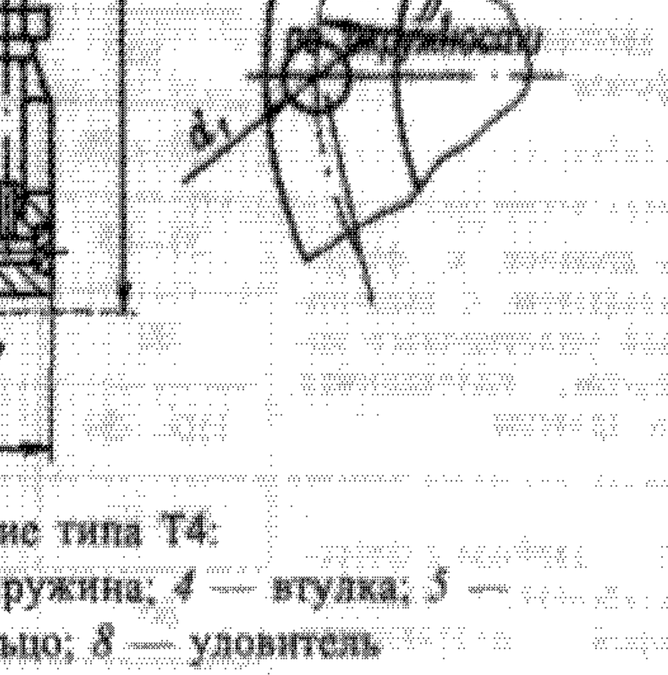


Рис. 25.2. Потери мощности на трение в торцовом уплотнении:
1 — уплотнения типов Т3, Т4, Т5, Т6, Т7 и Т8;

Таблица 25.1

Типы и основные параметры торцовых уплотнений, ОСТ 26-01-1243—81

Тип и характеристика уплотнения	Диаметр уплотняемого вала $d_в$, мм	Частота вращения вала, $с^{-1}$	Рабочее давление в аппарате		Температура среды в аппарате, °С	Область применения
			избыточное, МПа	остаточное, Па		
Т1 (ТТ) — двойное с металлическим сильфоном	40—80	5,5	0,3	39 990	От +10 до +140	Для валов аппаратов со стерильными биологическими процессами
	Св. 80	3,3				
Т2 (ТСК) — одинарное с металлическим сильфоном	40—50	11,6	0,6	2666	От —30 до +250	Для валов аппаратов с невредными и невзрывоопасными средами
	65—95	8,3				
	Св. 95	5,8				
Т3 (ТД) — двойное	50—65	8,3	0,6; 2,5; 3,2	666,5		Для валов аппаратов с вредными, взрыво- и пожароопасными средами
	80—95	6,6		2668		
	110—130	5,3				
Т4 (ТДП) — двойное с подшипниковой опорой уплотняемого вала	50—65	8,3	2,5; 3,2			
	80—95	6,6				
	110—130	5,3				
Т5 (ТДФ) — двойное с фторопластовым сильфоном	50—65	8,3	0,6			Для валов аппаратов с коррозионно-стойкими покрытиями (в том числе эмалированных, покрытых кислостойкими или кислотощелочестойкими эмалями (для работы с агрессивными, вредными, взрыво- и пожароопасными средами
	80	6,6				
	110—130	5,3				
Т6 (ТДПФ) — двойное с фторопластовым сильфоном, с подшипниковой опорой уплотняемого вала, с корпусом, являющимся частью стойки привода	50—65	8,3				
	80	6,6				
	110—130	5,3				
Т7 (ТДПФ-01) — двойное с фторопластовым сильфоном, с подшипниковой опорой уплотняемого вала	50—65	8,3				
	80	6,6				
	110—130	5,3				
Т8 (ТДМ) — двойное без сильфона, с корпусом, являющимся частью стойки привода вала	25—40	2,5				
		8,3	Св. 0,6; 1,6; 3,2			Для валов аппаратов с вредными, взрыво- и пожароопасными средами
Т9 (ТДПН) — двойное с подшипниковой опорой уплотняемого вала, с нижним приводом	110	2,5	0,6			

щей жидкости наливом без дополнительных устройств. Для двойных торцовых уплотнений типов Т3, Т4, Т5, Т6, Т7, Т8, Т9 должны применяться схемы с естественной или принудительной циркуляцией запирающей жидкости.

Схему обвязки с естественной циркуляцией запирающей жидкости (рис. 25.3, *а*) рекомендуется применять при работе уплотнения в следующих условиях: частота вращения вала до 5 $с^{-1}$; температура рабочей среды в аппарате от —30 до +150°С. Давление запирающей жидкости поддерживается за счет давления в аппарате, если среда не вредная и не взрывоопасная, или за счет подачи азота под давлением при взрывоопасной и токсичной среде. Запирающая жидкость циркулирует в замкнутом контуре вследствие разности плотностей нагретых и охлажденных слоев жидкости на разных уровнях. Для лучшей циркуляции холодильник и пневмо-гидроаккумулятор следует устанавливать в непосредственной близости от уплотнения на высоте не менее 2 м.

Таблица 25.2

Основные размеры торцовых уплотнений типа Т4, ОСТ 26-01-1243—81 (рис. 25.1)

Типоразмер	$d_в$	D	D_1	D_2	H, не более	d_1	n, шт.	Масса, кг, не более
	мм							
Т4-50-25	60	270	240	165	155	18	12	85
Т4-60-25	60							
Т4-80-25	80	330	280	195	365	27		110
Т4-95-25	95							
Т4-110-25	110	360	310	225	375			150
Т4-130-25	130	395	340		400	30		175

Примечания.

1. В обозначении типоразмера цифры после первого дефиса — диаметр уплотняемого вала, мм, цифры после второго дефиса — рабочее давление в аппарате, кгс/см². После цифр могут помещаться дополнительные буквы, обозначающие исполнение по материалу металлических деталей и сборочных единиц, соприкасающихся с рабочей средой (К — сталь 12Х18Н10Т; КЕ — сталь 10Х17Н13М2Т; КН — сплав 06ХН28МДТ; Т — титан ВТ-1-0),
2. Уплотнения на расчетное давление 3,2 МПа изготовляются по специальному заказу с размерами, соответствующими основным размерам и другим рабочим параметрам уплотнений на давление 2,5 МПа.

Схему обвязки с принудительной циркуляцией уплотняющей жидкости (рис. 25.3, *б*) рекомендуется применять при диаметре уплотняемого вала более 80 мм, частоте вращения не менее 5 $с^{-1}$ и температуре рабочей среды в аппарате до 150°С. Запирающая жидкость подается в уплотнение специальным насосом или централизованно из общей магистрали. Для сглаживания пульсации давления и поддержания работоспособности уплотнения при кратковременных остановках насоса в схему обвязки включен ресивер.

В целях повышения надежности работы торцовых уплотнений при температуре среды в аппарате более

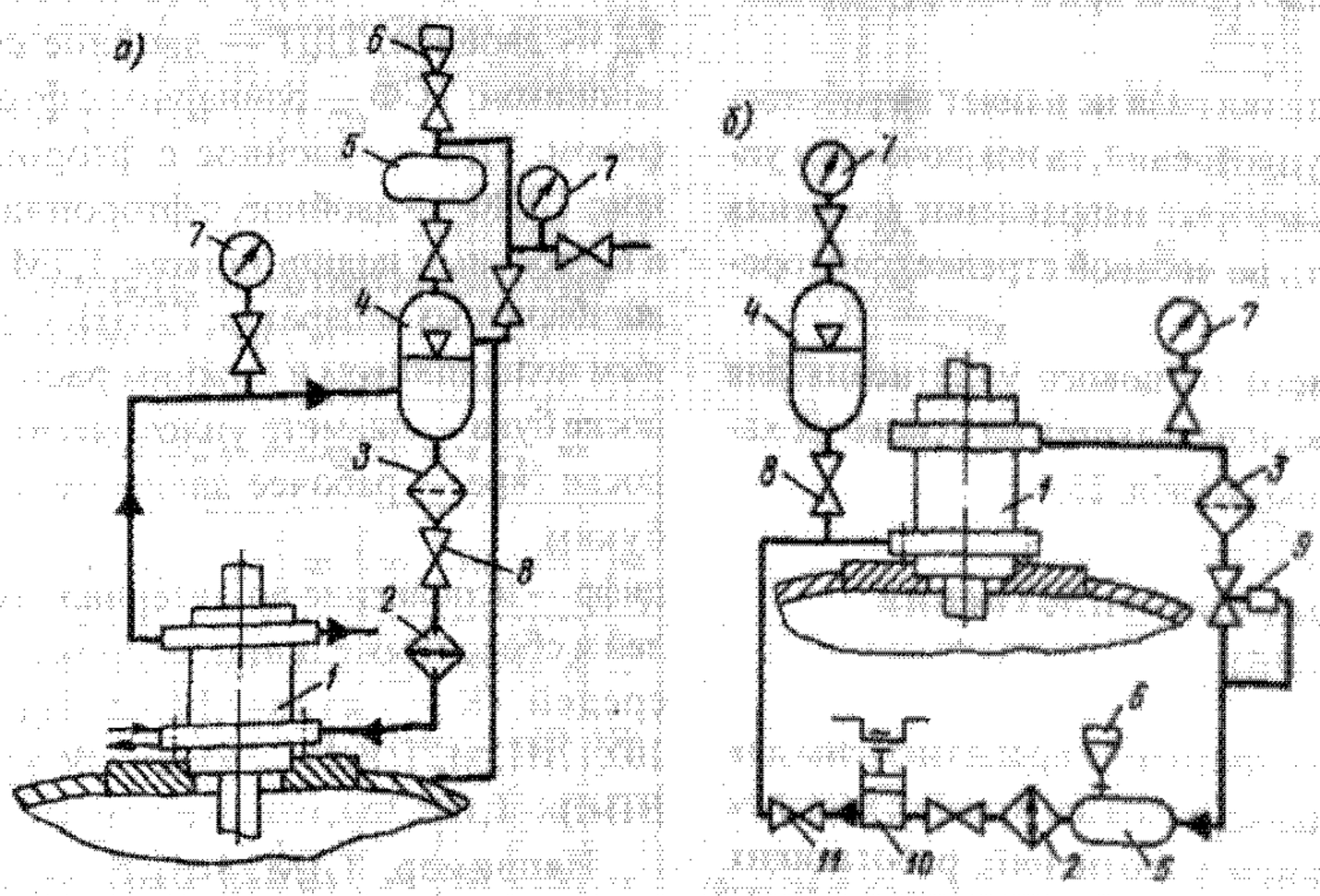


Рис.25.3. Схемы обвязки торцовых уплотнений: *а* — с естественной циркуляцией запирающей жидкости; *б* — с принудительной циркуляцией запирающей жидкости; *1* — камера торцового уплотнения; *2* — теплообменник; *3* — фильтр; *4* — пневмогидроаккумулятор; *5* — бак; *6* — воронка; *7* — манометры; *8* — запорная арматура; *9* — регулирующий клапан; *10* — насос; *11* — обратный клапан

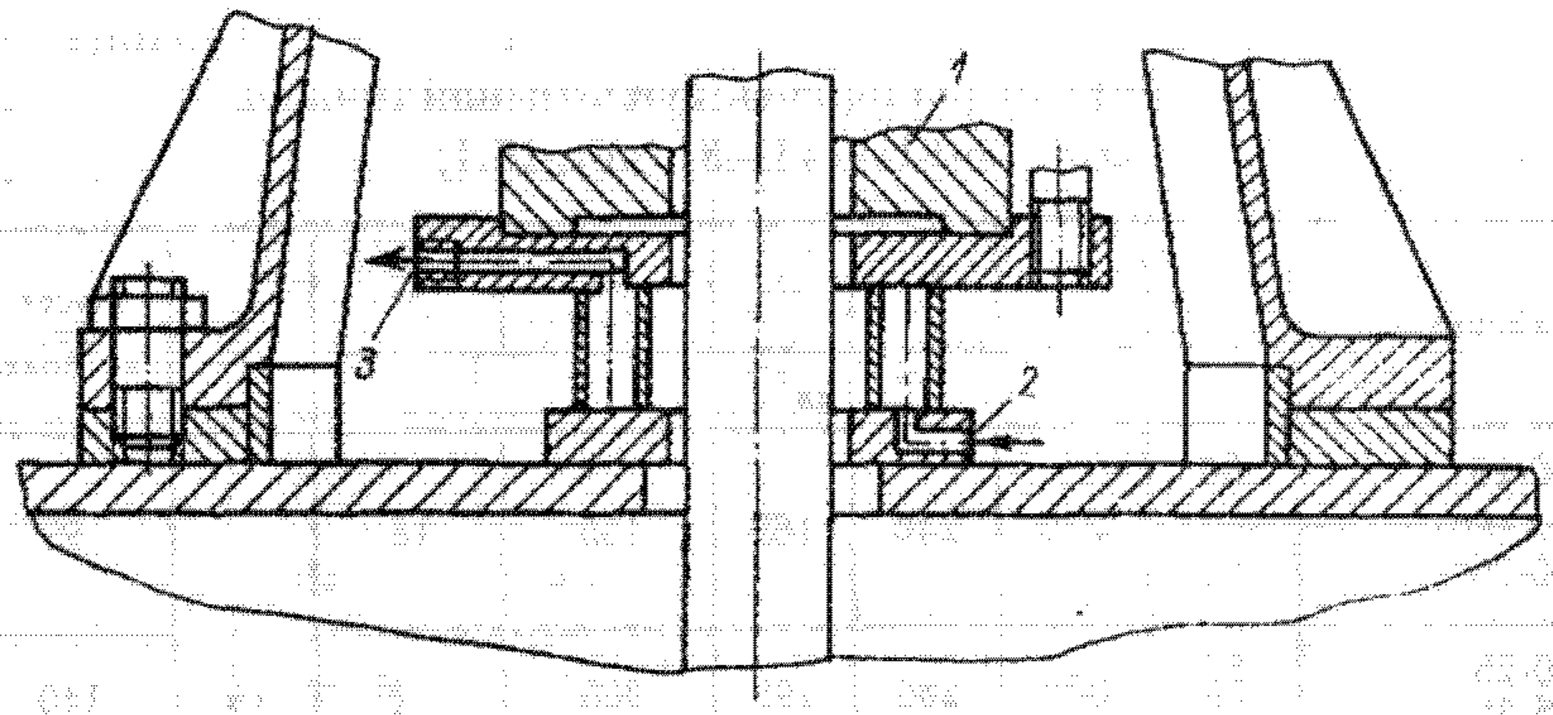


Рис. 25.4. Охлаждающее устройство:
1 — корпус торцового уплотнения; *2* — вход охлаждающей жидкости; *3* — выход охлаждающей жидкости

150°С следует устанавливать дополнительное охлаждающее устройство (рис. 25.4).

В качестве запирающей жидкости применяют обессоленную воду, масло или другие жидкости, химически совместимые с рабочей средой, но не вредные и не взрывоопасные. Температура запирающей жидкости на выходе из уплотнения типа Т1 не должна превышать 140°С, для остальных типов — не более 80°С. Давление запирающей жидкости должно быть выше давления среды в аппарате на 0,05—0,1 МПа.

Максимальное давление в камере уплотнения при отсутствии давления в аппарате не должно превышать следующих значений: 0,45 МПа — для уплотнений типов Т3 (с давлением 0,6 МПа), Т5 и Т6; 0,85 МПа — для уплотнений типов Т3 (с давлением 3,2 МПа) и Т4.

В уплотнениях типов Т1 и Т2, а также при остаточном давлении в аппарате запирающая жидкость должна подаваться в камеру уплотнения при атмосферном давлении.

Направление вращения вала не влияет на работоспособность торцовых уплотнений, за исключением уплотнений типа Т1, для которых направление вращения вала следует принимать по часовой стрелке (со стороны привода).

Выбор необходимого торцового уплотнения для вращающихся валов осуществляется на основе их характеристик, приведенных в табл. 25.4.

25.1. Типовые торцовые уплотнения (ОСТ 26-01-1243—75)

Типовые торцовые уплотнения предназначены для герметизации вертикальных валов аппаратов с верхним и нижним расположением уплотнений, работающих при избыточном давлении до 3,2 МПа и остаточном давлении до 5 мм рт. ст. Температура рабочей среды в аппарате — от —30 до +250°С, частота вращения вала — до 1500 об/мин.

Торцовые уплотнения могут быть установлены на аппараты, изготовленные из углеродистых сталей с защитными покрытиями (гуммированием, эмалированием, футерованием штучными материалами и листами из пластмасс), а также на аппараты, изготовленные из коррозионностойких и двухслойных сталей, титана, цветных металлов и их сплавов и др., предназначенных для работы на парогазовых, жидких, абразивных, взрыво- и пожароопасных, полимеризующихся, кристаллизующихся и вредных средах.

По конструктивным признакам и условиям применения торцовые уплотнения разделены на следующие типы: ТТ, ТСК, ТД, ТДП, ТСФ, ТДФ, ТДПФ, ТДМ и ТДПН.

Условное обозначение уплотнения: буквы — тип торцового уплотнения (ТТ — двойное с термическим затвором; ТСК — одинарное с сильфоном из коррозионностойкой стали; ТД — двойное; ТДП — двойное со встроенным подшипником; ТСФ — одинарное с фторопластовым сильфоном; ТДФ — двойное с фторопластовым сильфоном; ТДПФ — двойное, с фторопластовым сильфоном и встроенным подшипником; ТДМ — двойное для малогабаритных аппаратов; ТДПН — двойное со встроенным подшипником и нижним расположением); цифры после букв — диаметр уплотняемого вала (мм); цифры после тире — рабочее давление в аппарате (кгс/см^2); буквы после цифр — исполнение по материалу металлических деталей и сборочных единиц, соприкасающихся с рабочей средой (К — сталь 12Х18Н10Т; КЕ — сталь 10Х17Н13М2Т; КН — сплав — 06ХН28МДТ; Т — титан ВТ1-0).

Например, ТДМ25-6КЕ — торцовое двойное уплотнение для малогабаритного аппарата диаметром вала 25 мм, рабочим давлением в аппарате до 6 кгс/см^2. Материал деталей и сборочных единиц, соприкасающихся с уплотняемой средой, — сталь 10Х17Н13М2Т.

Для торцовых уплотнений типов ТД-6 и ТД-25 при изготовлении их с вторичными уплотнениями из резины во фторопластовой оболочке в условном обозначении после цифр, обозначающих диаметр условного прохода уплотняемого вала, добавляется буква С.

Например, ТД50С-6Т.

При заказе уплотнения в конце условного обозначения необходимо указать ОСТ 26-01-1243—75.

Потери мощности на трение в торцовом уплотнении при наибольшей скорости вращения вала могут быть определены по рис. 25.4.

Дополнительное осевое усилие возникает при наличии ступенчатого вала (втулки) в зоне установки уплотнений типов ТД и ТДП или при установке сильфона у уплотнений типов ТТ и ТСК, по формуле:

$$Q = P_{ап} \cdot F_{доп}, \quad Н \qquad (25.1)$$

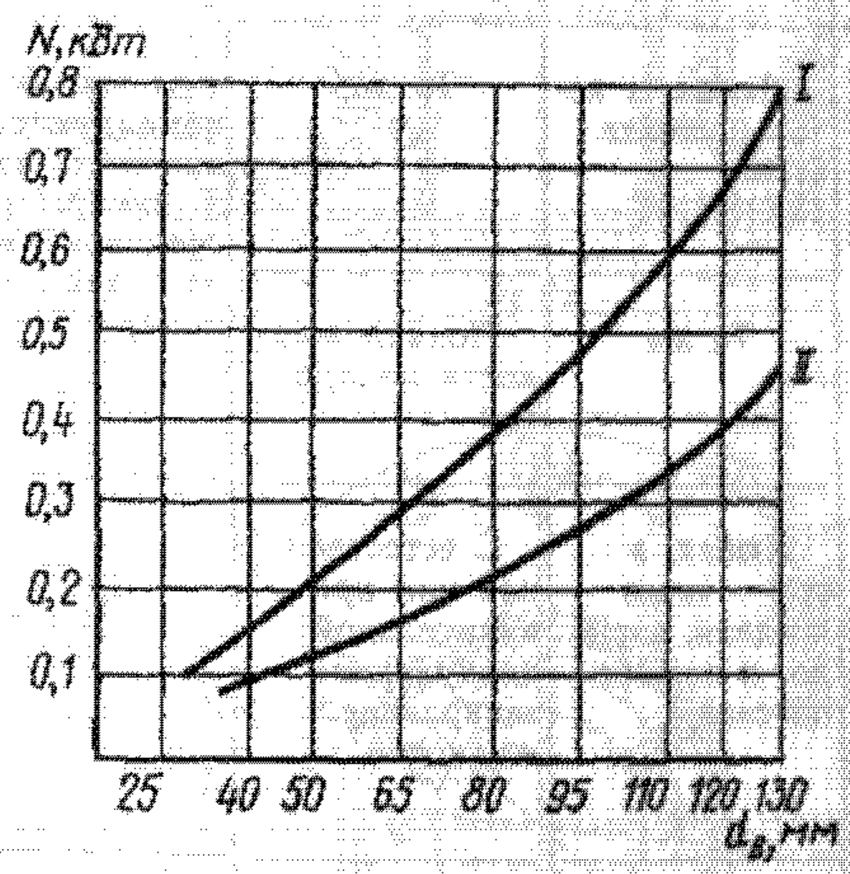


Рис. 25.4. Потери мощности на трение в торцовых уплотнениях (N — потери мощности на трение; $d_в X_1$ — диаметр уплотняемого вала; *I* — для уплотнений типов ТД, ТДП, ТДФ, ТДПФ, ТДМ и ТДПН; *II* — для уплотнений типов ТТ, ТСК и ТСФ)

Таблица 25.3

Дополнительная площадь, на которую действует давление $F_{доп} \cdot 10^4$, м²

Тип торцового уплотнения	Диаметр уплотняемого вала $d_в$, мм								
	25	40	50	65	80	95	110	130	160
ТДП, ТД	—	32	25	26	72,6	52	70	91,6	—
ТТ	—	30	42	43	60	69,3	110	130	130
ТСК	—	32,2	37,8	46,2	58,4	67,2	83,2	110	—
ТСФ, ТДФ, ТДПФ	—	29,4	39,7	51	51	—	54	79	—
ТДМ-32	—	—	25	32	—	—	—	—	—
ТДМ-6	6,4	10	—	—	—	—	—	—	—
ТДМ-16	6,4	10	—	—	—	—	—	—	—
ТДПН	—	—	—	—	—	—	50	—	—

где $P_{ап}$ — расчетное давление в аппарате, Па;

$F_{доп}$ — дополнительная площадь, на которую действует давление, м² (см. табл. 25.3).

При установившемся режиме работы уплотнения величина утечки жидкости через пару трения со стороны большего давления не должна превышать следующих значений:

В уплотнениях с гидроподпором утечка уплотняемой среды не допускается.

С целью предотвращения выхода из строя вторичных уплотнений при температуре в горловине аппарата

Диаметр уплотняемого вала, мм	25	40	50	65	80	95	110	130	160
Утечка (не более), см³/ч	2,5	4	5	6,5	8	9,5	11	13	16

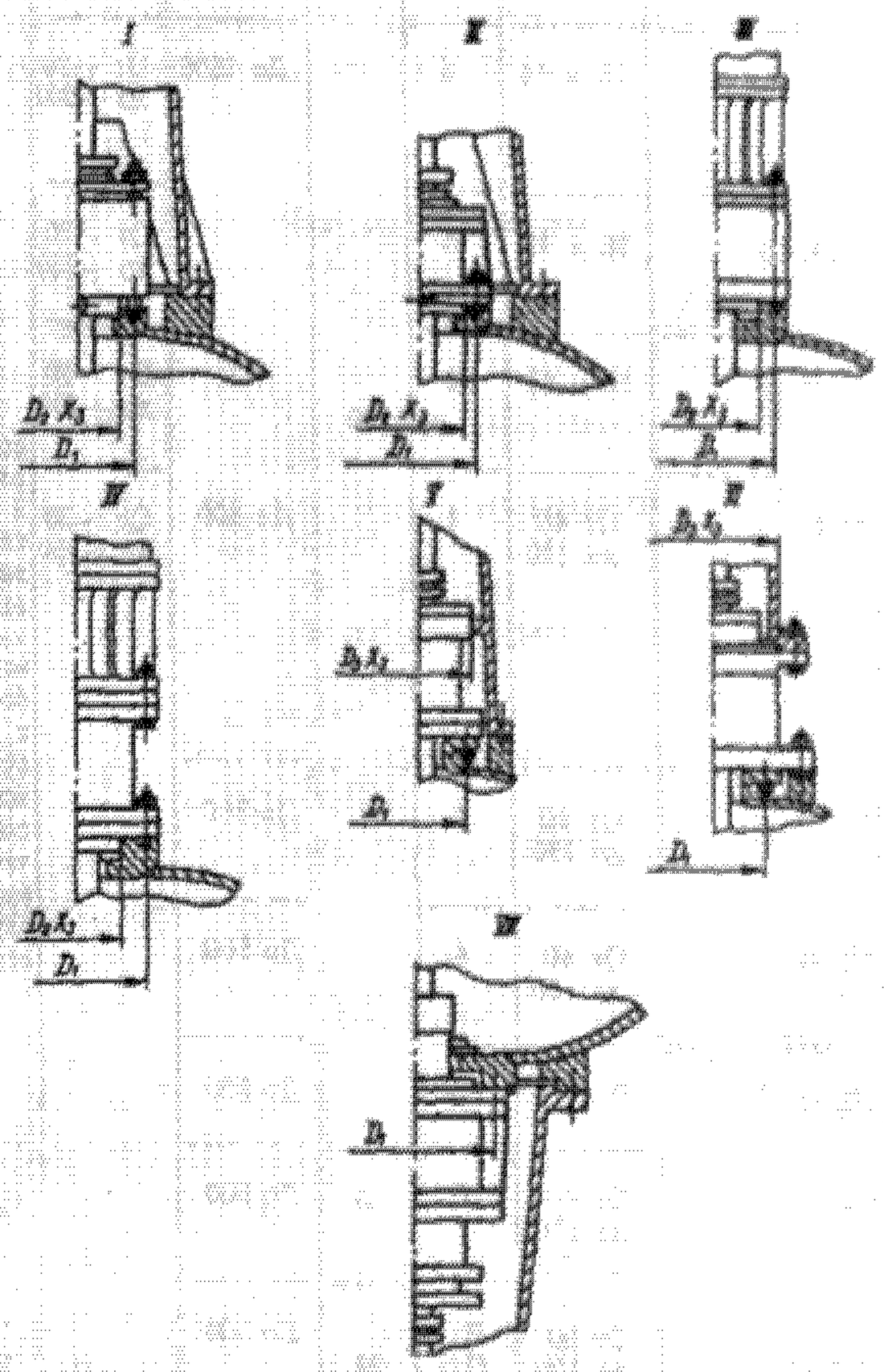


Рис. 25.5. Схема установки торцовых уплотнений на аппарате: *I* — уплотнения типов ТСК, ТТ и ТД-6; *II* — уплотнения типов ТД-25 (ТД-32) и ТДП-25 (ТДП-32); *III* — уплотнения типов ТДМ-6 и ТДМ-16; *IV* — уплотнение типа ТДМ-32; *V* — уплотнения типов ТСФ, ТДФ и ТДПФ-01; *VI* — уплотнение типа ТДПФ; *VII* — уплотнение типа ТДПН

более 150°С необходимо предусматривать дополнительное охлаждающее устройство.

Схема установки торцовых уплотнений на аппарате приведена на рис. 25.5. Основные технические данные для выбора типа уплотнений приведены в табл. 25.4.

Таблица 25.4

Основные технические данные для выбора типа уплотнения

Тип уплотнения	Диаметр уплотняемого вала, мм	Рабочее давление в аппарате: избыточное, кгс/см²	Рабочее давление в аппарате: остаточное, мм рт. ст.	Частота вращения вала, об/мин	Температура рабочей среды в аппарате, °С	Запирающая (смазывающая) жидкость	Рабочая среда в аппарате (перед уплотнением)	Рекомендуемая схема подачи запирающей жидкости	Примечание
ТТ	От 40 до 160	3	300	До 320	10—140	Авиационное масло МС-20 или МК-22	Любая, в которой стойки стали 40Х13, 12Х18Н10Т и бронза Бр. ОЦС 5-5-5	Налив или подача жидкости на проток	Применяется в аппаратах для биохимических производств, где требуется стерильность технологического процесса
ТСК	От 40 до 130	6		До 500	От —30 до +250		Любая, в которой стойка сталь 12Х18Н10Т	То же	Уплотнения не рекомендуются для вредных, взрыво- и пожароопасных сред при избыточном давлении в аппарате
ТДМ-6	25 и 40	6		До 1500	От —20 до +200		То же	Подача жидкости на проток	
ТДМ-16	25 и 40	16			От —20 до +200		Любая, в том числе вредная, взрыво- и пожароопасная	С естественной или принудительной циркуляцией запирающей жидкости	—
ТДМ-32	50 и 65	32	20		От —20 до +200	Обессоленная вода, минеральные масла и их эмульсии, глицерин и его водные растворы, жидкости, химически совместимые с рабочей средой в аппарате, очищенные жидкие компоненты рабочей среды, кроме вредных и взрывоопасных веществ			
ТСФ	От 40 до 130	4		До 500	От —30 до +250		Высокоагрессивная	Налив или подача жидкости на проток	Не рекомендуется для вредных и взрыво- и пожароопасных сред при избыточном давлении в аппарате
ТДФ	От 40 до 130	6		До 500			Высокоагрессивная, вредная, взрыво- и пожароопасная	С естественной или принудительной циркуляцией запирающей жидкости	—
ТДПФ	От 40 до 130	6		До 500					
ТДПФ-01	110 и 130	6		До 320					
ТД-6	От 40 до 130	6	5	До 500			Взрыво- и пожароопасная и вредная	То же	—
ТД-25 (ТД-32)	От 50 до 130	25 (32)	20	До 500					
ТДП-25 (ТДП-32)	От 50 до 130	25 (32)	20	До 500					
ТДПН	110	6	20	До 150					

25.1.1. Торцовые уплотнения типа ТТ

Предназначено для герметизации валов аппаратов биохимических производств при давлении до 3 кгс/см² (0,3 МПа), где требуется стерильность технологического процесса.

Уплотнение — с термическим затвором; состоит из корпуса *1*, основания *11*, подвижного *8* и неподвижных *9* уплотнительных колец, входящих в подпятник *12*, пружин *7*, обеспечивающих контакт неподвижных и подвижного уплотнительных колец. Подвижное кольцо навернуто на втулку *5*, вращение которой передается от вала через водило *4*. Сильфон *6* подпятника служит для разделения запирающей и уплотняемой сред, запирающей среды и атмосферы.

Уплотнение подвижного кольца и втулки осуществляется резиновым кольцом *2*.

Корпус уплотнения заполняется авиационным маслом МС-20 или МК-22, которое создает термический затвор и смазывает пары трения. Уровень масла определяют по смотровому окну *10*.

Температуру контролируют термометром *3*.

Основание (уловитель утечек) служит для периодического отвода частиц износа и запирающей жидкости из зоны аппарата.

В корпусе предусмотрена рубашка, в которую поступает пар для стерилизации уплотнения. В случае необходимости в рубашку подается охлаждающая жидкость.

Вращение вала — только по часовой стрелке.

Материал металлических деталей и сборочных единиц (кроме колец трения), соприкасающихся с уплотняемой средой, — сталь 12Х18Н10Т.

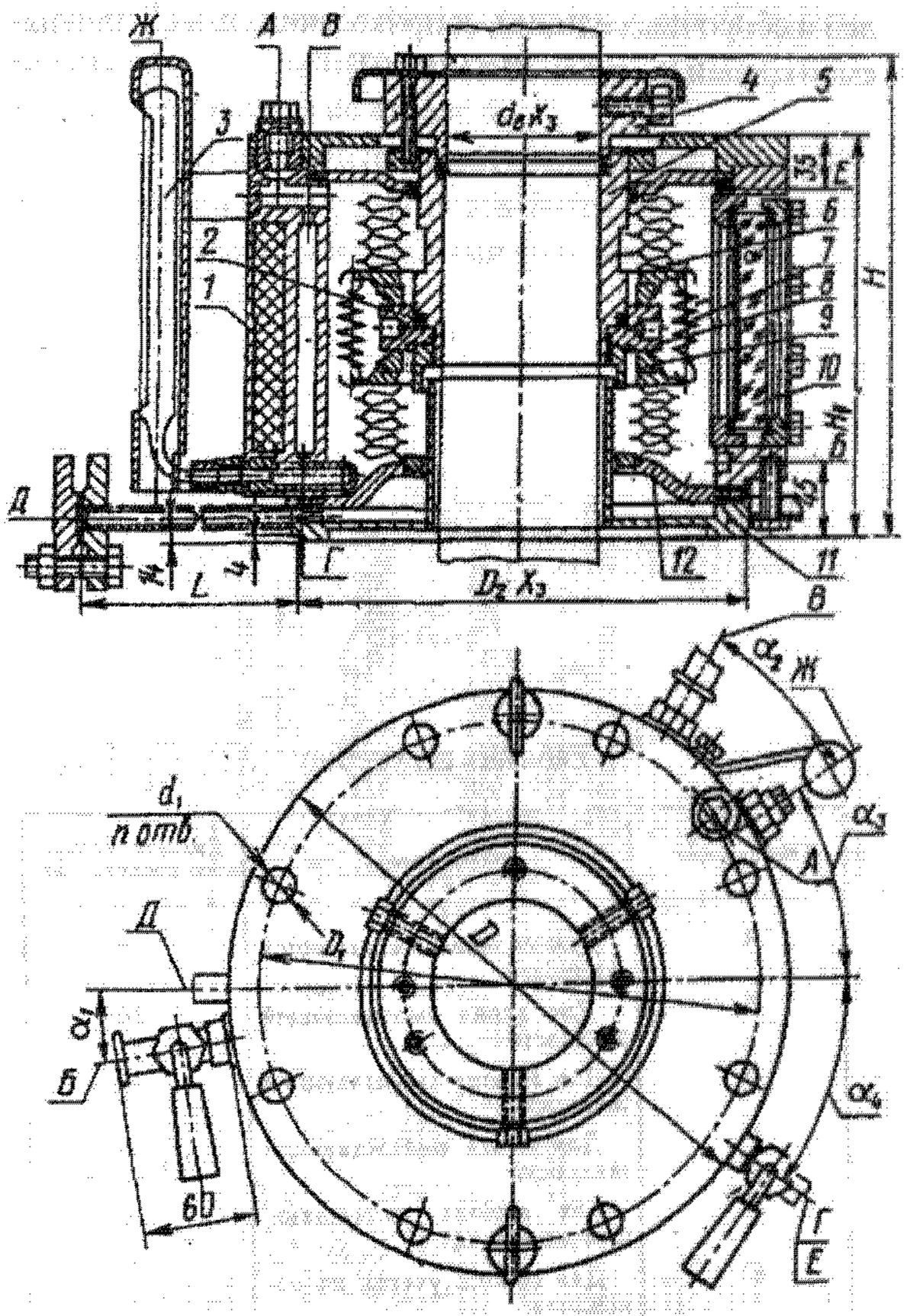


Таблица штуцеров

Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Для входа запирающей жидкости	10
Б	Для выхода запирающей жидкости	10
В	Для входа пара	10
Г	Для выхода конденсата	10
Д	Для отвода утечек из основания	10
Е	Кран для выхода (сброса) воздуха	10
Ж	Для гильзы термометра	10

Основные размеры, мм

Типоразмер уплотнения	$d_в X_3$	D	D_1	$D_2 X_в$	H (не более)	H_1 (не более)	L	d_1	n шт.	Угол расположения штуцеров, град				Масса (не более), кг	Процент стали 12Х18Н10Т от общей массы уплотнения
										α_1	α_2	α_3	α_4		
ТТ40-3	40	225	170	145	225	195	200	18	4	30	30	30	60	30	17
ТТ50-3	50	250	200	176	230	200	200	18	4	10	35	40	45	35	23
ТТ65-3	65	260	225	202	230	200	200	18	4	10	35	32	45	40	35
ТТ80-3	80	290	255	230	250	210	200	18	8	10	25	32	36	50	35
ТТ95-3	95	325	280	258	250	210	200	18	8	10	25	32	36	64	35
ТТ110-3	110	325	280	258	250	210	200	18	8	10	25	32	36	65	35
ТТ120-3*	120	325	280	258	250	210	200	18	8	10	25	32	36	65	55
ТТ130-3	130	335	305	282	250	210	200	18	8	10	25	32	36	70	55
ТТ160-3	160	450	410	330	365	315	320	22	12	0	0	30	30	120	55

* Может быть изготовлено по специальному заказу.

25.1.2. Торцовое уплотнение типа ТСК

Предназначено для герметизации валов аппаратов при работе под давлением до 6 кгс/см^2 (0,6 МПа) с любыми средами, в которых стойка сталь 12Х18Н10Т. Уплотнение не рекомендуется применять для работы при избыточном давлении в аппарате с вредными, пожаро- и взрывоопасными средами.

Уплотнение состоит из корпуса *2*, основания *1*, сильфона *3* с неподвижным графитовым кольцом *5*, подвижного кольца *6*, втулки *7* с водилом *8* и пружин *4*, обеспечивающих контакт неподвижных подвижных уплотнительных колец. Втулка соединяется с валом болтами *9*.

Уровень смазывающей жидкости определяют по указателю уровня в штуцере А. Основание (уловитель утечек) служит для периодического отвода частиц износа и запирающей жидкости из зоны аппарата.

Пара трения может смазываться и охлаждаться проточной водой или жидкостью, химически совместимой с рабочей средой в аппарате. Дополнительно (при необходимости) пара трения охлаждается жидкостью, циркулирующей в рубашке корпуса.

Материал сильфона, а также металлических деталей и сборочных единиц, соприкасающихся с уплотняемой средой, — сталь 12Х18Н10Т.

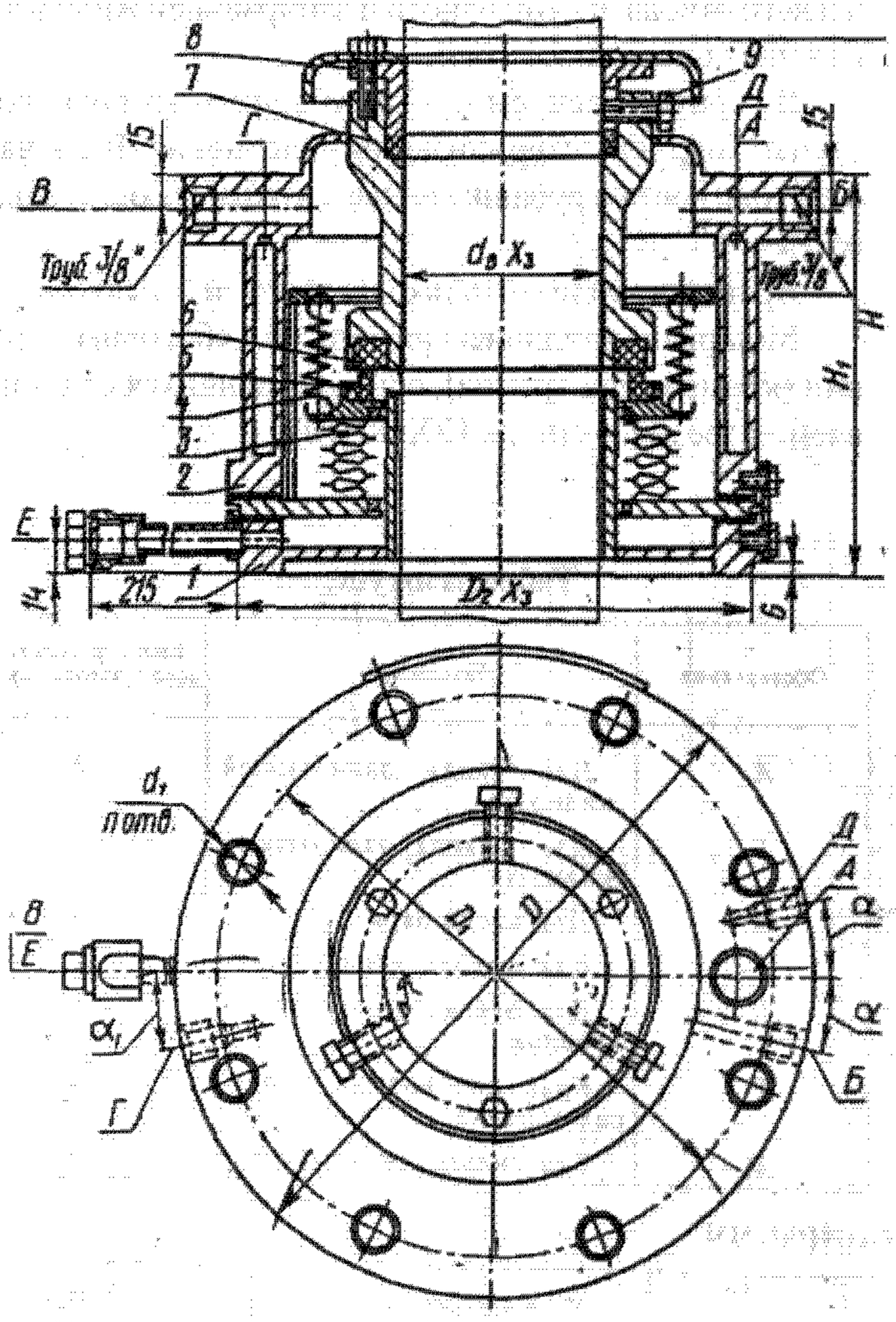


Таблица штуцеров

Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Для залива смазывающей жидкости	6
Б	Для входа смазывающей жидкости	10
В	Для выхода смазывающей жидкости	10
Г	Для входа охлаждающей жидкости	6
Д	Для выхода охлаждающей жидкости	6
Е	Для отвода утечек из основания	6

Основные размеры, мм

Типоразмер уплотнения	d_3X_3	D	D_1	D_2X_3	H	H_1	h	d_1	n, шт	α_1	Масса (не более), кг	Процент. ставк 12Х18Н10Т от общей массы уплотнения
ТСК40-6	40	185	150	128	180	130	6	18	4	22°30′	13	82
ТСК50-6	50	205	170	148	200	140			4	22°30′	15	
ТСК65-6	65	235	200	178	205	150			8	35°	18	
ТСК80-6	80	260	225	202	235	175			8	12°30′	25	
ТСК95-6	95	290	255	232	240	180			8	12°30′	30	
ТСК110-6	110	315	280	258	240	180			8	12°30′	35	
ТСК130-6	130	340	305	282	240	180			8	12°30′	40	

25.1.3. Торцовое уплотнение типа ТДМ-6

Предназначено для герметизации валов малогабаритных аппаратов для работы под давлением до 6 кгс/см² (0,6 МПа) с любыми средами, в которых стойка сталь 12Х18Н10Т.

Уплотнение не рекомендуется применять для работы при избыточном давлении в аппарате с вредными, пожаро- и взрывоопасными средами.

Уплотнение состоит из основания *8*, корпуса *1*, крышки *5* и пружин *2*, обеспечивающих контакт неподвижных *4* и подвижных *3* уплотнительных колец. Пружины установлены во втулке *6*.

Уплотнение неподвижных колец в корпусе и подвижных колец на валу осуществляется всеми круглыми резиновыми уплотнительными кольцами *7*.

В нижней части основания расположен штуцер для выхода жидкости из грязеуловителя.

Электродвигатель, редуктор и корпус подшипниковой опоры смонтированы непосредственно на корпусе уплотнения.

Пары трения смазываются и охлаждаются запирающей жидкостью, химически совместимой со средой в аппарате.

Материал металлических деталей и сборочных единиц, соприкасающихся с уплотняемой средой, — стали 12Х18Н10Т и 10Х17Н13М2Т, сплав 06ХН28МДТ и титан ВТ1-0.

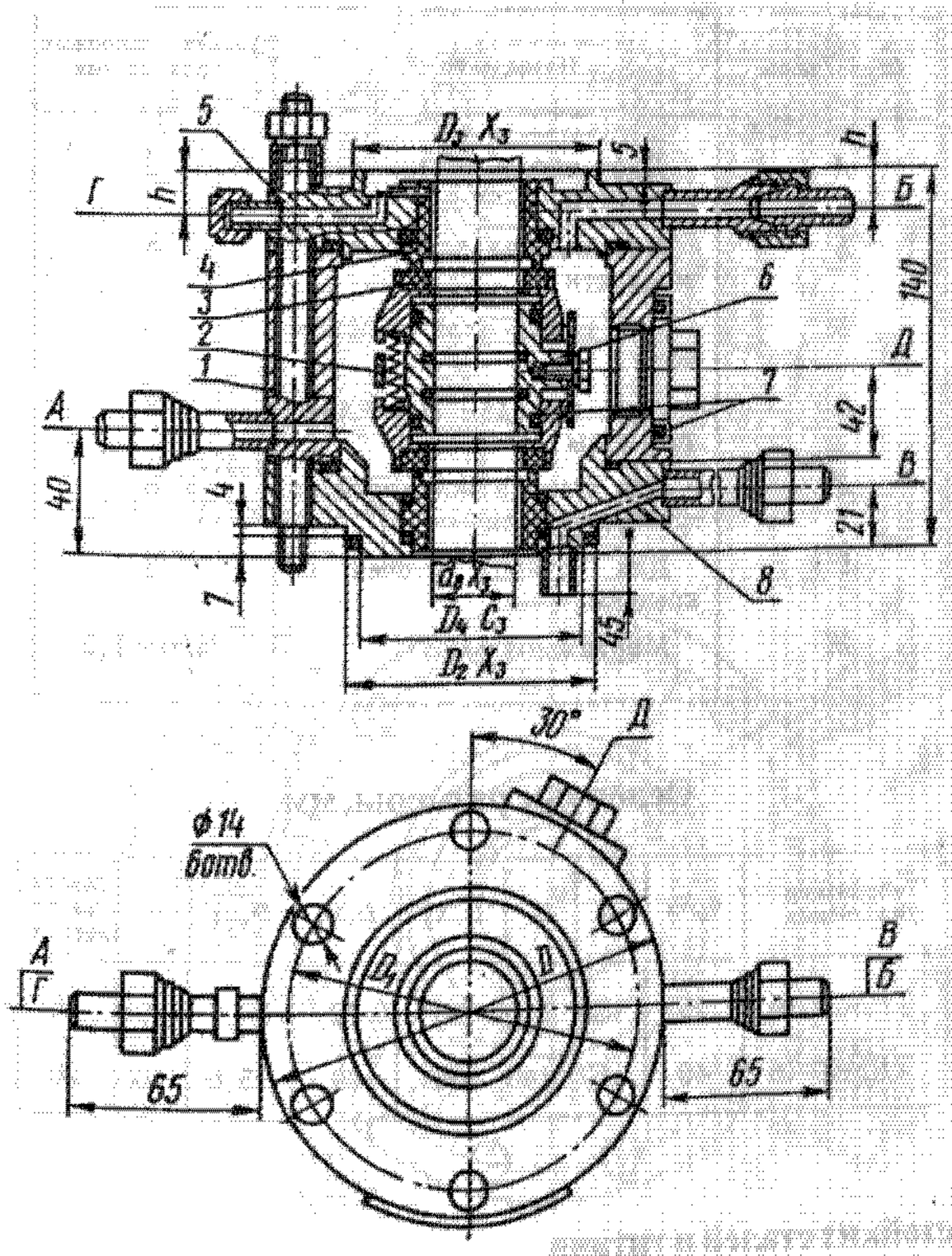


Таблица штуцеров

Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Для входа охлаждающей жидкости	6
Б	Для выхода охлаждающей жидкости	6
В	Для выхода жидкости из грязеуловителя	6
Г	Для отвода утечек на крышки	6
Д	Монтажное окно	М36×1,5

Основные размеры, мм

Типоразмер уплотнения	$d_в X_3$	D	D_1	$D_2 X_3$	$D_4 X_3$	$D_3 C_4$	h	Масса (не более), кг
ТДМ25-6	25	138	110	90	72	80,6	18	12,5
ТДМ40-6	40	167	145	105	100	95,6	16	18

Содержание коррозионностойких сталей и титана в материале уплотнения

Исполнение уплотнения по материалу	$d_в$	Процент от общей массы уплотнения: стали 12Х18Н10Т	стали 10Х17Н13М2Т	сплава 06ХН28МДТ	титана ВТ1-0
К	25	30	—	—	—
	40	32	—	—	—
КЕ	25	4	26	—	—
	40	4	28	—	—
КН	25	4	—	26	—
	40	6	—	26	—
Т	25	5,5	—	—	18
	40	5,5	—	—	17

25.1.4. Торцовое уплотнение типа ТДМ-16

Предназначено для герметизации валов малогабаритных аппаратов под давлением до 16 кгс/см² (1,6 МПа) с любыми средами, в том числе с вредными, взрыво-и пожароопасными.

Двойное торцовое уплотнение состоит из основания *8*, корпуса *4*, крышки *5* и пружин *3*, обеспечивающих контакт неподвижных *2* и подвижных *6* уплотнительных колец.

Подвижные уплотнительные кольца собраны на втулке *7*, которая установлена на валу и закреплена винтами.

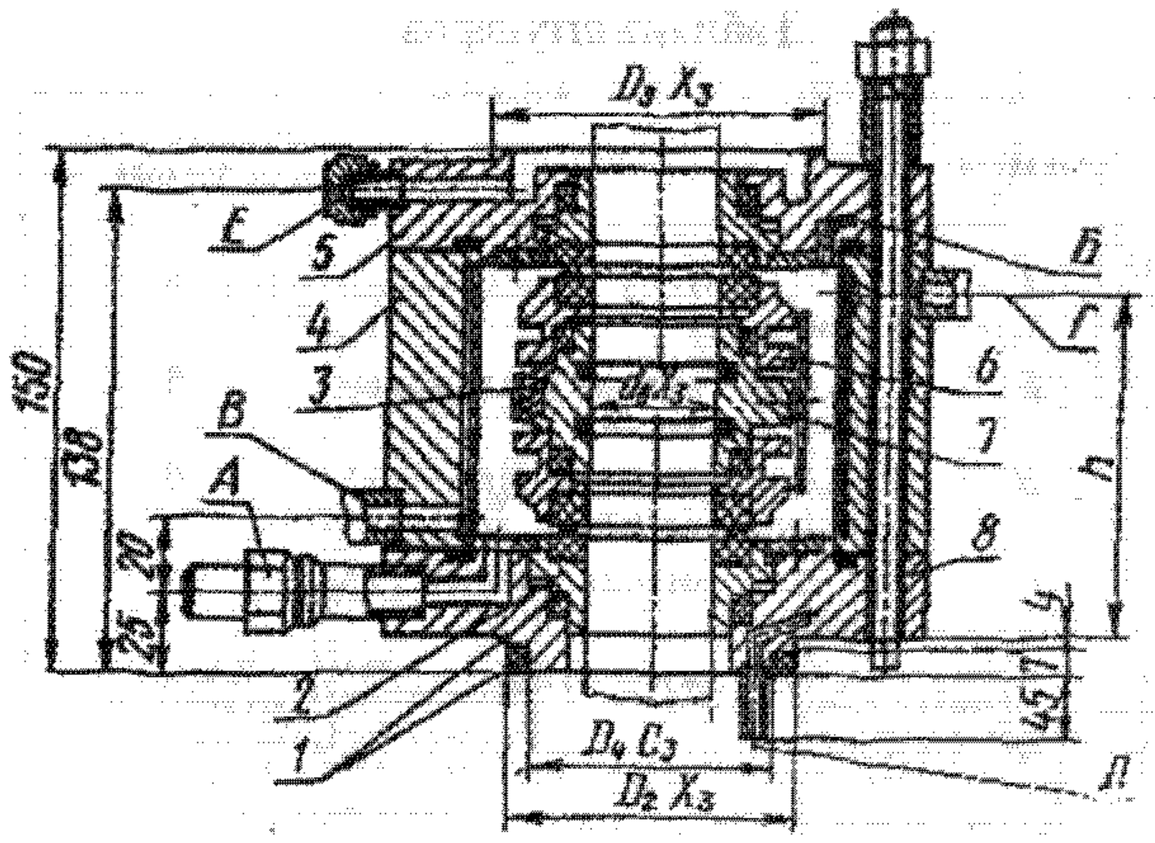
Уплотнение неподвижных колец в корпусе и подвижных колец на валу осуществляется всеми круглыми резиновыми уплотнительными кольцами *1*.

В нижней части основания расположен штуцер для выхода жидкости из грязеуловителя.

Электродвигатель, редуктор и корпус подшипниковой опоры смонтированы непосредственно на корпусе уплотнения.

Пары трения смазываются и охлаждаются запирающей жидкостью, химически совместимой со средой в аппарате.

Материал металлических деталей и сборочных единиц, соприкасающихся с уплотняемой средой, — сталь 12Х18Н10Т или 10Х17Н13М2Т, сплава 06ХН28МДТ, титан ВТ1-0.



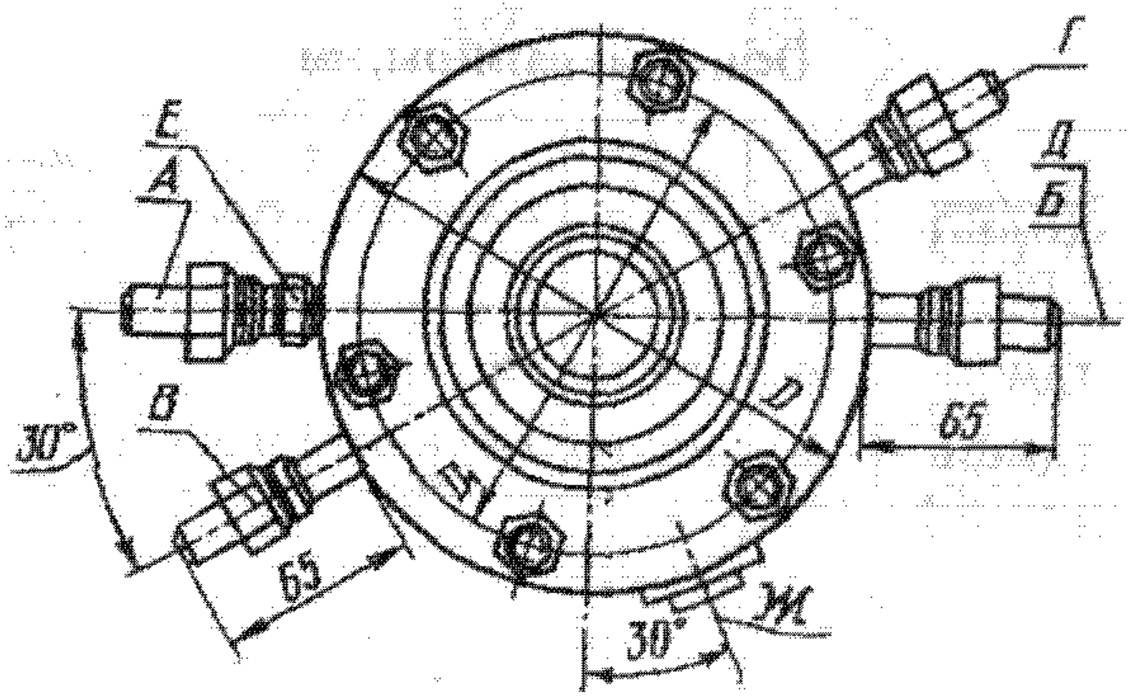


Таблица штуцеров

Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Для входа запирающей жидкости	8
Б	Для выхода запирающей жидкости	8
В	Для входа охлаждающей воды	8
Г	Для выхода охлаждающей воды	8
Д	Для выхода жидкости из грязеуловителя	8
Е	Для отвода утечек из крышки	8
Ж	Монтажное окно	М30×1,5

Основные размеры, мм

Типоразмер уплотнения	$d_в X_3$	D	D_1	$D_2 X_3$	$D_3 X_3$	$D_4 C_3$	h	Масса (не более), кг
ТДМ25-16	25	138	110	90	72	80,6	98	15
ТДМ40-16	40	167	145	105	100	95,6	105	20

Содержание коррозионностойких сталей и титана в материале уплотнения

Исполнение уплотнения по материалу	$d_в$	Процент от общей массы уплотнения			
		стали 12Х18Н10Т	стали 10Х17Н13М2Т	сплава 06ХН28МДТ	титана ВТ1-0
К	25	59	—	—	—
	40	58	—	—	—
КЕ	25	33	26	—	—
	40	31	27	—	—
КН	25	29	—	30	—
	40	31	—	27	—
Т	25	41	—	—	15
	40	43	—	—	17

25.1.5. Торцовое уплотнение типа ТДМ-32

Предназначено для герметизации валов малогабаритных аппаратов. Уплотнение можно применять для работы под давлением до 32 кгс/см² (3,2 МПа) с любыми средами, в том числе с вредными, взрыво- и пожароопасными.

Двойное торцовое уплотнение состоит из основания *9*, корпуса *1*, крышки *6*, пружин *7*, обеспечивающих контакт неподвижных *5* и подвижных *4* уплотнительных колец и монтажного пальца *3*. Втулка *8* с подвижными кольцами закреплена на валу винтами. Уплотнение неподвижных колец в корпусе и подвижных колец на валу осуществляется всеми круглыми резиновыми уплотнительными кольцами *2*.

В нижней части основания расположен штуцер для выхода жидкости из грязеуловителя.

Электродвигатель, редуктор и корпус подшипниковой опоры установлены непосредственно на корпусе уплотнения.

Пары трения смазываются и охлаждаются запирающей жидкостью, химически совместимой с рабочей средой в аппарате.

Материал металлических деталей и сборочных единиц, соприкасающихся с уплотняемой средой, — сталь 12Х18Н10Т или 10Х17Н13М2Т, сплав 06ХН28МДТ, титан ВТ 1-0.

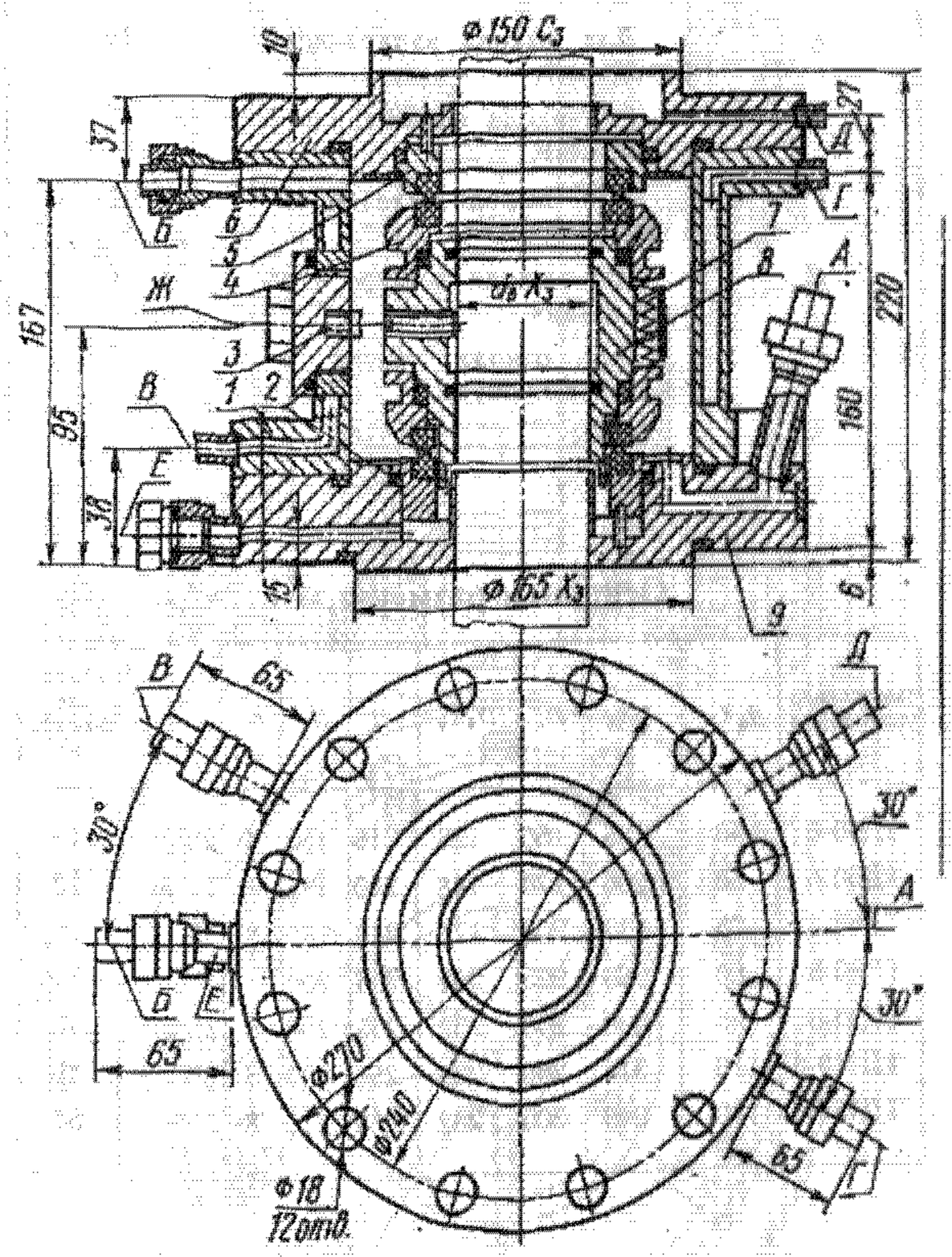


Таблица штуцеров

Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Для входа запирающей жидкости	10
Б	Для выхода запирающей жидкости	10
В	Для входа охлаждающей жидкости	8
Г	Для выхода охлаждающей жидкости	8
Д	Для отвода утечек из крышки	6
Е	Для выхода жидкости из основания	6
Ж	Монтажное окно	М30×1,5

Диаметр уплотняемого вала и масса

Типоразмер уплотнения	$d_в X_3$, мм	Масса (не более), кг
ТДМ50-32	50	60
ТДМ65-32	65	65

Содержание коррозионностойких сталей и титана в материале уплотнения

Исполнение уплотнения по материалу	$d_в$	Процент от общей массы уплотнения			
		стали 12Х18Н10Т	стали 10Х17Н13М2Т	сплава 06ХН28МДТ	титана ВТ1-0
К	50	81	—	—	—
	65	79	—	—	—
КЕ	50	51	30	—	—
	65	52	27	—	—
КН	50	51	—	30	—
	65	50	—	29	—
Т	50	61	—	—	17
	65	60	—	—	18

25.1.6. Торцовое уплотнение типа ТД-6

Предназначено для герметизации валов аппаратов для работы под давлением до 6 кгс/см^2 (0,6 МПа) с вредными, взрыво- и пожароопасными средами.

Двойное торцовое уплотнение состоит из корпуса *1* с крышкой, основания *8*, втулки *5*, вращение которой передается от вала через водило *2*, и пружин *6*, обеспечивающих контакт подвижных *4* и неподвижных *3* уплотнительных колец.

Основание (уловитель утечек) служит для периодического отвода частиц износа и запирающей жидкости из зоны аппарата.

Уплотнение неподвижных колец в корпусе и подвижных колец на втулке осуществляется всеми круглыми резиновыми уплотнительными кольцами *7*.

Пары трения дополнительно охлаждаются жидкостью, циркулирующей в рубашке корпуса.

Материал металлических деталей и сборочных единиц, соприкасающихся с уплотняемой средой, — сталь 12Х18Н10Т или 10Х17Н13М2Т, сплав 06ХН28МДТ, титан ВТ 1-0.

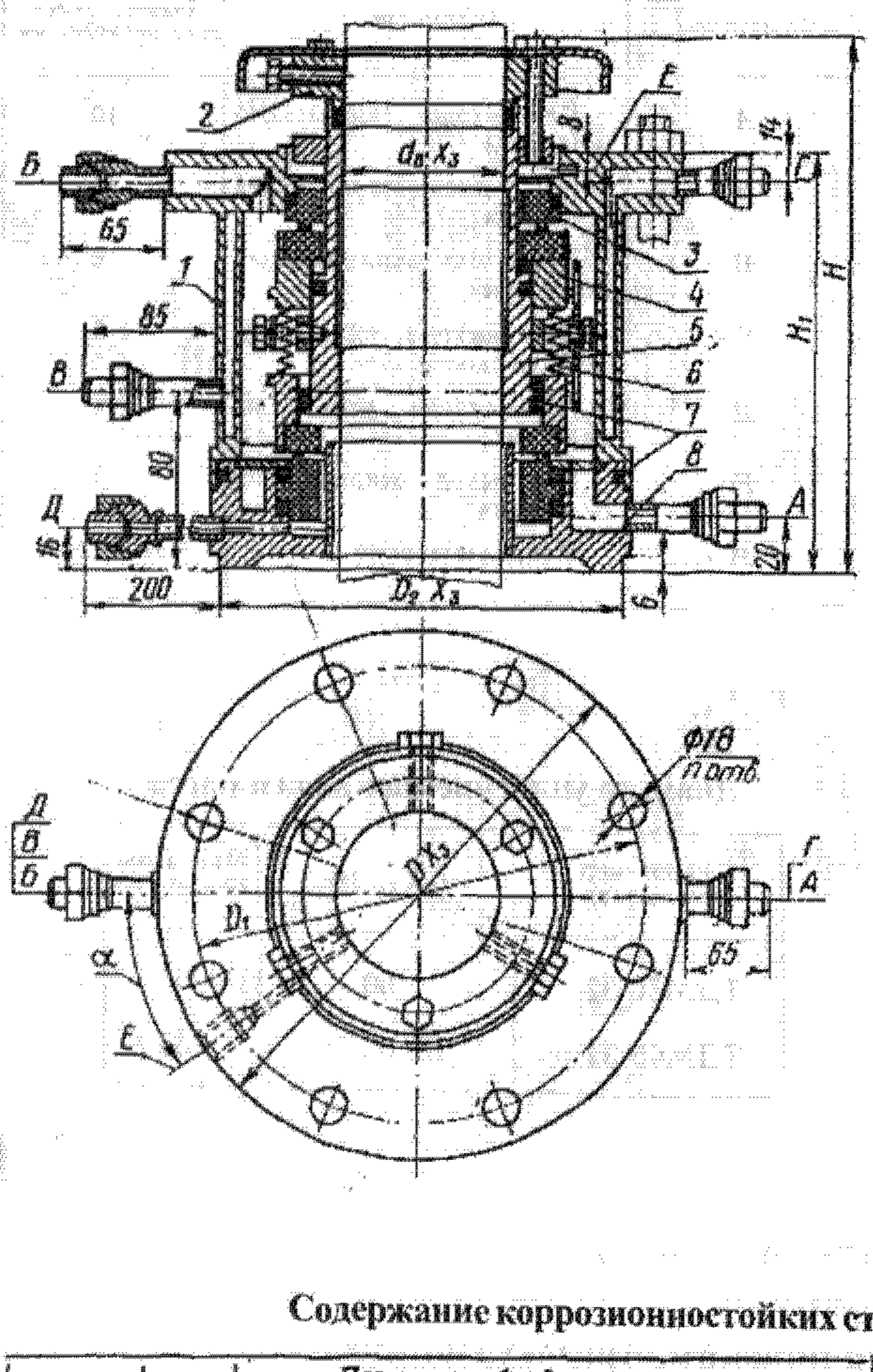


Таблица штуцеров

Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Для входа запирающей жидкости	10
Б	Для выхода запирающей жидкости	10
В	Для входа охлаждающей жидкости	10
Г	Для выхода охлаждающей жидкости	10
Д	Для выхода жидкости из основания	6
Е	Для отвода утечек из крышки корпуса	6

Основные размеры, мм

Типоразмер уплотнения	$d_в X_з$	$DX_з$	D_1	$D_2 X_з$	H	H_1	n, шт	α	Масса (не более), кг
ТД40-6	40	185	150	128	216	165	4	22°30′	18
ТД50-6	50	205	170	148	240	185	4	22°30′	23
ТД65-6	65	235	200	178	240	185	8	35°	25
ТД80-6	80	260	225	202	255	200	8	35°	31
ТД95-6	95	290	255	232	255	200	8	35°	40
ТД110-6	110	315	280	258	255	200	8	35°	45
ТД130-6	130	340	305	282	265	210	8	35°	57

Содержание коррозионностойких сталей и титана в материале уплотнения

Исполнение уплотнения по материалу	$d_в$	Процент от общей массы уплотнения: стали 12Х18Н10Т	стали 10Х17Н13М2Т	сплава 06ХН28МДТ	титана ВТ1-0
К	50	85	—	—	—
	65	79	—	—	—
	80	76	—	—	—
	95	73	—	—	—
	110	75	—	—	—
	130	78	—	—	—
КЕ	50	49	36	—	—
	65	42	37	—	—
	80	38	38	—	—
	95	48	25	—	—
	110	47	28	—	—
	130	50	28	—	—

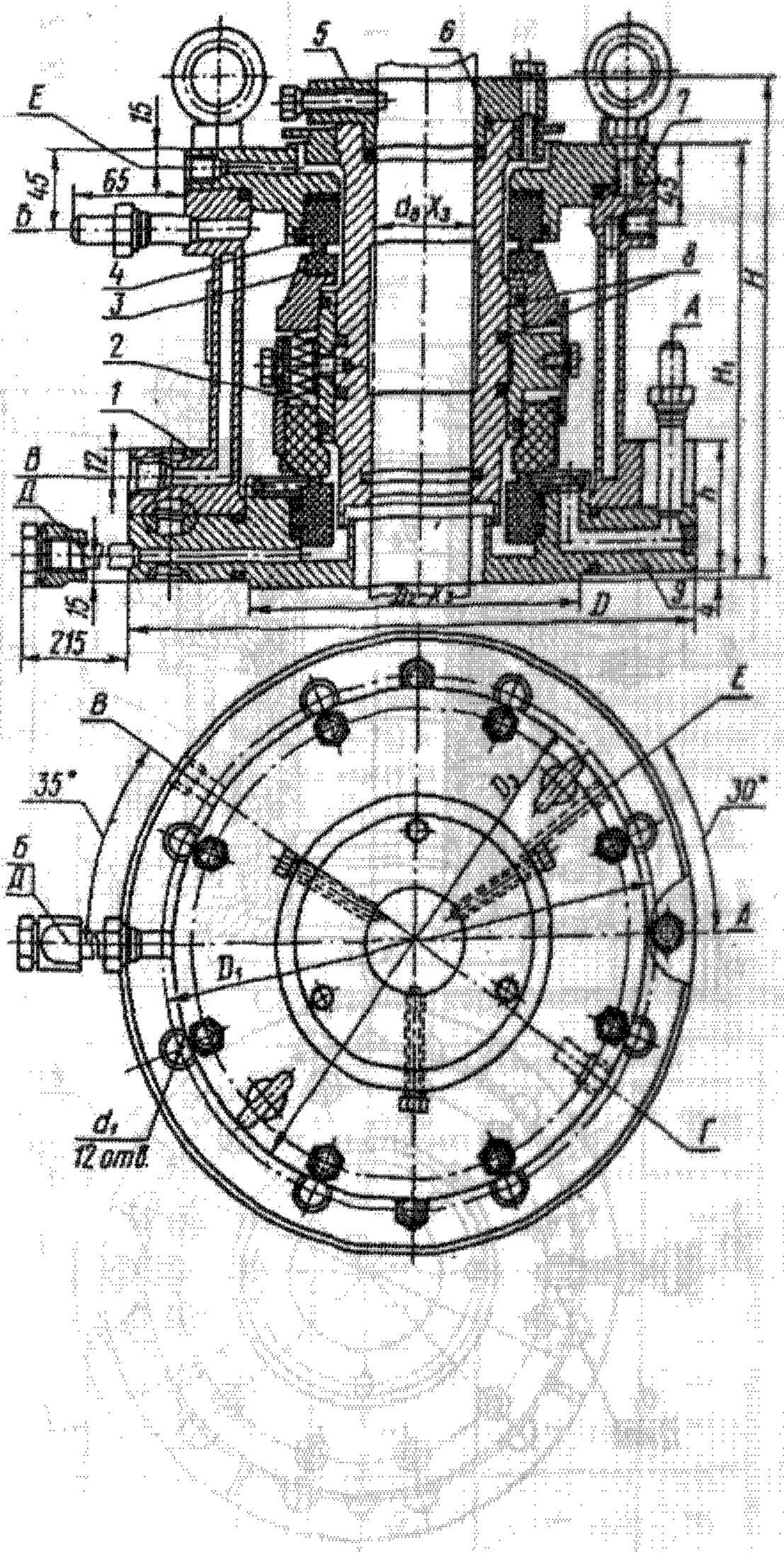
Исполнение уплотнения по материалу	$d_в$	Процент от общей массы уплотнения: стали 12Х18Н10Т	стали 10Х17Н13М2Т	сплава 06ХН28МДТ	титана ВТ1-0
КН	50	67	—	18	—
	65	64	—	15	—
	80	60	—	16	—
	95	56	—	17	—
	110	66	—	19	—
	130	58	—	20	—
Т	50	65	—	—	29
	65	63	—	—	19
	80	60	—	—	21
	95	58	—	—	21
	110	66	—	—	24
	130	64	—	—	21

25.1.7. Торцовое уплотнение типа ТД-25 (ТД-32)*

Предназначено для герметизации валов аппаратов при работе под давлением до 25 кгс/см² (2,5 МПа) с вредными, взрыво- и пожароопасными средами.

Двойное торцовое уплотнение состоит из корпуса *1*, основания *9*, крышки *7*, втулки *6*, вращение которой передается от вала через водило *5*, и пружин *2*, обеспечивающих контакт неподвижных *4* и подвижных *3* уплотнительных колец.

Основание (уловитель утечек) служит для периодического отвода частиц износа и запирающей жидкости из зоны аппарата.



Уплотнение неподвижных колец в корпусе и подвижных колец на втулке осуществляется всеми круглыми резиновыми уплотнительными кольцами *8*.

Материал металлических деталей и сборочных единиц, соприкасающихся с уплотняемой средой, сталь 12Х18Н10Т или 10Х17Н13М2Т, сплав 06ХН28МДТ, титан ВТ1-0.

Таблица штуцеров

Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Для входа запирающей жидкости	10
Б	Для выхода запирающей жидкости	10
В	Для входа охлаждающей жидкости	6
Г	Для выхода охлаждающей жидкости	6
Д	Для выхода жидкости из основания	6
Е	Для отвода утечек из крышки корпуса	6

Основные размеры, мм

Типоразмер уплотнения	$d_3 X_3$	D	D_1	$D_2 X_2$	D_3	H	H_1	b	d_1	Масса (не более), кг
ТД50-25	50	270	240	165	235	260	220	60	18	58
ТД65-25	65	270	240	165	235	260	220	60	18	58
ТД80-25	80	330	280	195	275	280	230	70	27	60
ТД95-25	95	330	280	195	275	280	230	70	27	75
ТД110-25	110	360	310	225	300	290	230	70	27	90
ТД130-25	130	395	340	225	340	290	250	75	30	100

Примечание. При использовании уплотнений для эмалированных аппаратов на давление до 6 кгс/см² для сред 1-го класса (ГОСТ 12.1.007—76) и на давление до 16 кгс/см² для остальных сред (кроме вышеуказанных) нижняя поверхность основания изготовляют без выступа (с гладкой уплотнительной поверхностью). В этом случае диаметры D и D_2 должны быть с предельными отклонениями по $C_3(DC_3$ и $D_2C_3)$.

* Уплотнения на расчетное давление 32 кгс/см² (3,2 МПа) изготовляют по специальному заказу с размерами, соответствующими основным размерам и другим рабочим параметрам Уплотнений на давление 25 кгс/см² (2,5 МПа).

Содержание коррозионностойких сталей и титана в материале уплотнения

Исполнение уплотнения по материалу	$d_в$	Процент от общей массы уплотнения			
		стали 12Х18Н10Т	стали 10Х17Н13М2Т	сплава 06ХН28МДТ	титана ВТ1-0
К	50	90	—	—	—
	65	90	—	—	—
	80	87	—	—	—
	95	87	—	—	—
	110	89	—	—	—
	130	92	—	—	—
КЕ	50	48	42	—	—
	65	49	41	—	—
	80	45	42	—	—
	95	45	42	—	—
	110	50	30	—	—
	130	51	41	—	—
КН	50	66	—	24	—
	65	68	—	22	—
	80	63	—	24	—
	95	63	—	24	—
	110	60	—	29	—
	130	62	—	30	—
Т	50	58	—	—	30
	65	59	—	—	28
	80	53	—	—	31
	95	55	—	—	29
	110	51	—	—	29
	130	50	—	—	29

*25.1.8. Торцовое уплотнение типа ТДП-25 (ТДП-32)**

Предназначено для герметизации валов аппаратов при работе под давлением до 25 кгс/см² (2,5 МПа) с вредными, взрыво- и пожароопасными средами.

Уплотнение состоит из корпуса *7*, основания *9*, втулки *5*, вращение которой передается от вала через водило *6*, корпуса *7*, встроенного подшипника *4* и пружин *8*, обеспечивающих контакт подвижных *2* и неподвижных *3* уплотнительных колец.

Основание (уловитель утечек) служит для периодического отвода частиц износа и запирающей жидкости из зоны аппарата. Для устранения биения вал опирается на подшипник, который служит промежуточной опорой и воспринимает радиальную нагрузку.

Уплотнение неподвижных колец в корпусе и подвижных колец на втулке осуществляется всеми круглыми резиновыми уплотнительными кольцами *10*.

Материал металлических деталей и сборочных единиц, соприкасающихся с уплотняемой средой, — сталь 12Х18Н10Т или 10Х17Н13М2Т, сплав 06ХН28МДТ, титан ВТ1-0.

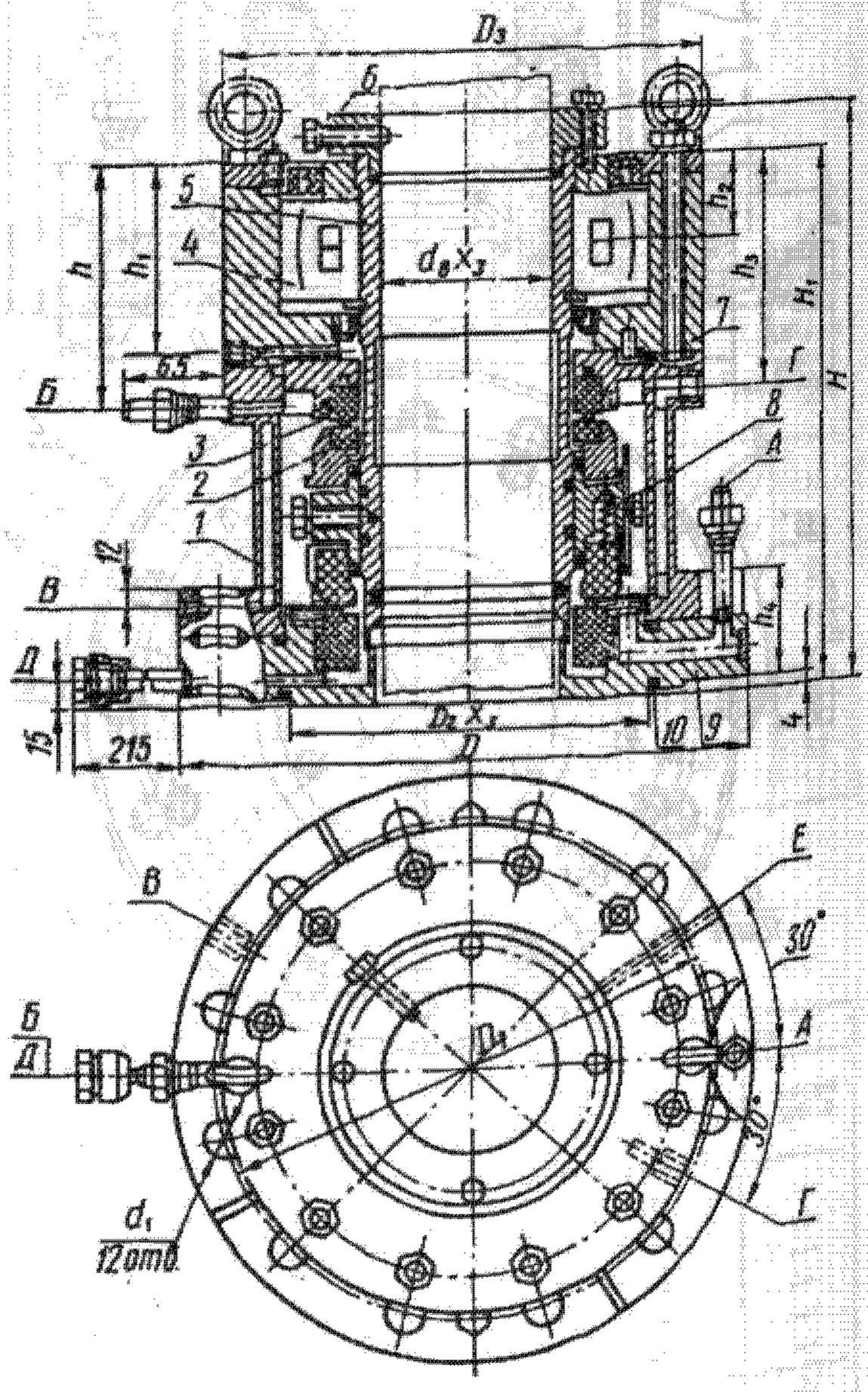


Таблица штуцеров

Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Для входа запирающей жидкости	10
Б	Для выхода запирающей жидкости	10
В	Для входа охлаждающей жидкости	8
Г	Для выхода охлаждающей жидкости	8
Д	Для выхода жидкости из основания	6
Е	Для отвода утечек	6

Основные размеры, мм

Типоразмер уплотнения	$d_в X_3$	Номер подшипника (ГОСТ 5721—75)	D	D_1	$D_2 X_2$	D_3	H	H_1	h	h_1	h_2	h_3	h_4	d_1	Масса (не более), кг
ТДП50-25	50	3617	270	240	165	235	355	315	140	110	50	135	60	18	90
ТДП65-25	65	3617	270	240	165	235	355	315	140	110	50	135	60	18	90
ТДП80-25	80	3524	330	280	195	275	360	320	135	105	52	130	70	27	115
ТДП95-25	95	3524	330	280	195	275	360	320	135	105	52	130	70	27	115
ТДП110-25	110	3526	360	310	225	300	375	340	145	115	55	150	70	27	155
ТДП130-25	130	3530	395	340	225	340	400	365	160	130	60	165	75	30	175

Примечание. При использовании уплотнений для эмалированных аппаратов на давление до 6 кгс/см² для сред 1-го класса (ГОСТ 12.1.007—76) и на давление до 16 кгс/см² для остальных сред (кроме вышеуказанных) нижнюю поверхность уловителя изготовляют без выступа (с гладкой уплотнительной поверхностью). В этом случае диаметр D_3 должен быть с предельными отклонениями по $C_3(D_1C_3)$.

Содержание коррозионностойких сталей и титана в материале уплотнения

Исполнение уплотнения по материалу	$d_в$	Процент от общей массы уплотнения: стали 12Х18Н10Т	стали 10Х17Н13М2Т	сплава 06ХН28МДТ	титана ВТ1-0
К	50	90	—	—	—
	65	90	—	—	—
	80	87	—	—	—
	95	87	—	—	—
	110	89	—	—	—
	130	92	—	—	—
КЕ	50	48	42	—	—
	65	49	41	—	—
	80	45	42	—	—
	95	45	42	—	—
	110	50	30	—	—
	130	51	41	—	—

Исполнение уплотнения по материалу	$d_в$	Процент от общей массы уплотнения: стали 12Х18Н10Т	стали 10Х17Н13М2Т	сплава 06ХН28МДТ	титана ВТ1-0
КН	50	66	—	24	—
	65	68	—	22	—
	80	63	—	24	—
	95	63	—	24	—
	110	60	—	29	—
	130	62	—	30	—
Т	50	58	—	—	30
	65	59	—	—	28
	80	53	—	—	31
	95	55	—	—	29
	110	51	—	—	29
	130	50	—	—	29

25.1.9. Торцовое уплотнение типа ТСФ

Предназначено для герметизации валов аппаратов с коррозионностойкими покрытиями (в том числе эмалированных, покрытых кислотостойкой или кислотощелочестойкой эмалями) для работ с высокоагрессивными средами при давлении до 4 кгс/см² (0,4 МПа).

Не рекомендуется применять при избыточном давлении для работы с вредными и взрыво- и пожароопасными средами.

Уплотнение состоит из корпуса *1*, сильфона *5*, пружин *4*, обеспечивающих контакт неподвижного *2* и подвижного *3* уплотнительных колец, и уплотнительных колец *7*.

Уровень смазывающей жидкости определяют по указателю уровня *6*.

Нижний фланец уплотнения защищен от уплотняемой среды кожухом *8*.

Материал деталей, соприкасающихся с уплотняемой средой: кожуха, сильфона — фторопласт Ф-4; подвижного и неподвижного уплотнительных колец — графит; уплотнительного кольца (поз. *7*) — резина или резина во фторопластовой оболочке.

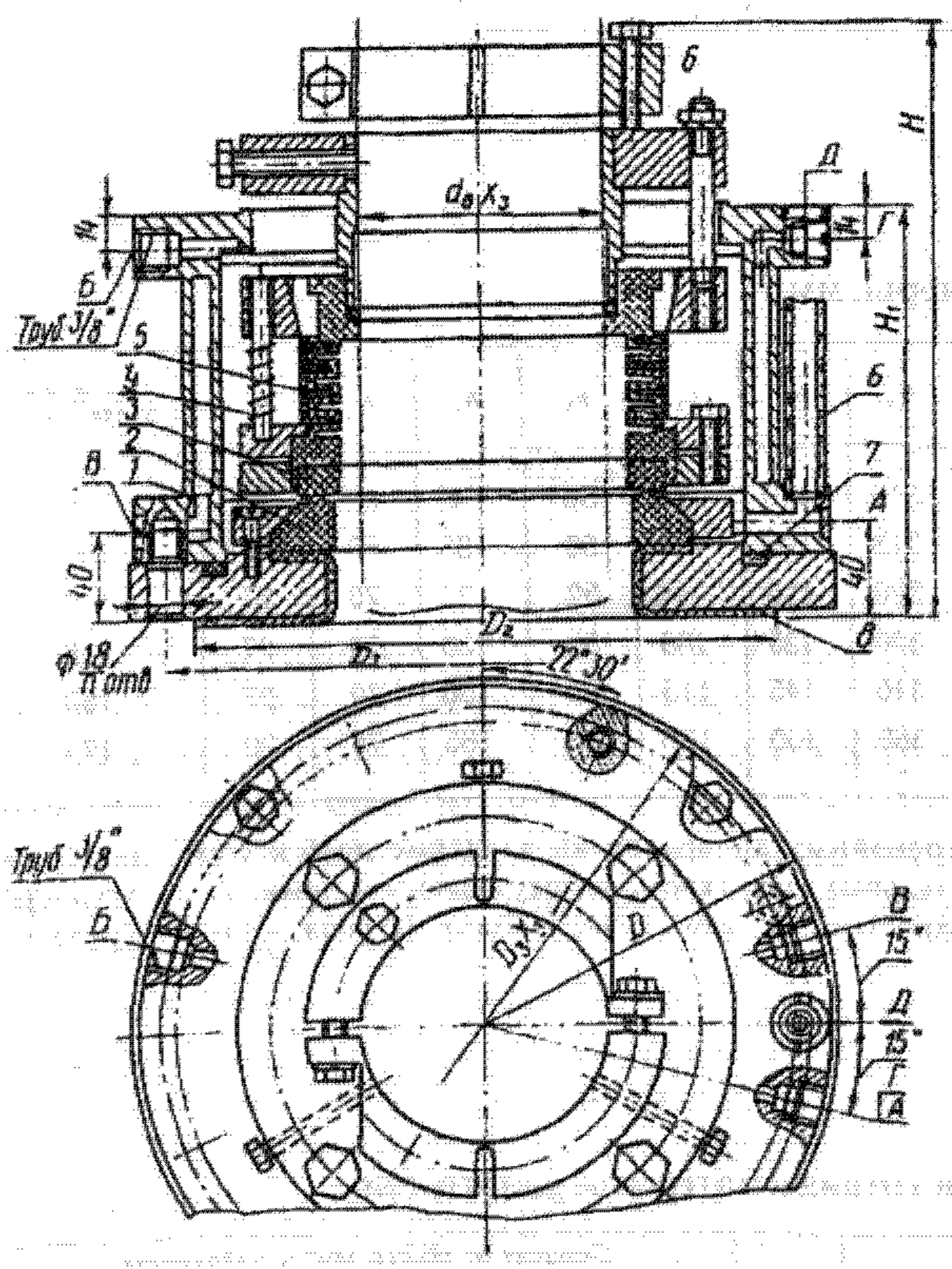


Таблица штуцеров

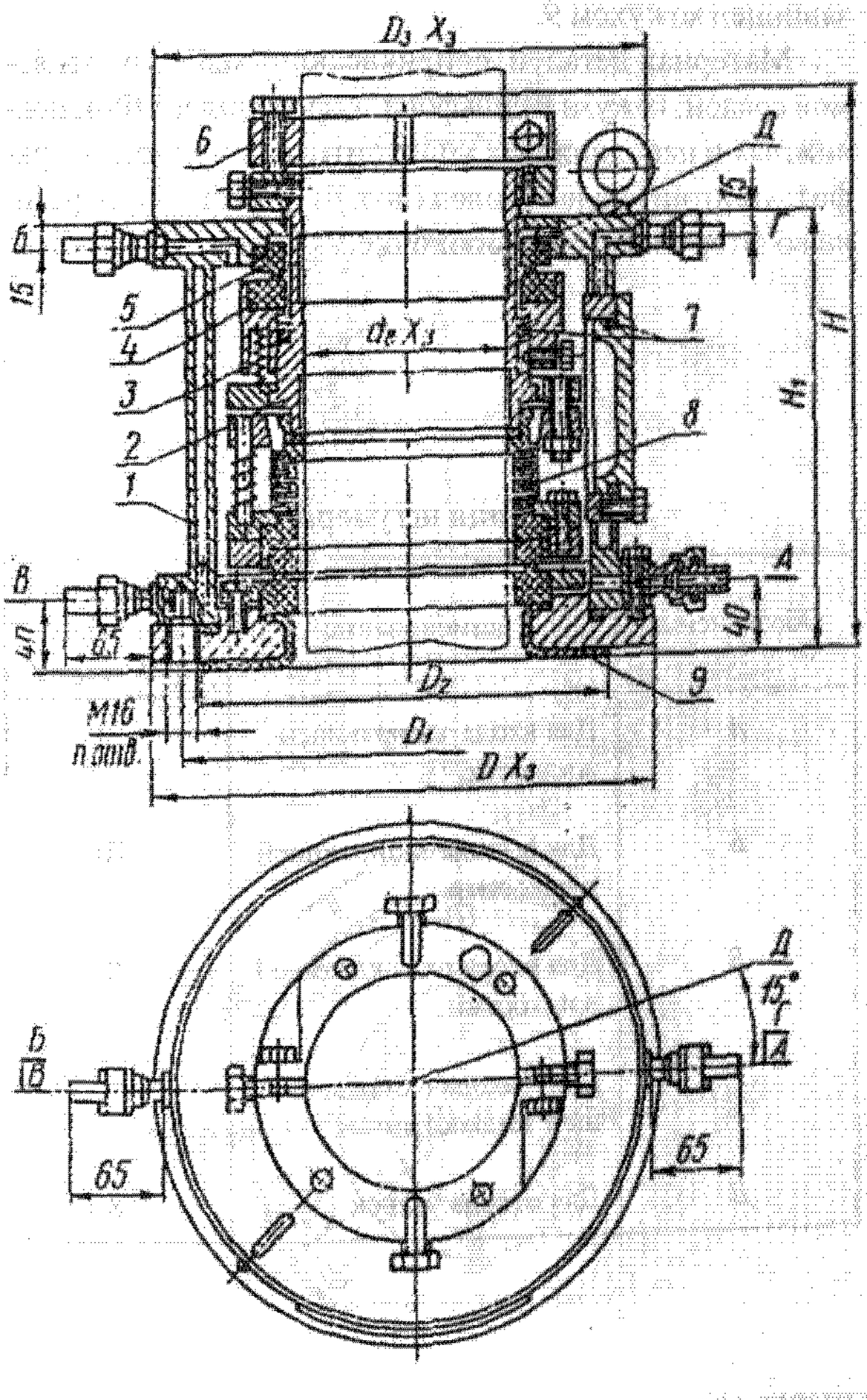
Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Для входа запирающей жидкости	10
Б	Для выхода запирающей жидкости	10
В	Для входа охлаждающей жидкости	8
Г	Для выхода охлаждающей жидкости	8
Д	Для отвода утечек	8

Основные размеры, мм

Типоразмер уплотнения	$d_в X_3$	$DX_в$	D_1	D_3	$D_2 X_3$	H	H_1	n, шт	Масса (не более), кг	Процент стали 12Х18Н10Т от общей массы уплотнения
ТСФ40-4	40	205	170	148	200	245	165	4	18	80
ТСФ50-4	50	235	170	148	230	245	165	4	22	84
ТСФ65-4	65	235	170	148	230	245	165	4	28	87
ТСФ80-4	80	260	225	202	255	245	165	8	34	88
ТСФ110-4	110	315	280	258	310	265	182	8	48	89
ТСФ130-4	130	315	280	258	310	265	182	8	55	87

25.1.10. Торцовое уплотнение типа ТДФ

Предназначено для герметизации валов аппаратов с коррозионностойкими покрытиями (в том числе эмалированных, покрытых кислотостойкой или кислотощелочестойкой эмалями) для работы под давлением до 6 кгс/см^2 (0,6 МПа) с высокоагрессивными, вредными, взрыво- и пожароопасными средами.



Двойное торцовое уплотнение состоит из корпуса *1* с крышкой, сильфона *8*, подвижного *4* и неподвижного *5* уплотнительных колец и пружин *3*, обеспечивающих контакт подвижных и неподвижных уплотнительных колец. Подвижное кольцо установлено на втулке *2*, вращение которой передается от вала через водило *6*.

Уплотнение неподвижных колец в корпусе и подвижных колец на валу осуществляется круглыми резиновыми уплотнительными кольцами *7*.

Нижний фланец уплотнения защищен от уплотняемой среды кожухом *9*.

Материал деталей, соприкасающихся с уплотняемой средой: кожуха и сильфона — фторопласт Ф-4; подвижных и неподвижных уплотнительных колец — графит; уплотнительных колец (поз. 7) — резина или резина во фторопластовой оболочке.

Таблица штуцеров

Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Для входа запирающей жидкости	10
Б	Для выхода запирающей жидкости	10
П	Для входа охлаждающей жидкости	8
Г	Для выхода охлаждающей жидкости	8
Д	Для отвода утечек из крышки корпуса	8

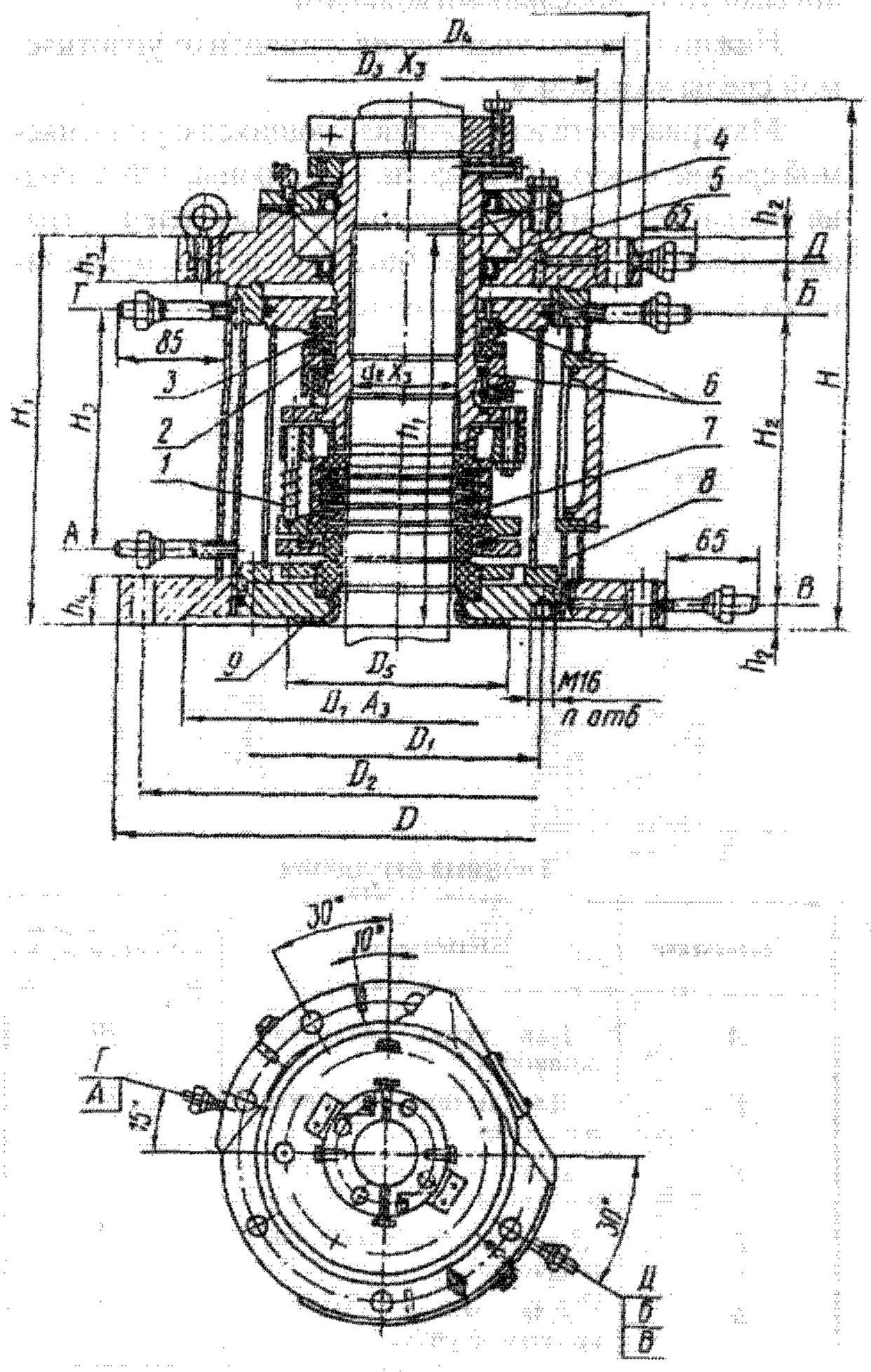
Основные размеры, мм

Типоразмер уплотнения	$d_в X_3$	DX_3	D_1	D_2	$D_3 X_3$	H	H_1	n, шт	Масса (не более), кг	Процент стали 12Х18Н10Т от общей массы уплотнения
ТСФ40-4	40	205	170	148	200	245	165	4	18	80
ТСФ50-4	50	235	170	148	230	245	165	4	22	84
ТСФ65-4	65	235	170	148	230	245	165	4	28	87
ТСФ80-4	80	260	225	202	255	245	165	8	34	88
ТСФ110-4	110	315	280	258	310	265	182	8	48	89
ТСФ130-4	130	315	280	258	310	265	182	8	55	87

25.1.11. Торцовое уплотнение типа ТДПФ

Предназначено для герметизации валов аппаратов с коррозионностойкими покрытиями (в том числе эмалированных, покрытых кислотостойкой и кислотощелочестойкой эмалями) для работы под давлением до 6 кгс/см^2 (0,6 МПа) с высокоагрессивными, вредными, взрыво- и пожароопасными средами.

Двойное торцовое уплотнение состоит из корпуса



8, сильфона *7*, втулки *4*, вращение которой передается от вала, и пружин *1*, обеспечивающих контакт подвижных *2* и неподвижных *3* уплотнительных колец.

Для уменьшения биения вал опирается на подшипник *5*, который служит промежуточной опорой и воспринимает радиальную нагрузку.

Уплотнение неподвижных колец в корпусе и подвижных колец на втулке осуществляется всеми круглыми резиновыми уплотнительными кольцами *6*.

Пары трения смазываются и охлаждаются запирающей жидкостью, химически совместимой с рабочей средой в аппарате.

Нижний фланец уплотнения от уплотняемой среды защищен кожухом *9*.

Материал деталей, соприкасающихся с уплотняемой средой: кожуха и сильфона — фторопласт Ф-4; подвижных и неподвижных уплотнительных колец — графит; уплотнительных колец (поз. *6*) — резина или резина во фторопластовой оболочке.

Таблица штуцеров

Обозначение	Наименование	Диаметр условного прохода, мм
А	Для входа запирающей жидкости	10
Б	Для выхода запирающей жидкостми	10
В	Для входа охлаждающей жидкостми	8
Г	Для выхода охлаждающей жидкостми	8
Д	Для отвода утечек	8

Основные размеры, мм

Типоразмер уплотнения	Номер подшипника (ГОСТ 5721–75)	d_3X_3	D	D_1	D_2	D_3X_3	D_4	D_5	D_6	D_7A_3	H	H_1	H_2	H_3	h_1 (шт)	h_2	h_3	h_4	n	Масса (не более), кг	Процент стали 12Х18Н10Т от общей массы уплотнения
ТДПФ40-6	3514	40	340	170	300	260	300	148	340	250	415	315	215	175	295	20	36	34	4	100	51
ТДПФ50-6	3514	50	340	170	300	260	300	148	340	250	415	315	215	175	295	20	36	34	4	100	51
ТДПФ65-6	3517	65	390	170	350	260	300	148	340	300	420	315	215	175	315	20	36	34	4	105	51
ТДПФ80-6	3520	80	390	225	350	290	330	202	370	300	440	335	215	205	325	20	40	36	8	131	44
ТДПФ110-6	3526	110	540	280	500	330	395	258	435	450	482	320	227	155	345	18	36	34	8	204	97
ТДПФ130-6	3530	130	580	280	540	400	480	258	520	490	505	320	227	155	360	18	36	34	8	230	70

25.1.12. Торцовое уплотнение типа ТДПФ-01

Предназначено для герметизации валов аппаратов с коррозионностойкими покрытиями (в том числе эмалированных, покрытых кислотостойкой или щелочестойкой эмалями) для работы под давлением до 6 кгс/см² (0,6 МПа) с высокоагрессивными, вредными, взрыво- и пожароопасными средами.

Двойное торцовое уплотнение состоит из корпуса 9, сильфона 1, корпуса 5 встроенного подшипника, втулки 4, вращение которой передается от вала, и пружин 8, обеспечивающих контакт подвижных 7 и неподвижных 6 уплотнительных колец.

Для уменьшения биения вал опирается на подшипник 3, который служит промежуточной опорой и воспринимает радиальную нагрузку.

Уплотнение неподвижных колец в корпусе и подвижных колец на втулке осуществляется всеми круглыми уплотнительными кольцами 2.

Нижний фланец уплотнения защищен от уплотняемой среды фторопластовым кожухом 10.

Материал деталей, соприкасающихся с уплотняемой средой: кожуха и сильфона — фторопласт Ф-4; подвижных и неподвижных уплотнительных колец — графит; уплотнительных колец (поз. 2) — резина или резина во фторопластовой оболочке.

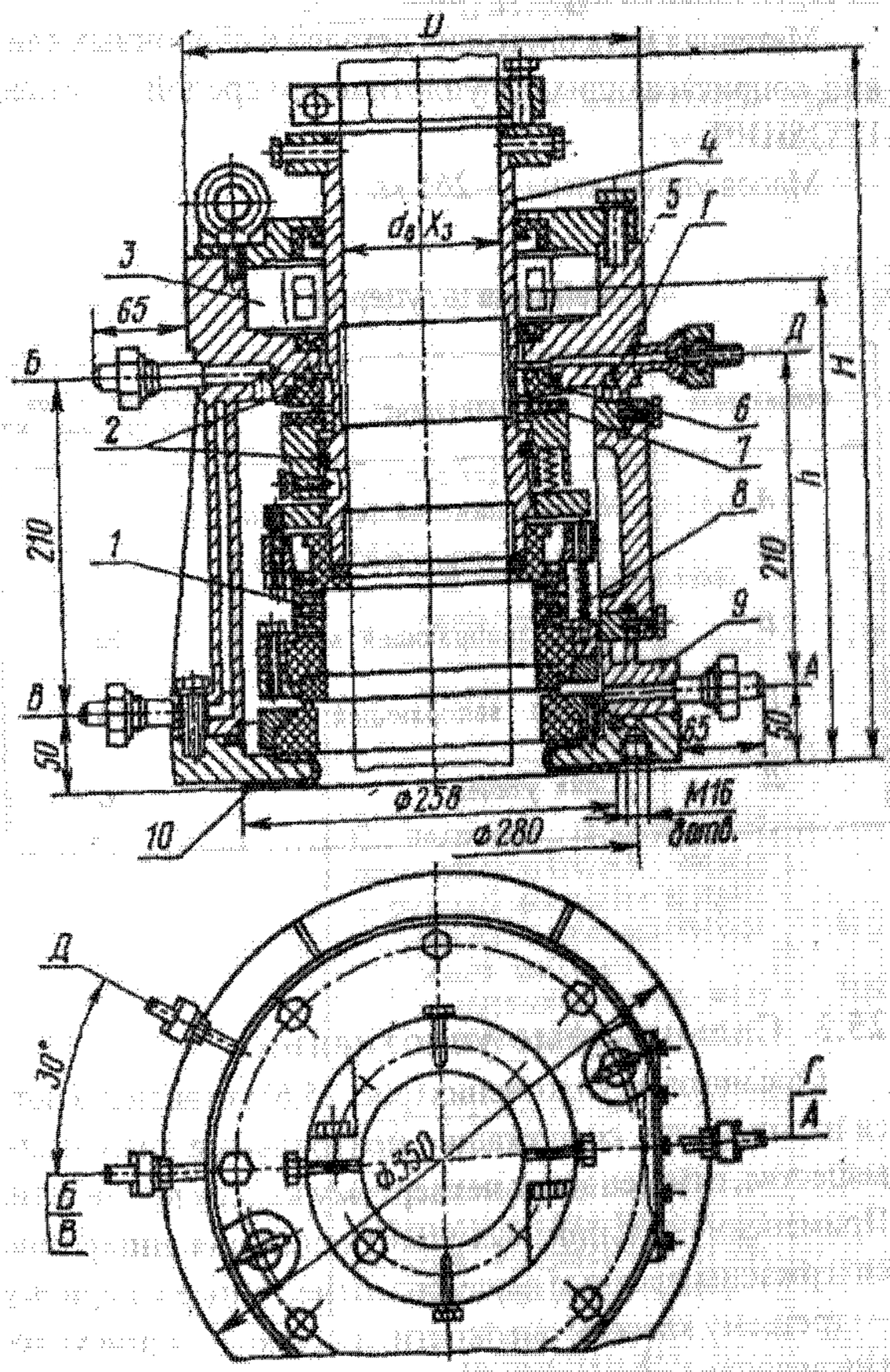


Таблица штуцеров

Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Для входа запирающей жидкости	10
Б	Для выхода запирающей жидкости	10
В	Для входа охлаждающей жидкости	10
Г	Для выхода охлаждающей жидкости	10
Д	Для отвода утечек из корпуса подшипника	6

Основные размеры, мм

Типоразмер уплотнения	Номер подшипника (ГОСТ 5721—75)	$d_в X_з$	D	H	h	Масса (не более), кг	Процент стали 12Х18Н10Т от общей массы уплотнения
ТДПФ110-6-01	3526	110	300	470	320	126	89
ТДПФ130-6-01	3530	130	340	490	335	153	87

25.1.13. Торцовое уплотнение типа ТДПН 110-6К

Предназначено для герметизации вертикального вала диаметром 110 мм нижнего привода аппарата для работы под давлением до 6 кгс/см² (0,6 МПа) с вредными, взрыво- и пожароопасными средами.

Двойное торцовое уплотнение состоит из корпуса *2*, втулки *3*, вращение которой передается от вала через водило *12*, двух вращающихся колец трения *1* и *4*, поджимаемых пружинами *9* к неподвижным кольцам трения *11* и *7*. В корпусе уплотнения установлен роликовый радиально-сферический двухрядный подшипник *8*, воспринимающий радиальную нагрузку. Зазоры между сопрягаемыми деталями герметизированы круглыми уплотнительными кольцами *10*.

В камеру гидроподпора, ограниченную корпусом и вращающимся узлом, подается запирающая жидкость под давлением на 1—2 кгс/см² выше давления в аппарате. Это исключает возможность выхода уплотняемой среды из аппарата и одновременно обеспечивает смазку деталей и отвод тепла от пар трения. В качестве запирающей жидкости применяют минеральное масло или другие жидкости.

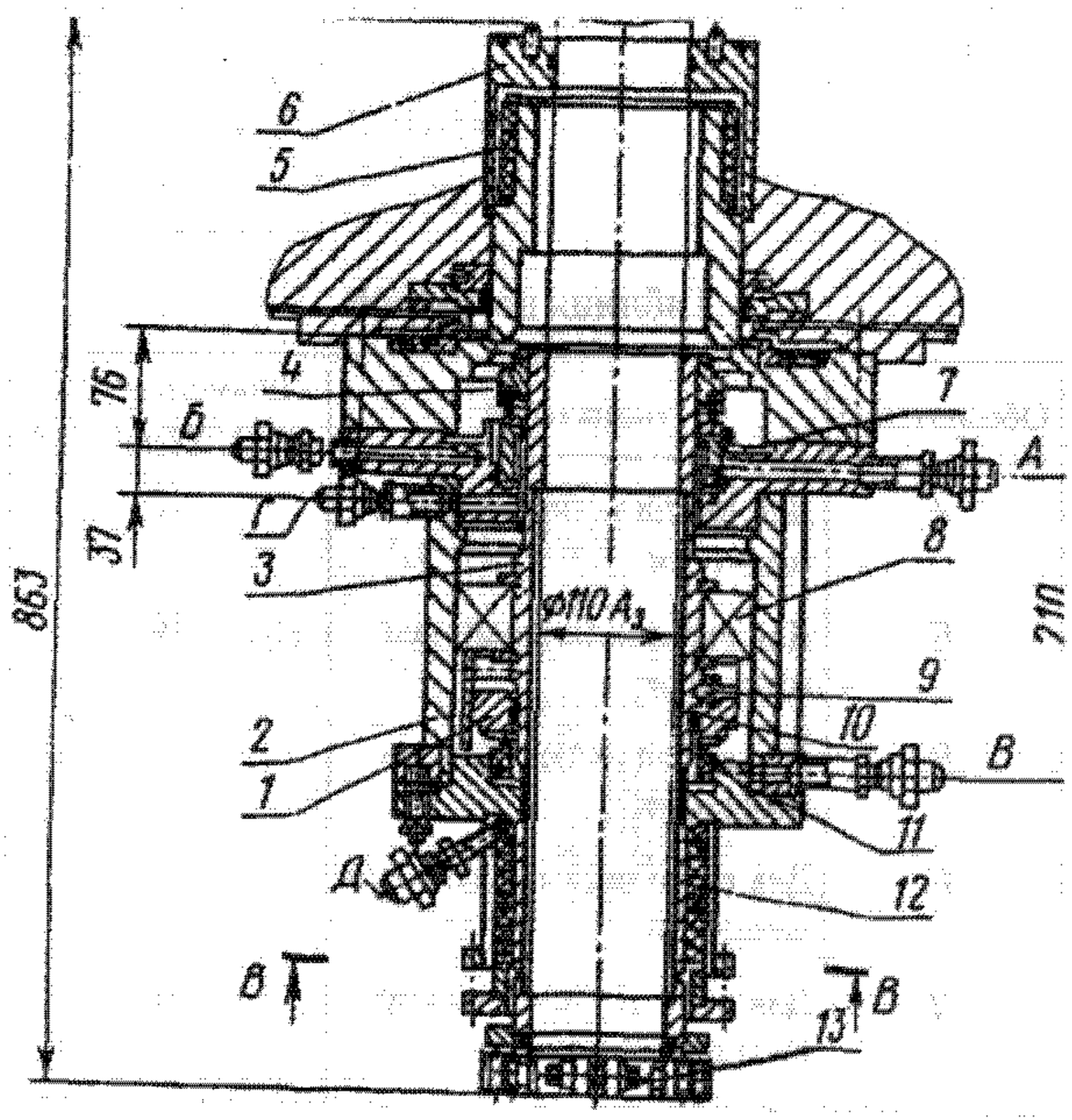
В связи со специфическими условиями работы узел уплотнения дополнительно оснащен защитным и аварийным устройствами. Защитное устройство представляет собой набор манжет *5*, создающих вместе с вращающимся стаканом *6* гидравлический затвор.

Через защитное устройство в аппарат постоянно поступает защитная жидкость, в качестве которой используется один из компонентов рабочей среды или другая жидкость, нейтральная к ней.

Уплотнение оснащено аварийным устройством — сальником *12*, герметизирующим аппарат при выходе из строя нижней пары трения.

Материал металлических деталей и сборочных единиц, соприкасающихся с уплотняемой средой, — сталь 12Х18Н10Т.

Масса уплотнения — 265 кг.



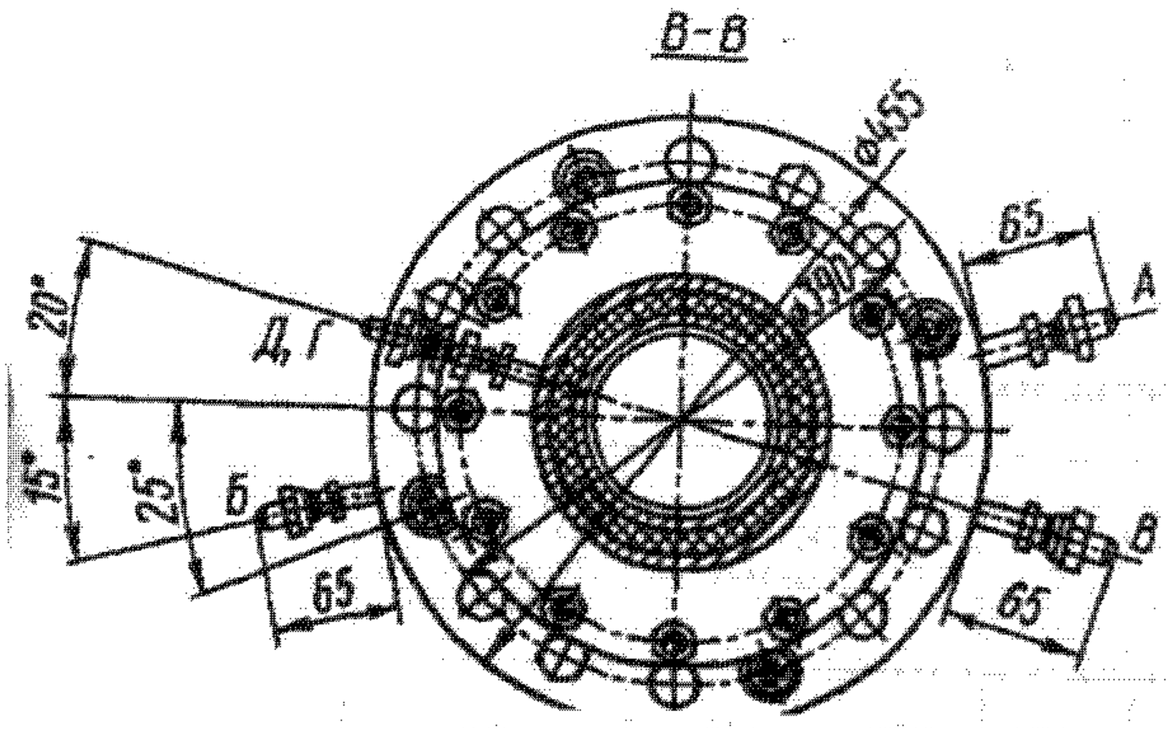


Таблица штуцеров

Обозначение	Назначение	Диаметр условного прохода, мм
А	Вход защитной жидкости	10
Б	Выход защитной жидкости	10
В	Вход запирающей жидкости	10
Г	Выход заппрающей жидкости	10
Д	Слив утечек	10

25.2. Сальниковые уплотнения

Сальниковые уплотнения (рис. 25.6) устанавливаются на аппараты, содержащие нейтральные среды или вещества, отнесенные к четвертому классу вредности. Применение сальниковых уплотнений для аппаратов, содержащих вредные вещества, отнесенные к первому — третьему классам опасности, допускается при условии наличия паров этих веществ над поверхностью жидкости в аппарате в количестве, не превышающем предельно допустимые концентрации. Применение сальниковых уплотнений для аппаратов, содержащих взрывоопасные вещества, не рекомендуется.

Типы и основные параметры сальниковых уплотнений приведены в табл. 25.5, основные размеры — в табл. 25.6.

В сальниковых уплотнениях применяют набивки по ГОСТ 5152—84, указанные в табл. 25.7.

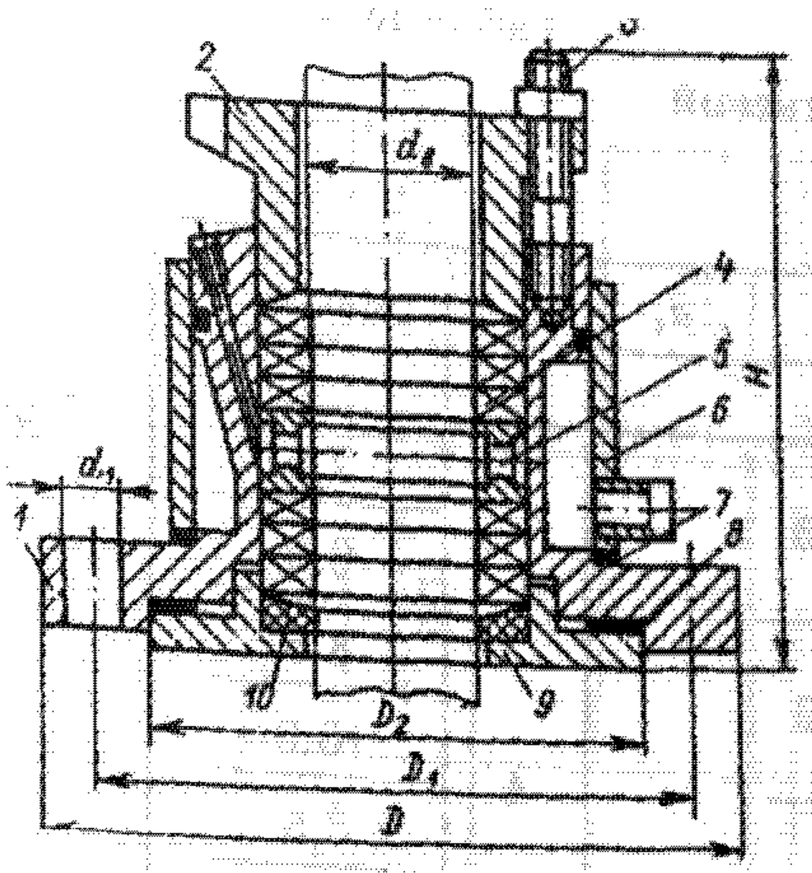


Рис. 25.6. Сальниковое уплотнение с охлаждением корпуса и подводом смазывающей или уплотняющей жидкости к валу:
1 — корпус; *2* — нажимная втулка; *3* — шпилька с гайкой; *4* — набивка; *5* — фонарь; *6* — рубашка; *7, 8* — прокладки; *9* — опорное кольцо; *10* — кольцо

Таблица 25.5

Типы и основные параметры сальниковых уплотнений, ОСТ 26-01-1247—75 (см. рис. 25.6)

Тип уплотнения	Условное обозначение	Давление в аппарате, МПа: остаточное	Давление в аппарате, МПа: избыточное	Температура в аппарате, °С	Частота вращения вала, $с^{-1}$
С подводом смазки или уплотняющей жидкости к валу:					
без автоматического поджима набивки	1А			От —20 до +70	
с автоматическим поджимом набивки	1Б				
С подводом смазывающей или уплотняющей циркулирующей жидкости к валу:					
без автоматического поджима набивки	IIА				
с автоматическим поджимом набивки	IIБ			От —20 до +200	
С охлаждением корпуса и подводом смазки или уплотняющей жидкости к валу:		0,04	0,6		5,3
без автоматического поджима набивки	IIIА				
с автоматическим поджимом набивки	IIIБ				
С охлаждением корпуса и подводом смазывающей (уплотняющей) циркулирующей жидкости к валу:					
без автоматического поджима набивки	IVА			От —20 до +250	
с автоматическим поджимом набивки	IVБ				
Для малогабаритных аппаратов:					
без автоматического поджима набивки	VА			0,1	До +70	25
с автоматическим поджимом набивки	VБ				

Таблица 25.6

Основные размеры сальниковых уплотнений (см. рис. 25.6)

Типоразмер	$d_в$	D	D_1	D_2	H	d_1	n	Масса, кг
	мм							
IA-40; IIA-40	40	185	150	128	180		4	7,5
IIIA-40; IVA-40								9,0
IБ-40; IIБ-40					240			8,5
IIIБ-40; IVБ-40								10,0
IA-50; IIA-50	50	205	170	148	190			8,5
IIIA-50; IVA-50								10,0
IБ-50; IIБ-50					240			9,5
IIIБ-50; IVБ-50								12,0
IA-65; IIA-65	65	235	200	178	220		8	14,0
IIIA-65; IVA-65								17,0
IБ-65; IIБ-65					300			14,5
IIIБ-65; IVБ-65					280			19,0
IA-80; IIA-80	80	260	225	202	225	18		17,5
IIIA-80; IVA-80								22,0
IБ-80; IIБ-80					310			19,0
IIIБ-80; IVБ-80								24,0
IA-95; IIA-95	95	290	255	232	230			27,0
IIIA-95; IVA-95								31,5
IБ-95; IIБ-95					310			26,5
IIIБ-95; IVБ-95								32,0
IA-110; IIA-110	110	315	280	258	265			37,0
IIIA-110; IVA-110								47,0
IБ-110; IIБ-110					350			38,0
IIIБ-110; IVБ-110								47,5
IA-130; IIA-130	130	340	305	282	265			—
IIIA-130; IVA-130								49,0
IБ-130; IIБ-130					350			39,5
IIIБ-130; IVБ-130								49,5
VA-25	25	130	110	75	90	14	6	2,5
VБ-25					100			4
VA-40	40	170	145	95				2,5
VБ-40					115			4,5

Таблица 25.7

Сальниковые набивки для уплотнения валов аппаратов с перемешивающими устройствами (ГОСТ 5152—84)

Марка и характеристика набивки	Рабочая среда	Кислотное число среды pH	Максимально допустимые параметры среды	
			Давление, МПа	Температура, °С
АП-31 (АП) — асбестовая, пропитанная антифрикционным составом	Жидкие нейтральные и агрессивные среды, нефтепродукты	3—10	2,0	250
АПР-31 (АПР) — асбестовая с латунной проволокой, пропитанная антифрикционным составом, графитизированная			2,5	210
АФТ — асбестовая, пропитанная суспензией фторопласта с тальком	Органические продукты, кислые и щелочные среды, аммиак	1—14	3,0	300
АГ, АГИ — асбестовая, проклеенная с графитом	Вода, органические продукты	4 — 14	38,0	280
	Аммиак — жидкий и газообразный		32,0	От —70 до +150
АФ-1 — асбестовая, пропитанная суспензией фторопласта	Дистиллят, бидистиллят, вода	1—14	3,0	260
	Особо чистые вещества		0,4	130
ФФ — фторолоновая, пропитанная суспензией фторопласта	Серная и азотная кислоты концентрацией до 45 %, соляная кислота концентрацией до 35 %, органические кислоты	0—12	3,0	От —30 до +100
ХБП — хлопчатобумажная, пропитанная антифрикционным составом, графитизированная	Воздух, инертные газы, нейтральные пары, минеральные масла, углеводороды, нефтяное топливо, промышленная вода	5—10	20,0	100
ХБРП — хлопчатобумажная с резиновым сердечником, пропитанная антифрикционным составом	Воздух, инертные газы, минеральные масла, промышленная вода	6—8		

Примечание. Марки набивок, указанные в скобках, в новых конструкциях не применяются

ГЛАВА 26

АППАРАТЫ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

26.1. Общие сведения

К аппаратам высокого давления (АВД) условно относят аппараты, работающие на внутреннем давлении в диапазоне от 10 МПа до 130 МПа. Данное оборудование используется для проведения химических и нефтехимических процессов в производстве спиртов (этанол, метанол, бутиловые и высшие жирные спирты), минеральных удобрений (аммиак, карбамид), полиэтилена, искусственных кристалов и т.п.

Конструктивно аппараты высокого давления подразделяются на цельнокованые, кованосварные, штампованные и вальцованосварные, многослойные с концентрическим расположением относительно тонких слоев, многослойные с концентрическим расположением относительно толстых слоев, витые из профильной ленты, рулонированные, спирально-рулонированные, армированные проволокой.

Цельнокованые АВД (рис. 26.1) имеют монолитный корпус, изготовленный из одной поковки. Это обстоятельство определяет их относительно небольшие размеры (внутренний диаметр 600 – 1200 мм, длина до 18 м).

Их чаще всего применяют при давлении более 32 МПа и высокой температуре, особенно при наружном обогреве корпуса.

Преимущество таких АВД — отсутствие сварных швов, являющихся потенциальным источником дефектов и снижающих надежность корпуса.

Основные недостатки — низкий коэффициент полезного использования металла (отношение массы готового изделия к массе поковки и слитка), ограниченные размеры, необходимость наличия при изготовлении специального литейного оборудования, уникального кузнечно-прессового и станочного, значительный объем механической обработки.

Кованосварные АВД (рис. 26.2) имеют корпус из нескольких механически обработанных кованых частей (обечайки, днища, фланцы, горловины), скрепленных между собой кольцевыми сварными швами. Применение нескольких поковок для изготовления одного корпуса значительно расширяет возможности изготовления кованосварных аппаратов по сравнению с цельнокованными, особенно по габаритам, при этом несколько снижаются потери металла при изготовлении и стоимость АВД.

Штампосварные и вальцованосварные АВД (рис. 26.3 и 26.4) имеют корпус, выполненный из нескольких штампованных или вальцованных обечаек (или полуобечаек), соединенных между собой продольными и кольцевыми сварными швами, а концевые детали (днища, фланцы и горловины) выполняются отдельно из поковок или штамповок.

Такие аппараты более экономичны по сравнению с цельнокованными и кованосварными, их можно изготавливать значительно большего диаметра.

Существенный недостаток, снижающий надежность таких аппаратов, — наличие продольных сварных швов, выполняемых обычно электрошлаковой сваркой или автоматической под слоем флюса.

Многослойные АВД с концентрическим расположением относительно тонких слоев (способ изготовления A.O. Smith) — выполняют из нескольких обечаек (рис. 26.5), состоящих из относительно большого числа слоев из тонкого листа (4 – 6 мм), обтягивающих с натягом относительно толстую центральную обечайку (16 – 24 мм), выполненную из материала, имеющего коррозионную стойкость против соответствующей рабочей среды.

Обечайки соединены между собой и с концевыми элементами корпуса кольцевыми сварными швами.

Концевые элементы корпуса выполняют из поковок или штамповок.

Для улучшения работоспособности многослойного корпуса и повышения надежности конструкции в цилиндрической стенке возле сварных кольцевых швов просверливаются дренажные (контрольные) отверстия на глубину до центральной обечайки. Через них удаляются газы (водород), диффундирующие через центральную обечайку.

Преимущества этих сосудов — возможность изготовления крупногабаритных аппаратов, низкая удельная металлоемкость и стоимость по сравнению с рассмотренными. Кроме того, эта конструкция сравнительно просто позволяет обеспечить коррозионную защиту внутренней поверхности корпуса за счет упомянутой центральной обечайки.

Из недостатков следует отметить относительно высокую трудоемкость из-за последовательной сборки разноразмерных обечаек по слоям, большое число продольных сварных швов (в каждом слое от 1 до 3-х), а также массивные кольцевые швы, являющиеся потенциальным источником дефектов.

Многослойные АВД с концентрическим расположением относительно толстых слоев (Multiwall) — выполняют последовательной прессовой посадкой (напрессовкой) серии сварных цилиндрических обечаек из толстого листа (25 – 60 мм) на центральную обечайку из металла, имеющего коррозионную стойкость против соответствующей рабочей среды (рис. 26.6).

Далее обечайки и концевые детали свариваются аналогично упомянутому в конструкции A.O. Smith.

Преимущества и недостатки АВД типа Multiwall аналогичны конструкции A.O. Smith.

АВД, витые из профильной ленты (способ намотки Ширенбека), выполняются из специального проката узкой стальной высокопрочной калиброванной профильной ленты, навитой на центральную обечайку с проточкой наружной поверхности по винтовой линии под профиль ленты (рис. 26.7). Для увеличения плотности навивки ленту предварительно нагревают и наматывают (укладывают) с натягом.

Осевые силы в корпусе передаются за счет сцепления слоев по выступам лент. Концевые детали (фланцы) выполняют дополнительной навивкой ленты или насадкой кованых деталей.

К преимуществам витых АВД относится относительно высокий коэффициент полезного использования металла и уменьшенная масса за счет применения высокопрочной профильной ленты.

К недостаткам витых АВД относится сложность технологии изготовления стальной калиброванной профильной ленты, а также проточенной центральной обечайки, невозможность применения боковых штуцеров, а также относительно высокий уровень осевых напряжений в кольцевых швах центральной обечайки. Витые корпуса таких сосудов невозможно ремонтировать.

Рулонированные АВД (рис. 26.8) имеют корпус из одной или нескольких многослойных рулонированных обечаек, соединенных между собой и с концевыми элементами корпуса кольцевыми сварными швами. Концевые элементы выполняются из поковок или штамповок. Многослойная рулонированная обечайка состоит из центральной обечайки толщиной 16 – 24 мм и намотанной на нее до необходимой толщины по спирали Архимеда рулонной полосы шириной 1400 – 1800 мм, толщиной 4 – 6 мм. Для уменьшения количества массивных кольцевых швов рулонные полосы могут свариваться между собой продольным швом с образованием так называемого «полотнища» удвоенной ширины, которое также наматывается на центральную обечайку. Снаружи на намотанную рулонную обечайку надевается защитный кожух толщиной 8 – 12 мм.

Преимущества рулонированных сосудов аналогичны АВД типа A.O. Smith, по показателя стоимости, технологичности изготовления (простота механизации процесса навивки рулона) и удельной металлоемкости (меньшие отходов тонкого листа) значительно лучше.

Спирально-рулонные АВД (рис. 26.9) — это аппараты, цилиндрическая часть корпуса которых получается навивкой по спирали под углом к оси сосуда одной или нескольких полос. Остов такого АВД состоит из центральной обечайки на всю длину АВД с приваренными к ней концевыми элементами. Навиваемые на центральную обечайку полосы закрепляются на концевых деталях сварными швами. Каждый последующий слой навивается в противоположную сторону по отношению к предыдущему.

Для обеспечения прочности в осевом направлении часть слоев сваривается по кромкам винтовой спирали. Поверх навивки надевается наружный кожух или сам наружный слой проваривается сплошным швом по всей винтовой линии.

Преимущества спирально-рулонных АВД аналогичны всем многослойным сосудам. Кроме этого, у них отсутствуют массивные кольцевые сварные швы на всю толщину многослойной обечайки и уменьшен расход металла при изготовлении, поэтому по технико-экономическим показателям эта конструкция превосходит АВД других исполнений, в том числе и рулонированные.

АВД, армированные проволокой (рис. 26.10), — это аппараты, корпус которых дополнительно укрепляется намоткой слоев высокопрочной проволоки в виде отдельного бандажа на цилиндрической части или путем сплошной намотки на весь корпус до необходимой толщины. Навивка производится по так называемым «геодезическим линиям».

К преимуществам такой конструкции относится низкая металлоемкость вследствие применения весьма высокопрочной проволоки и, соответственно, снижение толщины стенки. К недостаткам следует отнести сложность конструктивного оформления люков и штуцеров, недостаточную коррозионную стойкость намотанных слоев от атмосферной коррозии, если эта намотка не защищена каким-либо межслойным наполнителем, а также сложность намотки и переплетения между собой пучков проволоки.

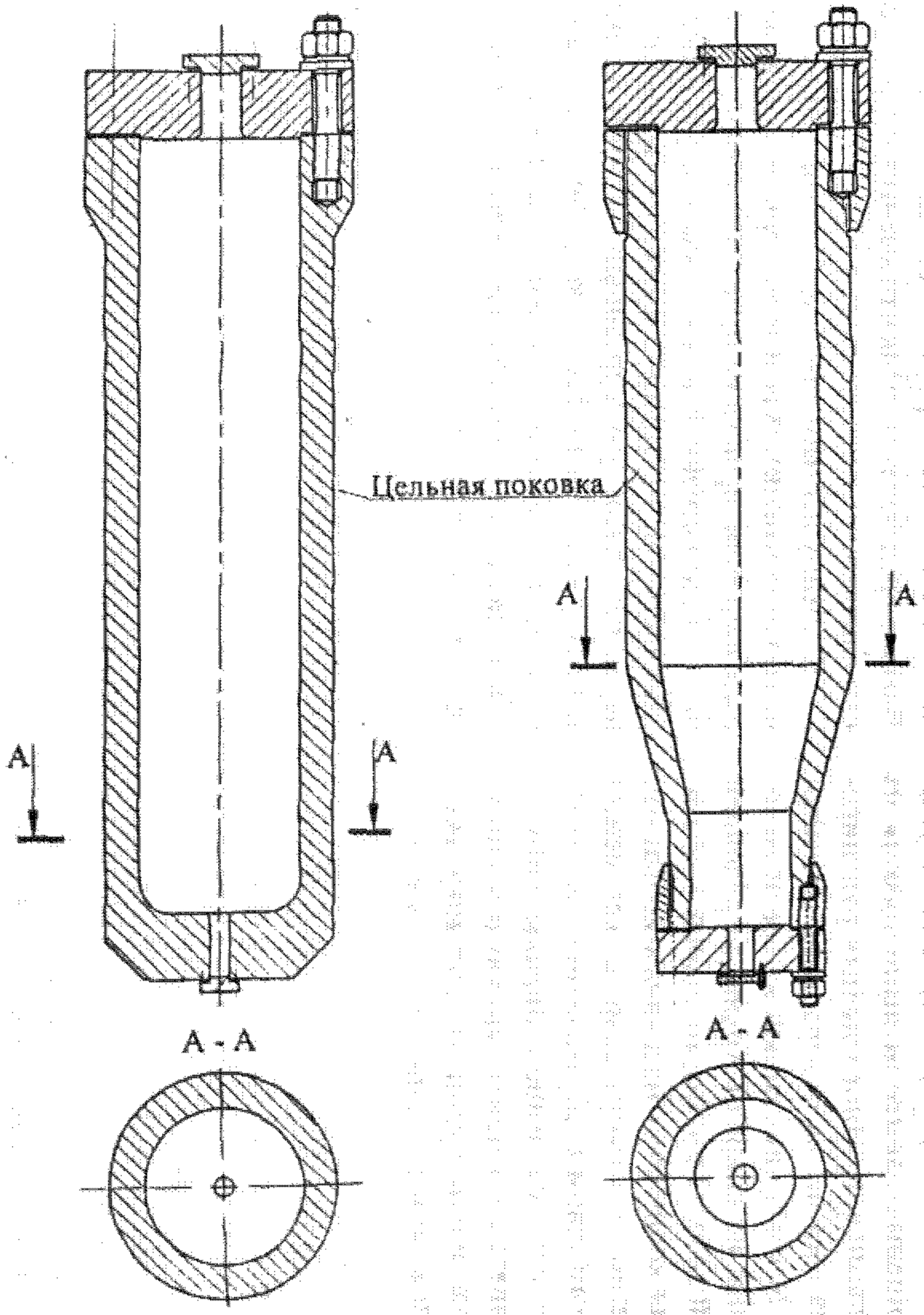


Рис. 26.1. Цельнокованый АВД:
а — из одной поковки;
б — с навертными резьбовыми фланцами

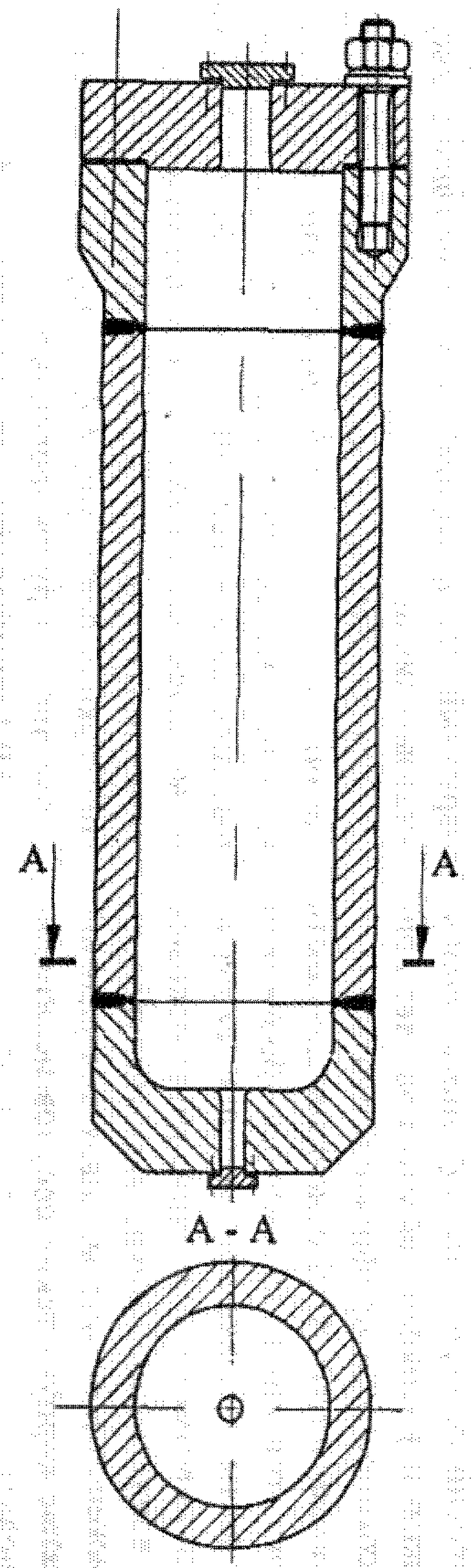


Рис. 26.2. Кованосварной АВД

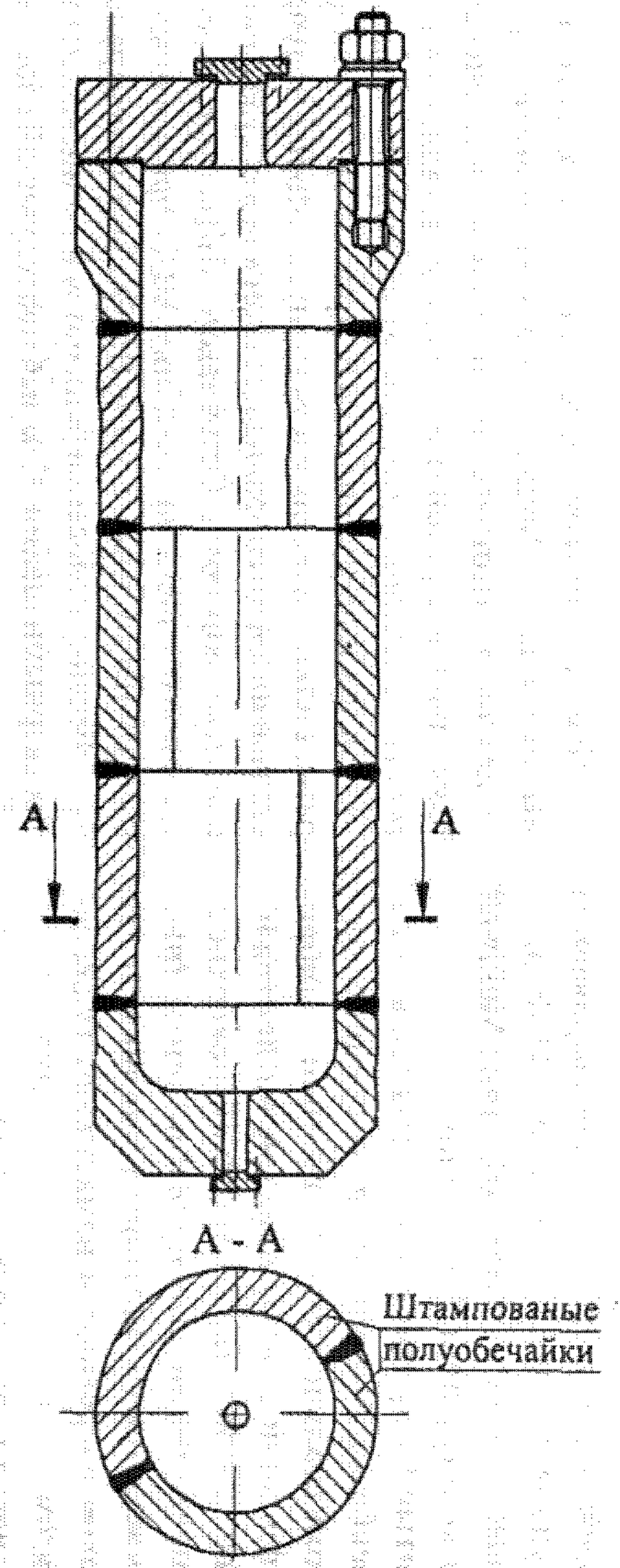


Рис.26.3. Штампосварной АВД

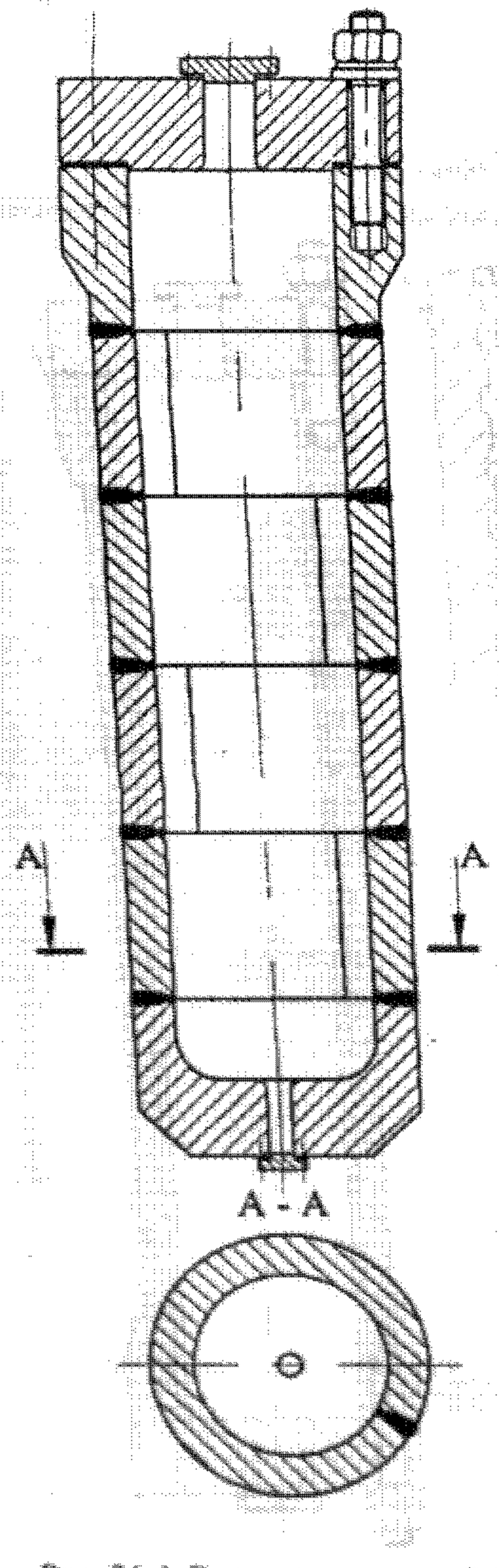


Рис. 26.4. Вальцованосварной АВД

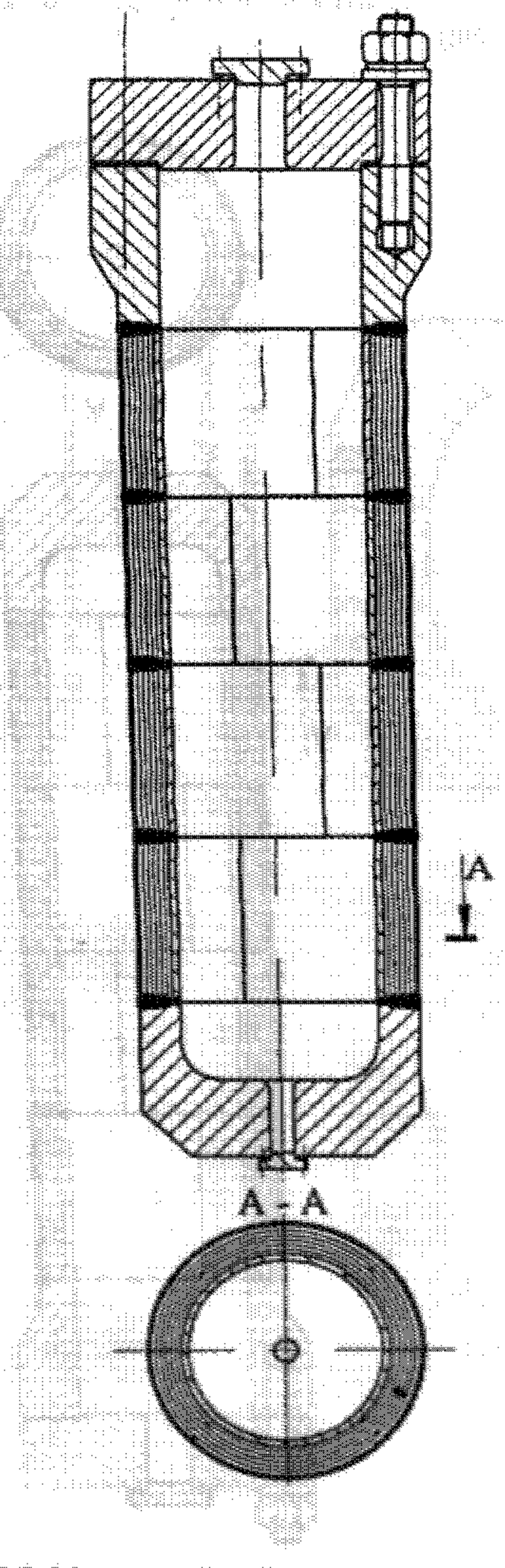


Рис. 26.5. Многослойный аппарат с концентрическим расположением слоев (A.O. Smith)

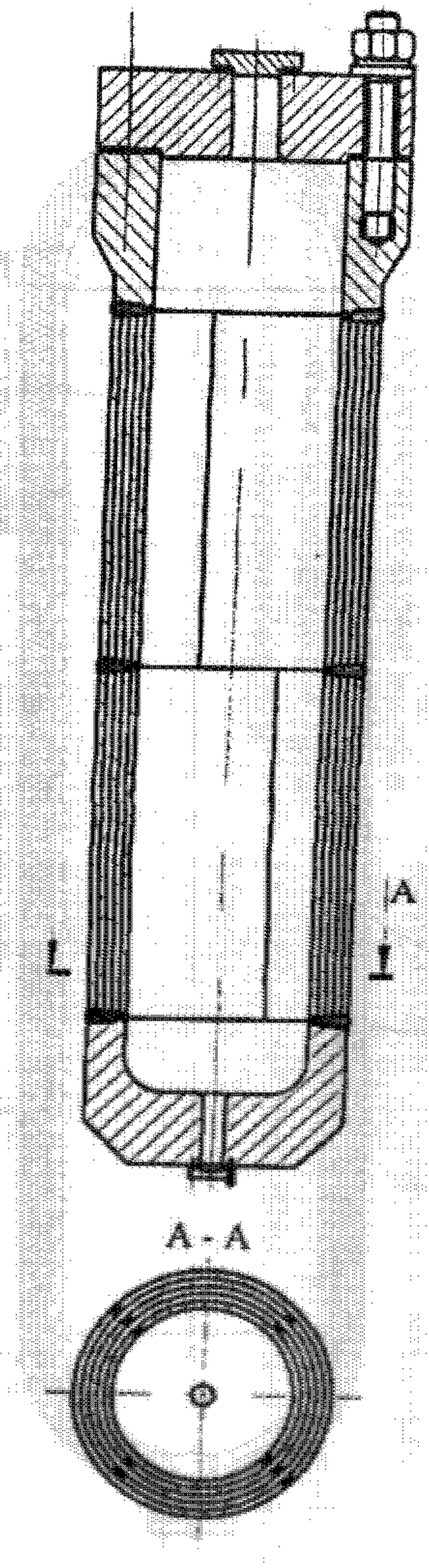


Рис. 26.6. Многослойный АВД с концентрическим расположением слоев (Multiwall)

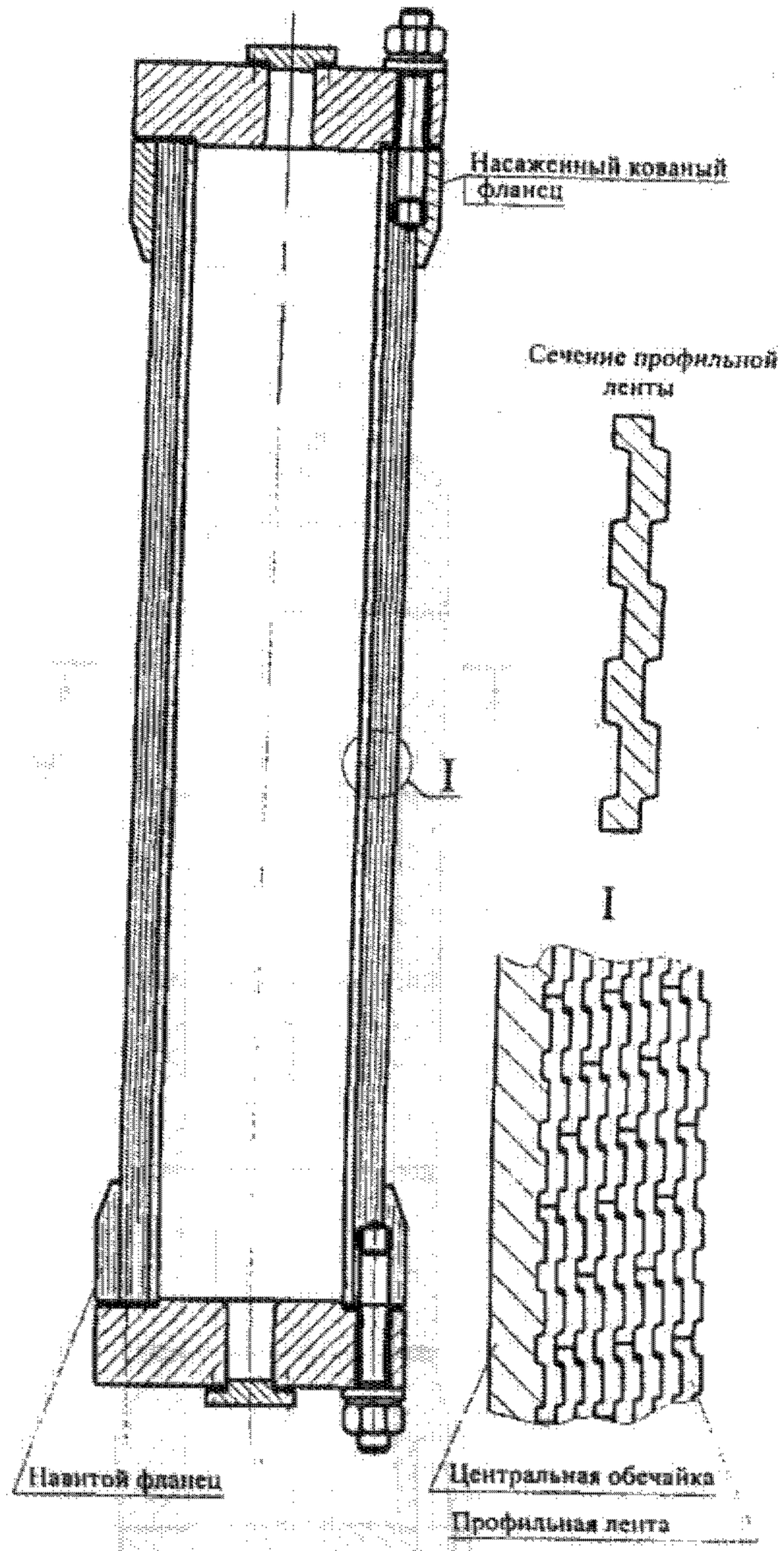


Рис. 26.7. Витой АВД из профильной ленты

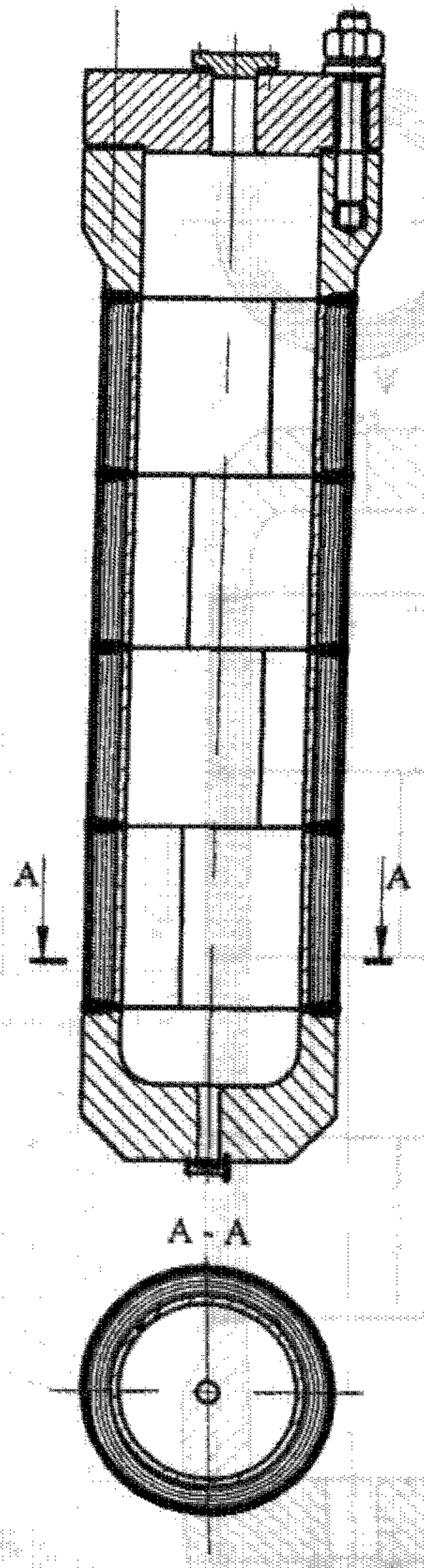


Рис. 26.8. Рулонированный АВД

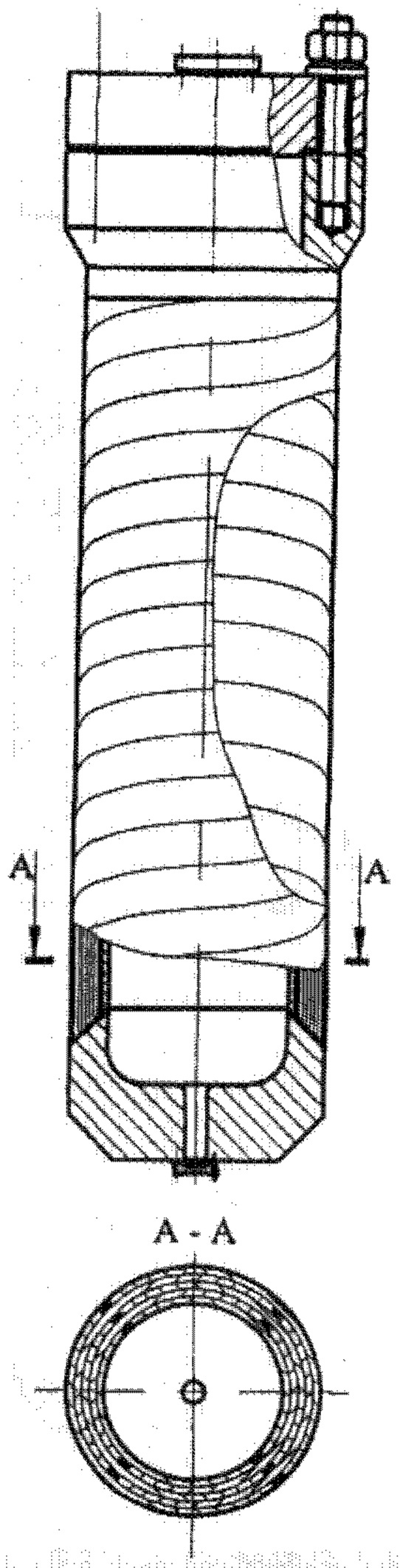


Рис. 26.9. Спирально-рулонный АВД

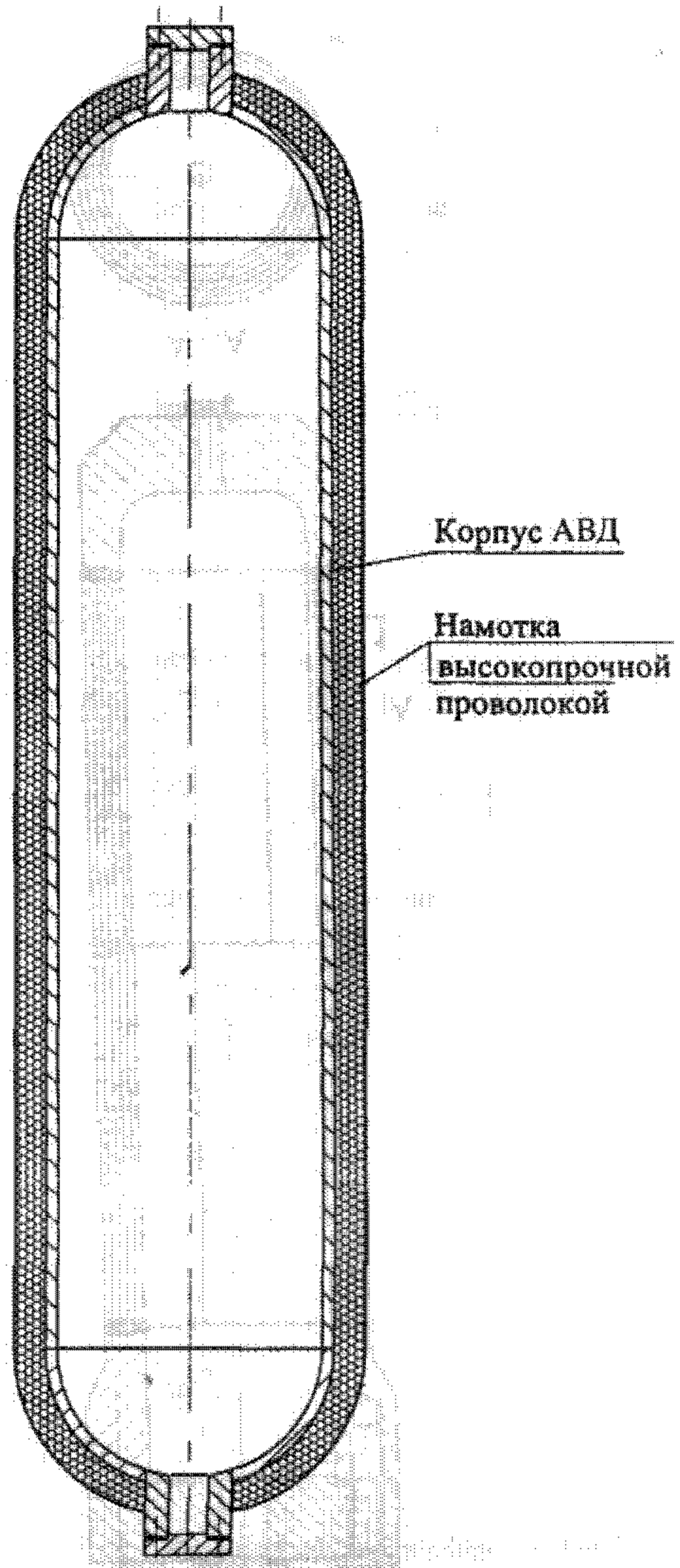


Рис. 26.10. АВД, армированный проволокой

26.2. Конструкции основных элементов АВД

26.2.2. Днища

В зависимости от размеров АВД и их рабочих параметров, технологических возможностей изготовителей днища могут иметь самую различную форму, но должны соответствовать требованиям Правил Госгортехнадзора России и ограничиваться следующими конструкциями, приваренными встык к обечайкам корпуса:

плоские отбортованные;

эллиптические;

полусферические.

Конструктивное оформление плоских кованых днищ показано на рис. 26.11; эллиптических — на рис. 26.12.

Эллиптические и полусферические днища, привариваемые к монолитным обечайкам, показаны на рис. 22.13 и 26.14.

Конструкции полусферических днищ, привариваемых к многослойной обечайке, приведены на рис. 26.15 и 26.16.

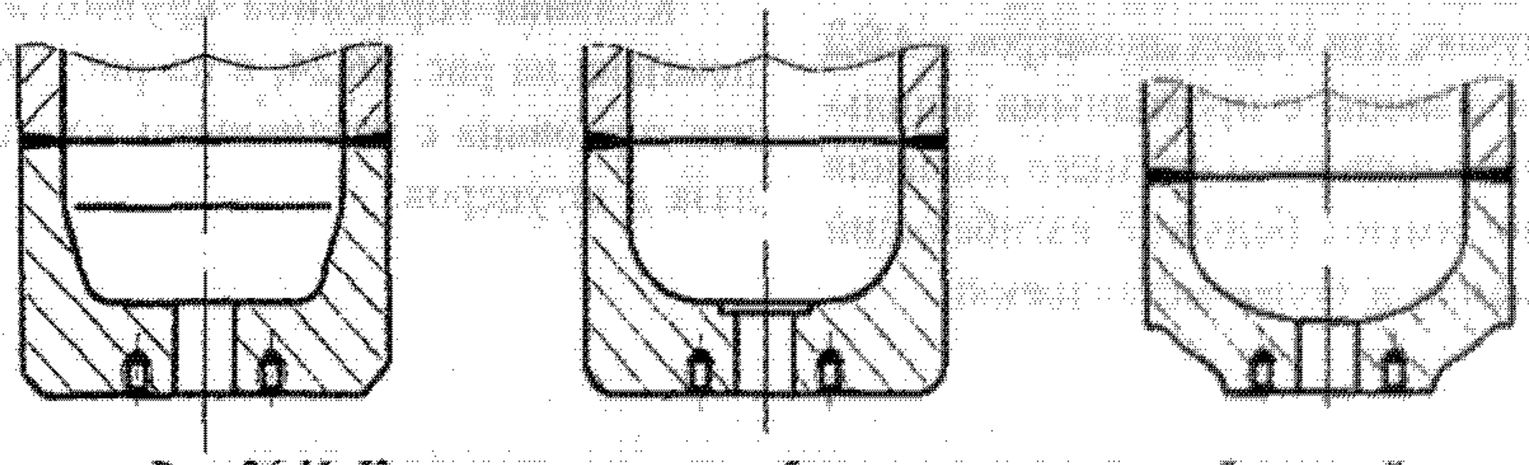


Рис. 26.11. Кованые плоские и слабовыпуклые днища с отбортовкой

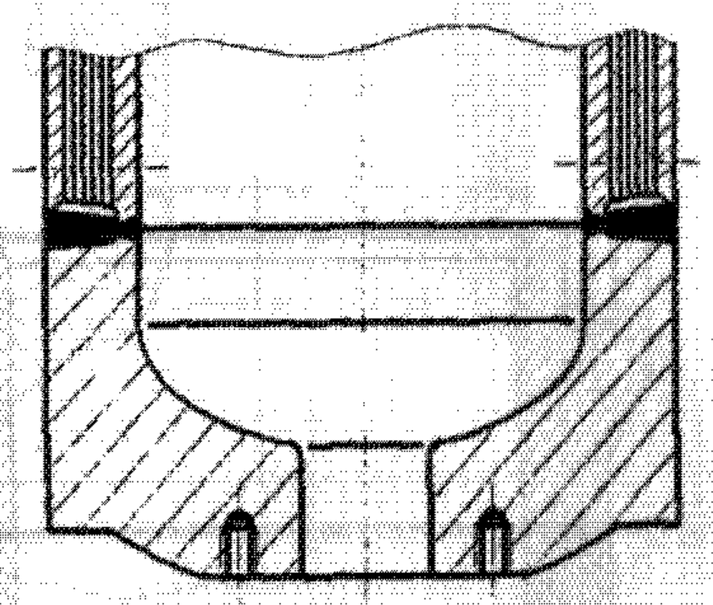


Рис. 26.12. Кованое эллиптическое днище, стыкуемое с рулонированной обечайкой

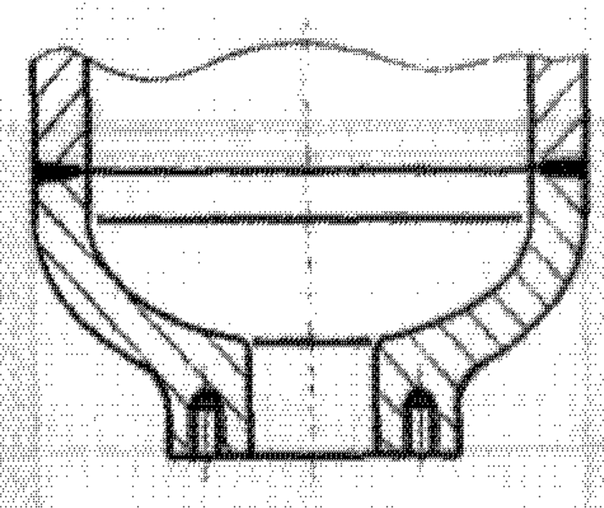


Рис. 26.13. Эллиптическое штампованное днище

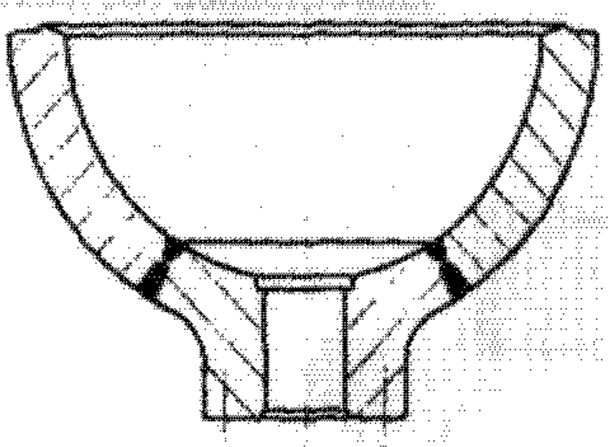


Рис. 26.14. Полусферическое штампованное днище

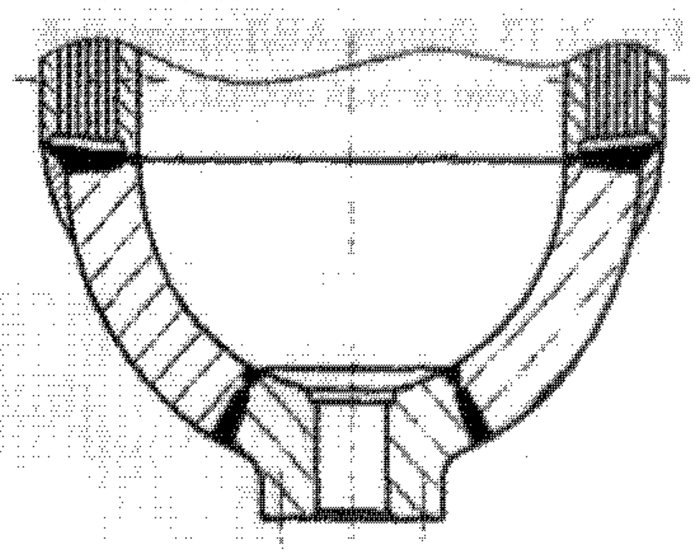


Рис. 26.15. Полусферическое днище с наплавкой переходной части к многослойному цилиндру

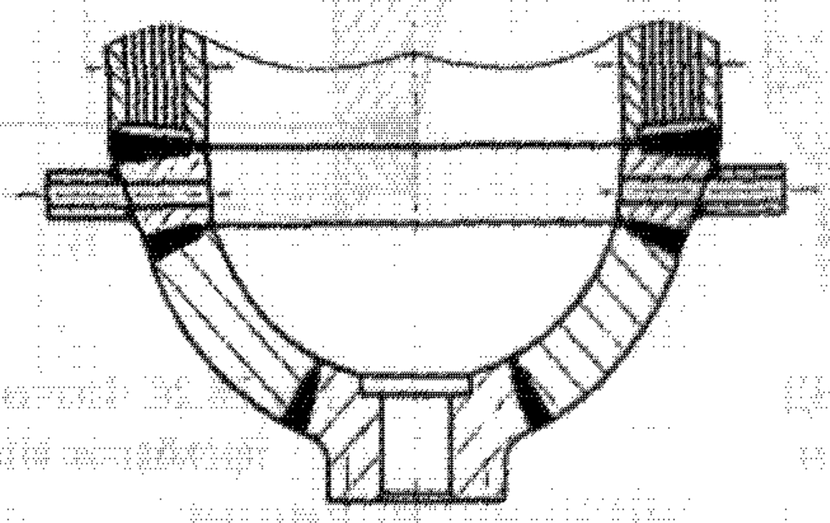


Рис. 26.16. Полусферическое днище с кованой переходной вставкой к многослойному цилиндру

26.2.3. Фланцы и горловины

Конструкции типичных кованых фланцев АВД, приваренных к монолитной и многослойной обечайкам, показаны на рис.26.17 и 26.18.

Такие фланцы с ввертными крепежными шпильками компактны, обеспечивают минимальный изгибающий момент в конструкции из-за расположения шпилек по минимально возможному диаметру и экономичны по металлоемкости.

Пример конструкции фланца, в котором размещается боковое отверстие, требующее укрепления, приведен на рис. 26.19.

В некоторых случаях для малых диаметров в АВД могут применяться фланцы с проходными шпильками, как для сосудов низкого и среднего давления (рис. 26.20), но они имеют большой изгибающий момент тарелки фланца и более металлоемки.

В тех случаях, когда в АВД не требуется разъем корпуса по всему диаметру для установки и извлечения внутренней насадки или других устройств, применяются горловины, которые обеспечивают доступ во внутреннюю полость АВД только для освидетельствования, монтажа по частям каких-либо внутренних устройств, засыпки и выгрузки катализатора и т.п.

Конструкция кованой горловины представлена на рис. 26.21, вариант подобной горловины с боковым отверстием — на рис. 25.22.

Широко применяются горловины в штампованных днищах — рис. 26.23.

Кованая горловина крупногабаритного АВД показана на рис. 26.24, а на рис. 26.25 — аналогичная горловина с различными конструкциями люка-лаза и штуцеров.

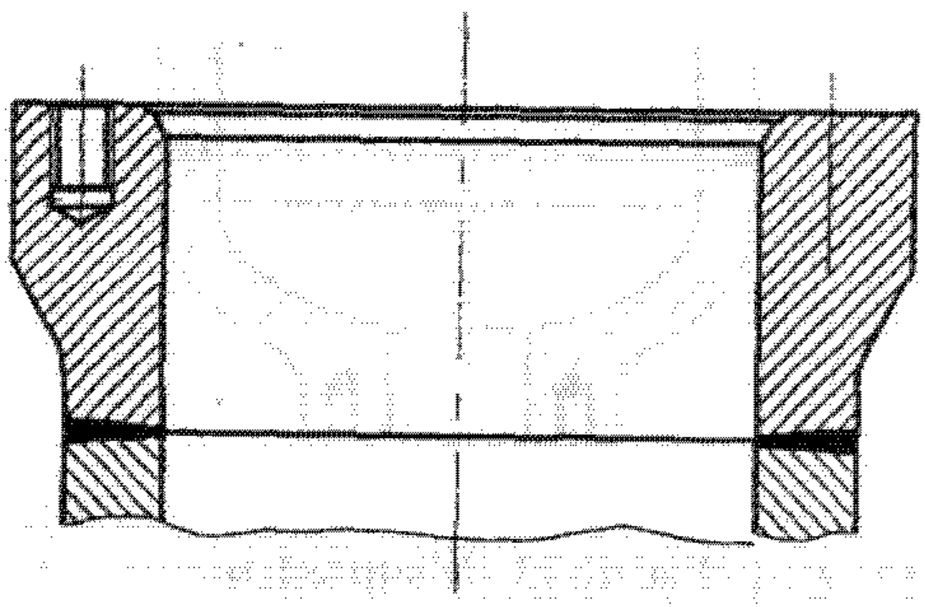


Рис. 26.17. Фланец АВД приварной к монолитной обечайке

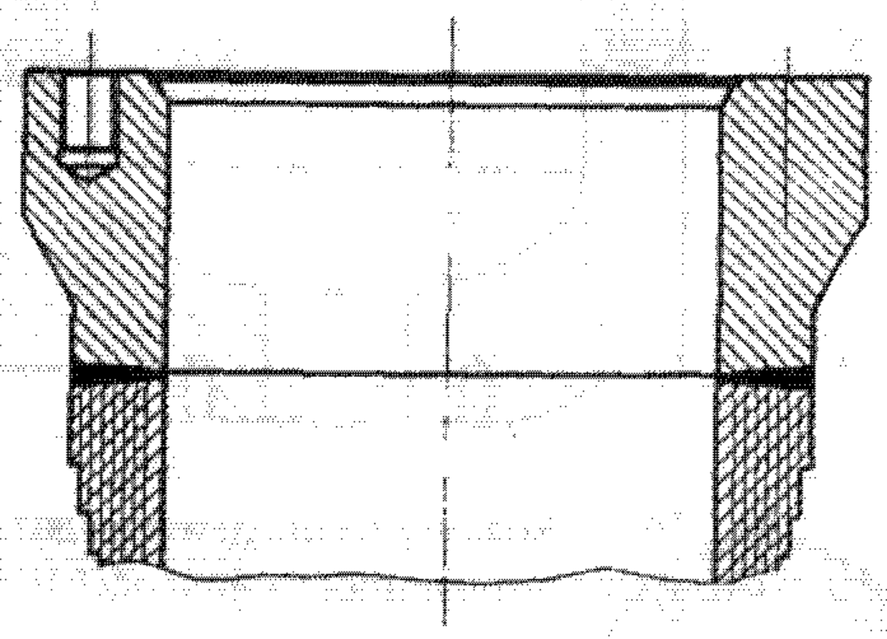


Рис. 26.18. Фланец АВД приварной к многослойной обечайке

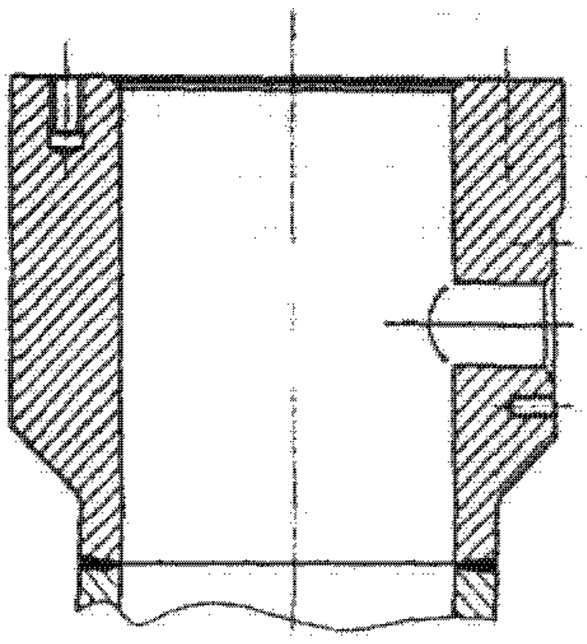


Рис. 26.19. Фланец АВД с боковым отверстием

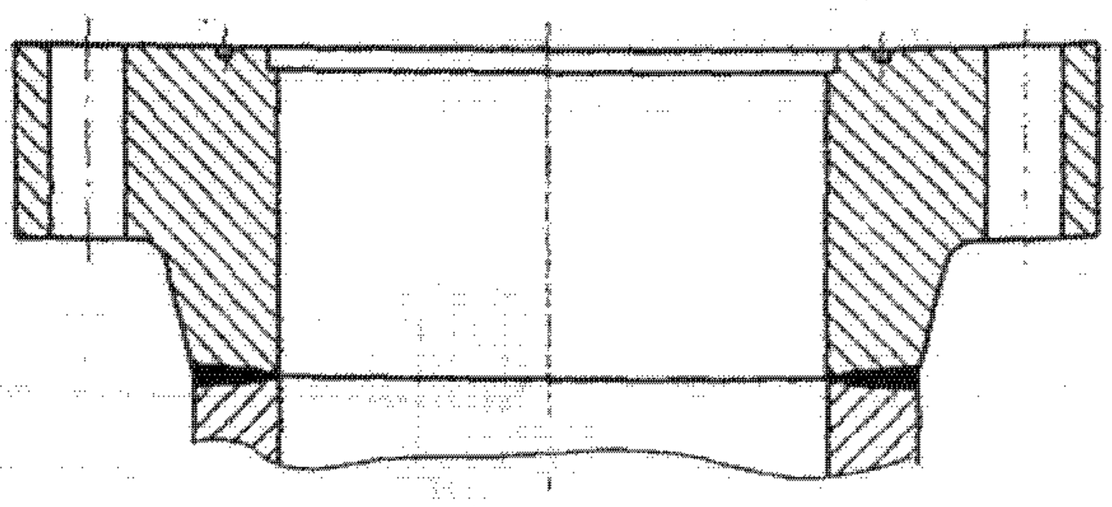


Рис. 26.20. Фланец АВД под проходные шпильки

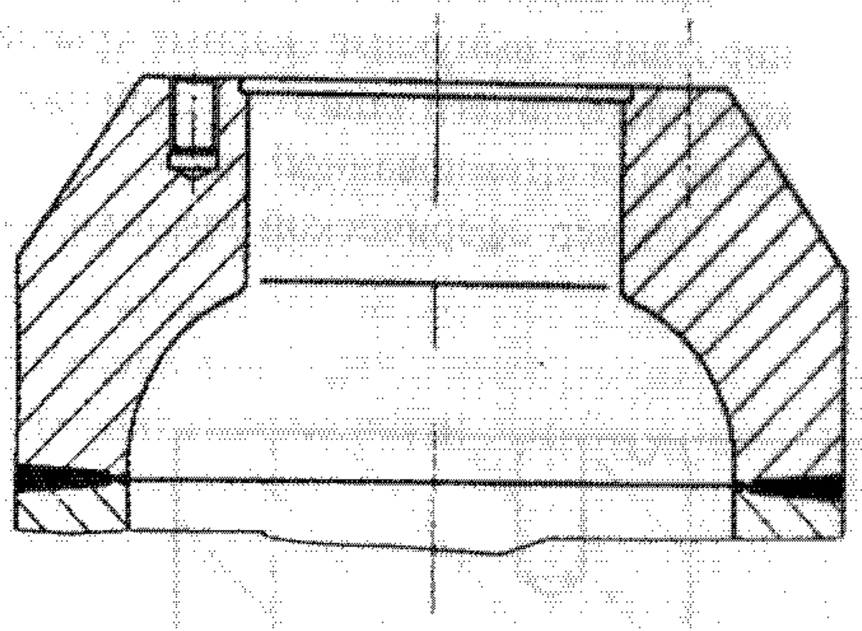


Рис. 26.21. Кованая горловина АВД

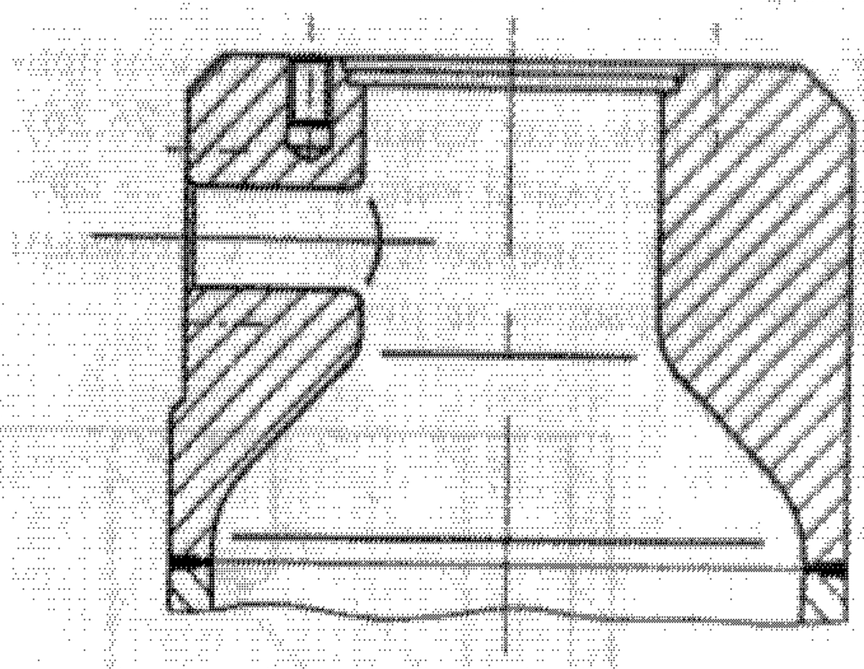


Рис. 26.22. Кованая горловина АВД с боковым отверстием

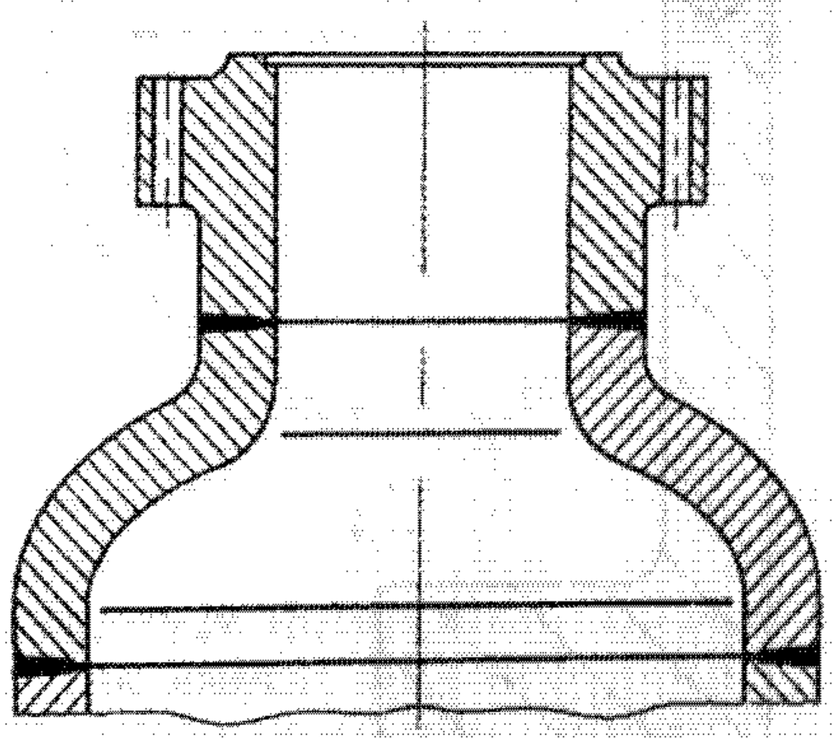


Рис. 26.23. Штампованная горловина АВД

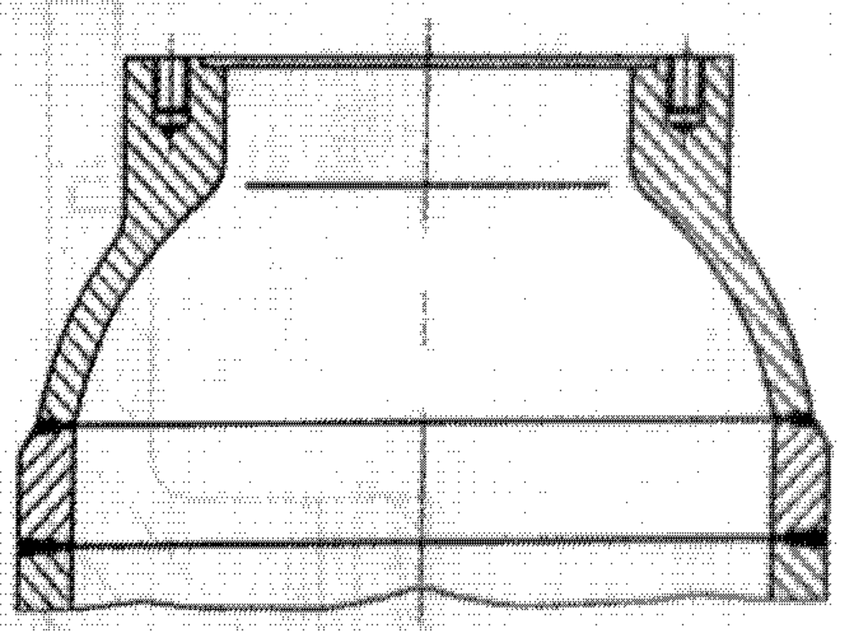


Рис. 26.24. Кованая горловина крупногабаритного АВД

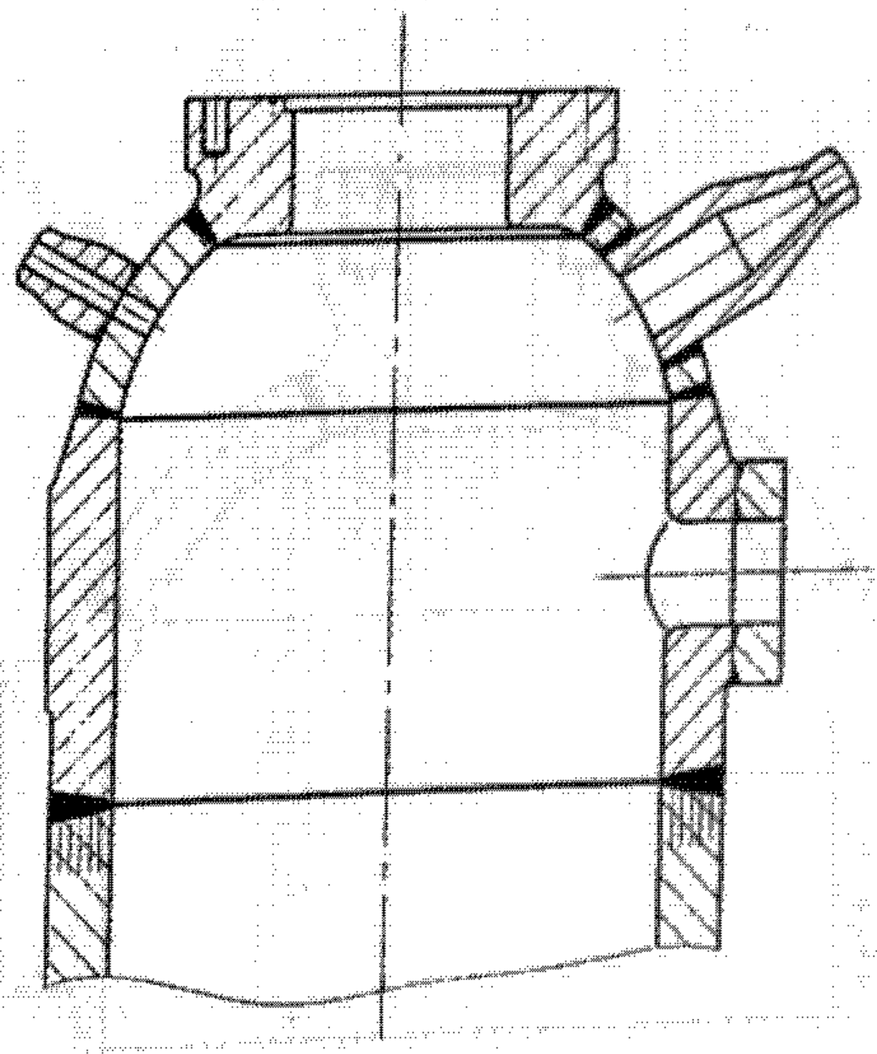


Рис. 26.25. Горловина АВД с боковыми штуцерами

26.2.4. Крышки

Для АВД малых и средних диаметров широко применяются плоские кованые крышки (рис. 26.26).

Примером более сложной конструкции, со сферической внутренней поверхностью и с цельным штуцером, является крышка на рис. 26.27.

Для АВД больших диаметров применяются комбинированные выпуклые сварные крышки, состоящие из кованого фланца и эллиптической или сферической кованой или штампованной части.

Пример сферической крышки — рис. 26.28.

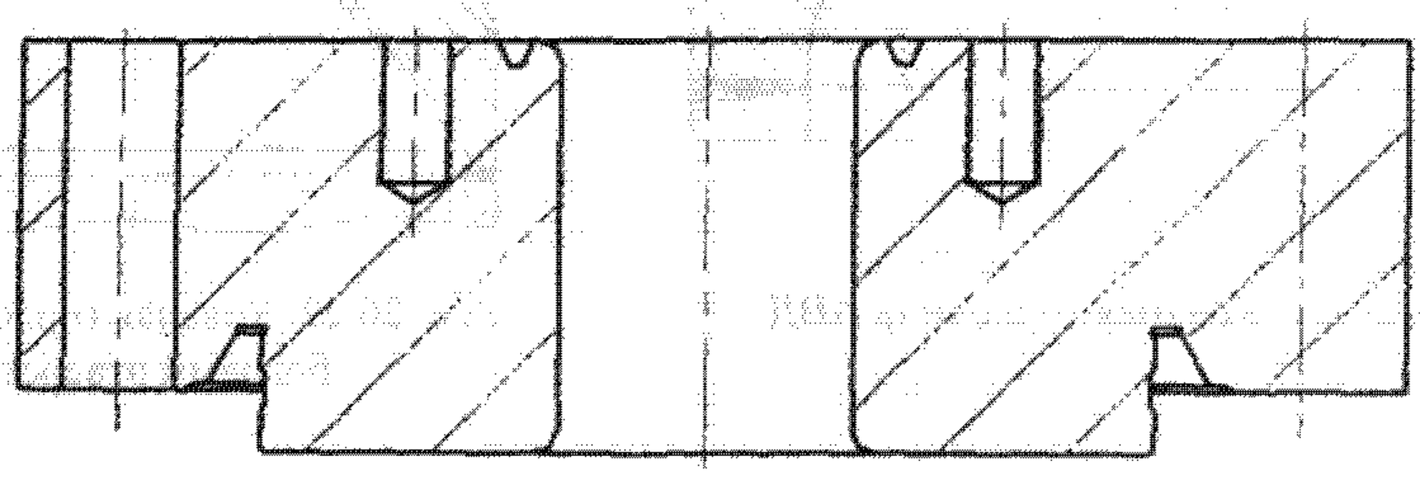


Рис. 26.26. Плоская кованая крышка

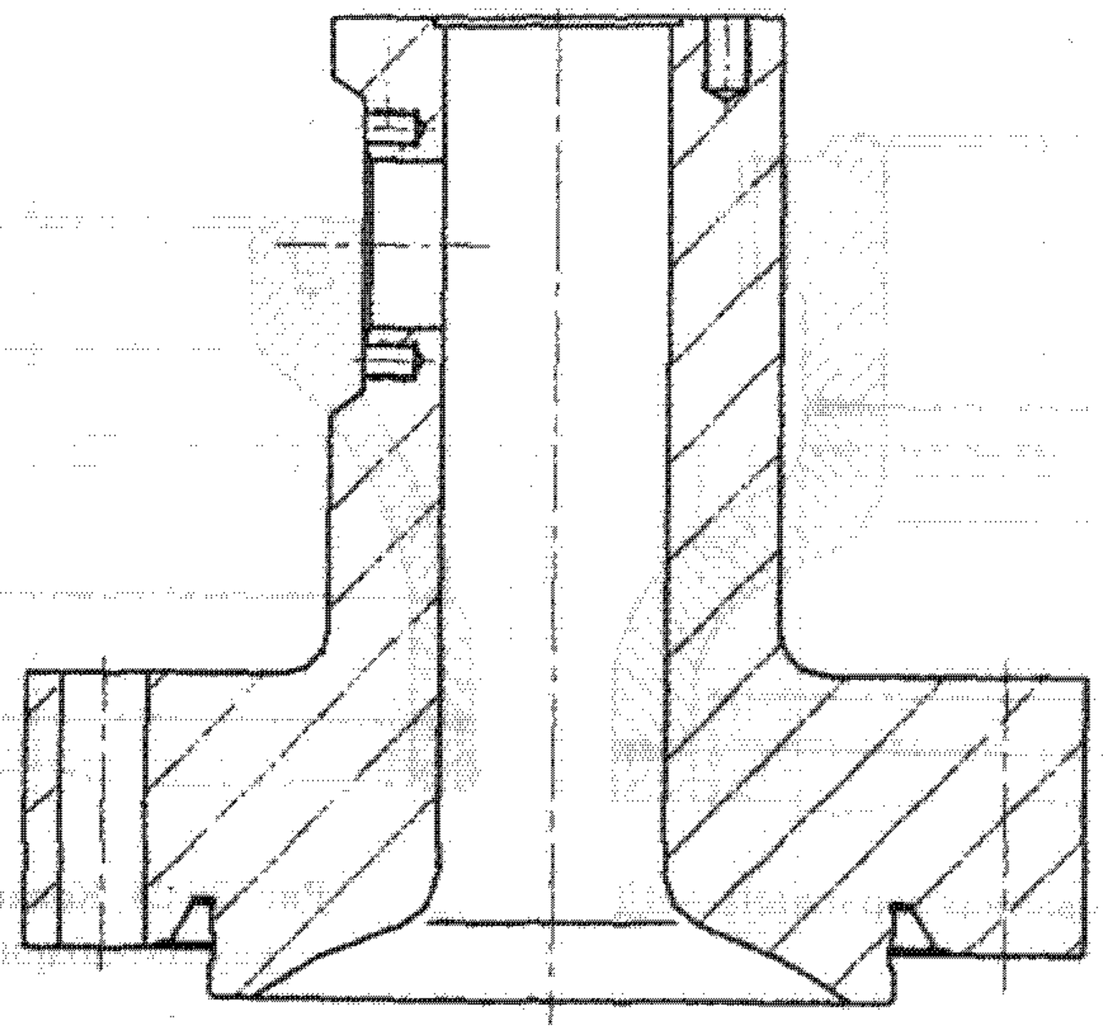


Рис. 26.27. Плоская кованая крышка с цельным штуцером

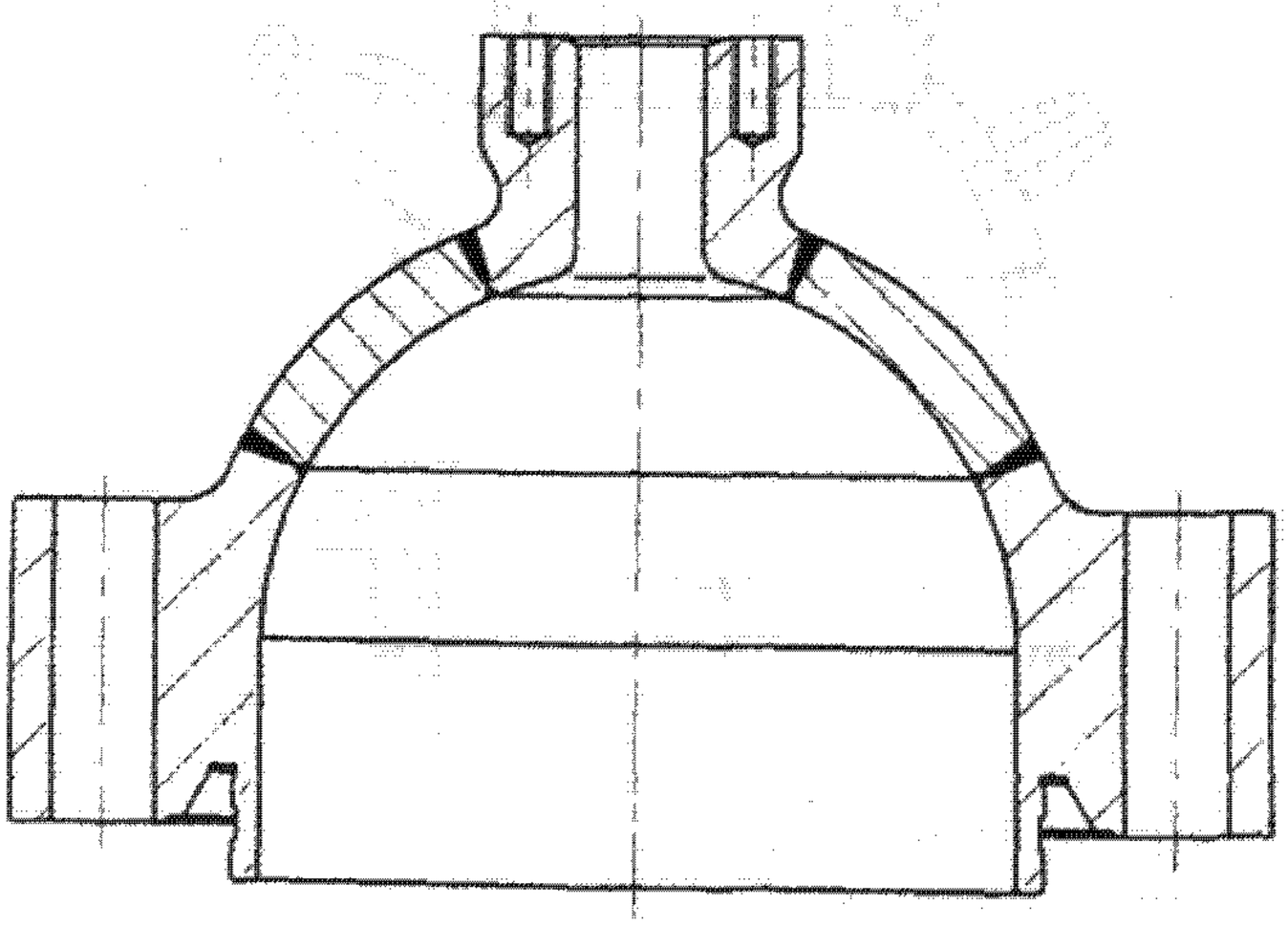


Рис. 26.28. Сферическая крышка ковано- или штампосварной конструкции

26.2.5. Трубные решетки

Конструкции трубных решеток для кожухотрубных теплообменников ВД зависят от типа теплообменника (прямоточный или с U-образными трубками), способа компенсации разницы линейных удлинений кожуха и трубчатки, способа закрепления самой трубной решетки в корпусе (на сварке или с разъемом), а также от величины перепада давления по трубному и межтрубному пространствам.

Примером жесткого закрепления трубной решетки между корпусом трубного и кожухом межтрубного пространств, работающих под ВД, является конструкция, показанная на рис. 26.29.

Типовая конструкция трубной решетки, образующей одновременно разъемную камеру трубного пространства, показана на рис. 26.30.

Конструкция трубной решетки, зажатой в разъемном соединении между фланцами корпусов трубного и межтрубного пространств, изображена на рис. 26.31.

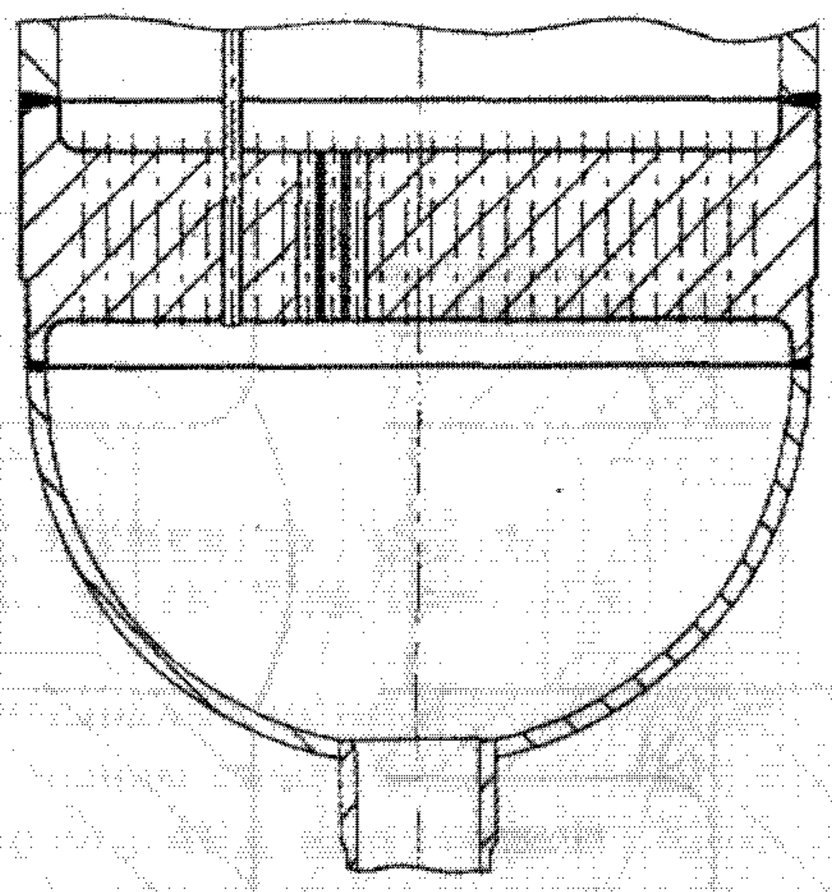


Рис. 26.29. Трубная решетка в жестком соединении с корпусом трубного и кожухом межтрубного пространств

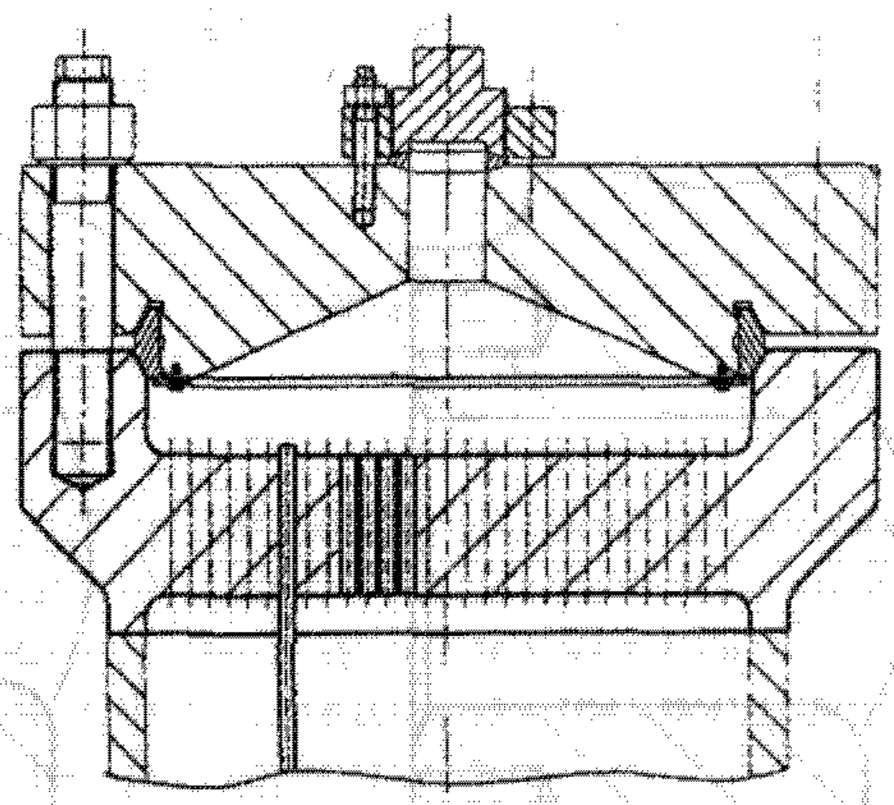


Рис. 26.30. Трубная решетка, образующая разъемную камеру трубного пространства

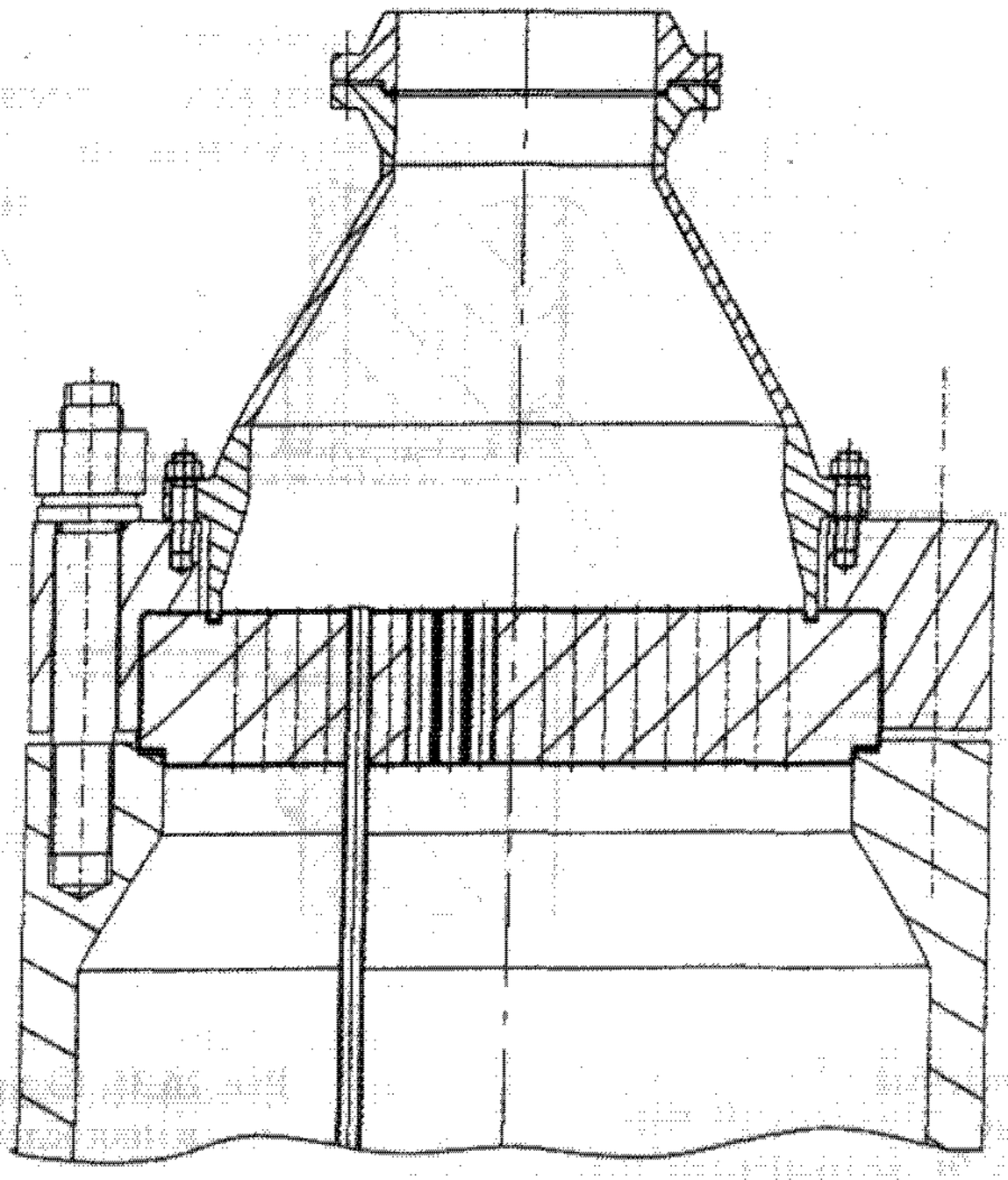


Рис. 26.31. Трубная решетка, зажимаемая между фланцами

26.2.6. Штуцера

Примеры конструкций штуцеров для монолитных АВД показаны на рис. 26.32, 26.33 и 26.34.

В случае, если отверстие в стенке АВД не требует укрепления или его можно укрепить за счет местного утолщения стенки в зоне отверстия, применяются конструкции типа показанной на рис. 26.35.

Наиболее оптимальная конструкция приварки штуцера изображена на рис. 26.33. При этом приварка производится на подкладном кольце или при соединении «в замок», которые удаляются после сварки механическим способом, т.е. рассверливанием или проточкой до необходимого рабочего диаметра для удаления корня сварного шва, где возможны сварочные дефекты.

Вварка штуцера на рис. 26.34 применяется в случае необходимости выполнения его из коррозионностойкого материала и футеровки внутренней поверхности АВД для защиты от коррозии соответствующей листовой сталью.

Примеры конструкций штуцеров, вваривaемых в многослойную стенку, приведены на рис. 26.35 и 26.36. Их особенностью является необходимость выполнения различных переходных наплавок как на штуцер, так и на разделку под сварку в многослойной стенке.

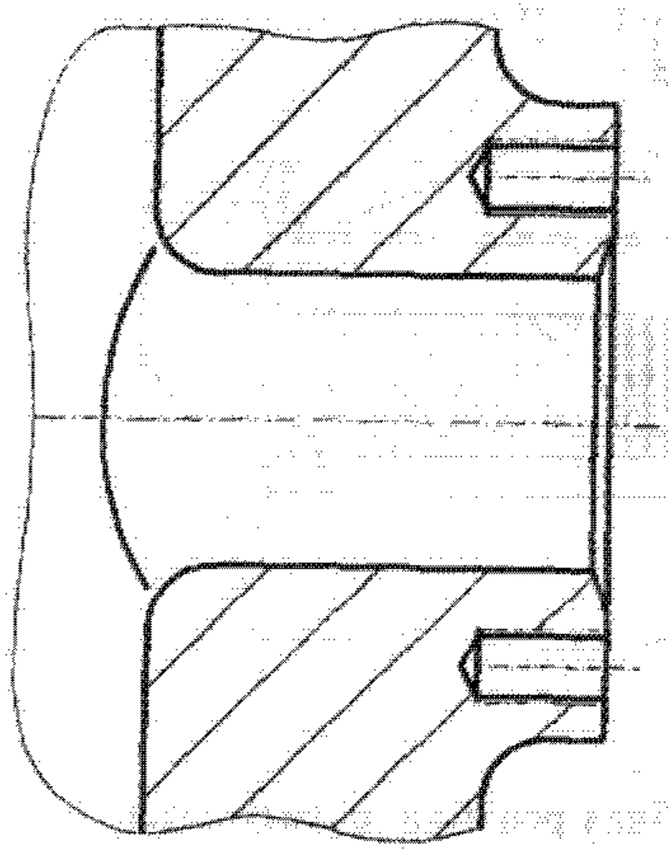


Рис. 26.32. Отверстие в монолитной стенке

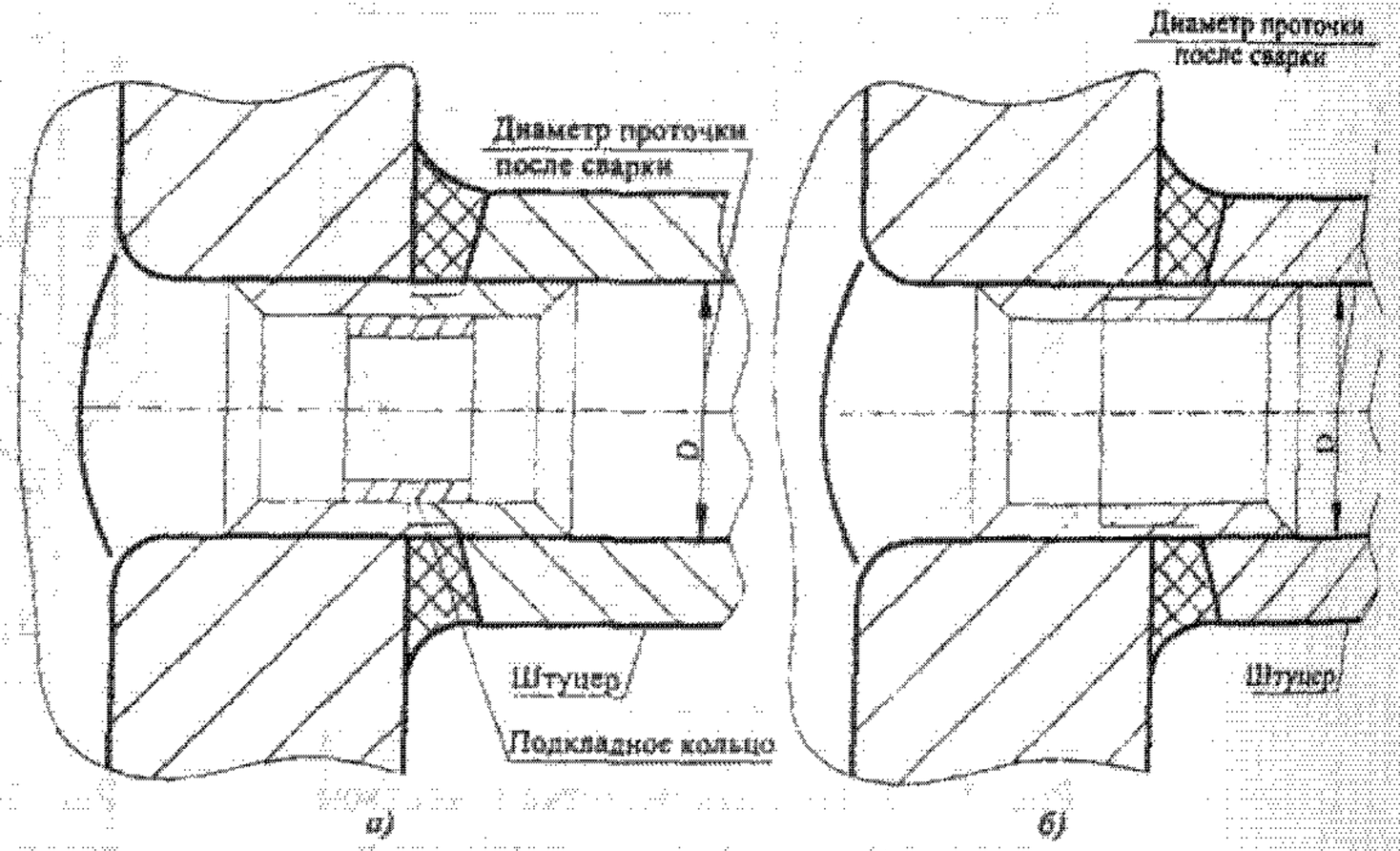


Рис. 26.33. Приварной штуцер к монолитной стенке

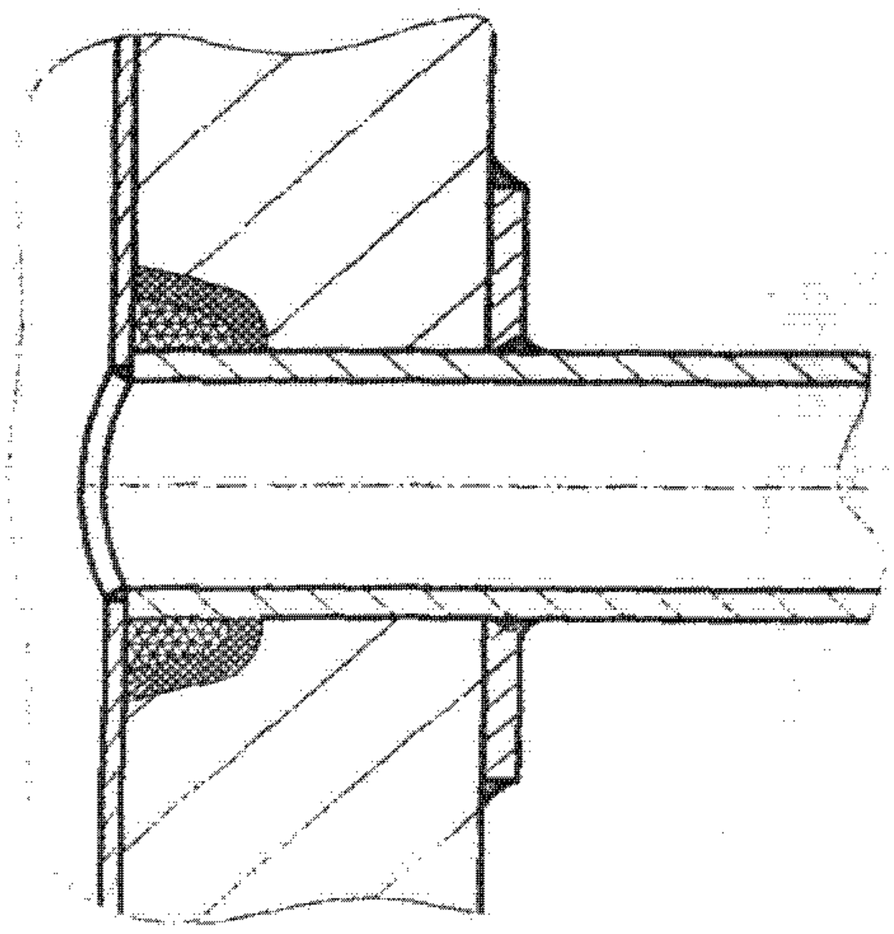


Рис. 26.34. Штуцер, вваривaемый в монолитную стенку

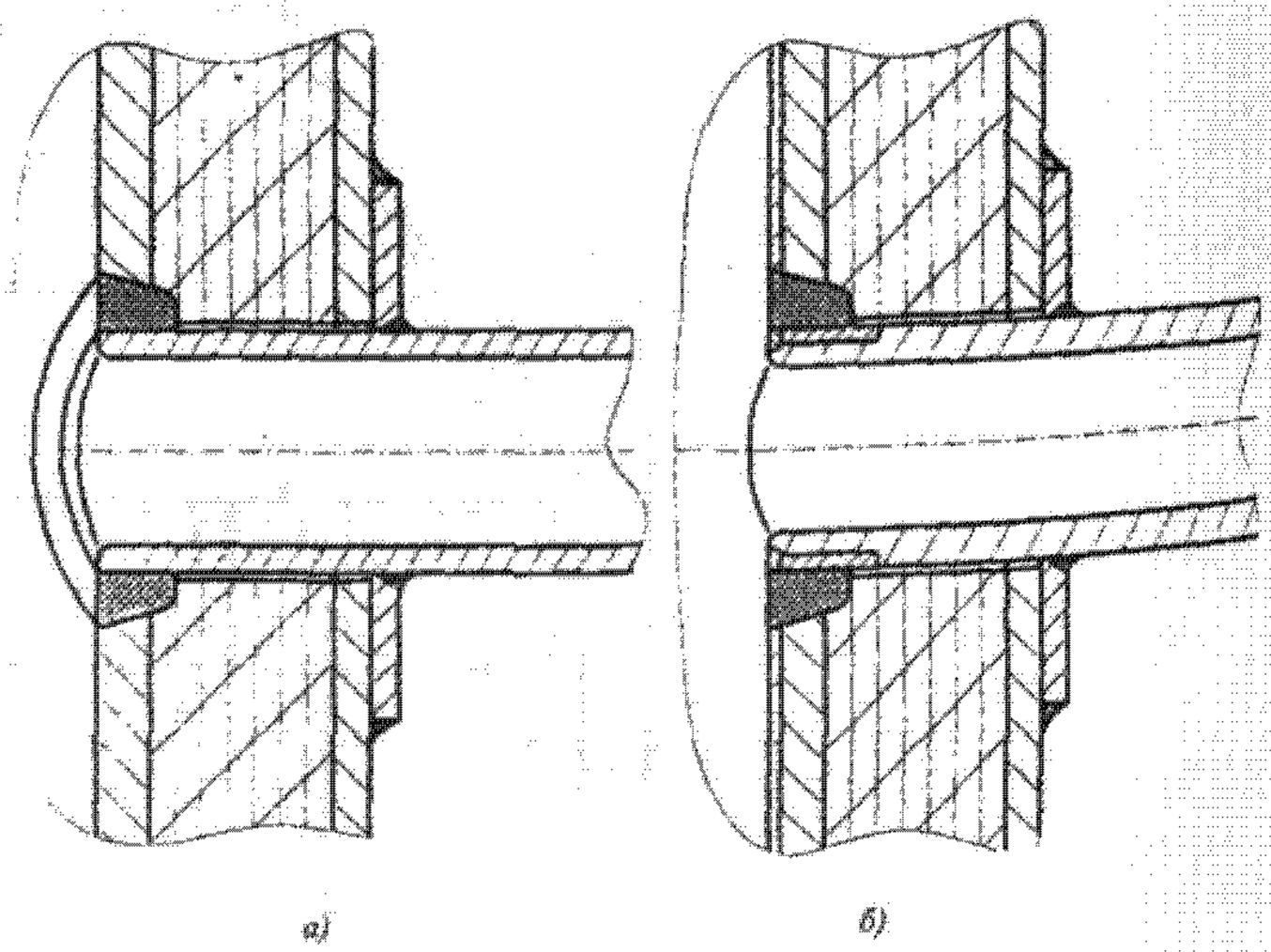
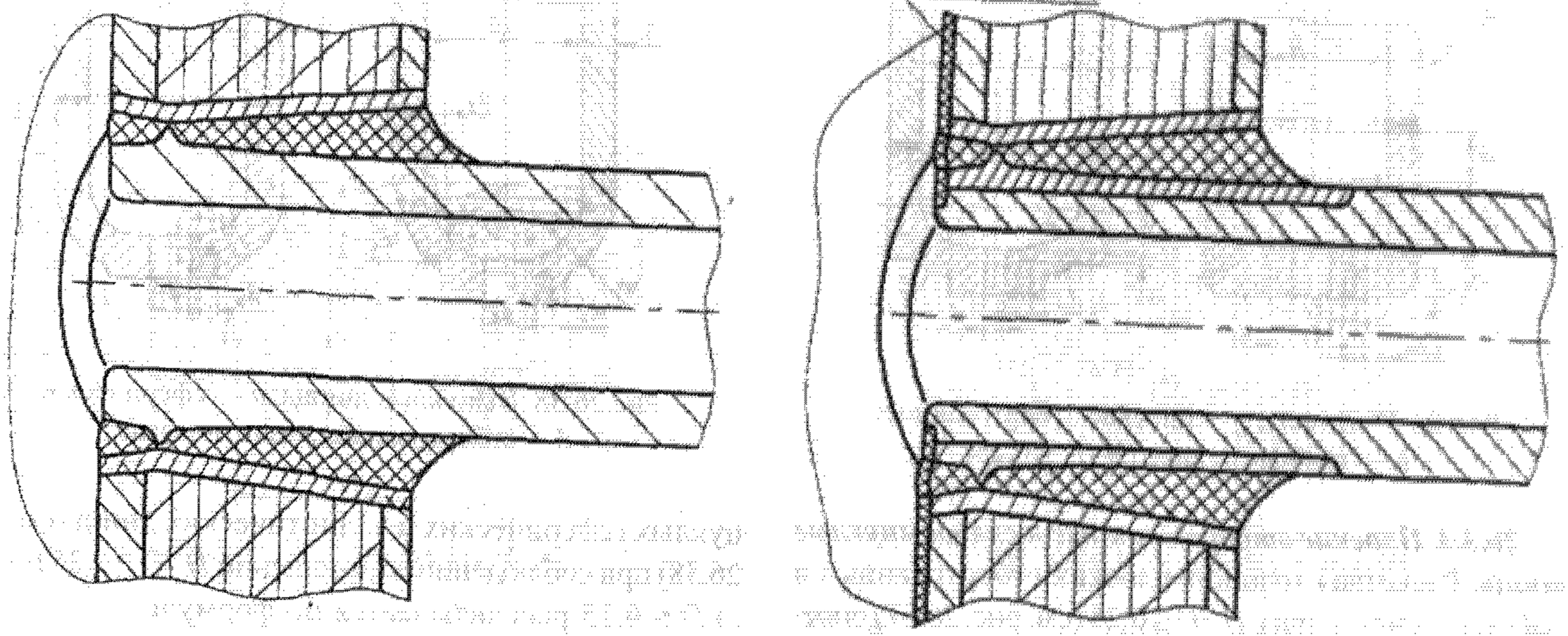


Рис. 26.35. Штуцер, вваривaемый в многослойную стенку



а) б)

Рис. 26.36. Вариант вварки крупного штуцера в многослойную стенку

26.3. Расчет элементов АВД на прочность (ГОСТ 25215—82, ОСТ 26-1046—87)

26.3.1. Однослойные цилиндрические корпуса. Определение толщины стенки однослойного цилиндрического корпуса АВД проводится из формулы предельного расчетного внутреннего давления

$$p_R = [\sigma] \ln \beta, \qquad (26.1)$$

где $\beta = (R + 2s)/(R + c)$ — коэффициент толстостенности;

R — внутренний радиус аппарата.

При расчете элементов АВД по предельным нагрузкам величина допускаемого напряжения $[\sigma]$ для углеродистых, низко- и среднелегированных сталей находится из условия

$$[\sigma] = \min\left(\frac{\sigma_т \text{ или } \sigma_{0,2}}{n_т}; \frac{\sigma_в}{n_в} \right), \qquad (26.2)$$

где значения коэффициентов запаса прочности по пределу текучести и по пределу прочности соответственно равны $n_т = 1{,}5$, $n_в = 2{,}4$.

Тогда толщина стенки однослойного цилиндрического корпуса будет определяться по формуле:

$$s = R\left[\exp\left(\frac{p_R}{[\sigma]\cdot\varphi} \right) - 1 \right] + c. \qquad (26.3)$$

При использовании различных приближенных выражений для значения логарифма в зависимости (25.1), например, $\ln\beta \approx 2(\beta - 1)/(\beta + 1)$ выражение для расчета толщины стенки примет следующий вид:

$$s = \frac{p_R R}{[\sigma]\varphi - 0{,}5\, p_R} + c. \qquad (26.4)$$

26.3.2. Многослойные цилиндрические корпуса. Расчет толщины стенки многослойных цилиндрических корпусов проводят по зависимости (26.3). Величину допускаемого напряжения для таких корпусов определяют по зависимости:

$$[\sigma] = [\sigma]_{ср} = \frac{[\sigma_1]\cdot s_1 + [\sigma_2]\cdot s_2 + \ldots + [\sigma_n]\cdot s_n}{s_1 + s_2 + \ldots + s_n}, \qquad (26.5)$$

где $[\sigma]_{ср}$ — среднее допускаемое напряжение для многослойной обечайки при расчетной температуре; $[\sigma]_1$, $[\sigma]_2$, ..., $[\sigma]_n$ — допускаемые напряжения материала 1-го, 2-го ... n-го слоев.

При проектировании многослойных АВД толщины центральной обечайки s_1 и наружного слоя s_n, как правило, принимаются конструктивно, а все остальные слои изготовляют из одного материала, принимая при этом $[\sigma]_2 = [\sigma]_3 = \ldots = [\sigma]_{n-1} = [\sigma]_{ср}$. В этом случае искомая толщина стенки будет находиться по формуле:

$$s = R_1\left[\exp\left(\frac{p_{R1}}{[\sigma]_{ср}} \right) - 1 \right] + s_1 + s_n, \qquad (26.6)$$

где R_1 — внешний радиус центральной обечайки;

p_{R1} — расчетное внутреннее давление в центральной обечайке.

Величина давления p_{R1} рассчитывается по зависимости:

$$p_{R1} = p_R - [\sigma]\ln\frac{R_1}{R} - [\sigma]\ln\frac{R_*}{R_* - s_n}, \qquad (26.7)$$

где R_* — наружный радиус аппарата.

При проектировании рулонированных аппаратов к полученной по зависимости (26.5) толщине стенки прибавляют еще толщину одного слоя навиваемой полосы.

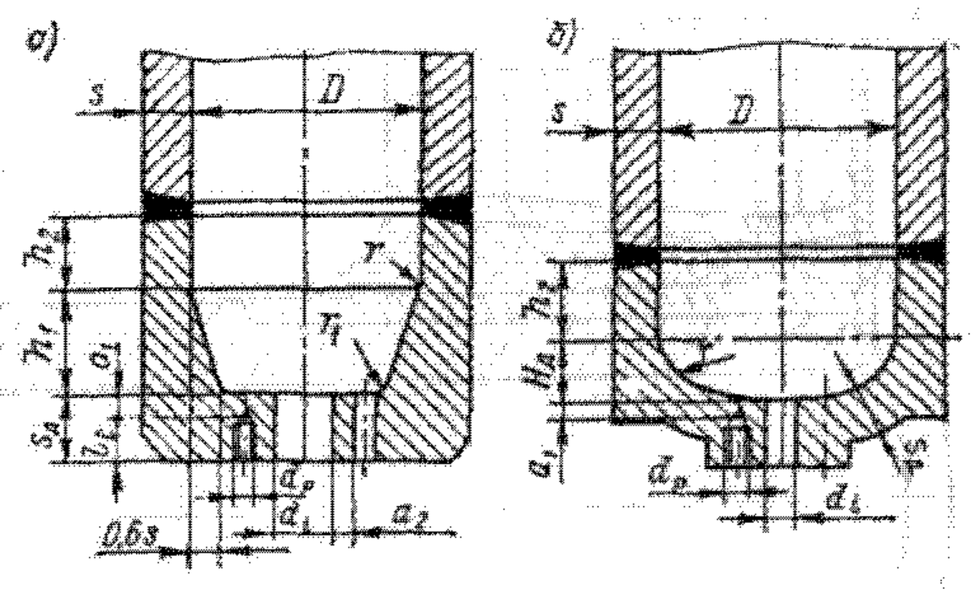


Рис. 26.37. Днища: *а* — плоское отбортованное; *б* — слабовыпуклое ($H_д/D \le 0{,}25$)

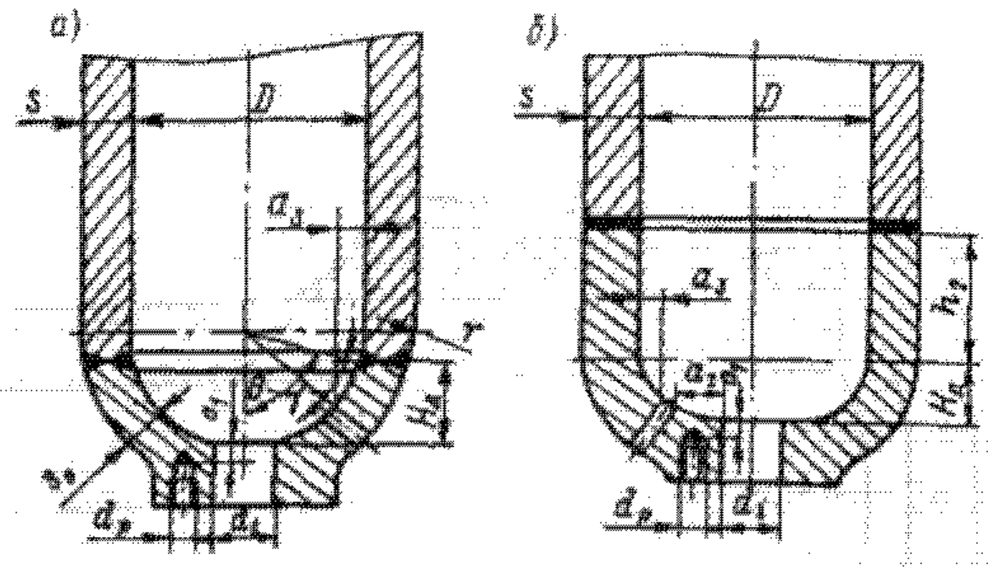


Рис.26.38. Выпуклые днища: *а* — сферическое; *б* — отбортованное эллиптическое

26.3.3. Плоские отбортованные и слабовыпуклые днища. Расчетная толщина плоских отбортованных и слабовыпуклых днищ с $H_д/D \le 0{,}25$ (см. рис. 26.37) определяется по следующей формуле:

$$S_{дR} = 0{,}45D\sqrt{p_R/([\sigma]\psi_0)}, \qquad (26.8)$$

где ψ_0 — коэффициент ослабления днища отверстиями,

$$\psi_0 = \frac{1 - \sum d_i/D}{1 - \sum (d_i/D)^3}. \qquad (26.9)$$

Здесь $\sum d_i$ — сумма диаметров отверстий для наиболее ослабленного диаметрального сечения.

При $\sum d_i/D > 0{,}6$ следует принимать $\psi_o = 0{,}4$.

В случае одиночного центрального отверстия диаметром d_o

$$\psi_0 = \frac{1}{1 + d_o/D + (d_o/D)^2}. \qquad (26.10)$$

Диаметры несквозных отверстий под шпильки для присоединяемых к днищу различных элементов входят в величину $\sum d_i$ умноженными на коэффициент $2l_i/s_д$, где l_i — глубина i-го отверстия; $s_д$ — исполнительная толщина днища (см. рис. 26.8). При $l_i > s_д/2$ коэффициент $2l_i/s_д$ принимается равным 1,0. Расстояние a_2 между кромками двух соседних отверстий, измеряемое по проекции чертежа, должно быть не менее диаметра меньшего отверстия. Значение a_1 должно быть не менее $d_p + c$, где d_p — наружный диаметр резьбы гнезда под крепежную шпильку.

Исполнительная толщина днища $s_д$ должна удовлетворять условию

$$s_д \ge s_{дR} + c. \qquad (26.11)$$

Допускаемое рабочее давление

$$[p]_д = 5(s_д - c)^2 [\sigma] \psi_o/D^2. \qquad (26.12)$$

Радиусы сопряжения и высоты отдельных конструктивных частей днища (см. рис. 26.37) $r \ge s_R$; $r_1 \ge 1{,}8s_p$; $h_1 \ge 1{,}8s_p$; $h_2 \ge s_p$, где $s_R = 0{,}5D(\beta_R - 1)$ — расчетная толщина обечайки корпуса в рабочих условиях.

26.3.4. Выпуклые днища. Расчетная толщина выпуклых (сферических и эллиптических днищ (см. рис. 26.38) при соблюдении соотношений $H_д/D \ge 0{,}25$ и $(s_в - c)/D \le 0{,}15$ рассчитывается по формуле

$$s_{BR} = \frac{p_R D}{4[\sigma]_ф - p_R} \frac{D}{2H_д}, \qquad (26.13)$$

где $H_д$ — внутренняя высота выпуклой части днища, м; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение при расчетной температуре, определяемое по формуле (26.2)

Выпуклые эллиптические днища выполняют с отбортовкой (см. рис. 26.38, *б*). Толщина эллиптической части днища должна быть не менее расчетной толщины цилиндрической отбортованной части, определяемой по формуле (26.4) для материала днища. Кроме того, рекомендуется соблюдать следующие условия (см. рис. 26.38): расстояние от края отверстия до внутренней цилиндрической поверхности, измеряемое по проекции чертежа, $a_3 \ge 0{,}1D$; значение величины отбортовки эллиптического днища $h_2 \ge 0{,}5D$ ($\beta_p - 1$); угол сферического сегмента $90° \ge \theta \ge 75°$; расстояние $a_1 \ge d_p + c$; угол γ (см. рис. 26.38, *а*) от кромки днища до кромки отверстия должен быть не менее 35°.

Исполнительная толщина $s_в$ должна удовлетворять условию

$$s_в \ge s_{вR} + c. \qquad (26.14)$$

Выпуклые днища, предназначенные для многослойных обечаек, а следовательно, с ними сопрягаемые, рассчитываются также по формуле (26.13). Однако допускаемые напряжения для сферических днищ с углом сегмента $90° \ge \theta \ge 87°$ уменьшаются на 10 %, а при расчете эллиптических днищ и сферических с углом сегмента $87° > \theta \ge 75°$ уменьшения допускаемых напряжений не производят. Во всех случаях принятая толщина днища должна быть не менее $0{,}8s$ (исполнительной толщины многослойной обечайки).

Рабочее допускаемое давление определяется по формуле:

$$[p] = 4[\sigma]\varphi / \left(\frac{D}{s_в - c}\frac{D}{2H_д} + 1\right). \qquad (26.15)$$

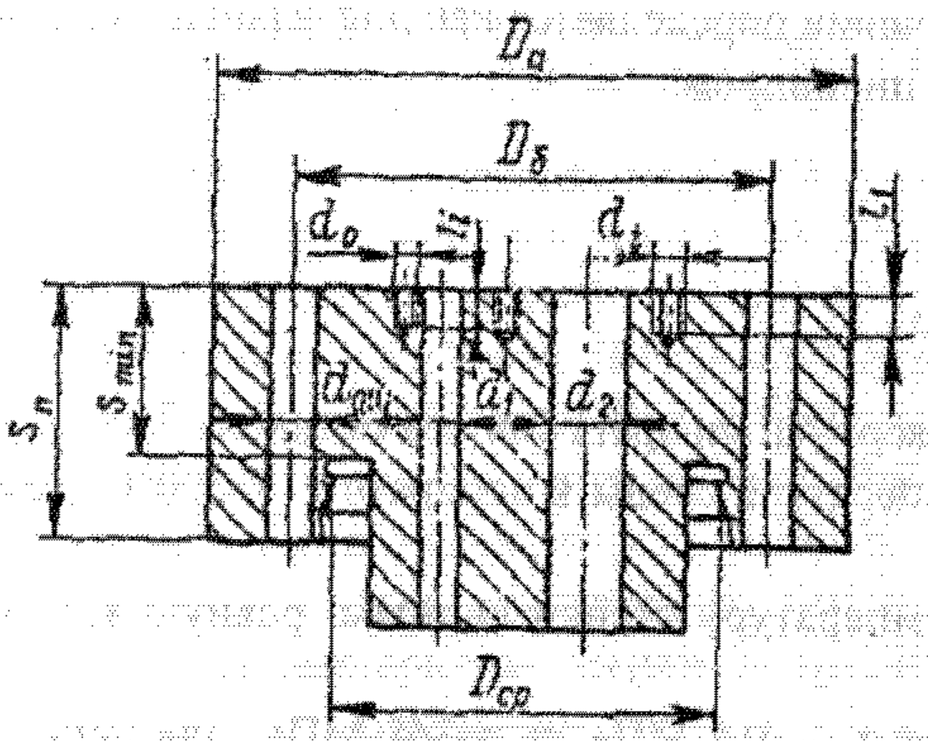


Рис. 26.39. Плоская крышка

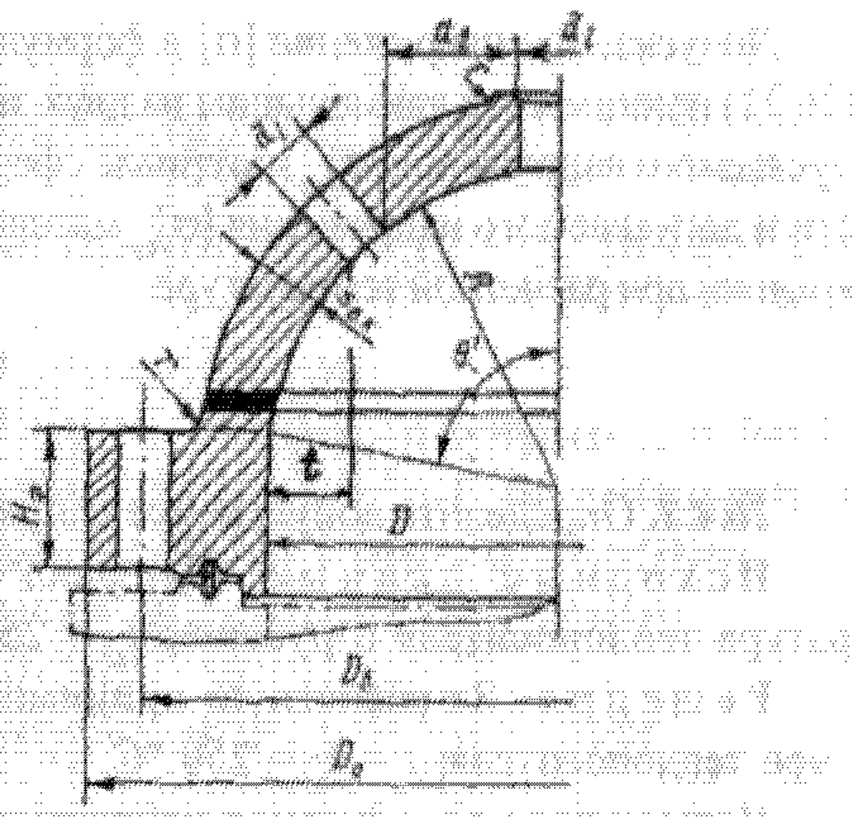


Рис. 26.40. Сферическая крышка

26.3.5. Плоские крышки. Отъемная плоская крышка аппарата высокого давления представляет собой сложнонапряженный элемент с наличием нескольких несимметрично расположенных отверстий (рис. 26.39). Из-за этих отверстий расчетные зависимости, основанные на теории круглых пластин или плит, для данного случая не представляются достоверными. Широко практикуется расчет из условия прочности на изгиб диаметрального сечения крышки, наиболее ослабленного отверстиями.

Исполнительная толщина плоских крышек (см. рис.26.39), кроме крышек с приварными патрубками, рассчитывается по формуле:

$$s_в \geq 0{,}41 \cdot D_{ср} \sqrt{\frac{P_R}{[\sigma]} \cdot \frac{D_{ср} + 3(D_б - D_{ср}) \cdot \frac{F_в}{FQ}}{D_a - 2d_{o.ш} - \sum_{i=1}^{n} d_i}} + c, \quad (26.16)$$

где $F_в$ — расчетная сила, действующая на шпильки; F_Q — осевая сила от действия среды на крышку; $D_б$ — диаметр окружности центров шпилек; $D_{ср}$ — средний диаметр уплотнительной поверхности; D_a — наружный диаметр крышки; $d_{o.ш}$ — диаметр отверстия под крепежную шпильку, принимаемый в расчете равным диаметру резьбы шпильки $d_р$, т.е. $d_{o.ш} = d_р$; $\sum d_i$ — максимальная сумма длин хорд отверстий в наиболее ослабленном диаметральном сечении крышки.

Наружный диаметр крышки назначается конструктивно из условия

$$D_a \geq D_б + 2d_р. \quad (26.17)$$

Минимальная толщина крышки в месте расположения паза под уплотнение в случае применения затвора с двухконусным обтюратором

$$s_{min} \geq 0{,}41 \cdot D_{ср} \times \quad (26.18)$$

$$\times \sqrt{\frac{p_R}{[\sigma]} \cdot \frac{3(D_б - D_{ср}) \cdot \frac{F_в}{F_Q}}{D_{ср}} + 1{,}5\left(\frac{p_R}{[\sigma]}\right)^2 - 6 \cdot s_n^2 \cdot \frac{D_a - D_{ср} - 2d_{o.ш}}{D_{ср}^3}} + c$$

26.3.6. Выпуклые сферические крышки. Выпуклую крышку рекомендуется выполнять в соответствии с рис. 26.40.

Выпуклая сферическая крышка состоит из сферической части и приварного плоского фланца. При этом необходимо соблюдать следующие условия: 1) расстояние t, измеряемое в проекции на поперечное сечение корпуса аппарата, должно удовлетворять условию $t \geq 0{,}1D$; 2) половина угла сферического сегмента $\theta' = 50 - 80°$; 3) расстояние между двумя соседними отверстиями, измеряемое по проекции на чертеже, должно быть не менее диаметра меньшего отверстия; 4) значения радиусов закругления $r \geq 0{,}4s_{в.к.р}$, где $s_{в.к.р}$ — расчетная толщина стенки сферической части выпуклой крышки.

Половина угла сферического сегмента для срединной поверхности должна определяться по зависимости

$$\theta = \arcsin\left(\frac{D + \frac{s_{в.к}}{\theta'}}{2R + s_{в.к}}\right). \quad (26.19)$$

Расчет применим для выпуклых сферических крышек при использовании уплотнений с двухконусными или дельтообразными кольцами.

Тогда исполнительная толщина сферической части выпуклой крышки определяется зависимостью

$$s_{в.к} \geq \frac{1{,}25 p_R \cdot R}{2[\sigma] \cdot \varphi - 0{,}5 p_R} + c. \quad (26.20)$$

Исполнительная толщина фланцевого кольца

$$H_ф \geq 2 \cdot k \sqrt{\frac{M \cdot [\sigma]}{([\sigma] \cdot k^2 - p_R^2)(D_a - D - 2d_{o.ш})}} + c, \quad (26.21)$$

где значение коэффициента k рассчитывается по зависимости

$$k = l_n \frac{D_б - d_{o.ш}}{D} + \frac{D_б + d_{o.ш}}{D_б - d_{o.ш}} \cdot l_n \frac{D_a}{D_б + d_{o.ш}}. \quad (26.22)$$

Допускаемое напряжение [σ] в формулах (26.20) и (26.21) принимается наименьшим из двух значений: допускаемого напряжения $[\sigma]_{ср}$ материала сферической части и допускаемого напряжения $[\sigma]_{ср}$ материала фланца крышки при расчетной температуре.

Расчетный изгибающий момент M в диаметральном сечении определяется как для фланца, соединенного с цилиндром.

26.4. Примеры

26.4.1. Определить допускаемое напряжение для материала корпуса аппарата синтеза метанола.

Исходные данные. Материал — сталь 20Х2М, температура среды в аппарате t_c = 200°С, температура теплоносителя в рубашке $t_н$ = 250°С.

Решение. За расчетную принимаем максимальную температуру стенки корпуса, равную температуре теплоносителя: $t = t_н$ = 250 °С.

Нормативное допускаемое напряжение согласно (26.2) при $\sigma_в$ = 415 МПа, $\sigma_т$ = 368 МПа для используемой стали при t = 250 °С

$$[\sigma] = \min\begin{Bmatrix} \sigma_в/n_в = 530/2{,}4 = 221 \text{ МПа} \\ \sigma_{0{,}2}/n_т = 380/1{,}5 = 253 \text{ МПа} \end{Bmatrix} = 221 \text{ МПа}.$$

26.4.2. Произвести расчет на прочность цилиндрической обечайки аппарата, предназначенного для осушки воздуха.

Исходные данные. Внутреннее давление p = 28 МПа, температура среды в аппарате t_c = 180°С, температура теплоносителя в рубашке $t_н$ = 220°С, а давление пренебрежимо мало; внутренний диаметр аппарата D = 1000 мм; материал корпуса — сталь 20Х2МА; скорость коррозии: внутренней стороны корпуса $П_в$ = 0,048 мм/год, наружной стороны корпуса $П_н$ = 0,002 мм/год, срок службы аппарата τ = 20 лет.

Решение. Расчетное давление $p_р = p$ = 28 МПа.

Расчетная температура стенки аппарата равна максимальной температуре $t = t_н$ = 220°С.

Допускаемое напряжение [σ] = 184 МПа.

Коэффициент прочности сварных продольных швов для хромомолибденовых сталей φ = 1,0.

Прибавка к расчетной толщине на компенсацию коррозии

$$c = (П_н + П_в)\,\tau = (0{,}002 + 0{,}048)\,20 = 1{,}0 \text{ мм}.$$

Расчетный коэффициент толстостенности

$$\ln \beta_к = p_к/([\sigma]) = 28/(184 \cdot 1) = 0{,}152,$$

откуда $\beta_к$ = 1,164.

Исполнительная толщина обечайки

$$s \geq 0{,}5D(\beta_к - 1) + c = 0{,}5 \cdot 1{,}0\,(1{,}164 - 1) + 0{,}001 = 0{,}083 \text{ м}.$$

По ГОСТ 19903—74 выбираем ближайшее большее значение s = 0,085 м = 85 мм.

Допускаемое рабочее давление

$$[p] = [\sigma]\,1n\beta = 184 \cdot 1n\ 1{,}168 = 28{,}6 \text{ МПа},$$

где $\beta = (D + 2s)/(D + 2c) = (1 + 2 \cdot 0{,}085)/(1 + 2 \cdot 0{,}001) = 1{,}168$.

Приняв температуры внутренней $t_в$ и наружной $t_н$ поверхностей обечайки соответственно равными температуре обрабатываемой среды в аппарате и теплоносителя в рубашке $t_в$ = 180°С и $t_н$ = 220°С, получим $\Delta t = t_в - t_н = 180 - 220 = -40$°С.

Эквивалентное напряжение рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{экв} = \frac{\beta^2}{\beta^2 - 1}\sqrt{3p^2 + 3pk_2\Delta t + k_2^2\Delta t^2}\ .$$

Значение коэффициента k_2 будет иметь следующее значение:

$$k_2 = \frac{\alpha E}{1 - \mu}\left(\frac{\beta^2 - 1}{2\beta^2 \ln \beta} - 1\right) =$$

$$= \frac{12{,}9 \cdot 10^{-6} \cdot 1{,}83 \cdot 10^5}{1 - 0{,}3}\left(\frac{1{,}168^2 - 1}{2 \cdot 1{,}168^2 \cdot \ln\ 1{,}168} - 1\right) = -0{,}47,$$

где μ = 0,3; $\alpha = 12{,}9 \cdot 10^{-6}$ 1/°С; $E = 1{,}83 \cdot 10^5$ МПа.

Тогда получим следующее значение эквивалентного напряжения:

$$\sigma_{экв} = \frac{1{,}168^2}{1{,}168^2 - 1}\sqrt{3 \cdot 28^2 + 3 \cdot 28\,(-0{,}47)\,(-40) + (-0{,}47)^2\,(-40)^2} = 65{,}5 \text{ МПа}.$$

Таким образом, условие прочности: $\sigma_{экв} < \sigma_т/1{,}1$; $65{,}5 < 382/1{,}1$ выполняется. При этом $p < [p]$; $28 < 28{,}6$, тем самым обеспечивается прочность обечайки в рабочем состоянии.

26.4.3. Рассчитать толщину стенки многослойной обечайки маслоотделителя.

Исходные данные. Внутреннее давление $p = 32$ МПа, температура среды в аппарате $t_c = 200°C$, внутренний диаметр обечайки $D = 800$ мм, толщина слоя многослойной обечайки $s_{сл} = 6$ мм, расположение слоев — концентрическое, материал обечайки — сталь 09Г2С, скорость коррозии с внутренней стороны корпуса $П = 0{,}04$ мм/год, срок службы аппарата $\tau = 15$ лет, среда пожаровзрывобезопасна и нетоксична.

Решение. Расчетное давление $p_к = p = 32$ МПа.

Расчетную температуру стенки принимаем равной температуре рабочей среды $t = t_c = 200°C$.

Допускаемое напряжение для каждого из слоев

$$[\sigma]_i = 188 \text{ МПа},$$

где i — номер слоя многослойной обечайки.

Для многослойной обечайки (рис. 26.41) с концентрическим расположением слоев согласно (26.5)

$$[\sigma] = \sum_i^n [\sigma]_i s_i / \sum s_i.$$

По условиям $s_1 = s_2 = \cdots = s_i = s_{сл}$. Так как материал слоев одинаков, то $[\sigma] = [\sigma]_1 = \cdots [\sigma]_i = [\sigma]_n = 188$ МПа.

Расчетный коэффициент толстостенности определяем из формулы (26.1):

$$ln\,\beta_к = p/([\sigma]) = 32/188 = 0{,}1702,$$

откуда $\beta_к = 1{,}185$.

Расчетная толщина многослойной обечайки

$$s_к = 0{,}5D(\beta_к - 1) = 0{,}5 \cdot 0{,}8\,(1{,}185 - 1) = 0{,}074 \text{ м} = 74 \text{ мм}.$$

Прибавка к расчетной толщине обечайки на компенсацию коррозии

$$c = П_к\tau = 0{,}04 \cdot 15 = 0{,}6 \text{ мм}.$$

Необходимое число слоев

$$n \geq (s_к + c)/s_{сл} = (74 + 0{,}6)/6 = 12{,}4.$$

Окончательно принимаем $n = 13$.

26.4.4. Для маслоотделителя, работающего под внутренним давлением $p_р = 20$ МПа, определить основные геометрические размеры кованого плоского отбортованного днища, имеющего центральное отверстие.

Исходные данные. Температура среды в аппарате $t_c = 380°C$, диаметр аппарата $D = 400$ мм, диаметр одиночного отверстия в днище $d_о = 60$ мм, материал аппарата — сталь 20 с допускаемым напряжением при заданной температуре $[\sigma] = 106$ МПа, коэффициент прочности сварных соединений $\varphi = 1$, прибавка $c = 2$ мм.

Решение. Коэффициент ослабления днища отверстиями в случае одиночного центрального отверстия согласно (26.10)

$$\psi_о = \frac{1}{1 + d_о/D + (d_о/D)^2} = \frac{1}{1 + 0{,}06/0{,}4 + (0{,}06/0{,}4)^2} = 0{,}85.$$

Расчетная толщина днища по формуле (26.8)

$$s_{дк} = 0{,}45D\sqrt{p_к/([\sigma]\,\psi_о)} = 0{,}45 \cdot 0{,}4\sqrt{20/(106 \cdot 0{,}85)} = 0{,}085 \text{ м}.$$

Исполнительная толщина днища

$$s_д \geq s_{дк} + c = 0{,}085 + 0{,}002 = 0{,}087 \text{ м}.$$

По ГОСТ 19903—74 принимаем $s_д = 0{,}09$ м = 90 мм.

Допускаемое рабочее давление согласно (26.12)

$$[p]_д = 5\,(s_д - c)^2\,[\sigma]\,\psi_о/D^2 = 5\,(0{,}09 - 0{,}002)^2\,106 \cdot 0{,}85/0{,}4^2 = 22{,}2 \text{ МПа}.$$

Таким образом, $p_р < [p]$; 20 МПа < 22,2 МПа.

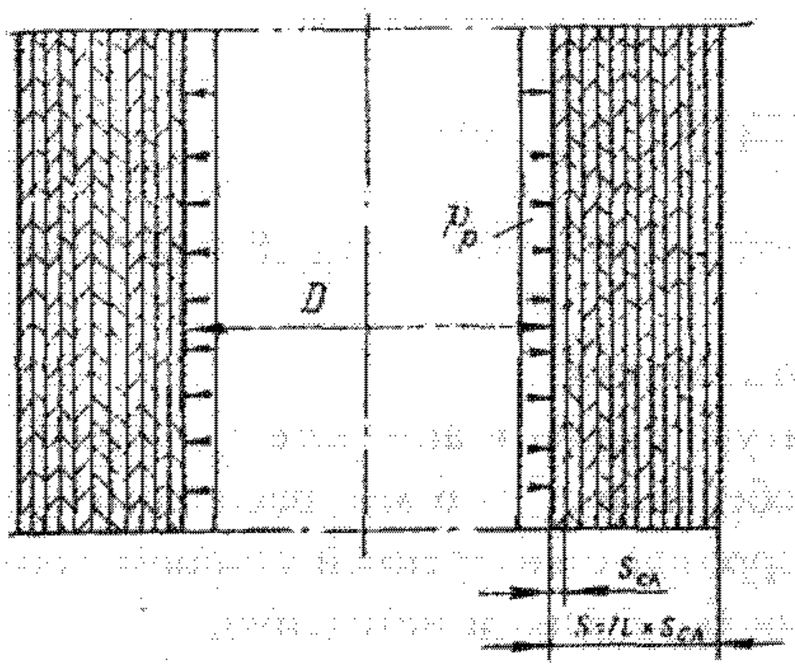


Рис. 26.41. Расчетная схема многослойной обечайки

Расчетный коэффициент толстостенности для цилиндрической части отбортованного днища определим из выражения

$$\ln \beta_R = p_R/([\sigma]) = 20/(106) = 0{,}169,$$

откуда $\beta_R = 1{,}185$.

Исполнительная толщина цилиндрической части отбортованного днища $s \geq 0{,}5D(\beta_R - 1) + c = 0{,}5 \cdot 0{,}4\,(1{,}185 - 1) + 0{,}002 = 0{,}039$ м = 39 мм. Принимаем согласно ГОСТ 19903—74 s = 40 мм.

Остальные геометрические размеры днища (рис. 26.42) при расчетной толщине $s_R = 0{,}5D(\beta_R - 1) = 0{,}5 \cdot 0{,}4\,(1{,}185 - 1) = 37$ мм следующие: $r \geq s_R = 37$ мм; $r_1 \geq 1{,}8s_R = 1{,}8 \cdot 37 = 67$ мм; $h_1 \geq 1{,}8s_R = 1{,}8 \cdot 37 = 67$ мм; $h_2 \geq s_p = 37$ мм. Окончательно принимаем: r = 40 мм; r_1 = 70 мм; h_1 = 70 мм; h_2 = 40 мм.

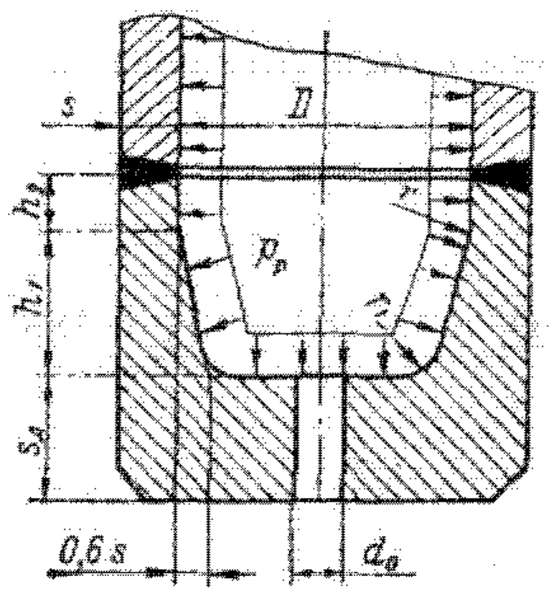


Рис. 26.42. Расчетная схема плоского отбортованного днища

26.4.6. Для аппарата синтеза аммиака рассчитать толщину сферического днища (см. рис. 26.38, *а*).

Исходные данные. Внутреннее давление p_R = 35 МПа, внутренний диаметр аппарата D = 1200 мм, температура стенки (расчетная) t = 300°С, внутренняя высота выпуклой части днища $H_д$ = 300 мм, материал днища — сталь 20Х2МА, прибавка c = 2 мм, $[\sigma]$ = 169 МПа.

Решение. Так как выполняется условие $H_д/D \geq 0{,}25$; (0,3/1,2 = = 0,25), то днище является выпуклым.

Расчетная толщина выпуклого сферического днища по формуле (26.13)

$$s_{вR} = \frac{p_R D}{4[\sigma]\varphi - p_R}\,\frac{D}{2H_д} = \frac{35 \cdot 1{,}2}{4 \cdot 169 \cdot 0{,}9 - 35}\,\frac{1{,}2}{2 \cdot 0{,}3} = 0{,}146 \text{ м}.$$

Исполнительная толщина днища $s_в \geq s_{вR} + c = 0{,}146 + 0{,}002 = 0{,}148$ м. По ГОСТ 19903—74 принимаем $s_в$ = 0,15 м = 150 мм.

Для выпуклого днища необходимо выполнение условия $(s_в - c)/D \leq 0{,}15$; $(0{,}15 + 0{,}002)/1{,}2 = 0{,}123$; $0{,}123 < 0{,}15$, следовательно, условие выполняется.

ГЛАВА 27

НОРМЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ПРИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЗКАХ (ГОСТ 25859—83)

27.1. Условия применения

Настоящие нормы и методы расчета распространяются на стальные сосуды и аппараты, применяемые в химической, нефтеперерабатывающей и смежных отраслях промышленности и отвечающие требованиям ГОСТ 24306—80, при количестве главных циклов нагружения от давления, стесненности температурных деформаций или других видов нагружений от 10^3 до $5 \cdot 10^5$ за весь срок эксплуатации сосуда.

Настоящий стандарт должен применяться совместно с ГОСТ 14249—89.

Расчетные формулы настоящего стандарта применимы при условии, что расчетные температуры не превышают значений, при которых учитывают ползучесть материалов, т.е. при таких температурах, когда допускаемое напряжение определяют по ГОСТ 14249—89 по пределу текучести или временному сопротивлению (пределу прочности).

Если нет точных данных, то формулы применимы при условии, что расчетная температура стенки из углеродистой стали не превышает 380°С, из низколегированной стали 420°С и из аустенитной стали 525°С.

Расчетные формулы применимы для элементов сосудов и аппаратов, отвечающих условиям прочности при статических нагрузках по нормативно-технической документации и для которых в нормативно-технической документации не приведен расчет на малоцикловую усталость.

Под циклом нагружения понимают последовательность изменения нагрузки, которая заканчивается первоначальным состоянием и затем повторяется.

Под размахом колебания нагрузки следует понимать абсолютное значение разности между максимальным и минимальным ее значениями в течение одного цикла.

При расчете на малоцикловую усталость учитывают следующие циклы нагружения:

рабочие циклы, которые имеют место между пуском и остановом рассчитываемого аппарата и относятся к нормальной эксплуатации аппаратов;

циклы нагружения при повторяющихся испытаниях давлением;

циклы дополнительных усилий от воздействия крепления элементов сосуда или аппарата и крепления трубопроводов;

циклы нагружения, вызванные стесненностью температурных деформаций при нормальной эксплуатации сосудов.

При расчете на малоцикловую усталость не учитывают циклы нагружения от:

а) ветровых и сейсмических нагрузок;

б) нагрузок, возникающих при транспортировании и монтаже;

в) нагрузок, у которых размах колебания не превышает 15% для углеродистых и низколегированных сталей, а также 25% для аустенитных сталей от допускаемого значения, установленного при расчете на статическую прочность. При совместном действии нагрузок по подпунктам а—в этим условиям должна удовлетворять сумма размахов нагрузок. При определении суммы размахов нагрузок от различных воздействий не учитывают вспомогательную нагрузку, которая составляет менее 10% от всех остальных нагрузок;

г) температурных нагрузок, при которых размах колебания разности температур в двух соседних точках менее 15°С для углеродистых и низколегированных сталей и 20°С для аустенитных сталей. Под соседними точками следует понимать две точки стенки сосуда, расстояние между которыми не превышает $\sqrt{2Ds}$, где D — диаметр сосуда, s — толщина стенки сосуда.

Размах колебания главных нагрузок определяют на основе рабочих значений этих нагрузок. Число циклов нагружения определяют по установленной в документации долговечности сосуда или аппарата. При отсутствии таких данных принимают долговечность 10 лет.

Расчет на малоцикловую усталость не проводят, если имеются положительные результаты эксплуатации аналогичного сосуда при тех же условиях работы и в течение времени не менее расчетной долговечности.

Расчет на малоцикловую усталость не проводят, если для всех элементов аппарата выполняются следующие условия:

1) все изменения нагрузок, кроме давления, удовлетворяют условиям пп. а) — г);

2) размах давления принимают постоянным в течение всего срока эксплуатации;

3) удовлетворяется условие

$$N_p \le [N_p] \qquad (27.1)$$

для всех элементов сосуда. Допускаемое число циклов нагружения давлением $[N_p]$ определяют по рис. 27.1—27.3.

Номограммы на рис. 27.1—27.3 построены соответственно для температур 380, 420 и 525 °С, где Δp — размах колебания рабочего давления.

Формулу (27.1) применяют на основании расчета отдельных узлов при соответствующих значениях $\xi \cdot \eta \cdot [\sigma]$ и $[p]$. Допускается проводить расчет аппарата в целом при наибольших значениях $\xi \cdot \eta \cdot [\sigma]$ и наименьшем $[p]$.

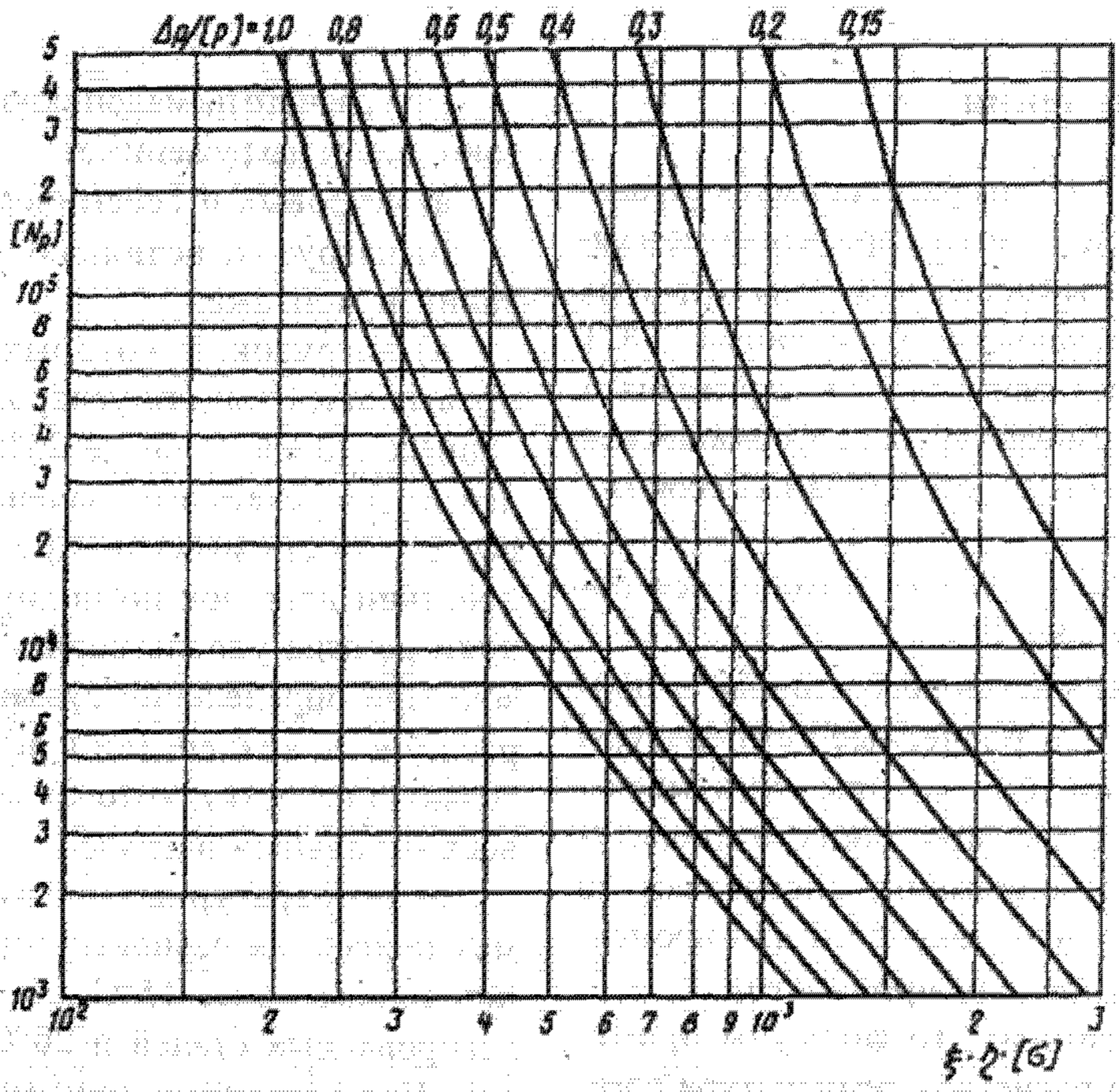


Рис. 27.1. Допускаемое число циклов нагружения давлением для элементов сосудов и аппаратов из углеродистых сталей

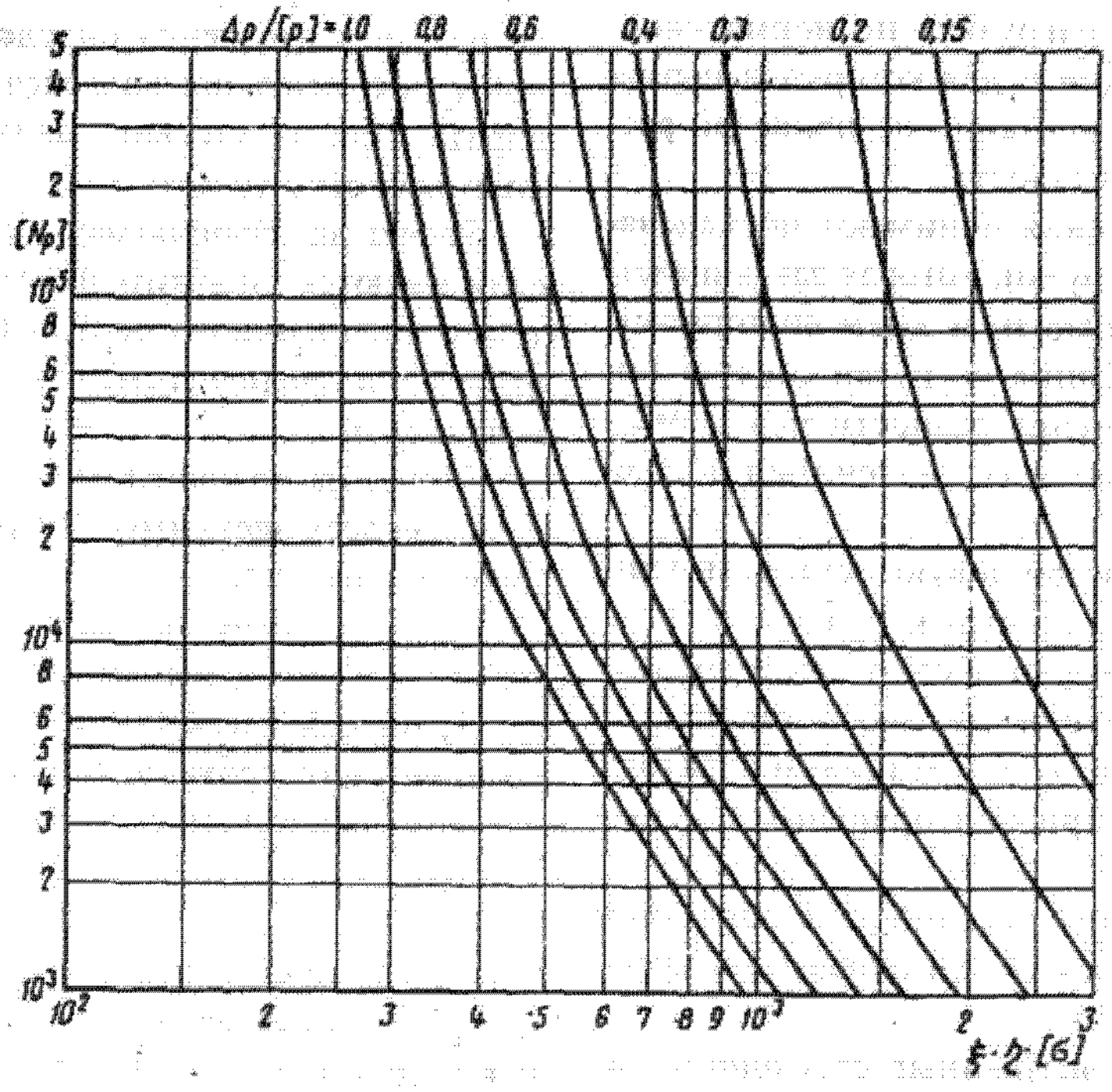


Рис. 27.2. Допускаемое число циклов нагружения давлением для элементов сосудов и аппаратов из низколегированных сталей

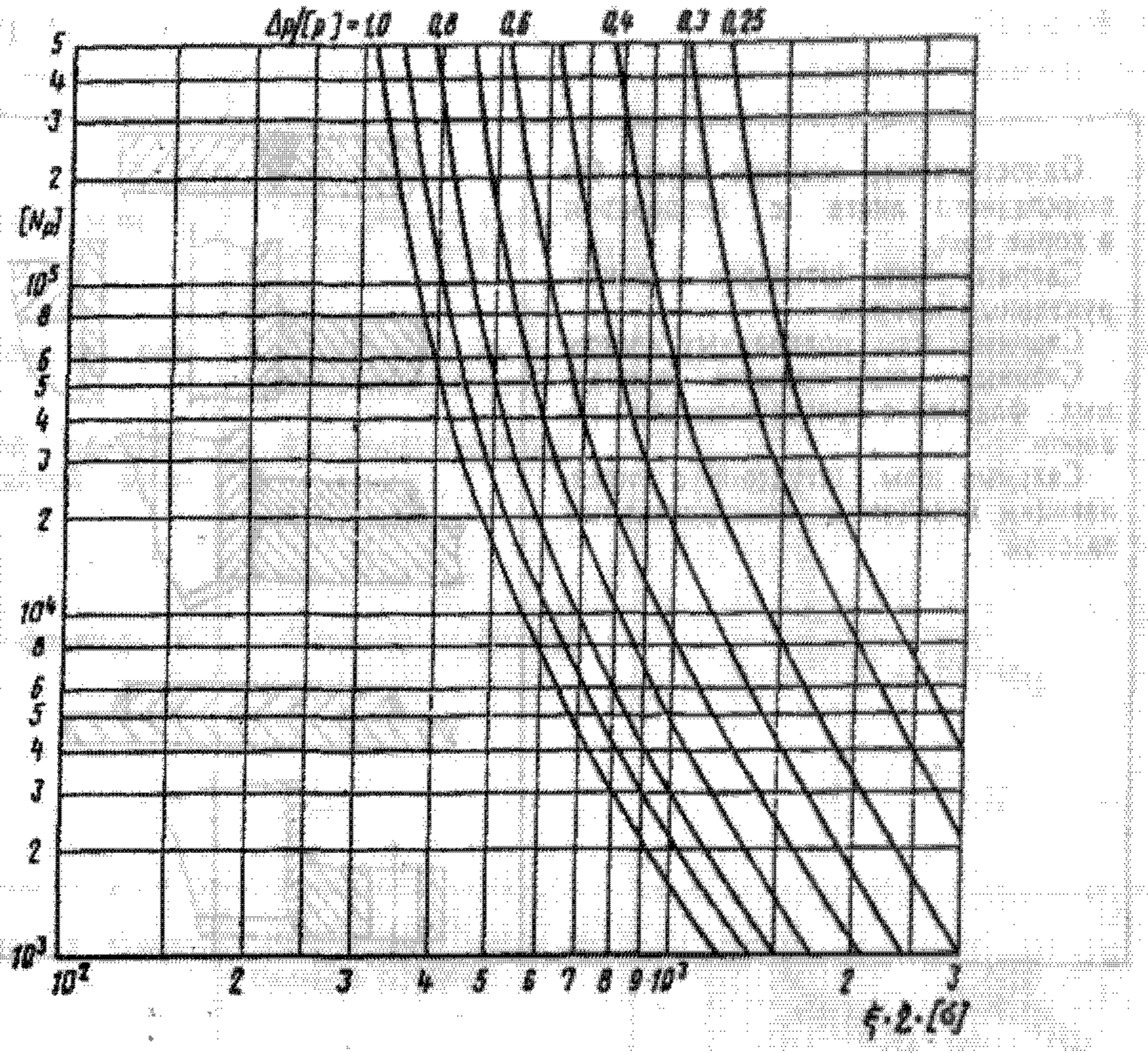


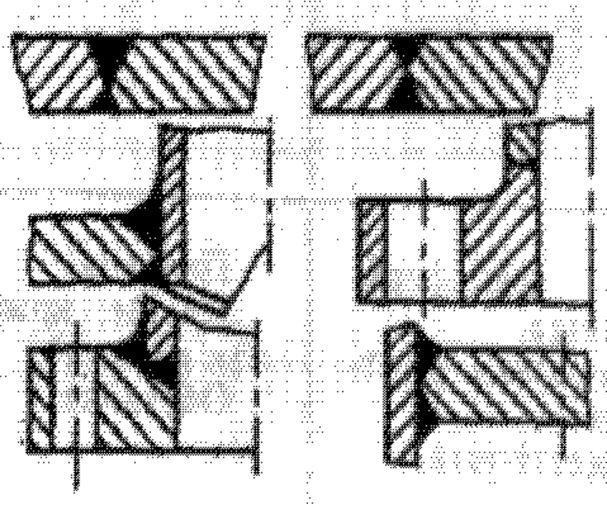
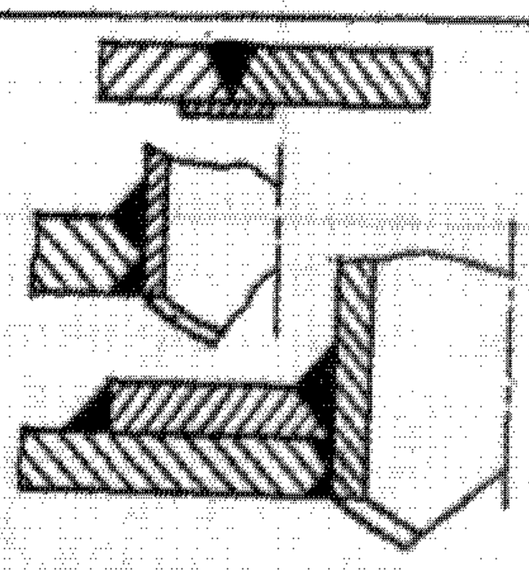
Рис. 27.3. Допускаемое число циклов нагружения давлением для элементов сосудов и аппаратов из аустенитных сталей

Значения коэффициента учета типа сварного соединения η и коэффициента, учитывающего местные напряжения ξ, определяются в зависимости от типа сварных соединений и сопрягаемых элементов по табл. 27.1 и 27.2.

Если условие формулы (27.1) не выполняется, то проводят либо упрощенный, либо уточненный расчет на малоцикловую усталость. Допускается уточненный расчет не проводить, если упрощенный расчет дает положительные результаты.

Таблица 27.1

Значение коэффициента учета типа сварных соединений

Тип сварного шва или соединение элементов	Примеры сварных швов	ξ
Стыковые сварные швы с полным проваром и плавным переходом. Тавровые сварные швы с полным проваром и плавным переходом. Бесшовная обечайка		1,0
Сварные швы сосуда с подкладным листом по всей длине. Стыковые и тавровые сварные швы с полным проваром без плавного перехода. Сварные швы штуцеров с укрепляющим кольцом с полным проваром		1,2

Продолжение табл. 27.1

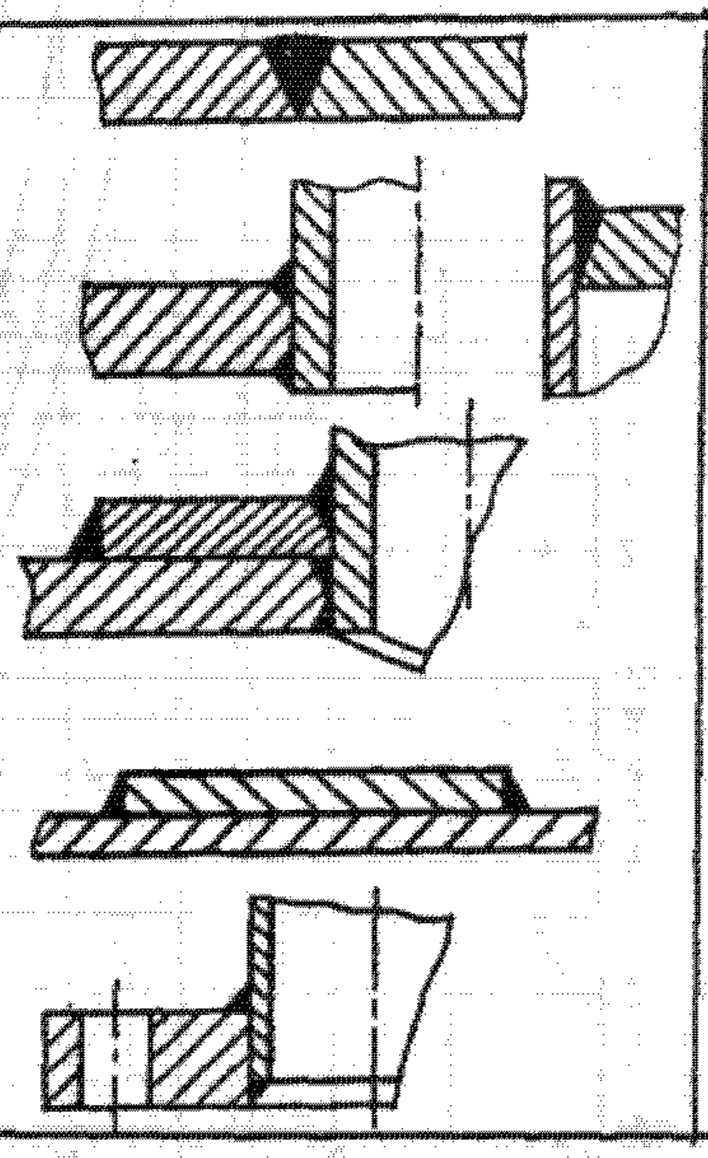
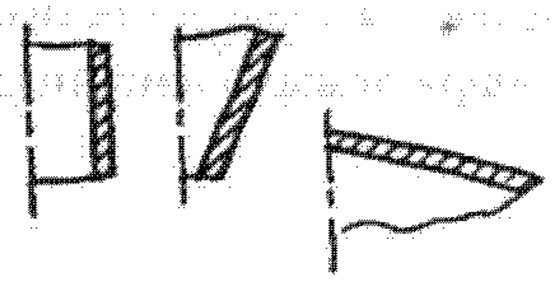
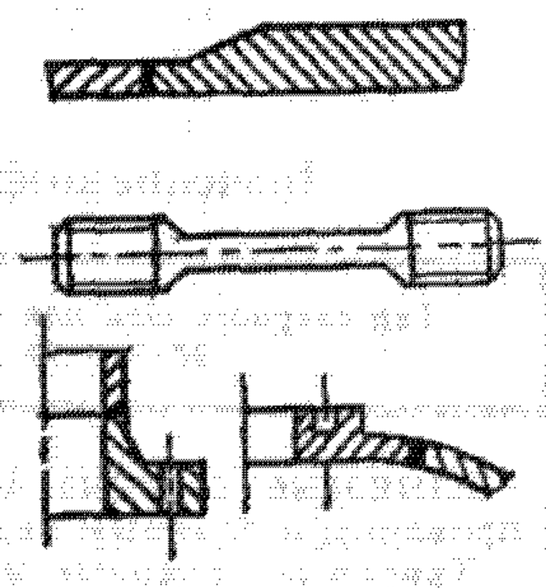
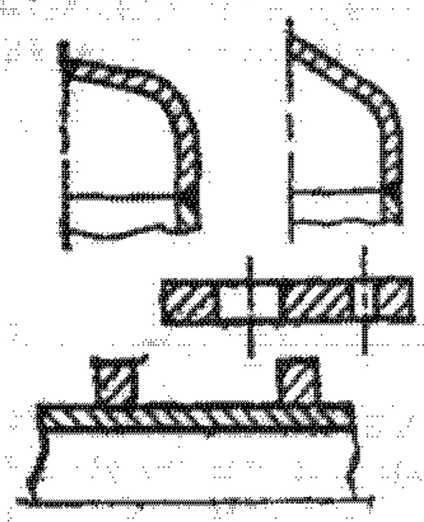
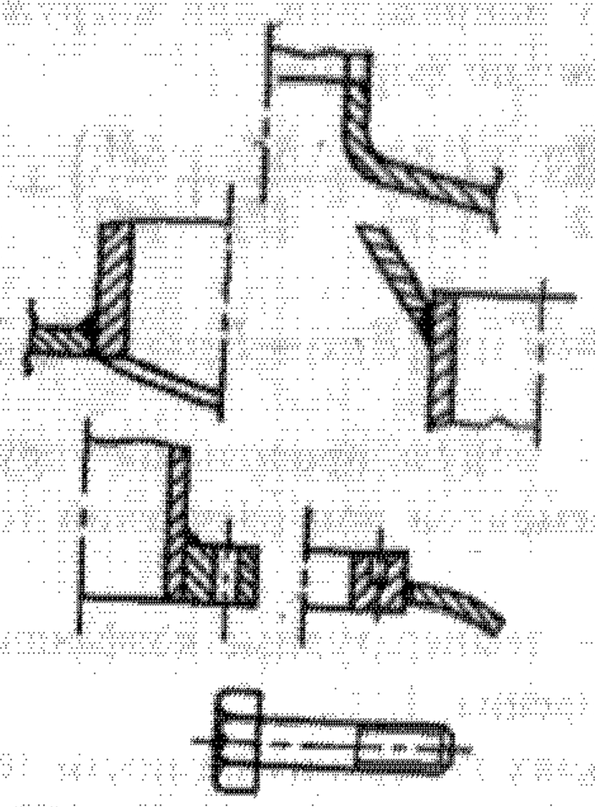
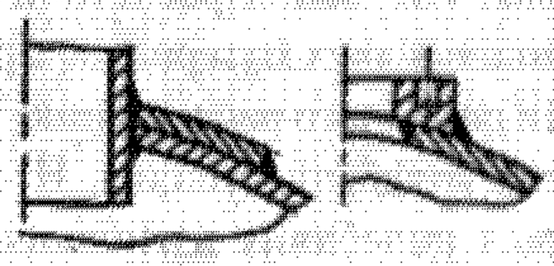
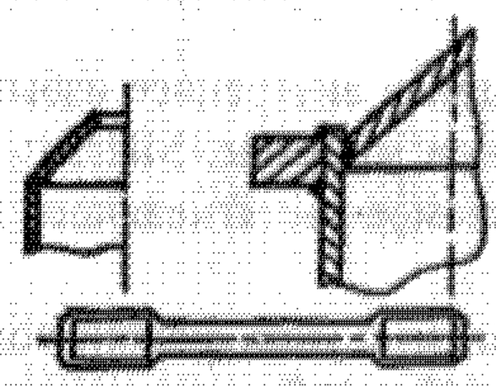
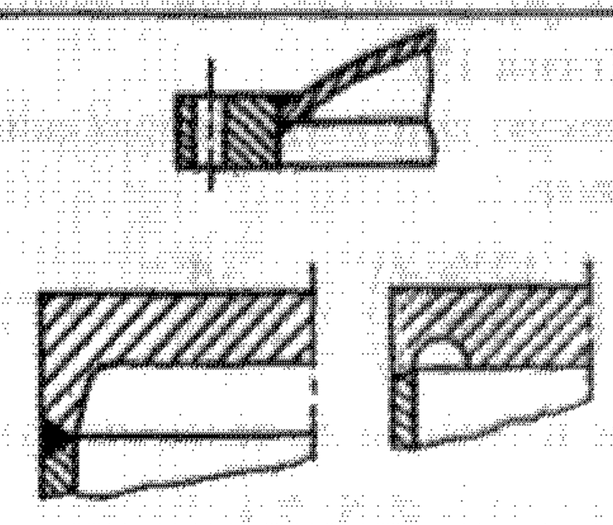
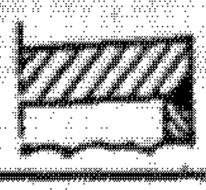
Односторонние сварные швы без подкладного листа с непроваром в корне шва. Сварные швы штуцеров с конструктивным зазором. Сварные швы подкладных листов. Сварные швы плоских приварных фланцев с конструктивным зазором. Сварные швы штуцеров с укрепляющим кольцом и конструктивным зазором		1,5

Таблица 27.2

Значение коэффициента, учитывающего местные напряжения

Узел или элемент сосуда	Расчетный элемент	Эскиз узла	n
Гладкая оболочка. Сферическая часть выпуклых днищ без отверстий.	Оболочка		1,5
Соединение оболочек разных толщин. Плоское днище или крышка без отверстий (отверстия для болтов не учитываются). Эллипсоидное днище. Шпильки фланцевых соединений. Приварные встык фланцы с плавным переходом.	Более тонкая оболочка. Плоское днище, крышка. Эллипсоидное днище. Шпильки. Оболочка и фланец		2,0
Отбортованная часть торосферического и конического днища. Плоское днище или крышка с отверстием, трубная решетка. Обечайка с кольцом жесткости.	Переход. Днище, крышка, трубная решетка. Обечайка		3,0

Продолжение табл. 27.2

Отбортованные штуцеры и лазы.	Оболочка в месте установки штуцера или лаза.		3,0
Оболочка со штуцером без накладного кольца.	Оболочка в месте установки штуцера.		
Соединение конической обечайки с цилиндрической обечайкой меньшего диаметра.	Конический переход.		
Приварные плоские фланцы к оболочке.	Оболочка и фланец.		
Болты с головкой.	Болт		
Оболочка со штуцером и укрепляющим кольцом.	Оболочка в месте установки штуцера		4,0
Угловые соединения конической или сферической обечайки.	Переход.		
Болты и шпильки из высокопрочной стали.	Болт или шпилька в зоне резьбы		
Сферическая крышка с кольцом.	Сферический сегмент.		4,0
Соединение с обечайкой плоского днища с отбортовкой или выточкой.	Обечайка		
Соединение с обечайкой приварных плоских днищ остальных типов.	Обечайка		6,0

27.2. Упрощенный расчет на малоцикловую усталость

Для всех нагруженных элементов сосуда должно выполняться условие:

$$U = \Sigma \frac{N_j}{[N_j]} \leqslant 1, \qquad (27.2)$$

где N_j и $[N_j]$ — соответственно фактическое и допускаемое число циклов нагружения.

Значение допускаемого числа циклов нагружения j-го вида определяют в зависимости от амплитуды напряжения j-го вида по следующим уравнениям:

$$[N] = \frac{1}{n_N}\left[\frac{A}{\left(\overline{\sigma}_A - \frac{B}{n_\sigma}\right)} \cdot \left(\frac{2300-t}{2300}\right)\right]^3, \qquad (27.3)$$

$$\overline{\sigma}_A = \max\left(\sigma_A ; \frac{B}{n_\sigma}\right), \qquad (27.4)$$

где t — расчетная температура, °С; $n_\sigma = 2$ — коэффициент запаса прочности по напряжениям; $n_N = 10$ — коэффициент запаса прочности по числу циклов.

Значения характеристик материалов A и B, входящих в уравнения (27.3) и (27.4), приведены в табл. 27.3.

В табл. 27.3 $\sigma_{т20}$, $\sigma_{в20}$ и σ_{c0} — соответственно предел текучести и временного сопротивления в МПа при 20°С и предел выносливости при изгибе в МПа при 10^6 циклов.

Амплитуду напряжений при нагружении j-го вида определяют по формуле:

$$\sigma_A = \frac{[\sigma]\xi\eta}{2} \cdot \left(\frac{\Delta p_j}{[p]} + \frac{\Delta F_j}{[F]} + \frac{\Delta M_j}{[M]}\right) + \frac{\eta}{2}\left(E\alpha\Delta T_{\tau j} + |E_1\alpha_1 - E_2\alpha_2|\Delta T_{\alpha j}\right), \quad (27.5)$$

где E, E_1, E_2 — модуль продольной упругости сопрягаемых элементов при расчетной температуре, МПа;

α, α_1, α_2 — температурные коэффициенты линейного расширения, 1/°С;

$\Delta T_{\tau j}$ — размах колебания разности температур двух соседних точек стенки аппарата, °С;

$\Delta T_{\alpha j}$ — размах колебания расчетной температуры в месте соединения двух материалов с различными коэффициентами линейного расширения, °С;

ΔF_j — размах колебания усилия, Н;

ΔM_j — размах колебания изгибающего момента, Н · м;

$[p]$ — допускаемое внутреннее избыточное давление или наружное давление, МПа;

$[F]$ — допускаемое растягивающее или сжимающее усилие, Н;

$[M]$ — допускаемый изгибающий момент, Н · м.

Значения $[p]$, $[F]$ и $[M]$ определяются по ГОСТ 14249—89 (глава 13).

Допускаемую амплитуду напряжений определяют по формуле:

$$[\sigma_A] = \left(\frac{2300 - t}{2300}\right) \cdot \frac{A}{\sqrt{n_N N}} + \frac{B}{n_\sigma}. \quad (27.6)$$

Условие прочности на малоцикловую усталость:

$$\sigma_A \le [\sigma_A]. \quad (27.7)$$

Допускаемое число циклов нагружения может также находиться по графикам рис. 27.4—27.7.

27.3. Уточненный расчет на малоцикловую усталость

Уточненный расчет на малоцикловую усталость основан на определении напряжений для упругого материала по теории пластин, оболочек, колец и балок при линейном распределении напряжений по толщине стенки. При расчете определяют напряжения для проверяемого узла в нескольких точках каждого элемента на внутренней и наружной поверхностях в трех направлениях.

Для упрощения расчетов эпюры циклов нагружения принимают в виде прямоугольников (рис. 27.8), причем количество циклов определяют при постоянной нагрузке или одна нагрузка может иметь в одном главном цикле (пуск в эксплуатацию и остановка) несколько второстепенных циклов.

Для каждого вида нагрузки рассчитывают размах отдельных составляющих напряжений $\Delta\sigma_x$, $\Delta\sigma_y$, $\Delta\sigma_z$, $\Delta\tau_{xy}$, $\Delta\tau_{xz}$, $\Delta\tau_{yz}$, $\Delta\sigma_1$, $\Delta\sigma_2$, $\Delta\sigma_3$ как разность напряжений обоих нагруженных состояний, входящих в цикл.

Амплитуду напряжений для каждого цикла определяют по формуле

$$\sigma_A = \frac{K_\sigma}{2}\max\{|\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_2|; |\Delta\sigma_2 - \Delta\sigma_3|; |\Delta\sigma_3 - \Delta\sigma_1|\} \quad (27.8)$$

или по формуле

$$\sigma_A = \frac{K_\sigma}{2}\sqrt{\Delta\sigma_x^2 + \Delta\sigma_y^2 + \Delta\sigma_z^2 - \Delta\sigma_x\Delta\sigma_y - \Delta\sigma_x\Delta\sigma_z - \Delta\sigma_y\Delta\sigma_z + 3(\Delta\tau_{xy}^2 + \Delta\tau_{xz}^2 + \Delta\tau_{yz}^2)}. \quad (27.9)$$

Для плоского напряженного состояния при главных напряжениях $\Delta\sigma_1$ и $\Delta\sigma_2$

$$\sigma_A = \frac{K_\sigma}{2}\sqrt{\Delta\sigma_1^2 + \Delta\sigma_2^2 - \Delta\sigma_1\Delta\sigma_2}. \quad (27.10)$$

Таблица 27.3

Значения A и B в МПа

Сталь	A	B
Углеродистые	$0{,}6 \cdot 10^6$	$1{,}43\,\sigma_{c0} - 0{,}43\,\sigma_{т20}$ или $0{,}66\,\sigma_{в20} - 0{,}43\,\sigma_{т20}$
Низколегированные	$0{,}45 \cdot 10^6$	
Аустенитные коррозионностойкие	$0{,}6 \cdot 10^6$	σ_{c0} или 270
Высокопрочные для болтов с $\sigma_в \ge 700$	$0{,}95 \cdot 10^6$	$1{,}43\,\sigma_{c0} - 0{,}43\,\sigma_{т20}$ или $0{,}66\,\sigma_{в20} - 0{,}43\,\sigma_{т20}$

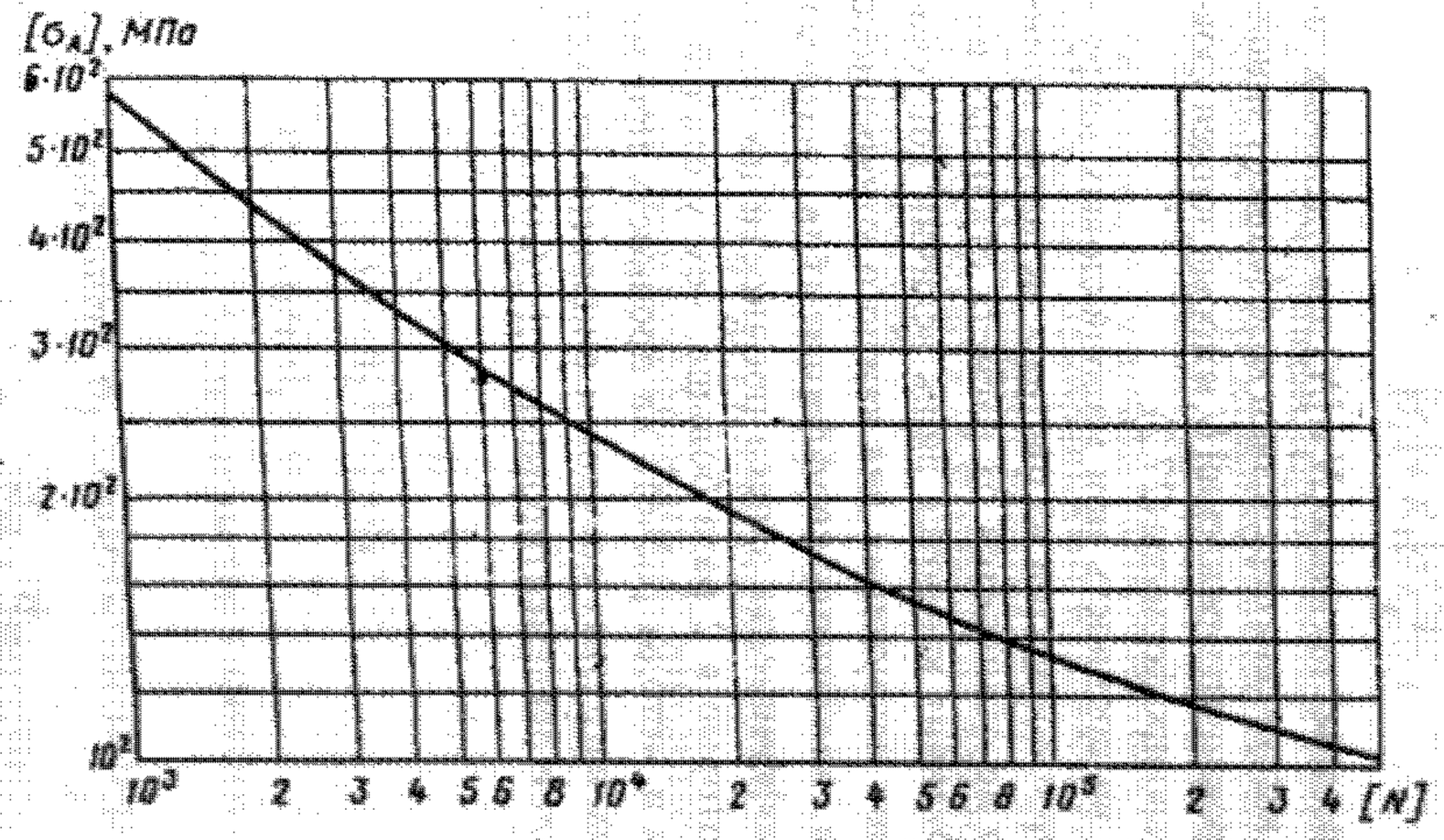


Рис. 27.4. Расчетная кривая усталости для углеродистых сталей до температуры 380°С

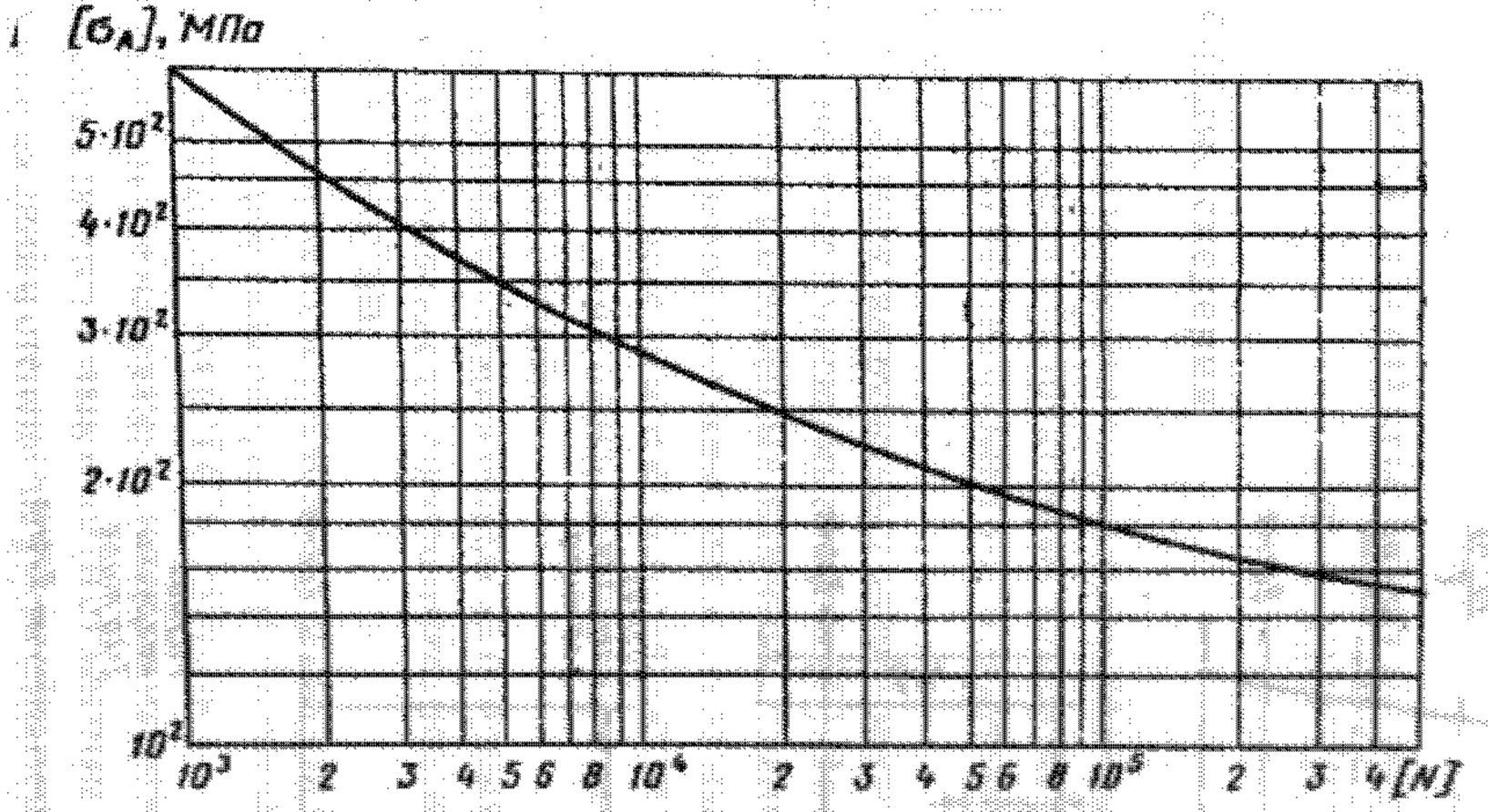


Рис. 27.6. Расчетная кривая усталости для аустенитных сталей до температуры 525°С

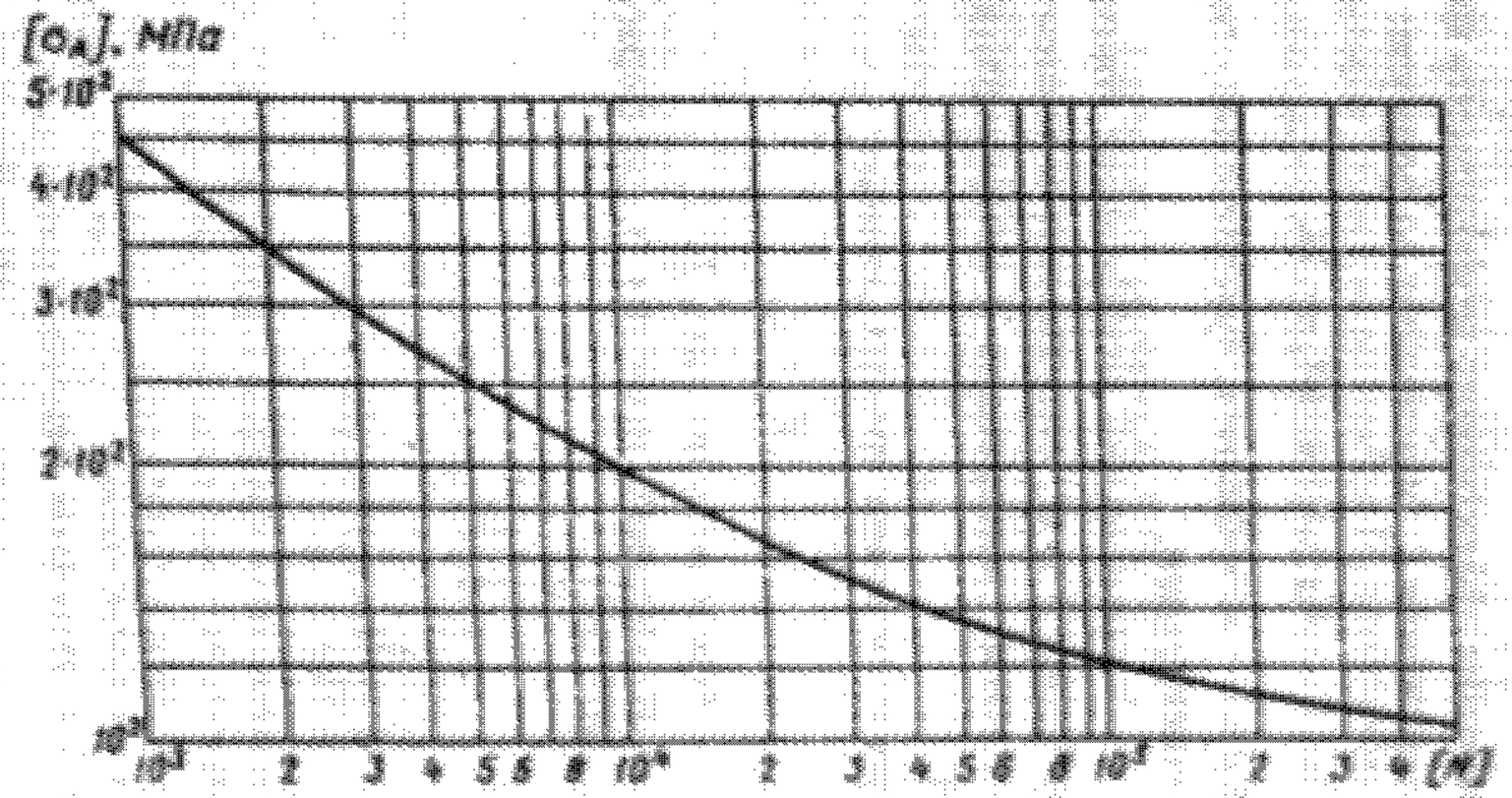


Рис. 27.5. Расчетная кривая усталости для низколегированных сталей до температуры 420°С

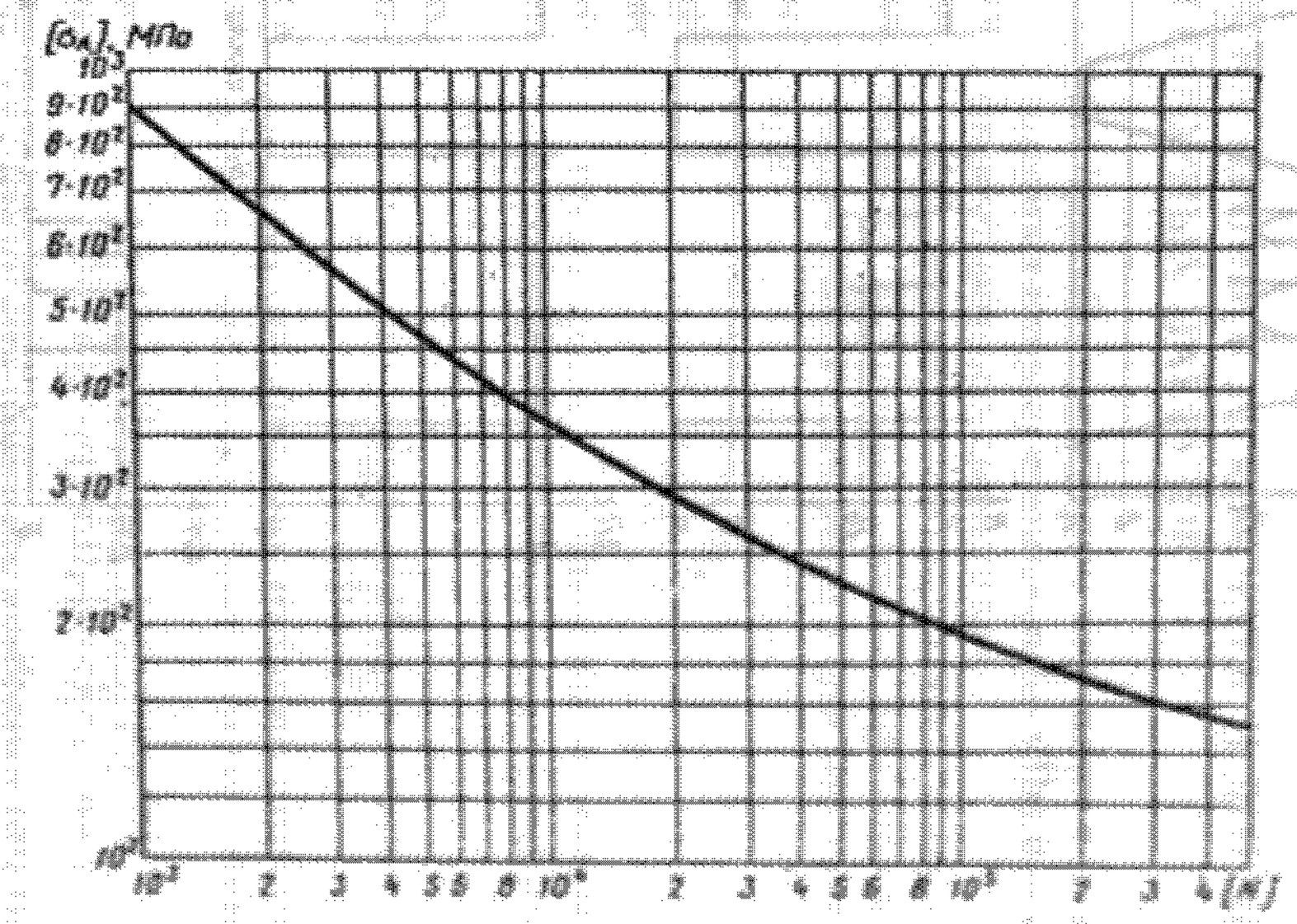


Рис. 27.7. Расчетная кривая усталости для высокопрочных($\sigma_в \geq$ МПа) крепежных сталей

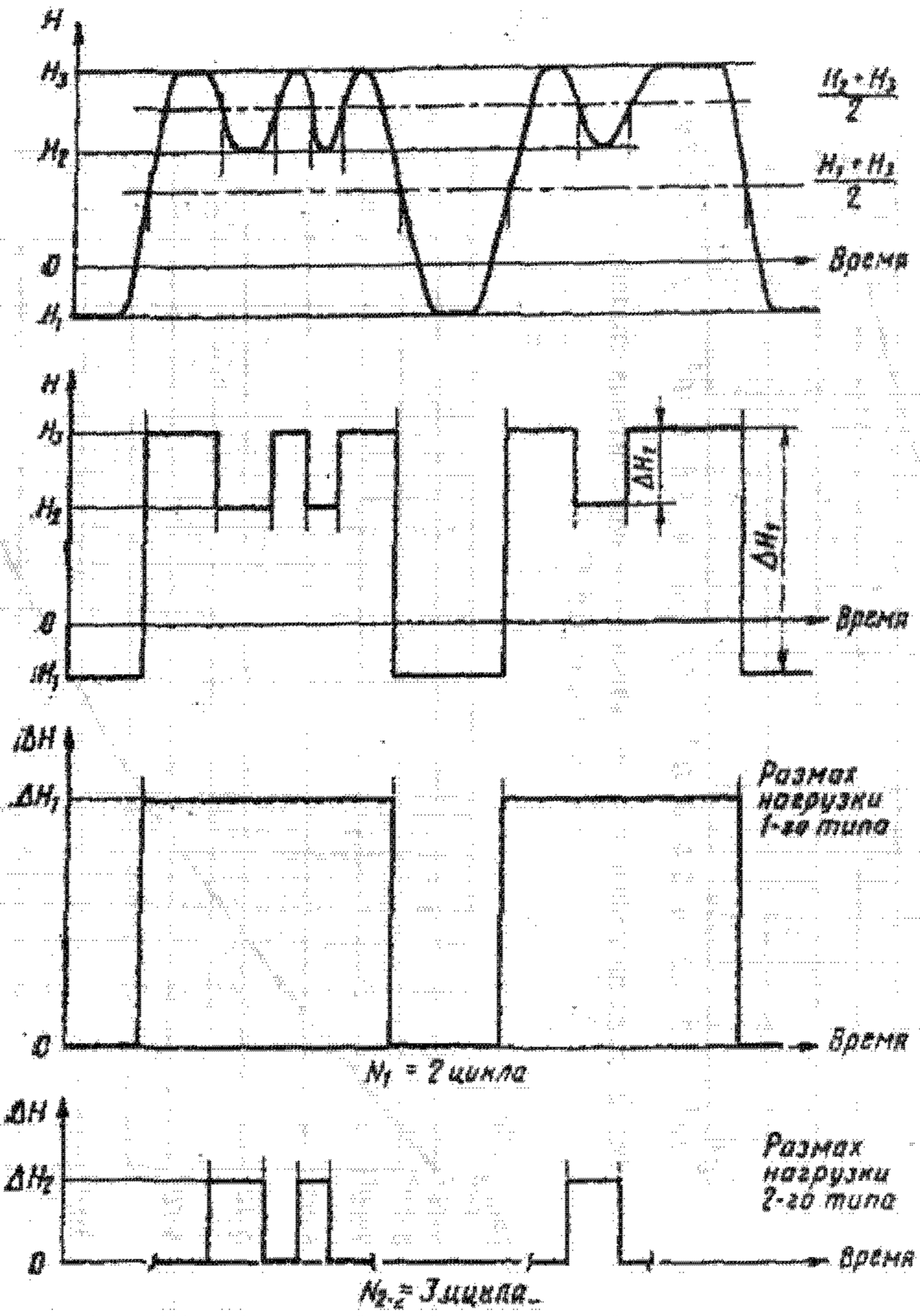


Рис. 27.8. Приведенные эпюры циклов нагружения

Значение эффективного коэффициента концентрации напряжения K_σ определяют по формуле:

$$K_\sigma = 1 + q \cdot (\alpha_\sigma - 1), \qquad (27.11)$$

где $0 \le q \le 1$ — коэффициент чувствительности материала к концентрации;

α_σ — теоретический коэффициент концентрации.

Значения q и α_σ определяют в зависимости от применяемых материалов и концентрации напряжений.

При отсутствии точных данных

$$K_\sigma = \xi, \qquad (27.12)$$

где ξ — определяют по табл. 27.1.

Для полученного значения σ_A по формуле (27.4) определяют $[N_j]$.

При известных значениях N_j и $[N_j]$ для отдельных типов циклов нагружения определяют коэффициент линейного суммирования повреждений U, который должен удовлетворять условию формулы (27.2).

Расчет на прочность при малоцикловых нагрузках сосудов и аппаратов из цветных металлов принципиально не отличается от расчета стальных аппаратов. Отличия касаются лишь величин допускаемых циклов нагружения для каждого конкретного материала, величины коэффициентов сварных швов и коэффициента запаса прочности по числу циклов, которые в 2 раза больше, чем у сталей.

Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках сосудов и аппаратов из цветных металлов регламентированы РД 26-01-162—87.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

НОРМАТИВНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ОБЕЧАЕК И ДНИЩ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПОРНЫХ НАГРУЗОК

1. Общие сведения

В местах установки опорных лап, седловых опор и опорных стоек в конструктивных элементах аппаратов (корпусах, днищах) возникают местные дополнительные усилия.

Для обечаек, нагруженных опорным узлом, определяют местные допускаемые усилия $[F_i]$. В основу расчета обечаек, нагруженных опорными лапами или седловыми опорами, положено предельное напряжение изгиба $[\sigma_i]$, определяемое из условия достижения предельного состояния балки прямоугольного сечения, вырезаемой из обечайки.

Для обечаек, установленных на опорных стойках, используют решение по определению предельной нагрузки F этого узла.

Нормы и методы расчета на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок регламентированы ГОСТ 26202—84 (СТ СЭВ 2574—80).

Предельное напряжение изгиба в месте крепления опор определяется в зависимости от местных мембранных напряжений и степени нагрузки общими мембранными напряжениями по следующей зависимости:

$$[\sigma_i] = K_1 [\sigma] \frac{n_T}{K_2}, \qquad (1)$$

где K_1 — коэффициент, определяемый в зависимости от коэффициента ϑ_1, представляющего отношение местных мембранных напряжений к местным напряжениям изгиба, и коэффициента ϑ_2, учитывающего степень нагрузки конструкции общими мембранными напряжениями; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение элемента аппарата, к которому крепится опора (МПа); n_T — коэффициент запаса прочности по пределу текучести;

$$K_2 = \begin{cases} 1{,}2 - \text{для рабочих условий;} \\ 1{,}0 - \text{для условий испытания и монтажа.} \end{cases}$$

Значение коэффициента K_1 определяется по зависимости:

$$K_1 = \begin{cases} \left(\dfrac{1 + 3\vartheta_1 \cdot \vartheta_2}{3\vartheta_1^2}\right)\left(\pm\sqrt{\dfrac{9\vartheta_1^2\left(1-\vartheta_2^2\right)}{\left(1+3\vartheta_1\cdot\vartheta_2\right)^2}+1}-1\right); \\ 1{,}5\left(1-\vartheta_2^2\right) - \text{при } \vartheta_1 \approx 0 \end{cases}$$

$$K_1 \geq 0 - \text{при } \vartheta_1 \neq 0. \qquad (2)$$

Величина ϑ_1 определяется в зависимости от вида опоры.

Коэффициент ϑ_2 определяется по формуле:

$$\vartheta_2 = \frac{K_2}{n_T} \cdot \frac{\bar{\sigma}_m}{[\sigma]\cdot\varphi}, \qquad (3)$$

где $\bar{\sigma}_m$ — общее мембранное напряжение в элементе аппарата, к которому крепится опора (МПа); φ — коэффициент прочности сварного шва.

Общее мембранное напряжение в сферической обечайке, сферическом сегменте торосферического днища и эллиптическом днище рассчитывается по формуле:

$$\bar{\sigma}_m = \frac{p_R D_R}{2(s-c)}. \qquad (4)$$

Общее окружное мембранное напряжение в цилиндрической и конической обечайках рассчитывается по формуле:

$$\bar{\sigma}_{my} = \frac{p_R D_R}{2(s-c)}. \qquad (5)$$

Общее меридиональное мембранное напряжение в цилиндрической обечайке следует определять по формуле:

$$\bar{\sigma}_{mx} = \frac{p_R D_R}{4(s-c)} + \frac{1}{\pi D_R (s-c)}\left(F \pm \frac{4M}{D_R}\right). \qquad (6)$$

Общее меридиональное мембранное напряжение в конической обечайке следует определять по формуле:

$$\bar{\sigma}_{mx} = \frac{p_R D_R}{4(s-c)} + \frac{1}{\pi D_K \cos\alpha (s-c)}\left(F \pm \frac{4M}{D_K}\right). \qquad (7)$$

Расчетные значения диаметра D_R в зависимости от конструкции элемента аппарата приведены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные значения диаметра D_R

Вид элемента аппарата	Расчетная зависимость для D_R
1. Цилиндрическая обечайка	$D_R = D$
2. Коническая обечайка	$D_R = \dfrac{D_K}{\cos\alpha}$
3. Сферическая обечайка и сферический сегмент торосферического днища	$D_R = R$
4. Эллиптическое днище	$D_R = \dfrac{D^2}{4H}\sqrt{1-4x^2\dfrac{D^2-4H^2}{D^4}}$
5. Эллиптическое днище $C\dfrac{H}{D} = 0{,}25$	$D_R = D\sqrt{1-3\left(\dfrac{x}{D}\right)^2}$

Примечание: H – высота выпуклой части днища по внутренней поверхности без учета цилиндрической обечайки, мм; x – расстояние между осью эллиптического днища и серединой опорного узла, мм; D, D_K – соответственно внутренний диаметр цилиндрической обечайки (выпуклого днища) или конической обечайки, мм.

2. Расчет вертикальных аппаратов в месте крепления опорных лап

Для проверки прочности места крепления опорных лап к цилиндрическим или коническим обечайкам принимают, что направление действия усилия от опоры параллельно оси обечайки. Расчетные формулы справедливы, когда

$$\frac{s-c}{D_R} \le 0{,}05,$$

при наличии подкладного листа

$$g \ge 0{,}2h_1;\ b_2 \ge 0{,}6b_3;\ b_3 \le 1{,}5h_1;\ s_2 \ge s,$$

где s_2 — толщина подкладного листа, мм.

Геометрические характеристики опорных лап, необходимые для расчетов, приведены на рис. 1.

Усилие, действующее на опорную лапу, определяется по формуле:

$$F_1 = \begin{cases} \dfrac{G}{2} + \dfrac{M}{D_R + 2(e_1 + s + s_2)}, & \text{при } n = 2;\ n = 4 \\ \dfrac{G}{3} + \dfrac{M}{0{,}866\left[D_R + 2(e_1 + s + s_2)\right]}, & \text{при } n = 3 \\ \dfrac{G}{4} + \dfrac{M}{D_R + 2(e_1 + s + s_2)}, & \text{при } n = 4 \text{ и равномерной нагрузке на каждую опору} \end{cases} \quad (8)$$

Если неизвестна величина e_1, то ее принимают

$$e_1 = \frac{5}{6} l_1.$$

При наличии момента M допускается устанавливать аппарат на две опорные лапы при условии, что момент будет действовать в плоскости опор. При наличии четырех опорных лап равномерность распределения нагрузки между опорами должна достигаться точностью монтажа.

Проверку несущей способности обечайки в месте приварки опорной лапы осуществляют по формуле:

$$F_1 \le [F_1] = \frac{[\sigma_i] h_1 (s-c)^2}{K_7 e_1}. \quad (9)$$

При $\frac{g}{h_1} < 0{,}5$ значение $[F_1]$, полученное по формуле (9), необходимо умножить на величину $\left(0{,}5 + \frac{g}{h_1}\right)$.

Коэффициент K_7 определяют:
в соответствии с рис. 2 — для конструкций A и C;
в соответствии с рис. 3 — для конструкций B;
в соответствии с рис. 4 — для конструкций D.

Величину $[\sigma_i]$ рассчитывают по формуле (1), в которой коэффициент K_1 вычисляют при $\vartheta_1 = 0{,}3$ и ϑ_2, найденном по формуле (3). В формуле (3) величину $\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{my}$ рассчитывают по уравнению (5) для конструкций A, B и C, а для конструкций D при $\bar{\sigma}_m = \bar{\sigma}_{mx}$ — по формулам (6) и (7) соответственно для цилиндрической и конической обечаек.

Несущую способность обечайки в месте приварки опорной лапы с подкладным листом следует проверять по формуле:

$$F_1 \le [F]_1 = \frac{[\sigma_i] b_2 (s-c)^2}{K_8 (e_1 + s_2)}. \quad (10)$$

При $\frac{b_2}{b_3} < 0{,}6$ значение $[F]_1$, полученное по формуле (10), необходимо умножить на $\left(0{,}4 + \frac{b_2}{b_3}\right)$.

Коэффициент K_8 определяют в соответствии с рис. 5.

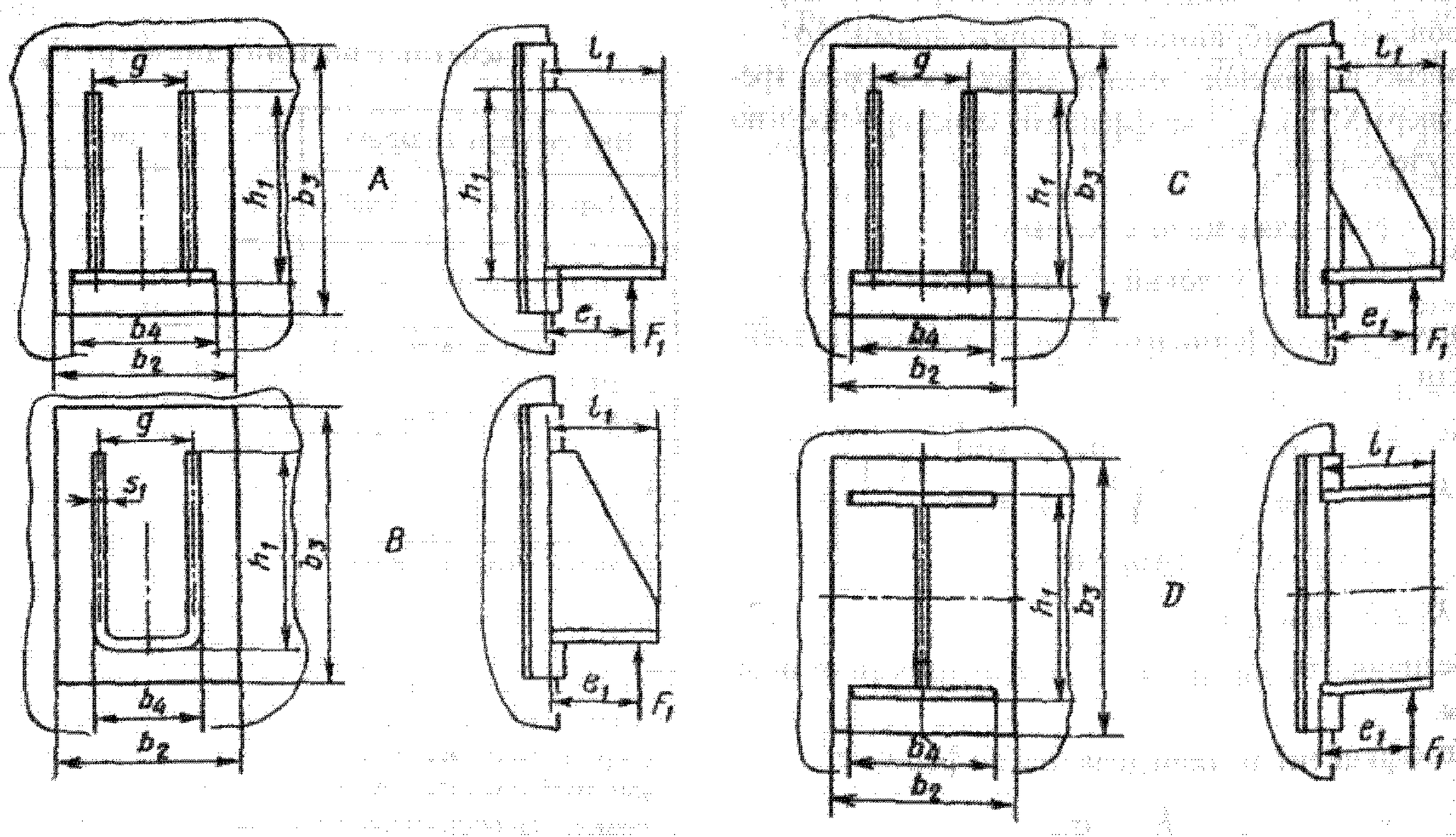
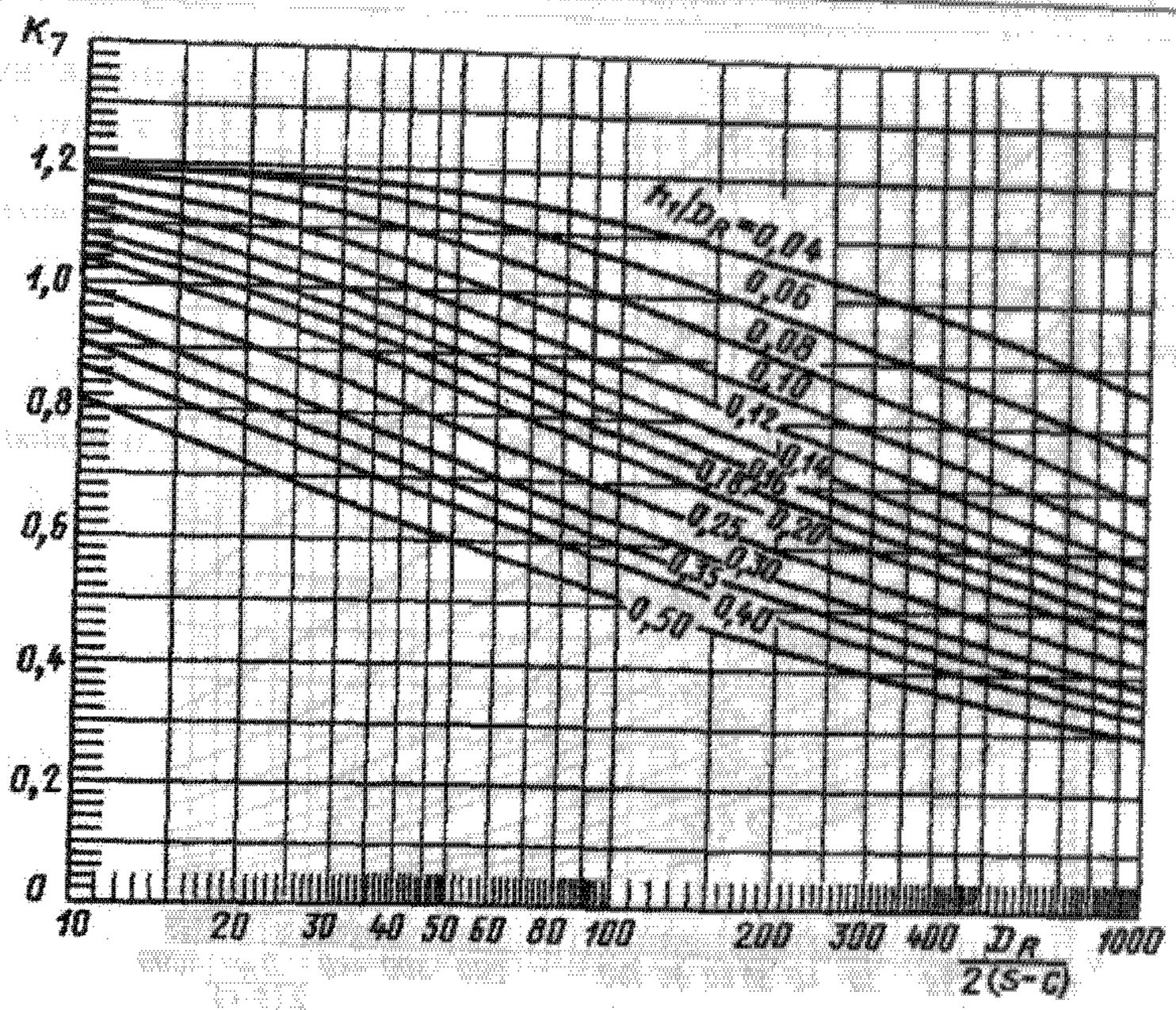


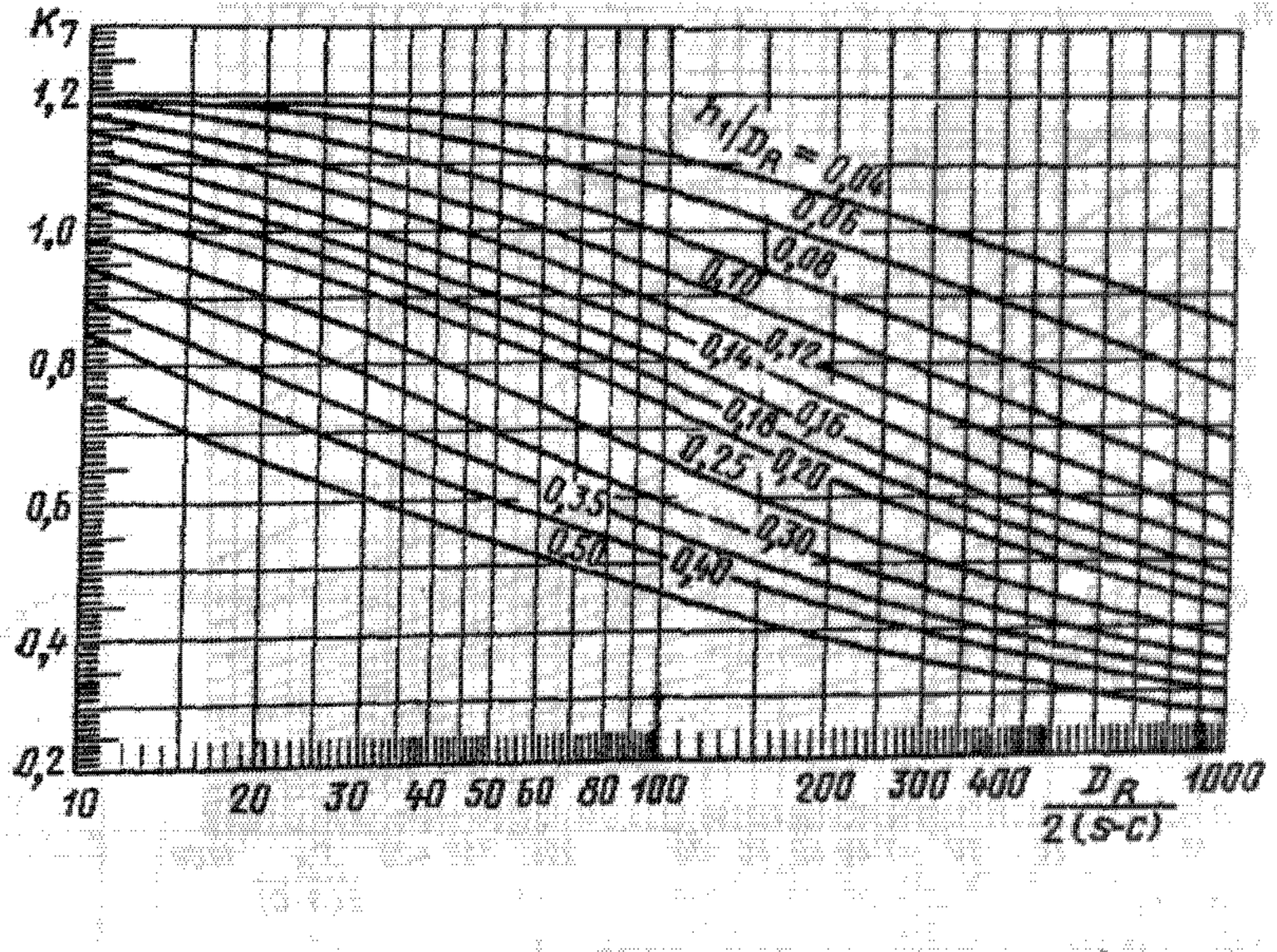
Рис. 1. Геометрические характеристики опорных лап



$$\ln z = \left(-5{,}964 - 11{,}395x - 18{,}984y - 2{,}413x^2 - 7{,}286xy - 2{,}042y^2 + 0{,}1322x^3 + 0{,}4833x^2 y + 0{,}8469xy^2 + 1{,}428y^3\right) \cdot 10^{-2},$$

$$\text{где } x = \ln\left(\frac{D_R}{2(s-c)}\right);\ y = \ln\frac{h_1}{D_R};\ K_7 = z\ .$$

Рис. 2. Номограмма определения коэффициента K_7 для конструкций А и С



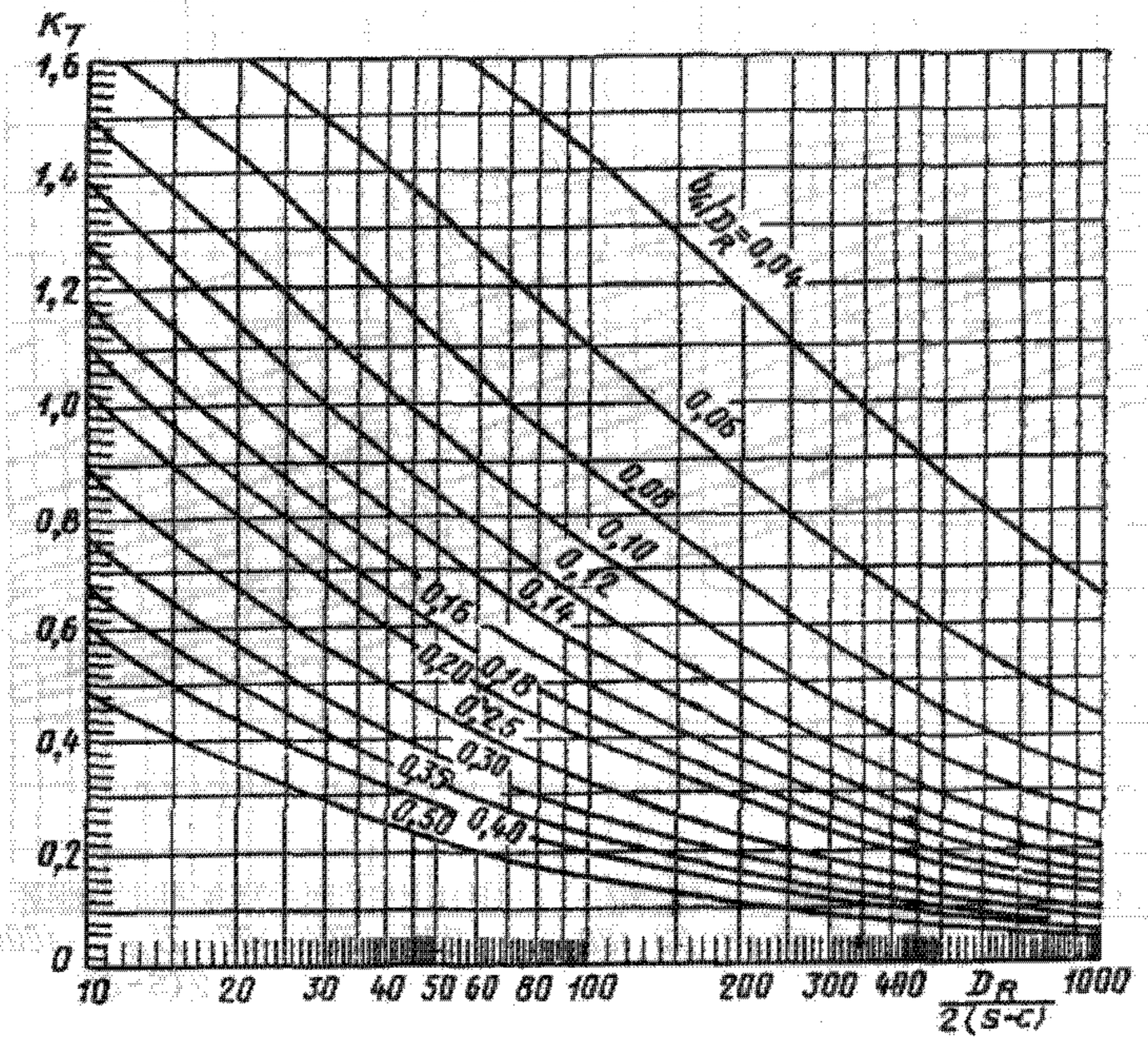
$$\ln u = \left(-26{,}791 - 6{,}936x - 36{,}380y - 3{,}503x^2 - 3{,}357xy + 2{,}786y^2 + 0{,}2267x^3 + 0{,}2831x^2 y + 0{,}3851xy^2 + 1{,}370y^3\right) \cdot 10^{-2},$$

$$\text{где } x = \ln\left(\frac{D_R}{2(s-c)}\right);\ y = \ln\frac{h_1}{D_R};$$

$$\ln z = \left(-5{,}964 - 11{,}395x - 18{,}984y - 2{,}413x^2 - 7{,}286xy - 2{,}042y^2 + 0{,}1322x^3 + 0{,}4833x^2 y + 0{,}8469xy^2 + 1{,}428y^3\right) \cdot 10^{-2},$$

$$K_7 = \min(u; z).$$

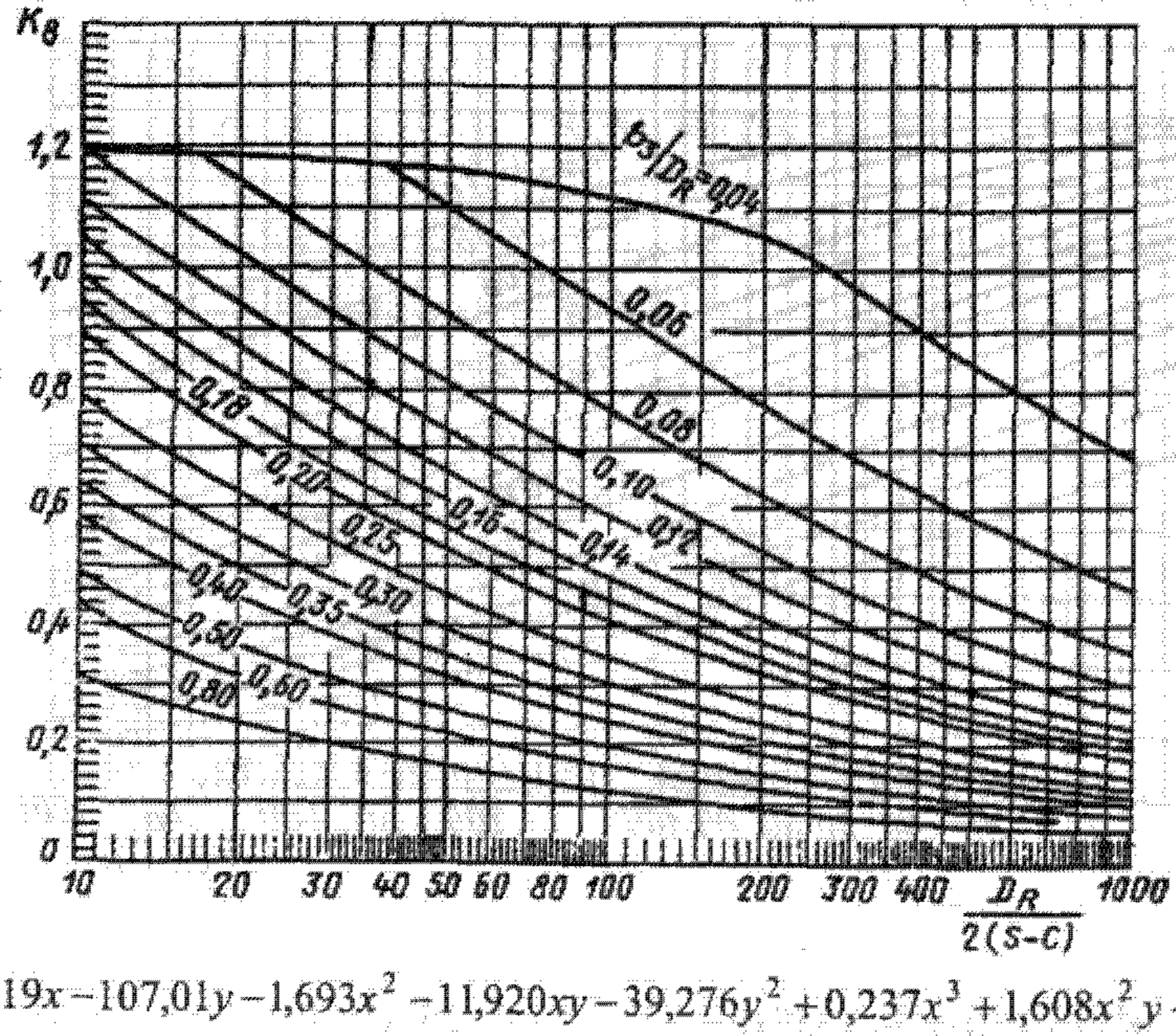
Рис. 3. Номограмма определения коэффициента K_7 для конструкции В



$$\ln K_7 = \left(-29{,}532 - 45{,}958x - 91{,}759y - 1{,}801x^2 - 12{,}062xy - 18{,}872y^2 + 0{,}1551x^3 + 1{,}617x^2y + 3{,}736xy^2 + 1{,}425y^3\right)\cdot 10^{-2},$$

$$\text{где } x = \ln\left(\frac{D_R}{2(s-c)}\right);\ y = \ln\frac{b_4}{D_R}.$$

Рис. 4. Номограмма определения коэффициента K_7 для конструкции D



$$\ln \upsilon = \left(-49{,}919 - 39{,}119x - 107{,}01y - 1{,}693x^2 - 11{,}920xy - 39{,}276y^2 + 0{,}237x^3 + 1{,}608x^2y + 2{,}761xy^2 - 3{,}854y^3\right)\cdot 10^{-2},$$

$$\text{где } x = \ln\left(\frac{D_R}{2(s-c)}\right);\ y = \ln\frac{b_3}{D_R};$$

$$\ln z = \left(-5{,}964 - 11{,}395x - 18{,}984y_1 - 2{,}413x^2 - 7{,}286xy_1 - 2{,}042y_1^2 + 0{,}1322x^3 + 0{,}4833x^2y_1 + 0{,}8469xy_1^2 + 1{,}428y_1^3\right)\cdot 10^{-2};$$

$$y_1 = \ln\frac{h_1}{D_R};\ K_8 = \min(\upsilon, z).$$

Рис. 5. Номограмма определения коэффициента K_8

3. Расчет горизонтальных аппаратов в месте установки седловых опор

Расчетные формулы применимы, когда

$$60° \le \delta_1 \le 180°;$$

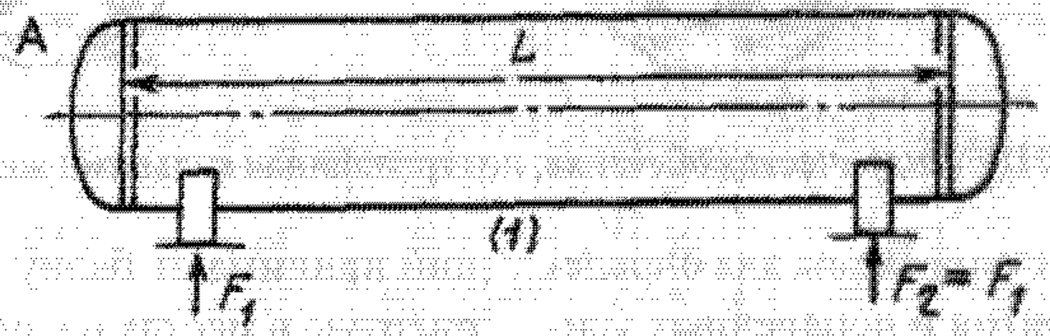
$$\frac{s-c}{D} \le 0{,}05.$$

При наличии подкладных листов

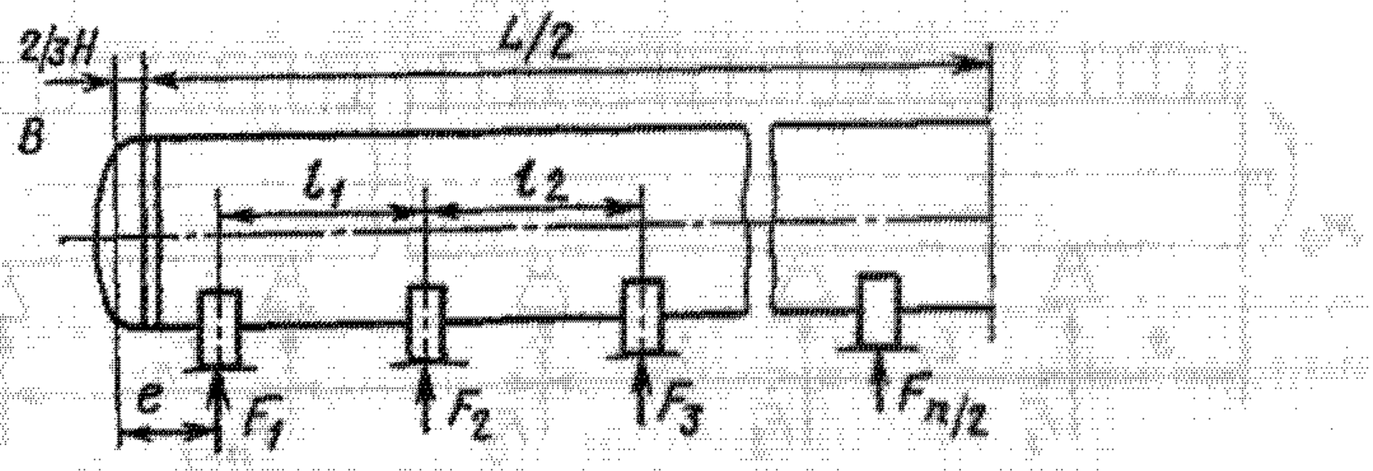
$$s_2 \ge s, \quad f \ge 0{,}1D.$$

На рис. 6 приведены различные схемы расположения седловых опор, для которых справедлива данная методика расчета. На рис. 7 приведена цилиндрическая обечайка, не подкрепленная элементами жесткости, а на рис. 8 — подкрепленная кольцами жесткости с характерными геометрическими размерами.

Аппарат, опирающийся симметрично на две седловые опоры



Аппарат, опирающийся симметрично на три или более опоры



Аппарат, опирающийся несимметрично

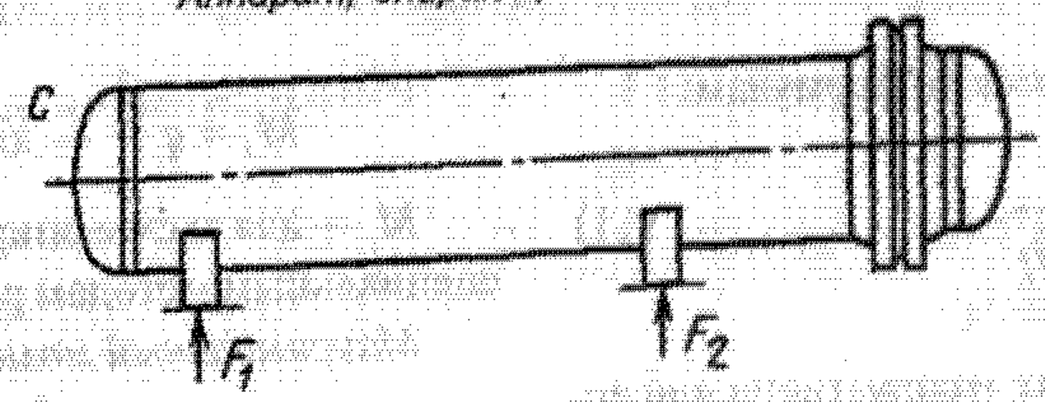


Рис. 6. Схемы расположения седловых опор под аппаратами

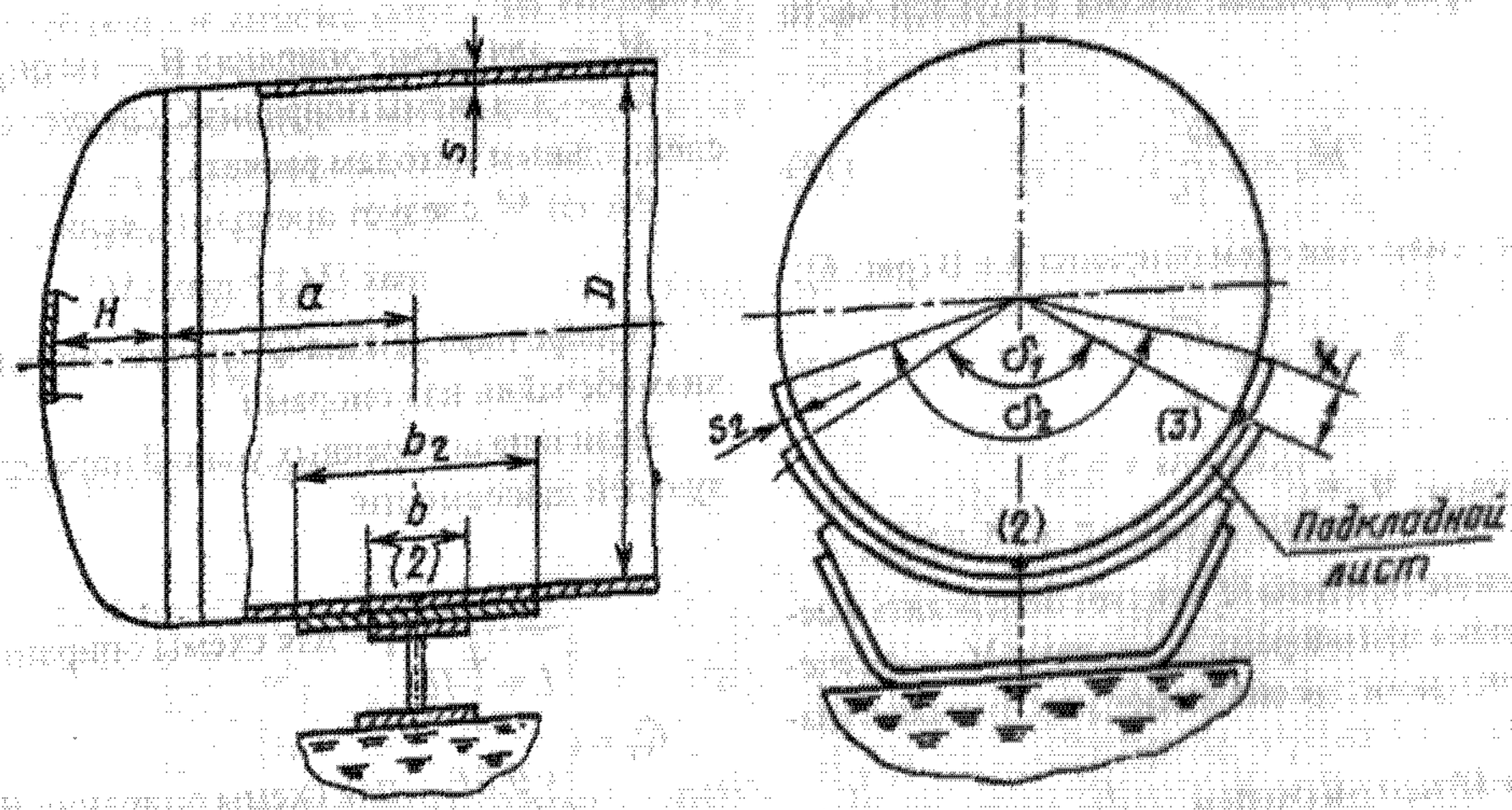


Рис. 7. Цилиндрическая обечайка, не подкрепленная элементами жесткости

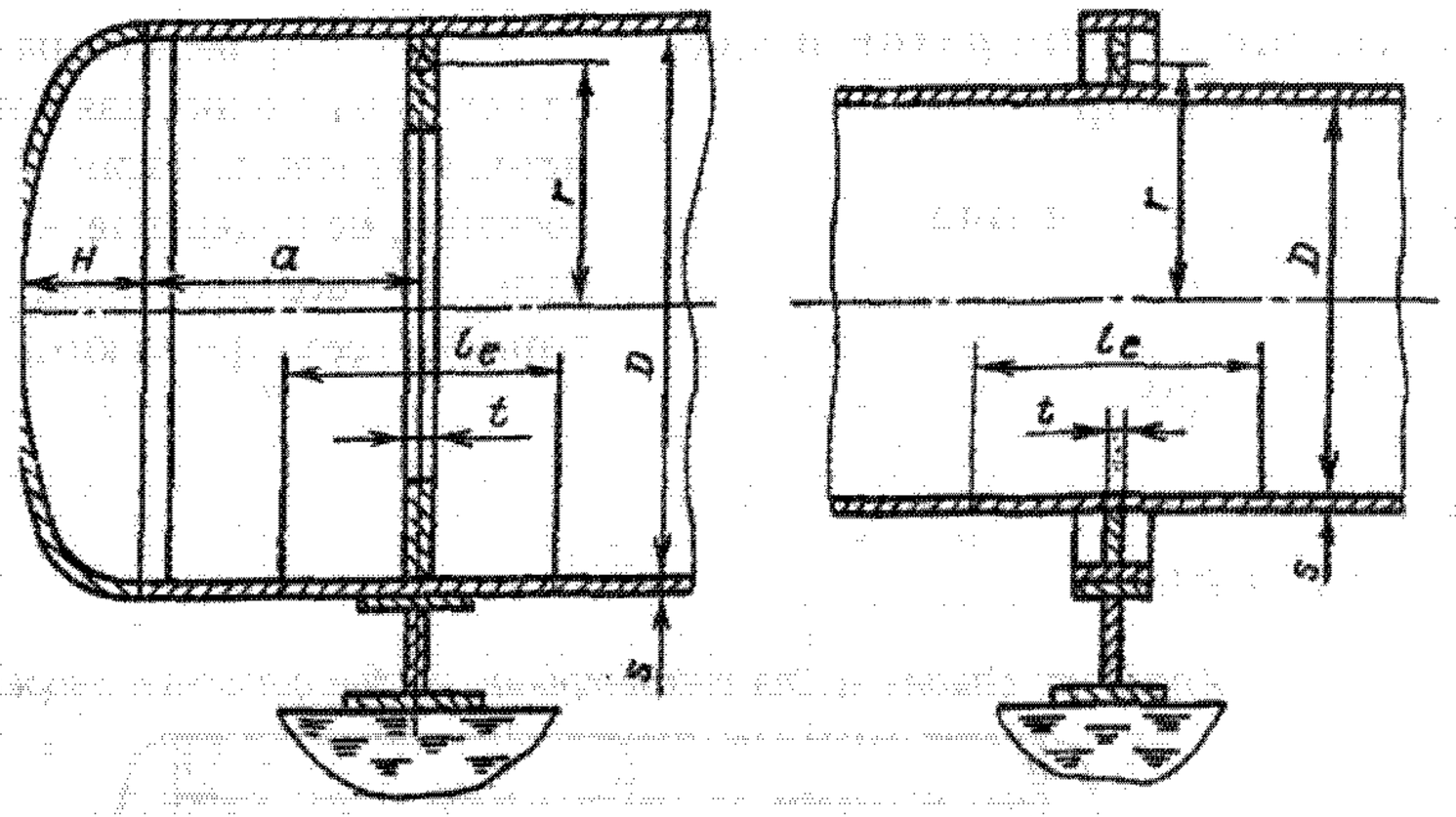


Рис. 8. Цилиндрическая обечайка, подкрепленная кольцами жесткости

В качестве основной расчетной схемы для определения опорных усилий, моментов и поперечных усилий принимают балку кольцевого сечения, шарнирно опертую в местах расположения опор (рис. 9).

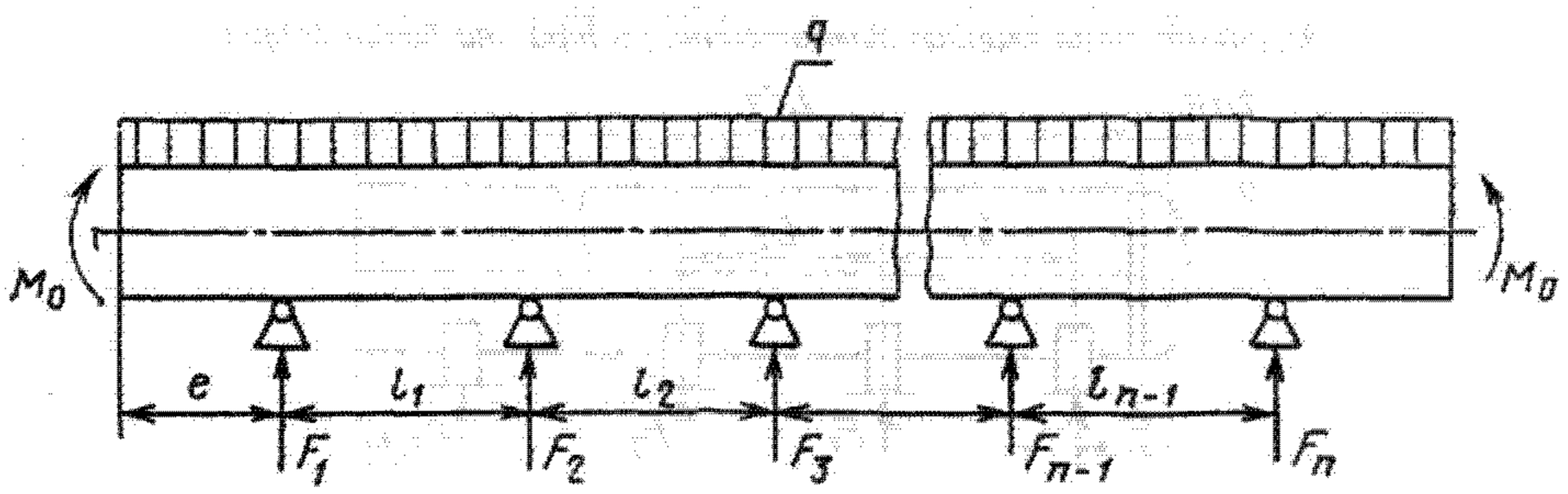


Рис. 9. Основная расчетная схема

Нагрузки балки определяются по формулам:

$$q = \frac{G}{L + \frac{4}{3}H}, \qquad (11)$$

где G — вес аппарата в условиях эксплуатации или испытания (монтажа), H; L, H — соответственно длина цилиндрической части аппарата, включая длину цилиндрической отбортовки днища, высота выпуклой части днища, мм.

$$M_0 = q\frac{D^2}{16}. \qquad (12)$$

Опорное усилие для схем опирания А и В (рис. 6):

$$F_i = \psi_i \frac{G}{n}. \qquad (13)$$

Коэффициент $\psi_i = \begin{cases} 1{,}0 - \text{для } n = 2; \\ \text{по рис.10} - \text{для } 3 \le n \le 8. \end{cases}$

Изгибающие моменты M_i следует определять в сечениях обечайки над опорами, а моменты M_{ij} — в сечениях между опорами, где они имеют максимальное значение.

Момент M_i над i-й опорой

$$M_1 = M_2 = \frac{qe^2}{2} - M_0 \text{ — для схемы опирания А;} \qquad (14)$$

$$M_i = q\frac{l_i^2}{8} \text{ — для схемы опирания В.} \qquad (15)$$

M_i — для схемы опирания С следует определять по специальным методам расчета.

Максимальный момент M_{ij} между опорами i и j

$$M_{12} = M_0 + F_1\left(\frac{L}{2} - a\right) - \frac{q}{2}\left(\frac{L}{2} + \frac{4}{3}H\right)^2 \text{ — для схемы опирания А;} \qquad (16)$$

M_{ij} — для схемы опирания В — не определяется;

M_{ij} — для схемы опирания С следует определять по специальным методам расчета.

Расчет M_{ij} следует проводить, если

$$\max\{M_{ij}\} > \max\{M_i\}. \qquad (17)$$

Поперечные усилия Q_i следует определять в сечениях обечайки над опорами.

Величина поперечных усилий определяется по следующей зависимости:

$$Q_1 = \begin{cases} \dfrac{L - 2a}{L + \frac{4}{3}H} F_i - \text{для схемы опирания А,} \\ \approx 0{,}5F_i - \text{для схемы опирания В,} \\ \max\{Q_{i+};\ Q_{i-}\} - \text{для схемы опирания С.} \end{cases} \qquad (18)$$

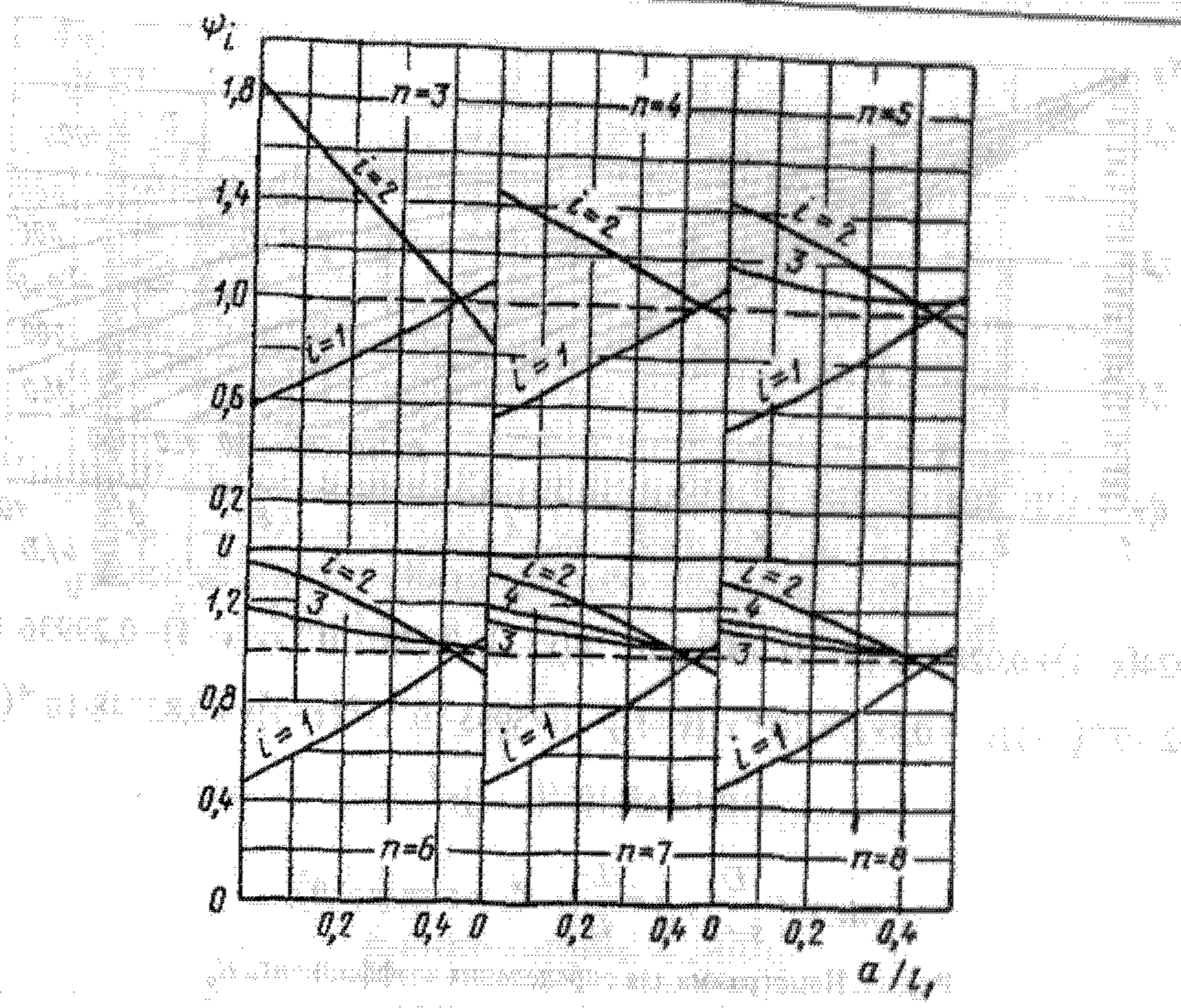


Рис. 10. Номограмма для определения коэффициента ψ_i

3.1. Проверка несущей способности обечайки в сечении между опорами

Несущую способность обечайки в сечении между опорами следует проверять для схемы опирания А, а для схемы опирания С — при выполнении условия (17).

3.1.1. Сосуды, работающие под внутренним избыточным давлением

Условие прочности

$$\frac{pD}{4(s-c)}+\frac{4M_{ij}K_9}{\pi D^2(s-c)}\le[\sigma]\varphi, \qquad (19)$$

где M_{ij} — изгибающий момент, определяется по (16), Н· мм; $M_{ij}=M_{12}$ — для схемы опирания А; K_9 — коэффициент, учитывающий частичное заполнение жидкостью, определяется по рис. 11.

Условие устойчивости

$$\frac{[M_{ij}]}{[M]}\le 1{,}0. \qquad (20)$$

3.1.2. Сосуды, работающие под наружным давлением

Условие устойчивости

$$\frac{[p]}{[p]}+\frac{M_{ij}}{[M]}\le 1{,}0, \qquad (21)$$

где $[p]$ — определяют в области между двумя соседними кольцами жесткости.

Значения допускаемых величин $[p]$ и $[M]$ следует рассчитывать по соответствующим формулам главы 13.

3.2. Проверка несущей способности оболочки, не укрепленной кольцами жесткости, в области опорного узла

Несущая способность должна быть проверена в нижних точках (2) и (3); рис. 7).

3.2.1. Цилиндрическая обечайка без подкладных листов

Условие прочности

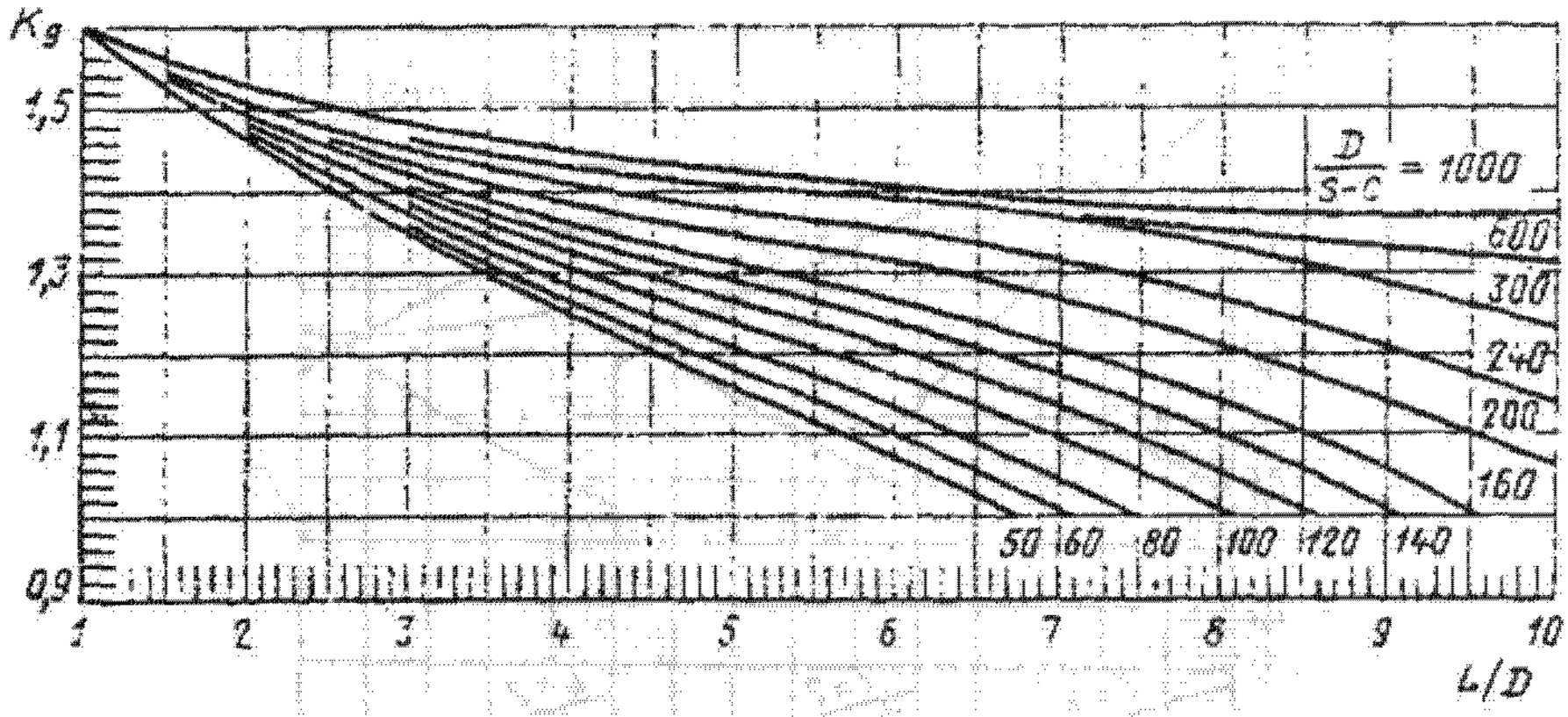
$$F_i\le\min\{[F]_2,[F]_3\}, \qquad (22)$$

где $[F]_2$ — допускаемое опорное усилие от нагружения в осевом направлении следует определять по формуле (23), Н; $[F]_3$ — допускаемое опорное усилие от нагружения в окружном направлении следует определять по формуле (24), Н.

$$[F]_2=\frac{0{,}7[\sigma_t]_2\sqrt{D(s-c)}(s-c)}{K_{10}\cdot K_{12}}, \qquad (23)$$

$$[F]_3=\frac{0{,}9[\sigma_t]_3\sqrt{D(s-c)}(s-c)}{K_{14}\cdot K_{16}\cdot K_{17}}, \qquad (24)$$

где $[\sigma_t]_2$, $[\sigma_t]_3$ — предельные напряжения изгиба, определяемые по формуле (1), МПа; ϑ_1 и ϑ_2 для определения коэффициента K_1 приведены в табл. 2. Для ϑ_2 принимают соответственно $\vartheta_{2,1}$ или $\vartheta_{2,2}$, дающую наименьшее предельное напряжение изгиба; K_{10}, K_{11} — коэффициенты, учитывающие влияние ширины пояса опоры, по рис. 12; K_{12}, K_{14} — коэффициенты, учитывающие влияние угла охвата, по рис. 13; K_{16} — коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища, по рис. 14; K_{17} — коэффициент, учитывающий влияние ширины пояса опоры, по рис. 15.



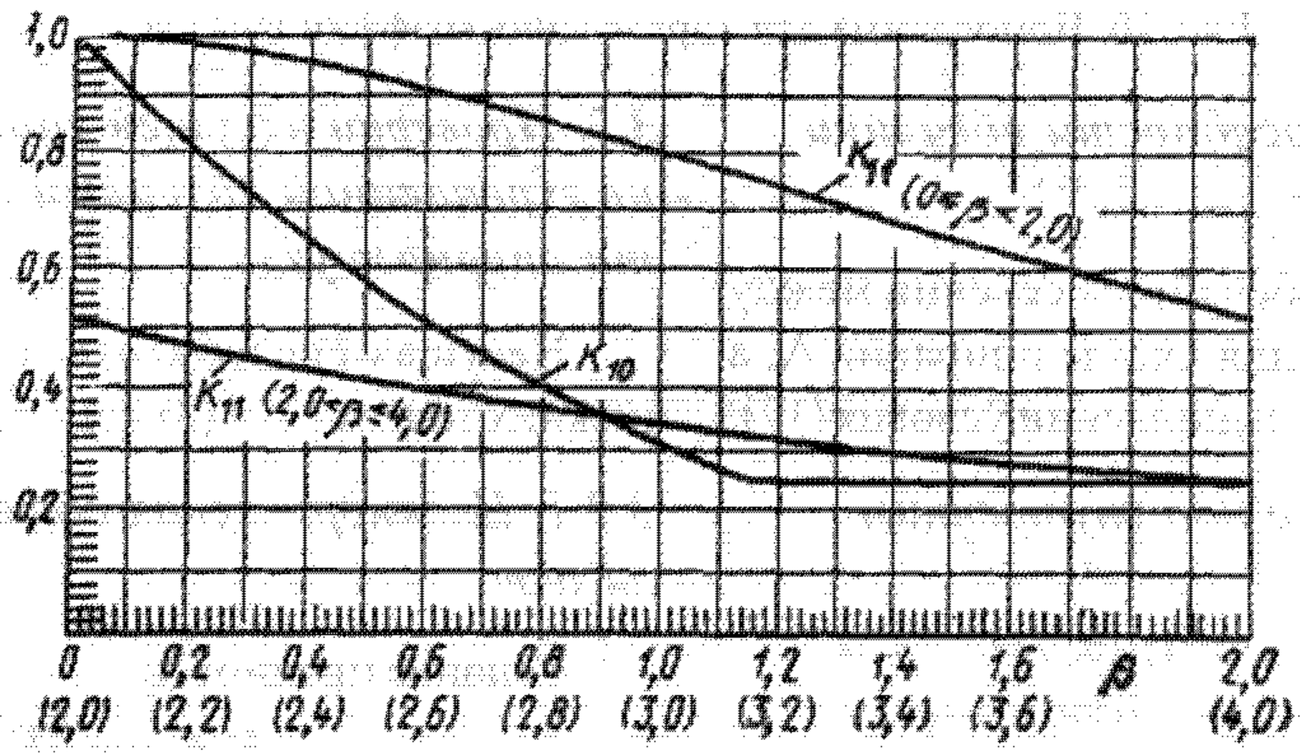
$$z = 1{,}6 - 0{,}20924(x-1) + 0{,}028702x(x-1) + 0{,}4795\cdot10^{-3}y(x-1) - 0{,}2391\cdot10^{-6}xy(x-1) - 0{,}29936\cdot10^{-2}(x-1)x^2 -$$

$$-0{,}85692\cdot10^{-6}(x-1)y^2 + 0{,}88174\cdot10^{-6}x^2(x-1)y - 0{,}75955\cdot10^{-8}y^2(x-1)x + 0{,}82748\cdot10^{-4}(x-1)x^3 +$$

$$+0{,}48168\cdot10^{-9}(x-1)y^3,$$

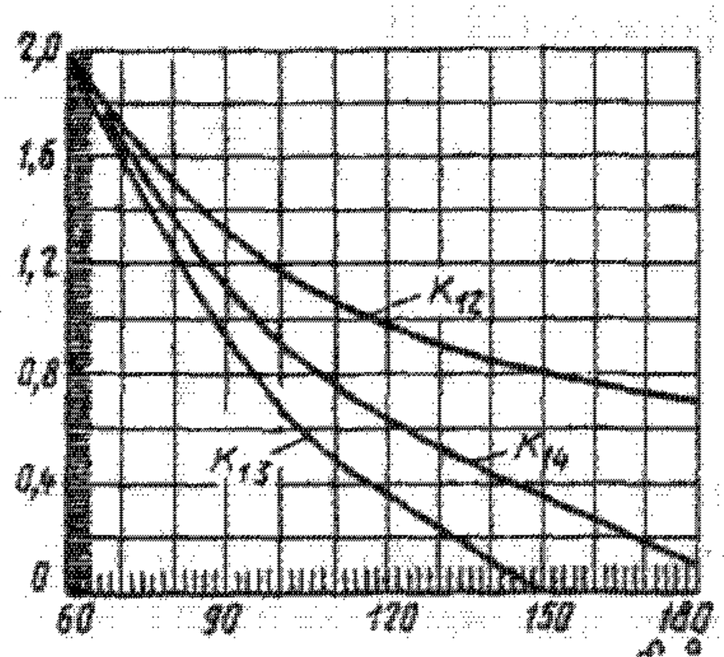
где $y = \dfrac{D}{s-c}$, $x = \dfrac{L}{D}$, $K_9 = \max\{z; 1{,}0\}$.

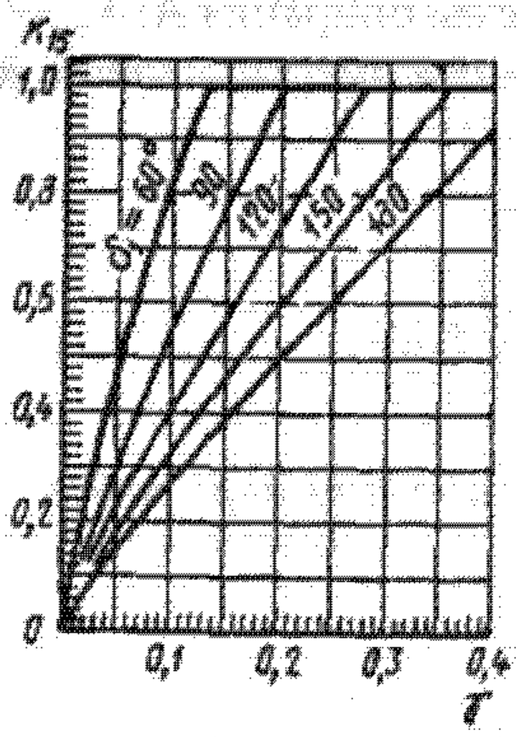
Рис. 11. Номограмма для определения коэффициента K_9



$$K_{10} = \max\left\{\frac{e^{-\beta}\sin\beta}{\beta} - 0{,}25\right\},\quad K_{11} = \frac{1 - e^{-\beta}\sin\beta}{\beta}.$$

Рис. 12. Номограмма для определения коэффициентов K_{10} и K_{11}

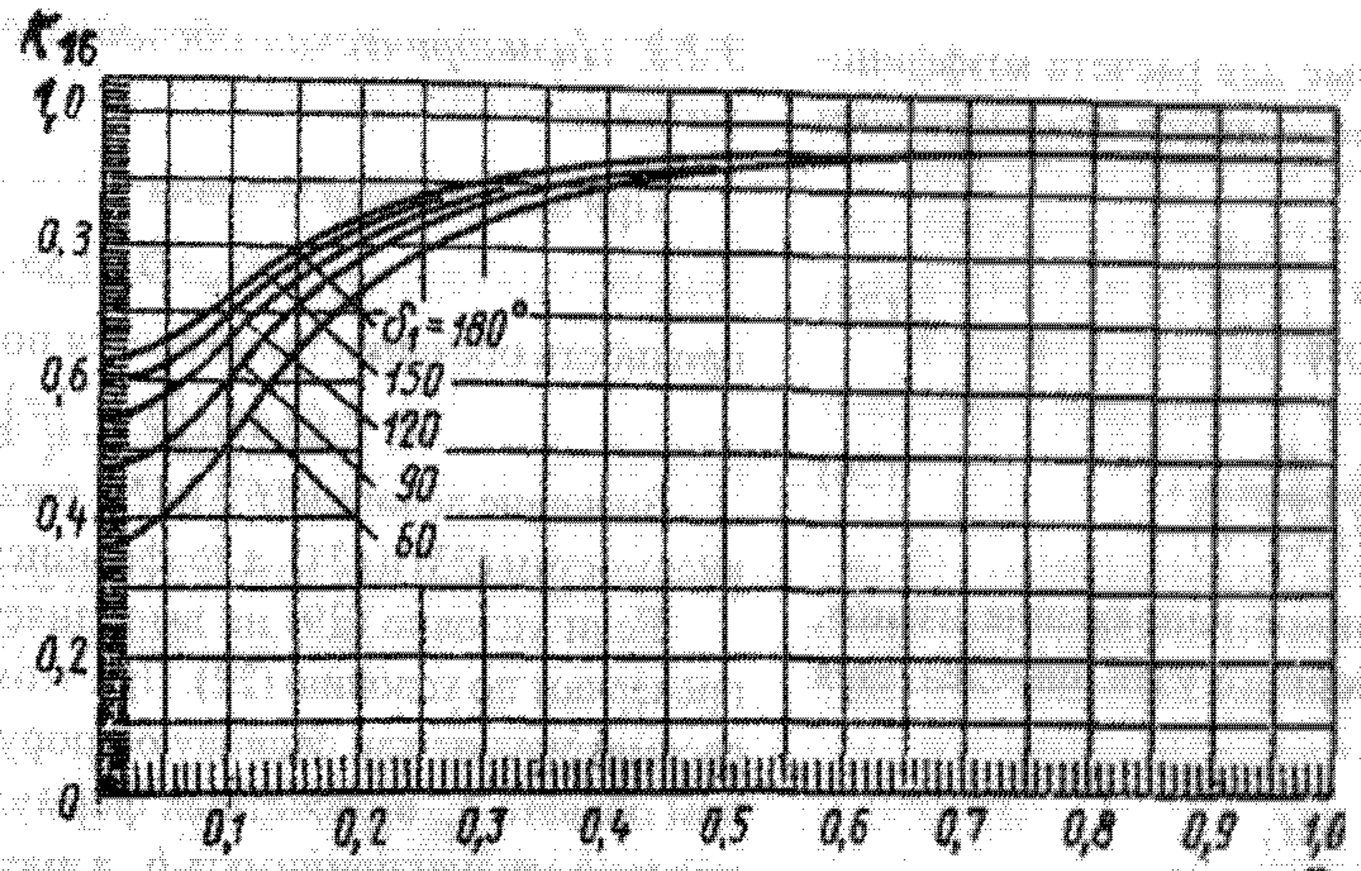




$$K_{12} = \frac{1{,}15 - 0{,}1432\delta_1}{\sin(0{,}5\delta_1)},\quad K_{13} = \frac{\max\left\{1{,}7 - \dfrac{2{,}1\delta_1}{\pi}; 0\right\}}{\sin(0{,}5\delta_1)},\quad K_{14} = \frac{1{,}45 - 0{,}43\delta_1}{\sin(0{,}5\delta_1)},\quad K_{15} = \min\left\{1{,}0; \frac{0{,}8\sqrt{\gamma} + 6\gamma}{\delta_1}\right\},$$

δ_1 подставляют в радианах.

Рис. 13. Номограммы для определения коэффициентов K_{12}, K_{13}, K_{14} и K_{15}



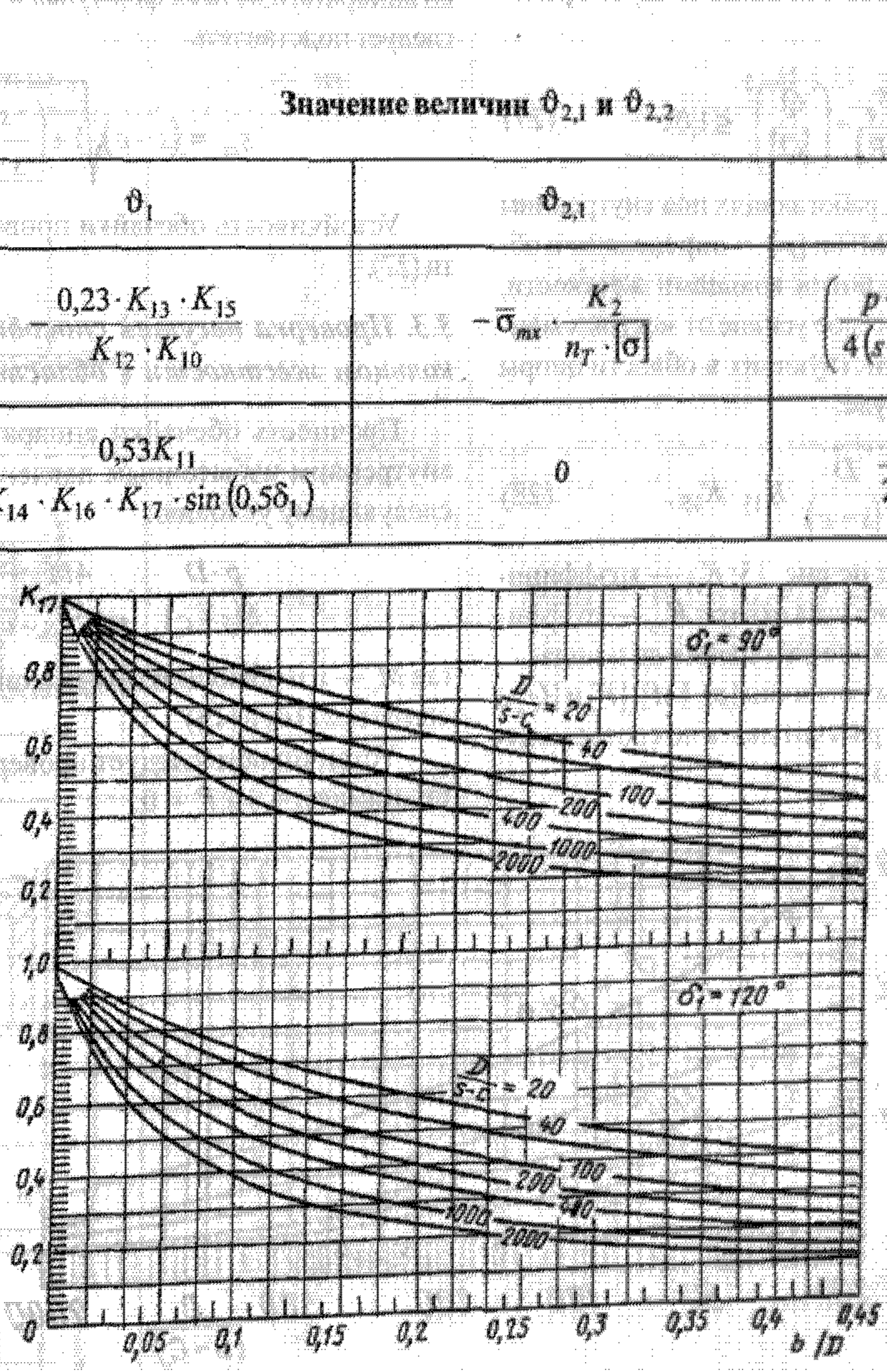
$$K_{16} = 1 - \frac{0{,}65}{1+(6\gamma)^2}\sqrt{\frac{\pi}{3\delta_1}},$$ δ_1 подставляют в радианах

Рис. 14. Номограмма для определения коэффициента K_{16}

Таблица 2

Значение величин $\vartheta_{2,1}$ и $\vartheta_{2,2}$

$[\sigma_i]_{2,3}$	ϑ_1	$\vartheta_{2,1}$	$\vartheta_{2,2}$
$[\sigma_i]_2$	$-\dfrac{0{,}23 \cdot K_{13} \cdot K_{15}}{K_{12} \cdot K_{10}}$	$-\overline{\sigma}_{mx} \cdot \dfrac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]}$	$\left(\dfrac{p \cdot D}{4(s-c)} - \overline{\sigma}_{mx}\right) \dfrac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]}$
$[\sigma_i]_3$	$-\dfrac{0{,}53K_{11}}{K_{14} \cdot K_{16} \cdot K_{17} \cdot \sin(0{,}5\delta_1)}$	0	$\dfrac{p \cdot D}{2(s-c)} \cdot \dfrac{K_2}{n_T \cdot [\sigma]}$



$$K_{17} = \frac{1}{1+0{,}6\sqrt[3]{\dfrac{D}{s-c}} \cdot \dfrac{b}{D} \cdot \delta_1},$$ δ_1 подставляют в радианах

Рис. 15. Номограмма для определения коэффициента K_{17}

Параметры, необходимые для расчета коэффициентов K_{10}, K_{11}, K_{15} и K_{16} определяются по следующим зависимостям:

$$\gamma = 2{,}83\frac{a}{D}\sqrt{\frac{s-c}{D}}\ ; \qquad (25)$$

$$\beta = 0{,}91\frac{b}{\sqrt{D(s-c)}}\ . \qquad (26)$$

Общее осевое мембранное напряжение изгиба, действующее в области опорного узла, определяется по формуле:

$$\sigma_{max} = \frac{4M_i}{\pi D^2(s-c)},$$

где M_i — изгибающий момент, определяемый по зависимостям (14) и (15), Н·мм.

Проверку устойчивости обечайки следует проводить по формуле:

$$\frac{|p|}{[p]} + \frac{M_1}{[M]} + \frac{F_e}{[F]} + \left(\frac{Q}{[Q]}\right)^2 \le 1{,}0, \qquad (27)$$

где $p = 0$ — для аппаратов, работающих под внутренним избыточным давлением, МПа; $[p]$ — определяют в области между двумя соседними кольцами жесткости, МПа; F_e —эффективное осевое усилие от местных мембранных напряжений, действующих в области опоры (Н), определяют по формуле:

$$F_e = F_i \cdot \frac{\pi}{4}\sqrt{\frac{D}{(s-c)}} \cdot K_{13} \cdot K_{15}\ , \qquad (28)$$

где K_{13}, K_{15} — определяют по рис. 13; K_{13} — коэффициент, учитывающий влияние угла охвата; K_{15} — коэффициент, учитывающий влияние расстояния до днища.

Значения допускаемых величин $[p]$, $[M]$, $[F]$ и $[Q]$ в зависимости (27) следует рассчитывать по соответствующим формулам главы 13.

3.2.2. Цилиндрическая обечайка с подкладными листами

При выполнении условия

$$b_2 \ge K_{19} \cdot D + 1{,}5b \qquad (29)$$

прочность обечайки проверяется по формуле:

$$F_i \le 1{,}5\min\{[F]_2, [F]_3\}. \qquad (30)$$

Значение величин $[F]_2$ и $[F]_3$ рассчитывается по зависимостям (23) и (24), а коэффициент K_{19} по рис. 16.

Если условие (29) не выполняется, то прочность проверяют по условию (22). При этом подкладной лист рассматривают как седловую опору шириной b_2 с углом обхвата δ_2, в расчетных формулах и на графиках вместо b следует принимать b_2, а вместо δ_1 следует принимать δ_2, при этом толщину подкладного листа не учитывают.

Подкладной лист рассматривают как усиление стенки аппарата, а во всех формулах и на графиках вместо s следует подставлять

$$s_{ef} = (s-c)\sqrt{1+\left(\frac{s_2}{s-c}\right)^2}\ .$$

Устойчивость обечайки проверяют по зависимости (27).

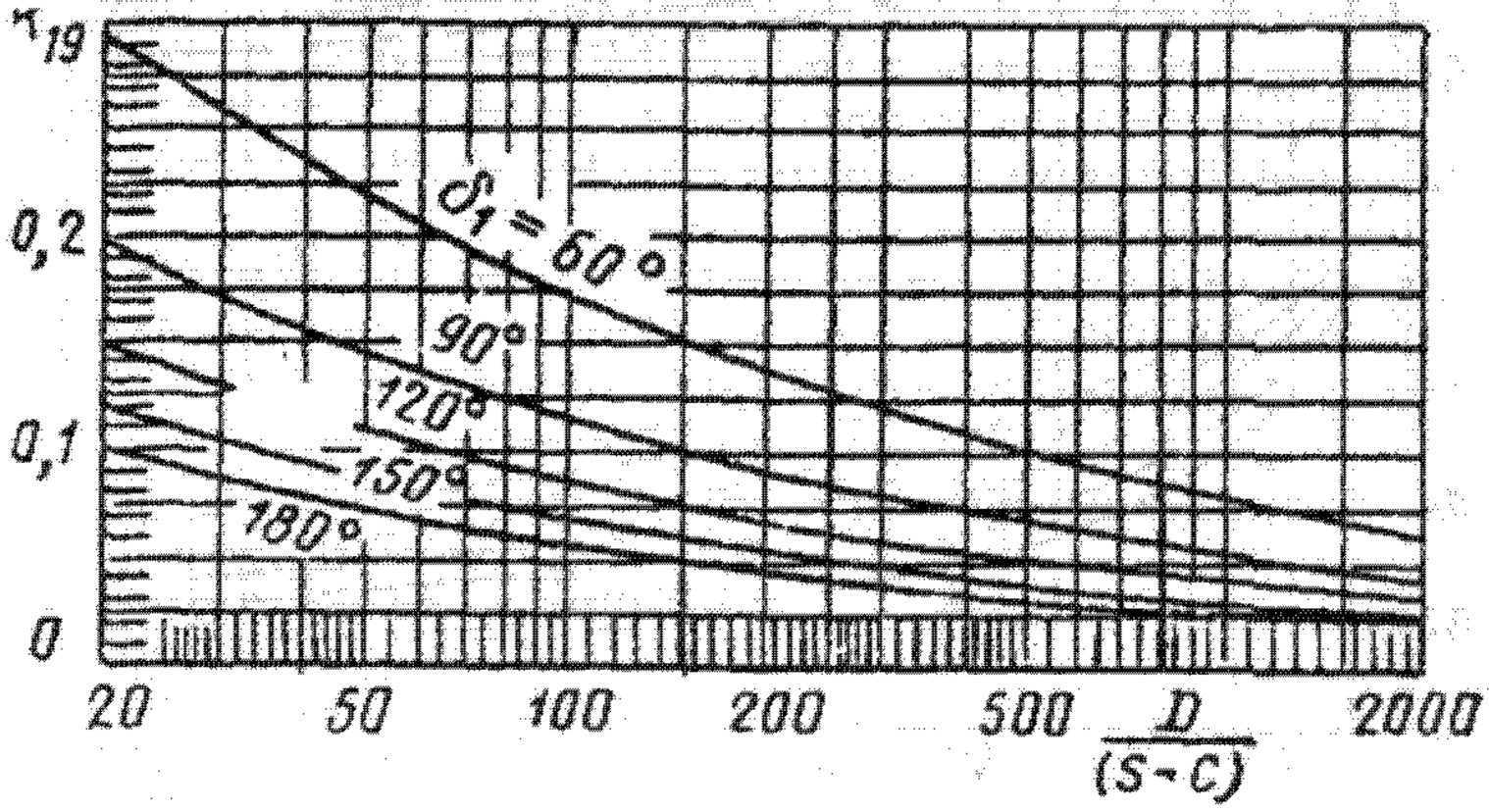
3.3. Проверка несущей способности обечайки с кольцом жесткости в области опорного узла

Прочность обечайки аппарата, работающей под внутренним избыточным давлением, проверяется по следующему условию:

$$\frac{p \cdot D}{4(s-c)} + \frac{4M_i}{\pi D^2(s-c)} \le [\sigma], \qquad (31)$$

где M_i — изгибающий момент, определяемый по зависимостям (14) и (15).

Устойчивость следует проверять по формуле (27), принимая $p = 0$ и $F_e = 0$.



$$K_{19} = \frac{5}{6\sqrt[3]{\frac{D}{s-c}}\delta_1}.$$

Рис. 16. Номограмма для определения коэффициента K_{19}

В аппаратах, работающих под наружным давлением, при проверке устойчивости принимают только $F_e = 0$.

Проверка прочности кольца жесткости

Прочность кольца жесткости определяется по условию:

$$F_i \le \frac{K_{18}[M_T]\varphi}{(0{,}5D \pm e_4)}, \qquad (32)$$

где $[M_T]$, e_4 — определяют по табл. 3 ($e_4 \ge 0$ во всех случаях), мм; K_{18} — коэффициент по табл. 4.

$$s_e = (s-c)\left(1 - \frac{|p|D}{2(s-c)[\sigma]}\right)\frac{[\sigma]}{[\sigma]_K}, \qquad (33)$$

$$l_e = t + 4\sqrt{D(s-c)}. \qquad (34)$$

Знак «+» следует принимать для колец, расположенных снаружи сосуда, знак «–» — для колец, расположенных внутри сосуда.

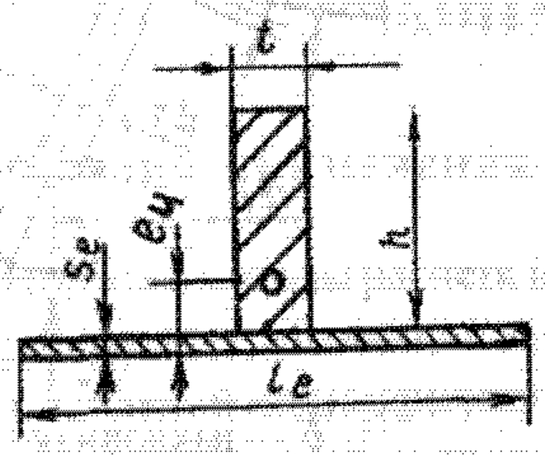
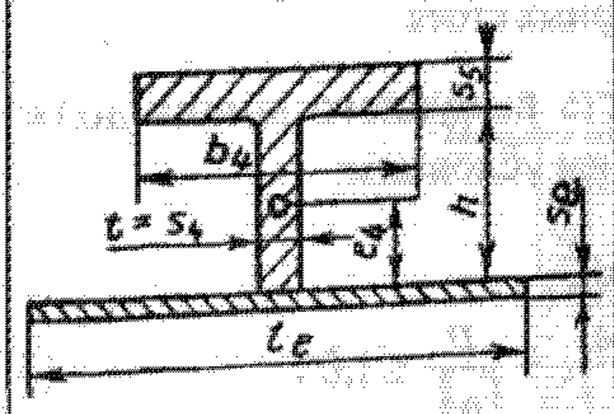
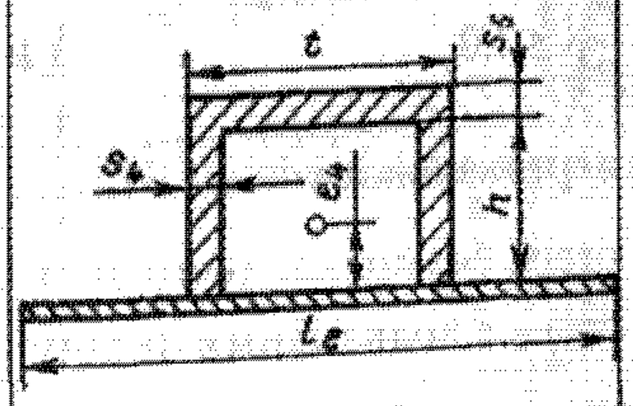
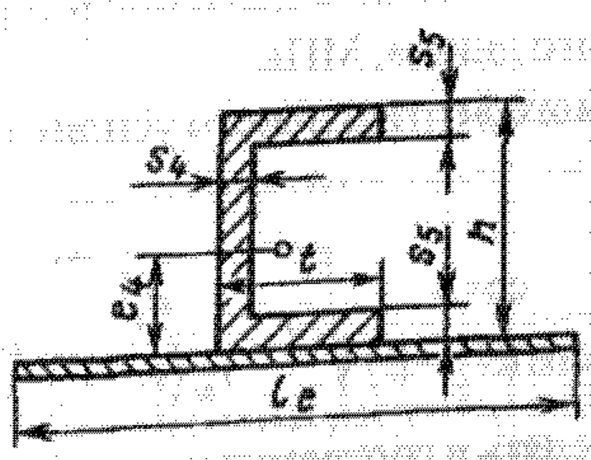
В случае применения профиля, не представленного в табл. 3, $[M_T]$ следует определять по формуле:

$$[M_T] = W_p \cdot [\sigma]_K, \qquad (35)$$

где W_p — пластический момент сопротивления площади поперечного сечения профиля (мм³), включая площадь $l_e \cdot s_e$. Нейтральная ось (для определения e_4) разделяет площадь поперечного сечения профиля на две равные части.

Таблица 3

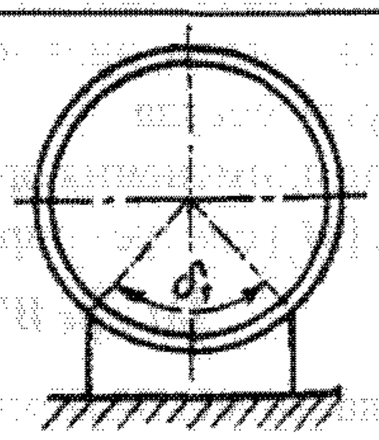
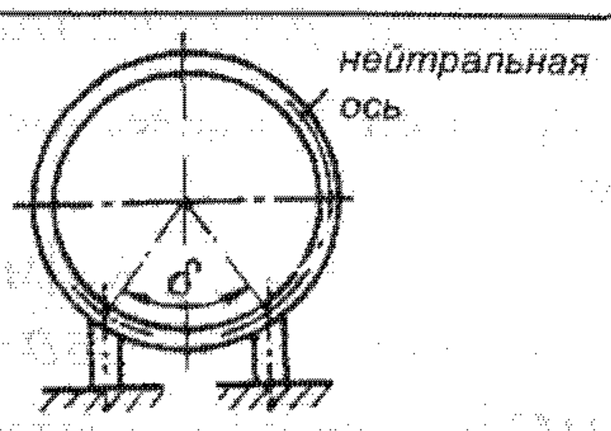
Значение e_4 и $[M_T]$

Сечение кольца	e_4, мм	$[M_T]$, Н·мм
	$\frac{t \cdot h - l_e \cdot s_e}{2t}$	$0{,}5\left[t(h-e_4)^2 + te_4^2 + (2e_4 + s_e)l_e \cdot s\right][\sigma]_K$
	$\frac{b_4 \cdot s_5 + hs_4 - l_e \cdot s_e}{2s_4}$	$0{,}5\left[s_4(h-e_4)^2 + s_4 \cdot e_4^2 + (2h - 2e_4 + s_5)b_4 \cdot s_5 + \ldots + (2e_4 + s_e)l_e \cdot s_e\right][\sigma]_K$
	$\frac{2s_4 \cdot h + t \cdot s_5 - l_e \cdot s_e}{4s_4}$	$0{,}5\left[2s_4(h-e_4)^2 + 2s_4 \cdot e_4^2 + (2h - 2e_4 + s)t \cdot s_5 + \ldots + (2e_4 + s_e)l_e \cdot s_e\right][\sigma]_K$
	$\frac{h \cdot s_4 - l_e \cdot s_e}{2s_4}$	$0{,}5\left[\left(s_4(h-e_4)^2\right) + 2t \cdot s_5(h - s_5) + (2e_4 + s_e)l_e \cdot s_e\right][\sigma]_K$

Примечание. s_e – определять по формуле (33); l_e – по формуле (34).

Таблица 4

Коэффициент K_{18}

Значение угла охвата δ_1	K_{18}	
		
60°	14	—
90°	21	20
120°	33	28
150°	56	50
180°	103	—

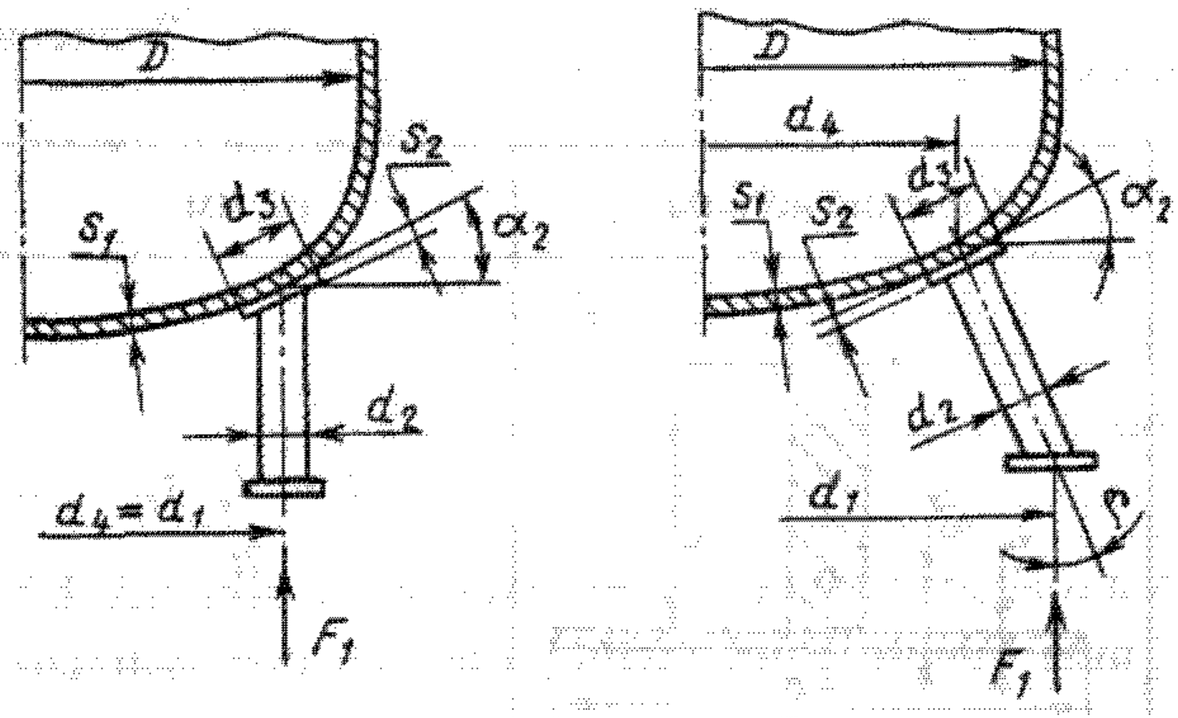
4. Расчет днищ аппаратов в месте установки опорных стоек

Метод расчета применим для аппаратов, работающих под избыточным давлением, если исключено перемещение стоек по днищу и соблюдается условие

$$d_3 \le 1{,}6 d_2 .$$

К эллиптическим днищам опорные стойки должны быть прикреплены в области $0 \le x \le 0{,}4D$, а к торосферическим — в области сферического сегмента.

Характерные размеры для расчетных моделей приведены на рис. 17.



а — вертикальная *б* — наклонная

Рис. 17. Характерные размеры для расчетных моделей опорных стоек

Вертикальное усилие, действующее на опорную стойку, определяют по формуле:

$$F_1 = \begin{cases} \dfrac{G}{3} + \dfrac{M}{0{,}866 d_4} - \text{для } n = 3, \\ \dfrac{G}{2} + \dfrac{M}{d_4} - \text{для } n = 4. \end{cases} \qquad (36)$$

Если за счет точности монтажа и достигается равномерное распределение нагрузки между всеми четырьмя опорными стойками, то усилие будет определяться по зависимости

$$F_1 = \frac{G}{4} + \frac{M}{d_4} . \qquad (37)$$

Действие момента M учитывается только в том случае, если опорные стойки связаны между собой жесткой рамой, препятствующей взаимному перемещению стоек.

При этом должно быть выполнено условие:

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{G}{4} > \dfrac{M}{d_4} - \text{для } n = 4 \\ \dfrac{G}{3} > \dfrac{M}{0{,}866 d_4} - \text{для } n = 3 \end{array}\right\} . \qquad (38)$$

Несущая способность выпуклого днища должна удовлетворять следующим условиям:

$$\frac{F_1 - p\dfrac{\pi d_e^2}{4}}{[F]_1} + \frac{p}{[p]_1} \le 1{,}0 ; \qquad (39)$$

$$\frac{F}{[F]_1} \le 1{,}0 , \qquad (40)$$

где $[F]_1$ — допускаемое вертикальное усилие, Н;

$$d_e = \left\{\begin{array}{l} d_2 - \text{для опорных стоек без подкладного листа,} \\ d_3 - \text{для опорных стоек с подкладным листом} \end{array}\right\}$$

— эффективный диаметр опорной стойки, мм; $[p]_1$ — допускаемое внутреннее избыточное давление в срединной области выпуклого днища, МПа.

Величина допускаемого вертикального усилия определяется по формуле:

$$[F]_1 = 1{,}57[\sigma](s_1 - c)^2 \frac{\cos\beta}{\cos(\alpha_2 - \beta)} \sqrt{1 + 5\frac{d_e^2}{r_m(s_1 - c)}} , \qquad (41)$$

где r_m и α_2 следует определять в соответствии с табл. 5.

Таблица 5

Значение r_m и α_2

Форма днища	Эллиптическое днище	Торосферическое днище типов		
	$H = 0{,}25D$	A	B	C
r_m, мм	$\dfrac{2D\sqrt{1-\frac{3}{4}\left(\frac{d_4}{D}\right)^2}}{1+\dfrac{1}{1-\frac{3}{4}\left(\frac{d_4}{D}\right)^2}}$	D	$0{,}9D$	$0{,}8D$
$\sin\alpha_2$	$\dfrac{d_4}{2D\sqrt{1-\frac{3}{4}\left(\frac{d_4}{D}\right)^2}}$	$\dfrac{d_4}{2D}$	$\dfrac{d_4}{1{,}8D}$	$\dfrac{d_4}{1{,}6D}$

Приложение 2

НОРМАТИВНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА УКРЕПЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ В СТЕНКАХ АППАРАТОВ, ГОСТ 24755—89 (СТ СЭВ 1639—88)

1. Условия применения

Нормы и методы расчета применимы для определения размеров укрепляющих элементов, а также допускаемых давлений цилиндрических и конических обечаек, выпуклых и конических днищ с круглыми и овальными отверстиями при соблюдении «Правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением» и при условии выбора толщин стенок обечаек, переходов и днищ в соответствии с ГОСТ 14249—89.

На рис. 1—8 приведены основные расчетные схемы при укреплении зоны одиночного отверстия штуцерами, отбортовкой, торообразной вставкой или накладным кольцом.

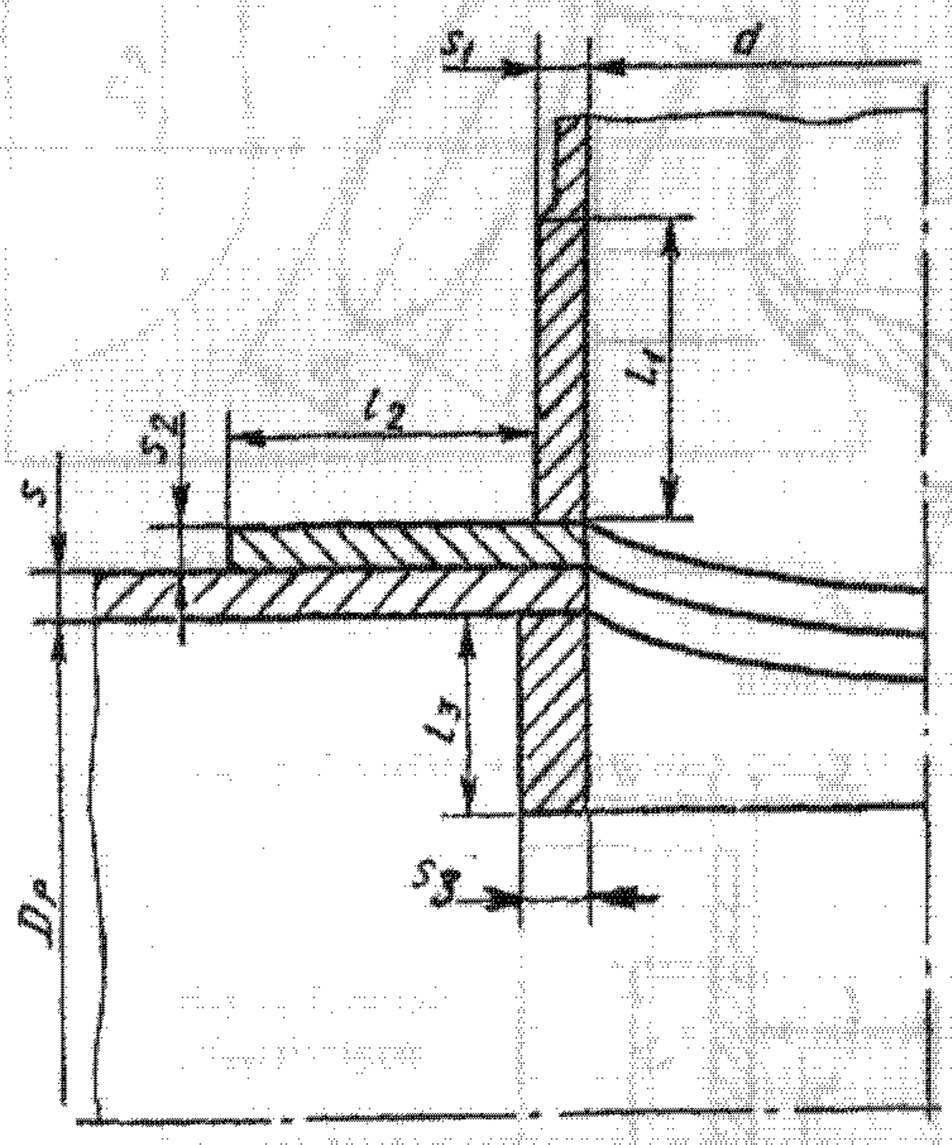


Рис. 1. Основная расчетная схема соединения штуцера со стенкой аппарата

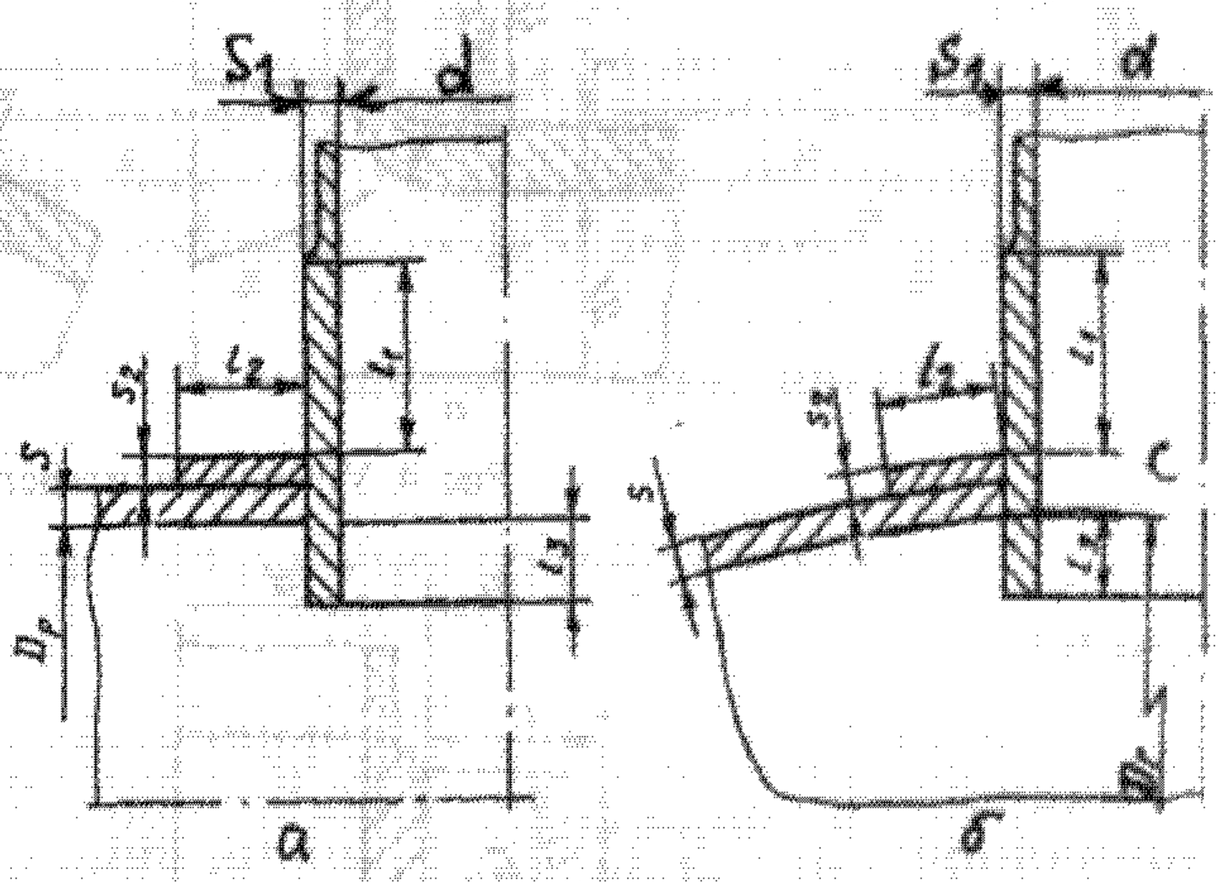


Рис. 2. Укрепление отверстий при наличии проходящего штуцера

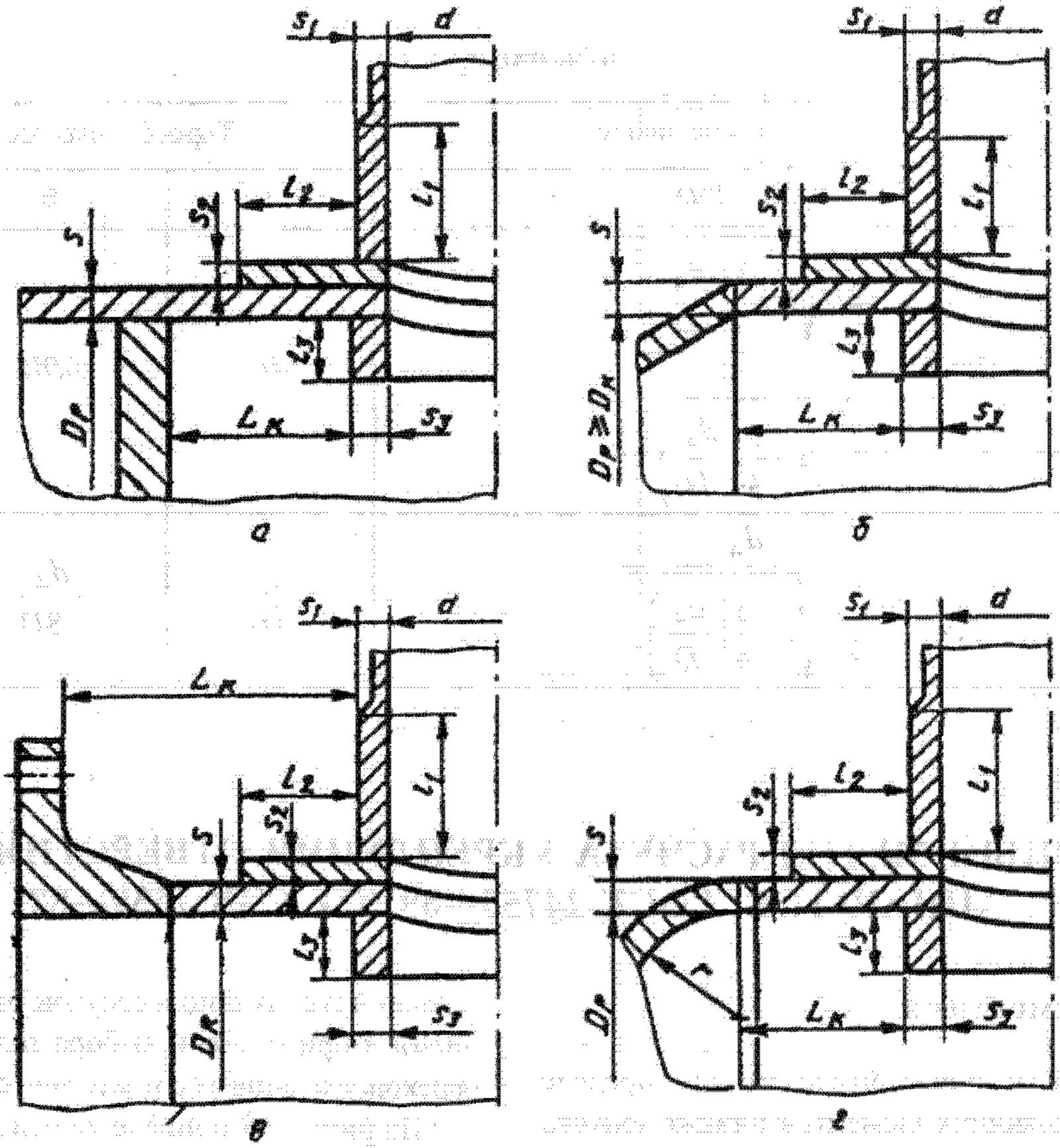


Рис. 3. Укрепление отверстий при наличии близко расположенных конструктивных элементов (непроходящие штуцера)

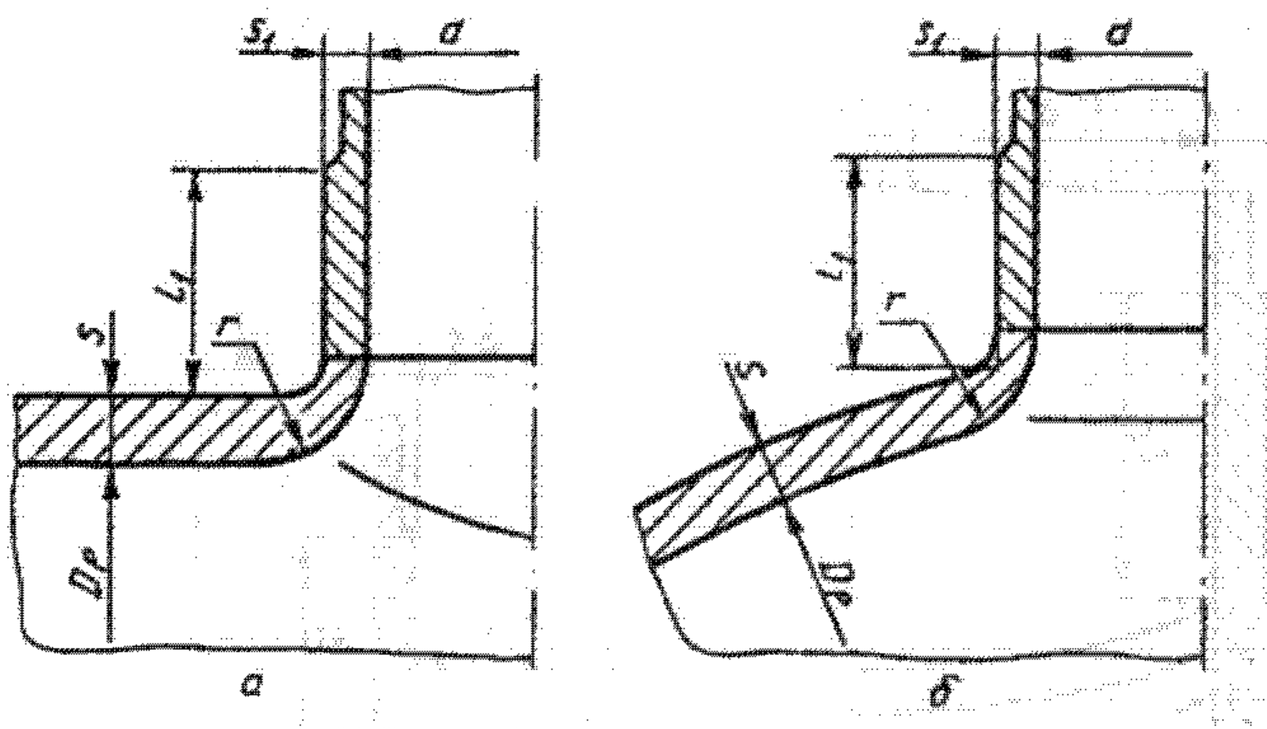


Рис. 4. Укрепление отверстия отбортовкой

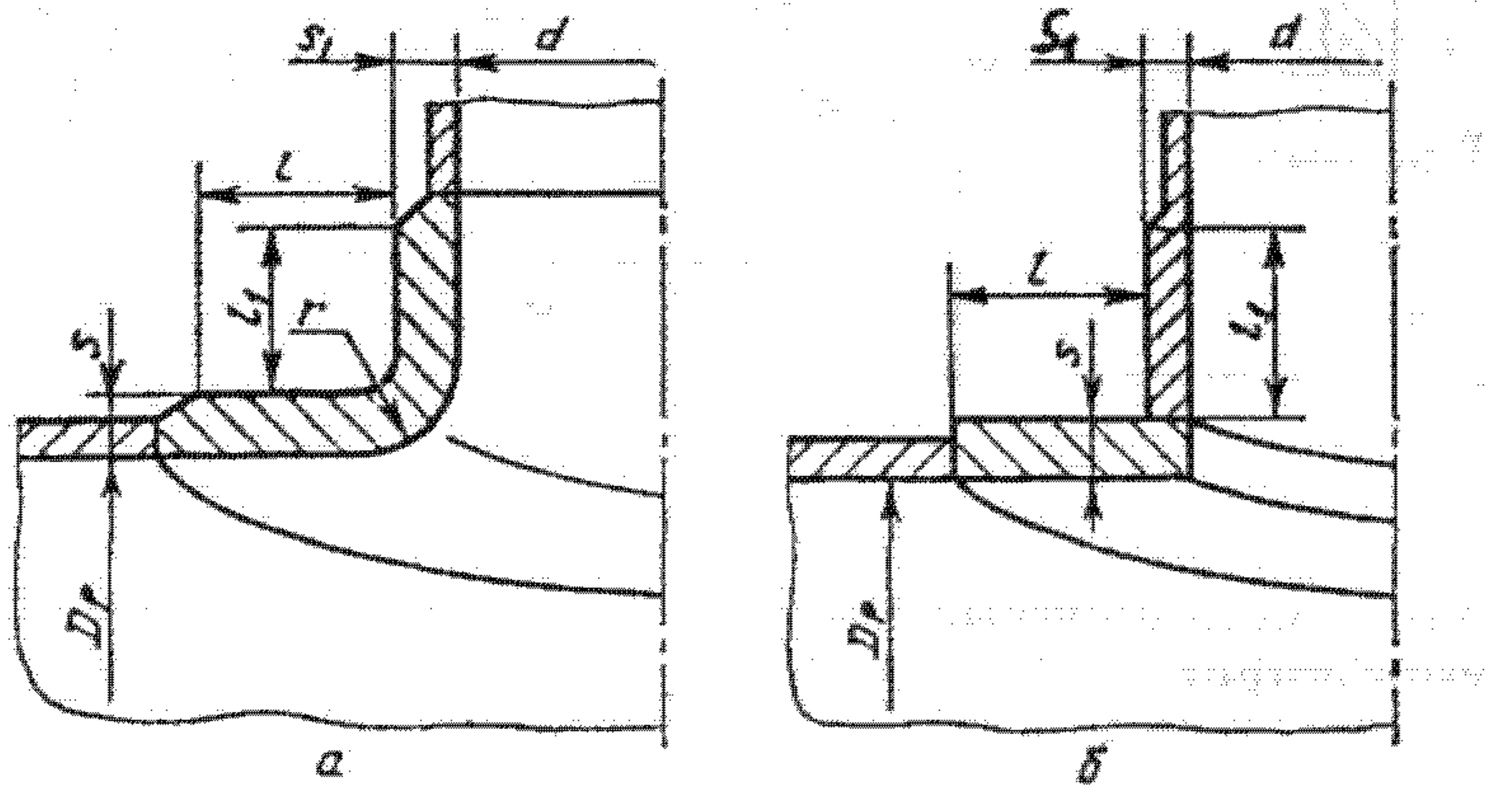


Рис. 5. Укрепление отверстия торообразной вставкой или вварным кольцом

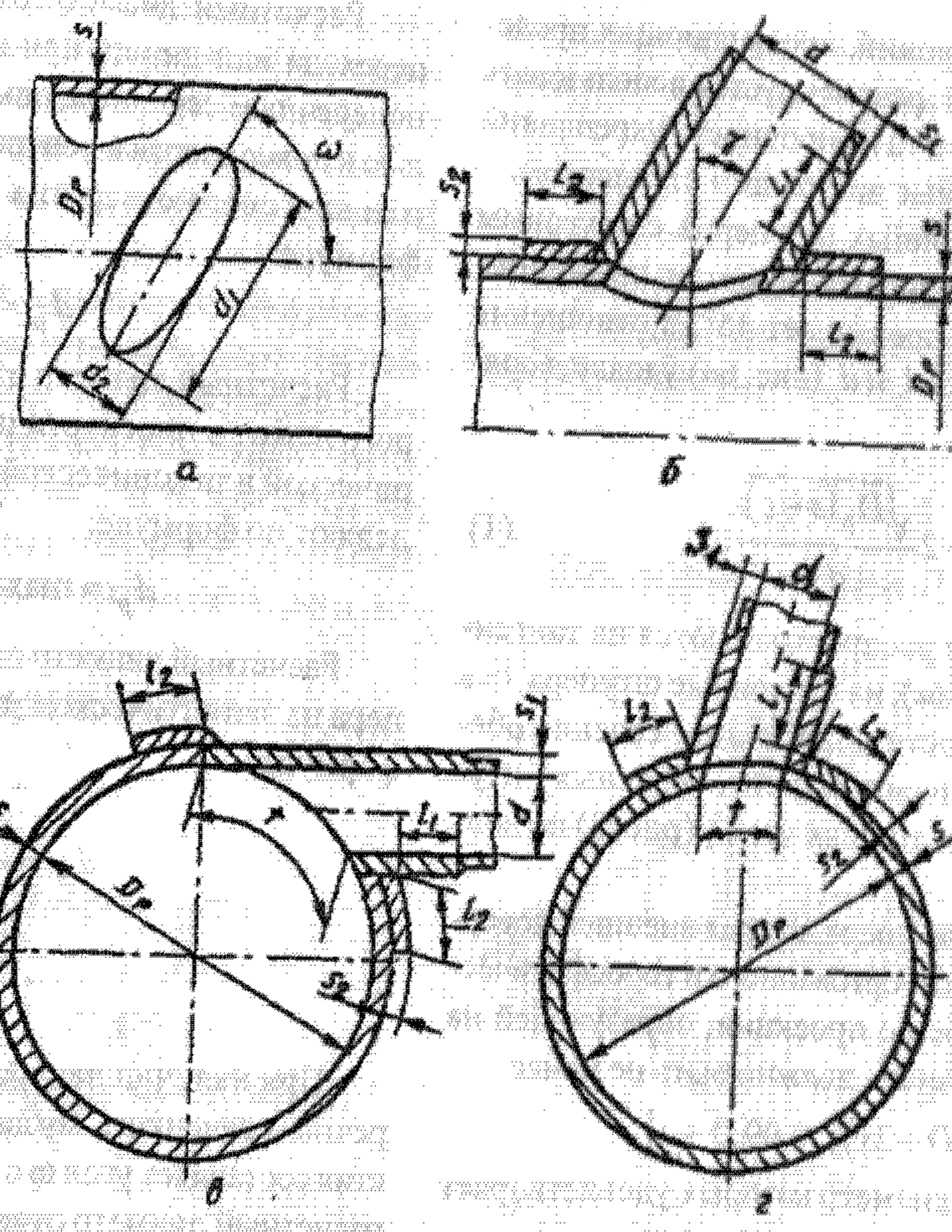


Рис. 6. Наклонные штуцера на обечайке

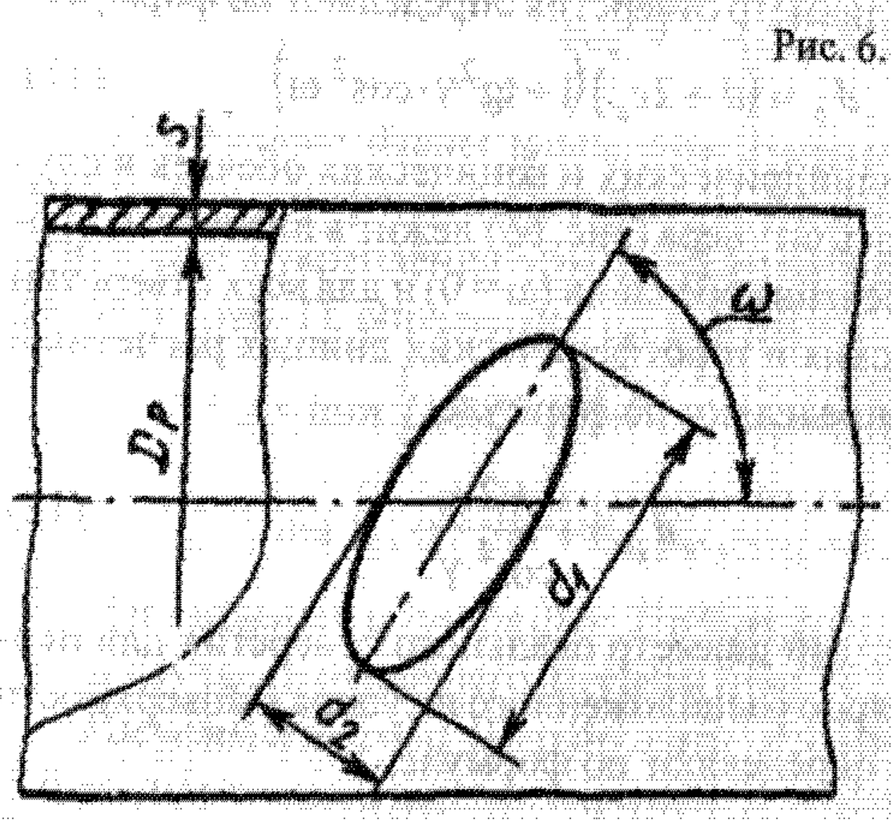


Рис. 7. Отверстие для овального штуцера, перпендикулярного к поверхности обечайки

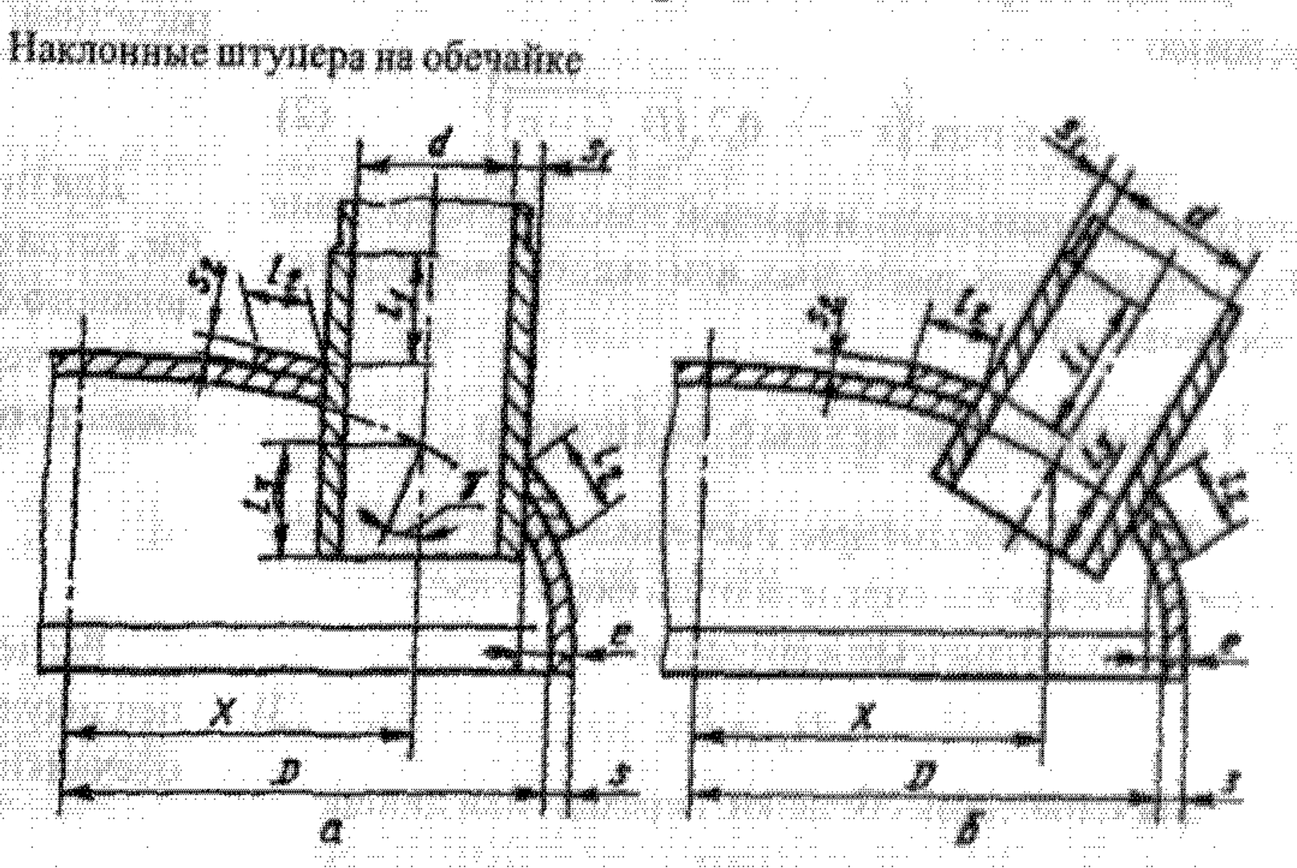


Рис. 8. Смещенные штуцера на выпуклом днище

Пределы применения расчетных формул ограничиваются условиями, приведенными в табл. 1.

Таблица 1

Наименование параметров	Условия применения формул для расчета укрепления отверстий			
	в цилиндрических обечайках	в конических обечайках, переходах или днищах	в эллиптических днищах	в сферических и торосферических днищах
Отношение диаметров	$\frac{d_p - 2c_s}{D} \le 1{,}0$	$\frac{d_p - 2c_s}{D_K} \le 1{,}0$	$\frac{d_p - 2c_s}{D} \le 0{,}6$	$\frac{d_p - 2c_s}{D} \le 0{,}6$
Отношение толщины стенки обечайки или днища к диаметру	$\frac{s-c}{D} \le 0{,}1$	$\frac{s-c}{D_K} \le \frac{0{,}1}{\cos\alpha}$	$\frac{s-c}{D} \le 0{,}1$	$\frac{s-c}{D} \le 0{,}1$

Примечание: d_p – расчетный диаметр отверстия, мм; c_s – сумма прибавок к расчетной толщине штуцера, мм.

При значениях отношений, превышающих пределы, установленные табл. 1, рекомендуется использовать специальные методы расчета на прочность укреплений отверстий, не охватываемые настоящим стандартом.

При установке наклонных штуцеров с круговым поперечным сечением настоящий метод применим, если угол γ (рис. 6*б*) не превышает 45°, а отношение осей овального отверстия d_1 и d_2 (рис. 6*а*) удовлетворяет условию:

$$\frac{d_1}{d_2} \le 1 + 2\frac{\sqrt{D_p(s-c)}}{d_2}. \qquad (1)$$

Эти ограничения не распространяются на тангенциальные штуцера (рис. 6*в*), на наклонные штуцера, ось которых лежит в плоскости поперечного сечения обечайки (рис. 6*г*). Для смещенных (нецентральных) штуцеров на эллиптических днищах угол γ (рис. 8) не должен превышать 60°.

Расстояние от края штуцера до края внешней поверхности сферического неотбортованного и торосферического днища, измеряемое по проекции, образующей на плоскости основания днища, должно быть не менее

$$\max\left\{0{,}10(D+2s);\ 0{,}09D+s\right\}.$$

Малые отверстия, диаметр которых удовлетворяет условию

$$d_p \le \max\left\{(s-c);\ 0{,}2\sqrt{D_p(s-c)}\right\}, \qquad (2)$$

допускается размещать в краевой зоне выпуклых днищ без специальных расчетных или экспериментальных обоснований.

2. Основные расчетные величины

Расчетные диаметры. Расчетные диаметры укрепляемых элементов определяют по формулам:

для цилиндрической обечайки

$$D_p = D; \qquad (3)$$

для конической обечайки, перехода или днища

$$D_p = \frac{D_K}{\cos\alpha}; \qquad (4)$$

для эллиптических днищ

$$D_p = \frac{D^2}{2H}\sqrt{1-4\frac{\left(D^2-4H^2\right)}{D^4}\cdot x^2}, \qquad (5)$$

в случае эллиптических днищ при $H = 0{,}25D$

$$D_p = 2D\sqrt{1-3\left(\frac{x}{D}\right)^2}; \qquad (6)$$

для сферических днищ, а также торосферических днищ вне зоны отбортовки

$$D_p = 2R, \qquad (7)$$

где R — для торосферических днищ определяют по ГОСТ 14249—89.

Расчетный диаметр отверстия в стенке обечайки, перехода или днища при наличии штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности в центре отверстия (рис. 1, 3*а*, 3*б*, 8*б*), или кругового отверстия без штуцера определяют по формуле:

$$d_p = d + 2c_s. \qquad (8)$$

Расчетный диаметр отверстия и штуцера, ось которого лежит в плоскости поперечного сечения цилиндрической или конической обечайки (рис. 6*в* и 6*г*), определяют по формуле:

$$d_p = \max\left\{d;\ 0{,}5t\right\} + 2c_s. \qquad (9)$$

Расчетный диаметр отверстия для смещенного штуцера на эллиптическом днище (рис. 8*а*) определяют по формуле:

$$d_p = \frac{d+2c_s}{\sqrt{1-\left(\frac{2x}{D_p}\right)^2}}. \qquad (10)$$

При наличии наклонного штуцера с круглым поперечным сечением, когда большая ось овального отверстия составляет угол ω с образующей обечайки (рис. 6*а*), расчетный диаметр отверстия определяют по формуле:

$$d_p = (d+2c_s)\left(1+\mathrm{tg}^2\gamma\cdot\cos^2\omega\right). \qquad (11)$$

Для цилиндрических и конических обечаек в случае, когда ось штуцера (рис. 6*б*) лежит в плоскости продольного сечения обечайки (ω = 0) и для всех отверстий в сферических и торосферических днищах расчетный диаметр определяют по формуле:

$$d_p = \frac{d+2c_s}{\cos^2\gamma}. \qquad (12)$$

Расчетный диаметр овального отверстия для перпендикулярно расположенного штуцера к поверхности обечайки определяют по формуле:

$$d_p = (d_2+2c_s)\left[\sin^2\omega + \frac{(d_1+2c_s)(d_1+d_2+4c_s)}{2(d_2+2c_s)^2}\cos^2\omega\right]. \qquad (13)$$

Для выпуклых днищ ω = 0.

Расчетный диаметр отверстия для штуцера с круглым поперечным сечением, ось которого совпадает с нормалью к поверхности обечайки в центре отверстия, при наличии отбортовки или торообразной вставки, определяют по формуле:

$$d_p = d + 1{,}5(r - s_p) + 2c_s. \qquad (14)$$

Коэффициент прочности сварных соединений. Если ось сварного шва обечайки (днища) удалена от наружной поверхности штуцера на расстояние более чем три толщины укрепляемого элемента (3*s*, рис. 3*б*), то коэффициент прочности этого сварного соединения при расчете укрепления отверстий следует принимать

$\varphi = 1$. В исключительных случаях, когда сварной шов пересекает отверстие или удален от наружной поверхности штуцера на расстояние менее $3s$, принимают $\varphi \le 1$ в зависимости от вида и качества сварного шва.

Если плоскость, проходящая через продольный шов вальцованного штуцера и ось этого штуцера, образует угол ψ не менее 60° с плоскостью продольного осевого сечения цилиндрической или конической обечайки (рис. 9), то принимают $\varphi_1 = 1$. В остальных случаях $\varphi_1 \le 1$ в зависимости от вида и качества сварного шва.

Расчетные толщины стенок. Расчетные толщины стенок укрепляемых элементов определяют в соответствии с ГОСТ 14249—89. Для эллиптических днищ, работающих под внутренним давлением, расчетную толщину стенки s_p определяют по формуле:

$$s_p = \frac{pD_p}{4\varphi[\sigma] - p}. \qquad (15)$$

Расчетную толщину стенки штуцера, нагруженного как внутренним, так и наружным давлением, определяют по формуле:

$$s_{1p} = \frac{p(d + 2c_s)}{2[\sigma]_1 \cdot \varphi_1 - p}. \qquad (16)$$

Для овального штуцера в этой формуле $d = d_1$.

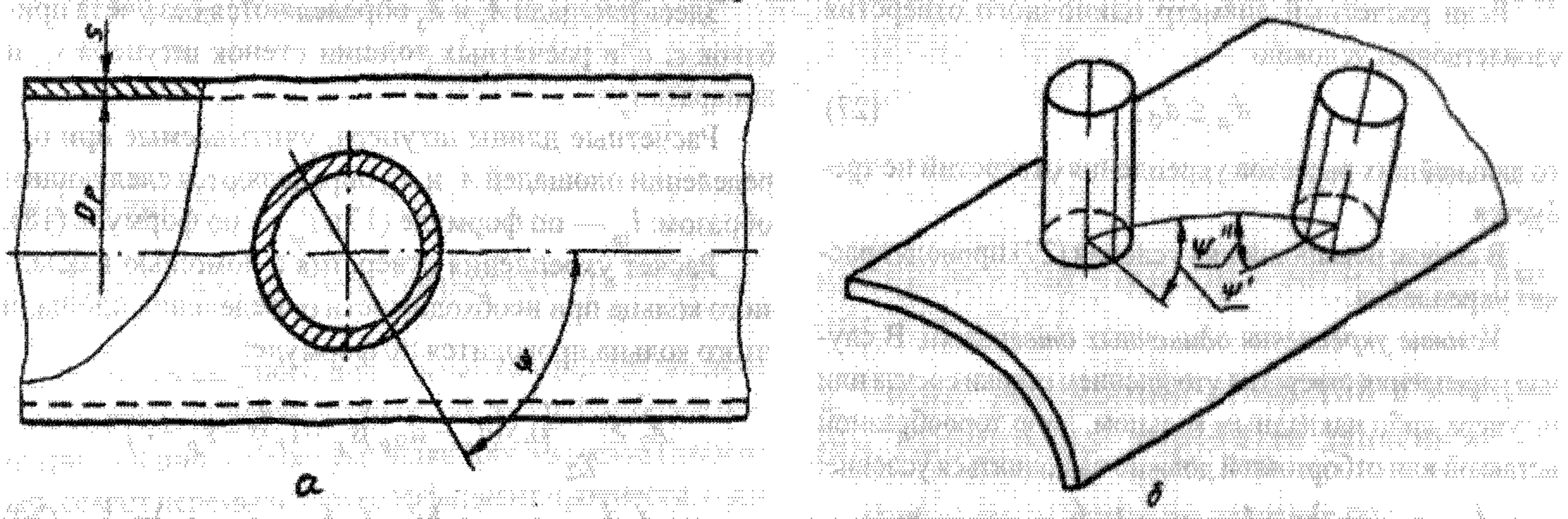


Рис. 9. Учет влияния сварных швов в зоне укрепления отверстия

Расчетные длины штуцеров. Расчетные длины внешней и внутренней частей круглого штуцера, участвующие в укреплении отверстий и учитываемые при расчете (рис. 1), определяют по формулам:

$$l_{1p} = \min\left\{l_1;\ 1{,}25\sqrt{(d + 2c_s)(s_1 - c_s)}\right\}; \qquad (17)$$

$$l_{3p} = \min\left\{l_3;\ 0{,}5\sqrt{(d + 2c_s)(s_3 - c_s - c_{s1})}\right\}. \qquad (18)$$

Для овального штуцера (рис. 7) в этих формулах $d = d_2$.

В случае проходящего штуцера (рис. 2) $s_3 = s_1$.

Расчетная ширина. Ширину зоны укрепления в обечайках, переходах и днищах определяют по формуле:

$$L_0 = \sqrt{D_p(s - c)}. \qquad (19)$$

Расчетную ширину зоны укрепления в стенке обечайки, перехода или днища в окрестности штуцера при наличии торообразной вставки или вварного кольца (рис. 5) определяют по формуле:

$$l_p = \min\left\{l;\ L_0\right\}. \qquad (20)$$

В случае отбортовки (рис. 4), а также при отсутствии торообразной вставки или вварного кольца

$$l_p = L_0. \qquad (21)$$

Расчетную ширину накладного кольца определяют по формуле:

$$l_{2p} = \min\left\{l_2;\ \sqrt{D_p(s_2 + s - c)}\right\}. \qquad (22)$$

Для отверстий, удаленных от других конструктивных элементов на расстояние $L_K < L_0$ (рис. 3), расчетную ширину l_p, l_{2p} определяют следующим образом:

для зоны соединения обечайки с кольцом жесткости, плоским днищем, трубной решеткой (рис. 3*а*) — по формулам (20) или (21) и (22);

для зоны соединения конической обечайки с другой обечайкой и обечайки с коническим или выпуклым днищем (рис. 3*б*), а также с фланцем или седловой опорой аппарата по формулам:

$$l_p = L_K;\ \ l_{2p} = \min\left\{l_2;\ L_K\right\}. \qquad (23)$$

Отношения допускаемых напряжений:

для внешней части штуцера $\chi_1 = \min\left\{1{,}0;\ \dfrac{[\sigma]_1}{[\sigma]}\right\}$;

для накладного кольца $\chi_2 = \min\left\{1{,}0;\ \dfrac{[\sigma]_2}{[\sigma]}\right\}$;

для внутренней части штуцера $\chi_3 = \min\left\{1{,}0;\ \dfrac{[\sigma]_3}{[\sigma]}\right\}$

Расчетный диаметр определяют по формуле:

$$d_{0p} = 0{,}4\sqrt{D_p(s - c)}. \qquad (24)$$

3. Расчет укрепления одиночного отверстия в аппаратах

Отверстие считается одиночным, если ближайшее к нему отверстие не оказывает на него влияния, что имеет место, когда расстояние между наружными по-

верхностями соответствующих штуцеров удовлетворяет условию:

$$b \geq \sqrt{D'_p(s-c)} + \sqrt{D''_p(s-c)}. \qquad (25)$$

Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего укрепления. Расчетный диаметр одиночного отверстия, не требующего дополнительного укрепления, при наличии избыточной толщины стенки сосуда вычисляется по формуле:

$$d_0 = 2\left(\frac{s-c}{s_p} - 0{,}8\right)\sqrt{D_p(s-c)}. \qquad (26)$$

Если расчетный диаметр одиночного отверстия удовлетворяет условию:

$$d_p \leq d_0, \qquad (27)$$

то дальнейших расчетов укрепления отверстий не требуется.

В случае невыполнения условия (27) проводят расчет укрепления.

Условие укрепления одиночных отверстий. В случае укрепления отверстия утолщением стенки сосуда или штуцера либо накладным кольцом, либо торообразной вставкой или отбортовкой должно выполняться условие:

$$l_{1p}(s_1 - s_{1p} - c_s)\chi_1 + l_{2p}s_2\chi_2 + l_{3p}(s_3 - c_s - c_{s1})\chi_3 + l_p(s - s_p - c) \geq 0{,}5(d_p - d_{0p})s_p. \qquad (28)$$

Рекомендуемым вариантом укрепления является укрепление без использования накладного кольца. В этом случае расчет укрепления проводят с помощью условия укрепления (28), в котором принимается $s_2 = 0$. При этом длина внешней части штуцера l_1 отсчитывается от наружной поверхности аппарата.

При отсутствии штуцера и укреплении отверстия накладным кольцом или утолщением стенки сосуда при расчете в условии укрепления $l_{1p} = l_{3p} = 0$. При этом исполнительную ширину накладного кольца отсчитывают от края отверстия.

При укреплении отверстия штуцером произвольной формы (рис. 10) условие укрепления выражается в общем виде

$$A_1 + A_3 \geq A = 0{,}5(d_p - d_{0p})s_p. \qquad (29)$$

Здесь площади A_1 и A_3 определяются без учета прибавок c, c_s и расчетных толщин стенок штуцера s_{1p} и аппарата s_p.

Расчетные длины штуцера, учитываемые при определении площадей A_1 и A_3, определяются следующим образом: l_{1p} — по формуле (17), l_{3p} — по формуле (18).

Расчет укрепления отверстия с помощью накладного кольца при необходимости определения площади этого кольца проводится по формуле:

$$A_2 \geq \frac{1}{\chi_2}\{0{,}5(d_p - d_{0p})s_p - l_p(s - s_p - c) - l_{1p}(s_1 - s_{1p} - c_s)\chi_1 - l_{3p}(s_3 - c_s - c_{s1})\chi_3\}, \qquad (30)$$

где $A_2 = l_{2p} \cdot s_2$ — площадь накладного кольца.

Если $s_2 > 2s$, то накладные кольца рекомендуется устанавливать снаружи и изнутри аппарата, причем толщина наружного кольца принимается $0{,}5s_2$, внутреннего — $(0{,}5s_2 + c)$.

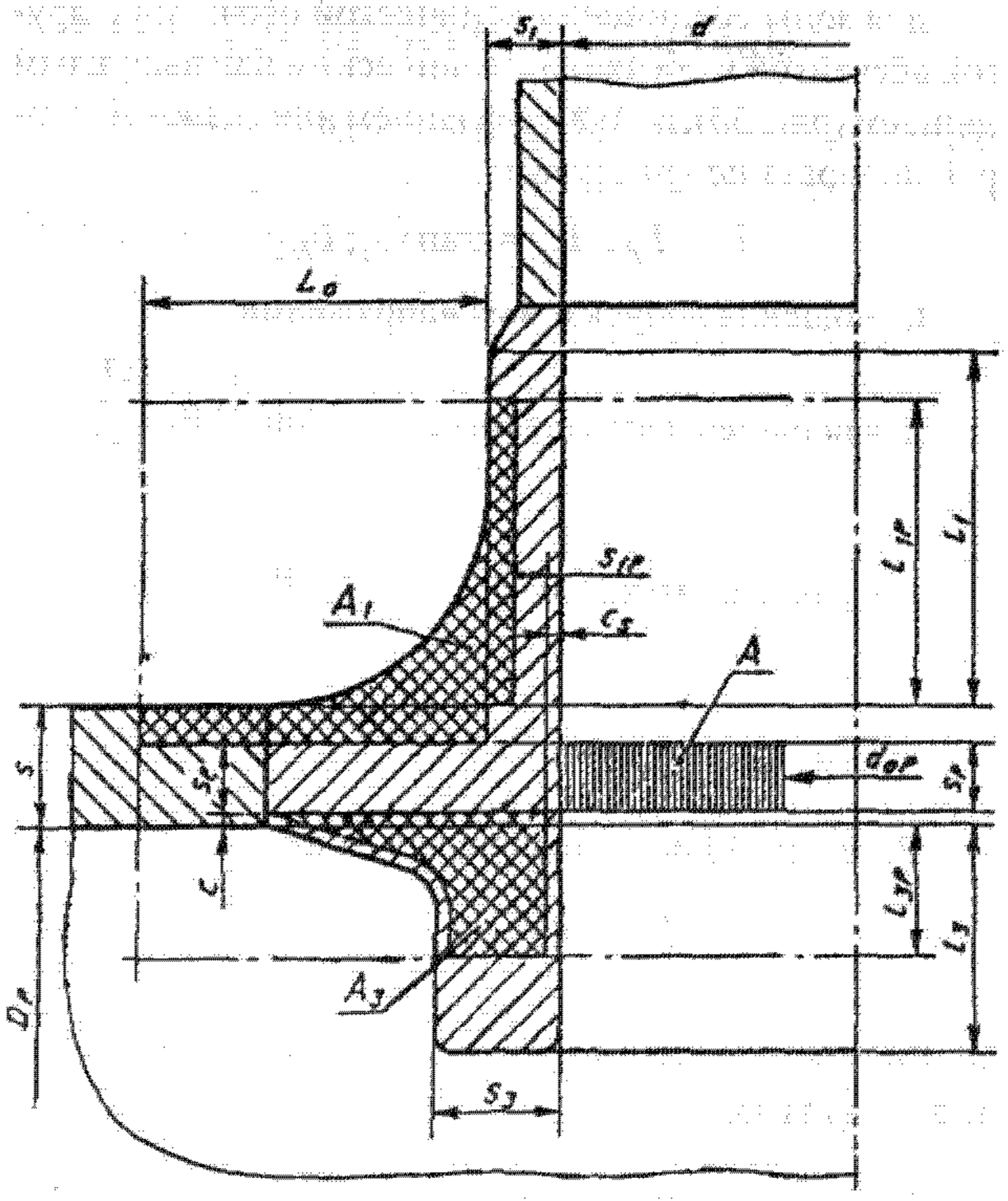


Рис. 10. Расчетная схема компенсации вырезанного сечения штуцером произвольной формы

4. Расчет укрепления взаимовлияющих отверстий в аппаратах, нагруженных внутренним давлением

Если не выполнено условие (25), то расчет таких взаимовлияющих отверстий (рис. 11 и 12) выполняется следующим образом: вначале рассчитываются укрепления для каждого из этих отверстий отдельно в соответствии с разд. 3, затем проверяется достаточность укрепления перемычки между отверстиями, для чего должно быть определено допускаемое давление для перемычки по формуле:

$$[p] = \frac{2K_1(s-c)\cdot\varphi[\sigma]}{0{,}5(D'_p + D''_p) + (s-c)V} \cdot V, \qquad (31)$$

где V — коэффициент понижения прочности рассчитывается по формуле:

$$V = \min\left\{1; \frac{1+\dfrac{l'_{1p}(s'_1-c'_s)\chi'_1+l'_{2p}s'_2\chi'_2+l'_{3p}(s'_3-c'_s-c'_{s1})\chi_3+l''_{1p}(s''_1-c_s)\chi''_1+l''_{2p}s''_2\chi''_2+l''_{3p}(s''_3-c''_s-c''_{s_1})\chi''_3}{b(s-c)}}{K_3\left(0{,}8+\dfrac{d'_p+d''_p}{2b}\right)+K_1\left(\dfrac{d'+2c'_s}{D'_p}\cdot\dfrac{\varphi'}{\varphi'_1}\cdot\dfrac{l'_{1p}}{b}+\dfrac{d''+2c''_s}{D''_p}\cdot\dfrac{\varphi''}{\varphi''_1}\cdot\dfrac{l''_{1p}}{b}\right)}\right\}. \quad (32)$$

При совместном укреплении двух взаимовлияющих отверстий общим накладным кольцом (рис. 11) коэффициент понижения прочности определяют по формуле:

$$V = \min\left\{1; \frac{1+\dfrac{l'_{1p}(s'_1-c'_s)\chi'_1+l''_{1p}(s''_1-c_s)\chi''_1+L_2s_2\chi_2+l'_{3p}(s'_3-c''_s-c'_{s_1})\chi'_3+l''_{3p}(s''_3-c''_s-c''_{s_1})\chi''_3}{b(s-c)}}{K_3\left(0{,}8+\dfrac{d'_p+d''_p}{2b}\right)+K_1\left(\dfrac{d'+2c}{D'_p}\cdot\dfrac{\varphi'}{\varphi'_1}\cdot\dfrac{l'_{1p}}{b}+\dfrac{d''+2c'_s}{D''_p}\cdot\dfrac{\varphi''}{\varphi''_1}\cdot\dfrac{l''_{1p}}{b}\right)}\right\}, \quad (33)$$

где $L_2 = \min\{b; l'_{2p}+l''_{2p}\}$.

Для овального штуцера в формулах (32) и (33) $d' = d'_1$ и $d'' = d''_1$.

Если ось сварного шва обечайки (днища) удалена от наружных поверхностей обоих штуцеров более чем на три толщины стенки укрепляемого элемента ($3s$) и не пересекает перемычку, то коэффициент прочности этого сварного шва в формулах (31), (32) и (33) следует принимать $\varphi = 1$. В остальных случаях $\varphi \le 1$ в зависимости от вида и качества этого сварного шва.

Коэффициенты прочности продольных сварных швов штуцеров $\varphi'_1 = 1$ и $\varphi''_1 = 1$, если соответствующие сварные швы составляют на окружности штуцеров с линией, соединяющей центры отверстий, центральные углы ψ' и ψ'' не менее 60°. В остальных случаях $\varphi'_1 \le 1$ и $\varphi''_1 \le 1$ в зависимости от вида и качества соответствующего сварного шва.

Коэффициент K_3 для цилиндрических и конических обечаек определяется по формуле:

$$K_3 = \frac{1+\cos^2\beta}{2}. \quad (34)$$

Угол β определяется в соответствии с рис. 12.

Для выпуклых днищ $K_3 = 1$.

При укреплении двух близко расположенных отверстий другими способами нужно, чтобы половина площади, необходимой для укрепления в продольном сечении (рис. 11), размещалась между этими отверстиями.

Для ряда отверстий (рис. 13) коэффициент понижения прочности определяется по формуле:

$$V = \min\left\{1; \frac{2b_1}{(b_1+d+2c_s)\left(1+\cos^2\beta_1\right)}; \frac{2b_2}{(b_2+d+2c_3)\left(1+\cos^2\beta_2\right)}\right\}. \quad (35)$$

Расчет по разд. 5 не применим, если имеются взаимовлияющие отверстия и одно из них выполнено в соответствии с рис. 4.

5. Расчет укреплений отверстий в аппаратах, нагруженных наружным давлением

Допускаемое наружное давление определяют по формуле:

$$[p] = \frac{[p]_n}{\sqrt{1+\left(\dfrac{[p]_n}{[p]_E}\right)^2}}, \quad (36)$$

где $[p]_n$ — допускаемое наружное давление в пределах пластичности, определяемое по формуле (34) как допускаемое внутреннее избыточное давление для сосуда или аппарата с отверстием; $[p]_E$ — допускаемое наружное давление в пределах упругости, определяемое по ГОСТ 14249—89 для соответствующих обечайки и днища без отверстий.

При наличии взаимного влияния отверстий $[p]_n$ определяется аналогично $[p]$ по разд. 4 для каждого отверстия в отдельности и для перемычки, а затем из полученных значений принимается меньшее.

Для обечаек или днищ с кольцами жесткости расчет проводится отдельно для каждого участка с отверстиями между соседними кольцами.

6. Расчет минимальных размеров сварных швов

Минимальные размеры сечения сварных швов Δ, Δ_1, Δ_2, соединяющих приварные штуцера или накладные кольца с корпусом аппарата, должны удовлетворять следующим условиям:

для штуцеров в соответствии с рис. 14*а*,*б*

$$\Delta \ge 2{,}1\frac{l_1 s_1}{d+2s_1};$$

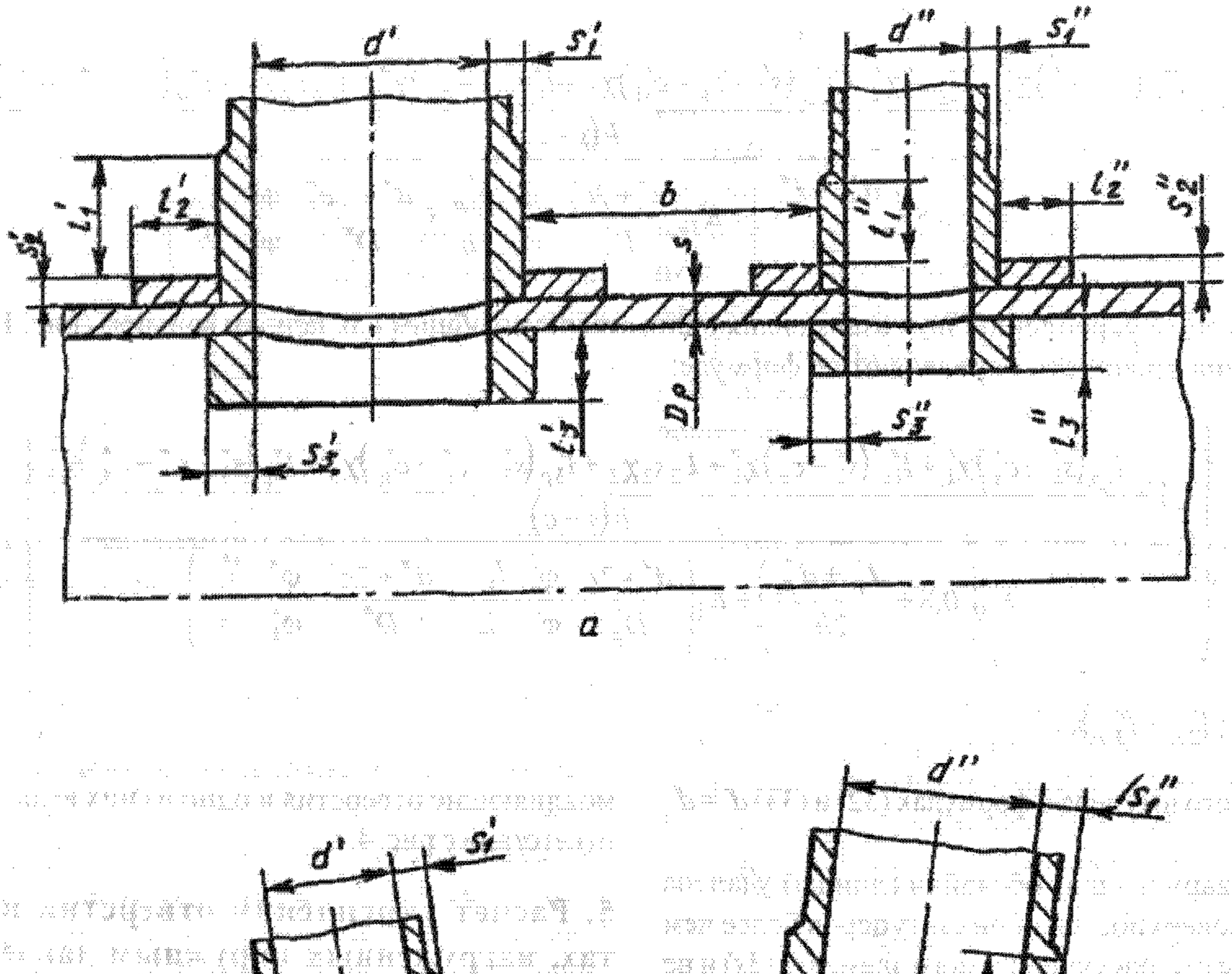


Рис. 11. Расчетная схема укрепления взаимовлияющих отверстий

для накладных колец в соответствии с рис. 14*в*

$$\left(1+\frac{2l_2}{d+2s_1}\right)\Delta_1+\Delta_2 \geq 2{,}1\frac{l_2 s_2}{d+2s_1},$$

где Δ, Δ_1, Δ_2 — минимальные размеры сечения сварных швов (рис. 14).

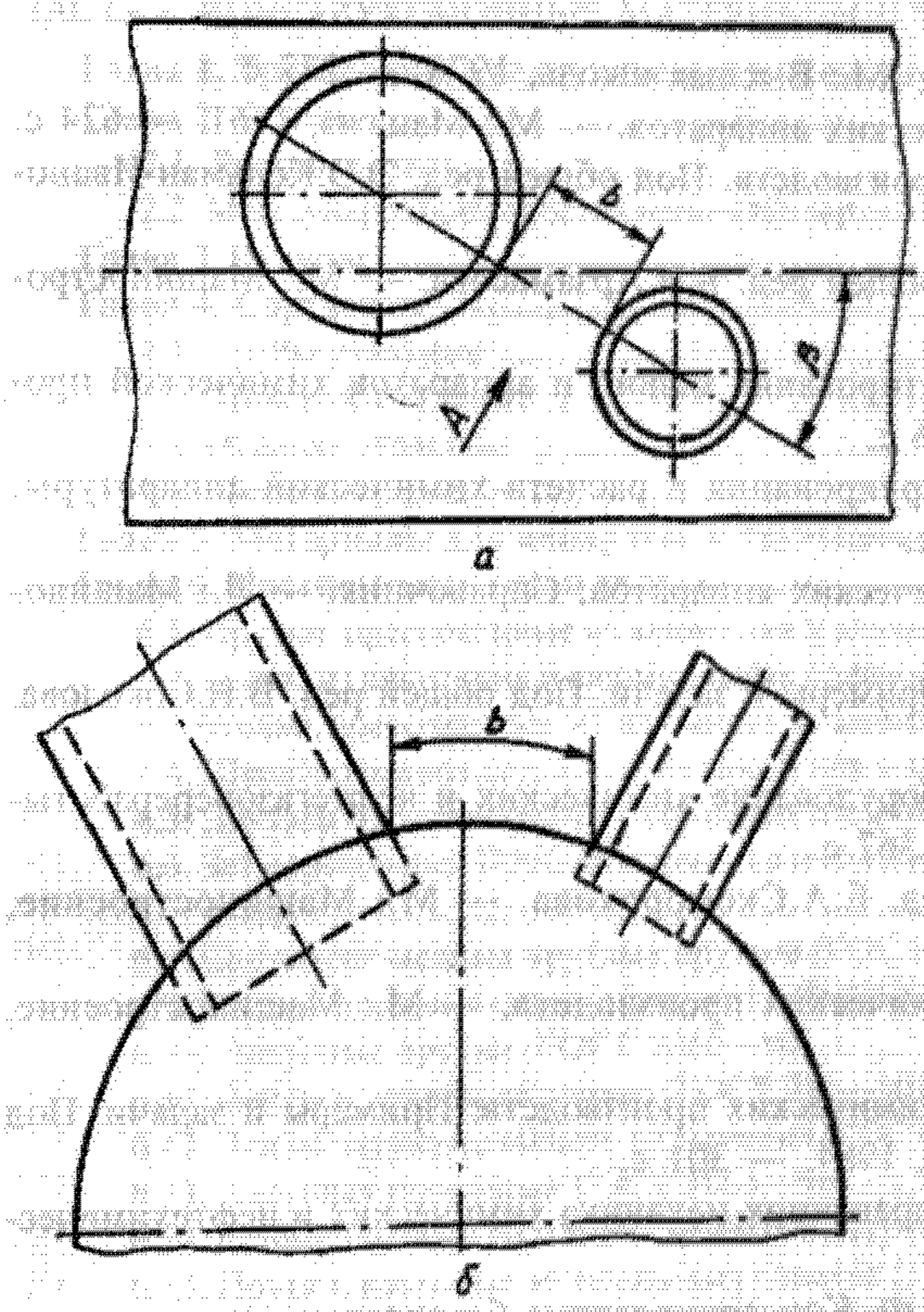


Рис. 12. Схема расположения взаимовлияющих отверстий

Рис. 13. Схема расположения ряда отверстий на аппарате

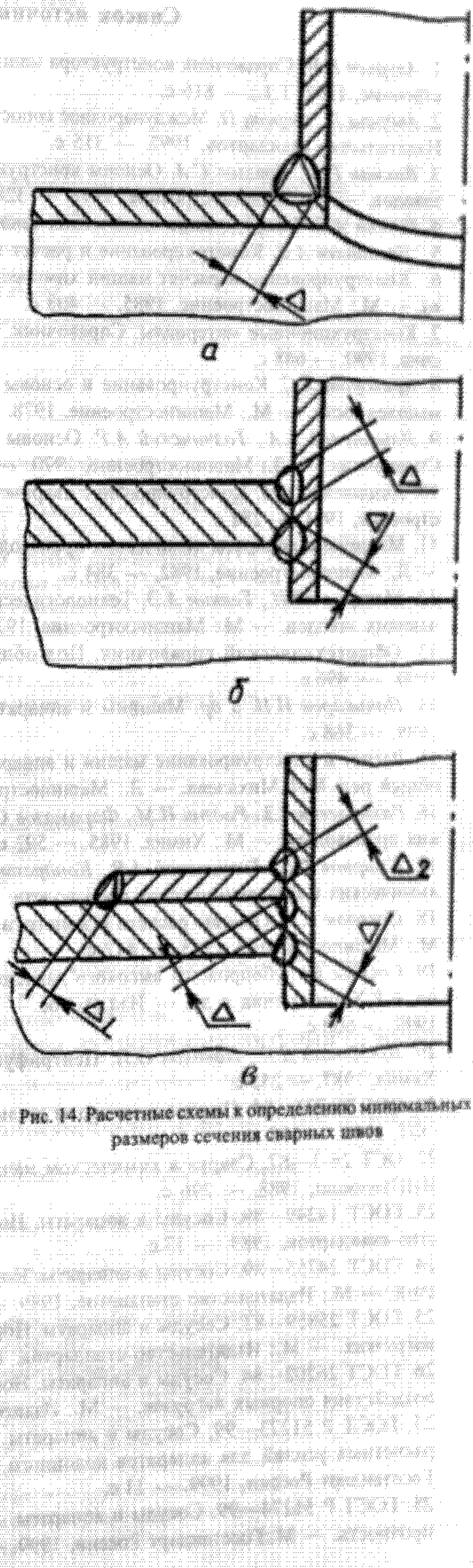


Рис. 14. Расчетные схемы к определению минимальных размеров сечения сварных швов

Список источников информации

1. *Анурьев В.И.* Справочник конструктора машиностроителя в 3-х томах. — Изд. 7-е. — М.: Машиностроение, 1992. Т.1 . — 816 с.
2. *Андраш Л., Ференц П.* Международное сопоставление стандартных марок сталей: Справочник — М.: Издательство стандартов, 1992. — 315 с.
3. *Вихман Г.Л., Круглов С.А.* Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов. — М.: Машиностроение, 1978. — 328 с.
4. *Генкин А.Э.* Оборудование химических заводов. — М.: Высшая школа, 1978. — 272 с.
5. *Домашнев А.Д.* Конструирование и расчет химических аппаратов. — М.: Машгиз, 1961. — 624 с.
6. Конструирование и расчет машин химических производств. Под общей ред. Э.Э.Кольман-Иванова. — М.: Машиностроение, 1985. — 408 с.
7. Конструкционные материалы. Справочник. Под общей ред. Б.Н.Арзамасова. — М.: Машиностроение, 1990. — 688 с.
8. *Криворот А.С.* Конструирование и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности. — М.: Машиностроение, 1978. — 376 с.
9. *Лащинский А.А., Толчинский А.Р.* Основы конструирования и расчета химической аппаратуры: Справочник. — Л.: Машиностроение, 1970. — 752 с.
10. *Лащинский А.А.* Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. — Л.: Машиностроение, 1981. — 282 с.
11. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи. Под общей ред. В.Н.Соколова. — Л.: Машиностроение, 1982. — 384 с.
12. *Макаров Ю.И., Генкин А.Э.* Технологическое оборудование химических и нефтегазоперерабатывающих заводов. — М.: Машиностроение, 1976. — 367 с.
13. Общетехнический справочник. Под общей ред. Е.А.Скоморохова. — М.: Машиностроение, 1990 . — 496 с.
14. *Поникаров И.И. и др.* Машины и аппараты химических производств. — М.: Машиностроение, 1989. — 368 с.
15. Расчет и конструирование машин и аппаратов химических производств. Примеры и задачи. Под общей ред. М.Ф.Михалева. — Л.: Машиностроение, 1984. — 301 с.
16. *Рахмилевич З.З., Радзин И.М., Фарамазов С.А.* Справочник механика химических и нефтехимических производств. — М.: Химия, 1985. — 592 с.
17. *Смирнов Г.Г., Толчинский А.Р., Кондратьева Т.Ф.* Конструирование безопасных аппаратов для химических и нефтехимических производств: Справочник. — Л.: Машиностроение, 1988. — 303 с.
18. *Соколов В.И.* Основы расчета и конструирования машин и аппаратов пищевых производств. — М.: Машиностроение, 1983. — 447 с.
19. Сосуды и трубопроводы высокого давления: Справочник. Под ред. А.М.Кузнецова, В.И.Лифшица, Е.Р.Хисматулина и др. — Изд.второе. — Иркутск: ГП «Иркутская областная типография №1», 1990. — 600 с.
20. *Шкропад Д.Е., Новиков О.П.* Центрифуги и сепараторы для химических производств. — М.: Химия, 1987. — 255 с.
21. ОСТ 26-291—94. Сосуды и аппараты стальные сварные. Общие технические условия. — М.: НПО ОБТ, 1996. — 335 с.
22. ОСТ 26-3—87. Сварка в химическом машиностроении. Основные положения. — М.: Ротапринт НИИхиммаш, 1988. — 296 с.
23. ГОСТ 14249—89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. — М.: Издательство стандартов, 1989. — 77 с.
24. ГОСТ 24755—89. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность укрепления отверстий. — М.: Издательство стандартов, 1989. — 32 с.
25. ГОСТ 25859—83. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках. — М.: Издательство стандартов, 1983. — 27 с.
26. ГОСТ 26202—84. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность обечаек и днищ от воздействия опорных нагрузок. — М.: Издательство стандартов, 1984. — 35 с.
27. ГОСТ Р 51273—99. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Определение расчетных усилий для аппаратов колонного типа от ветровых и сейсмических воздействий. — М.: Госстандарт России, 1999. — 11 с.
28. ГОСТ Р 51274—99. Сосуды и аппараты. Аппараты колонного типа. Нормы и методы расчета на прочность. — М.:Госстандарт России, 1999. — 11 с.

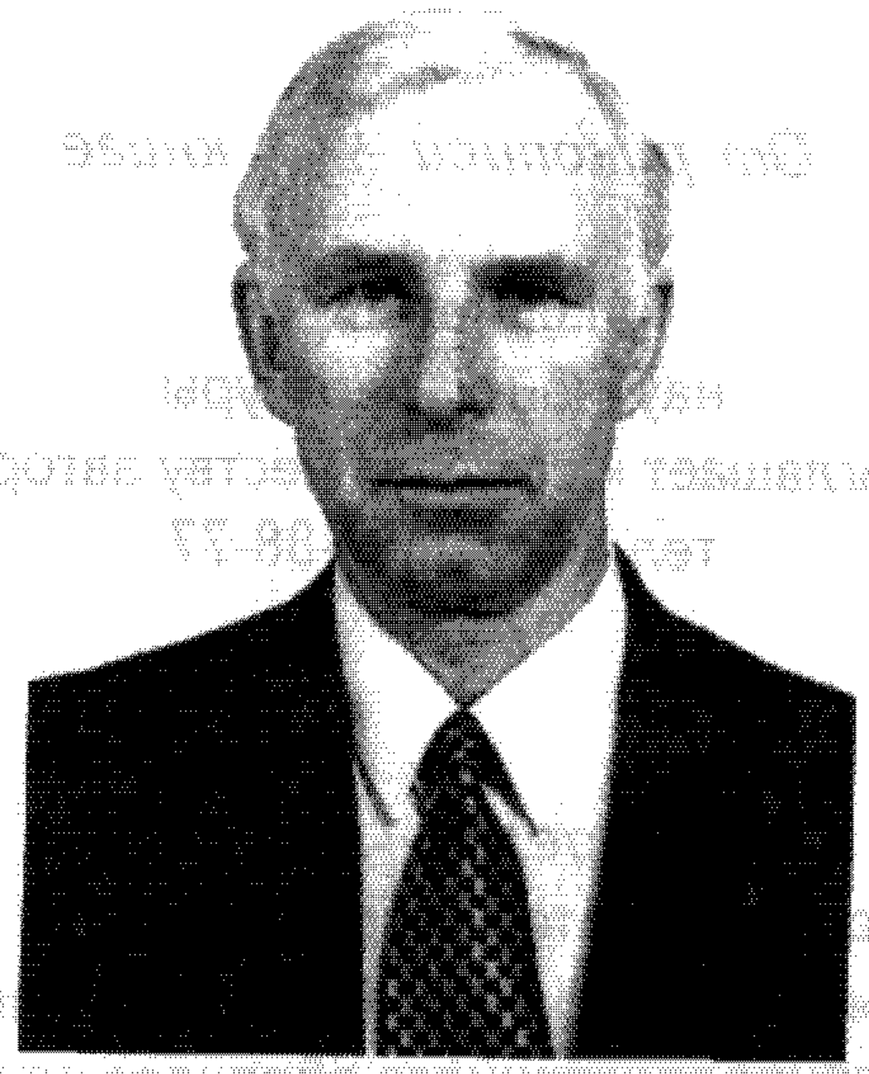
ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3
ПРЕДИСЛОВИЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНИЮ 4
ОСНОВНЫЕ УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ 8
ЧАСТЬ I. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ 9
Глава 1. Требования, предъявляемые к конструкционным материалам для технологической аппаратуры 9
Глава 2. Стали 12
2.1. Листовая сталь 13
2.2. Международное сопоставление стандартных марок сталей 56
Глава 3. Чугуны 66
Глава 4. Сортамент 69
4.1. Трубы стальные 83
4.2. Поковки стальные 119
4.3. Отливки стальные 125
4.4. Крепежные детали 128
Глава 5. Материалы для аппаратов и трубопроводов высокого давления 133
Глава 6. Цветные металлы и сплавы 150
6.1. Прутки прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 21488—97) 159
6.2. Ленты из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 13726—97) 162
6.3. Уголки, прессованные из алюминия и алюминиевых сплавов равнополочные (ГОСТ 13737—90) 167
6.4. Швеллер равнотолщинный из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 13623—90) 168
6.5. Двутавр прессованный из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 13621—90) 169
6.6. Зет нормальный П500 из алюминия и алюминиевых сплавов (ГОСТ 13620—90) 170
6.7. Медь 171
6.8. Сортамент медных круглых прутков (ГОС 1535—91) 171
6.9. Медно-цинковые сплавы (латуни), обрабатываемые давлением (ГОСТ 15527—70) 171
6.10. Латунные прутки (ГОСТ 2060—90) 172
6.11. Листы и полосы латунные (ГОСТ 931—90) 173
6.12. Ленты латунные общего назначения (ГОСТ 2208—75) 175
6.13. Латунная проволока ГОСТ 1066—90) 175
6.14. Рекомендуемый сортамент медных и латунных тонкостенных трубок (ГОСТ 11383—75) 177
6.15. Прутки, катанные из титановых сплавов (ГОСТ 26492—85) 183
6.16. Листы из титана и титановых сплавов (ГОСТ 22178—76) 184
6.17. Плиты из титановых сплавов (ГОСТ 23755—79Е) 186
6.18. Прутки, листы, полосы из никеля и его сплавов 187
Глава 7. Неметаллические материалы 197
7.1. Неметаллические материалы, преимущественно применяемые в технологическом аппаратостроении 197
7.2. Механические и физические свойства неметаллических материалов 208
7.3. Сортамент полуфабрикатов и изделий из неметаллических материалов 213
ЧАСТЬ II. СВАРКА, ПАЙКА И СКЛЕИВАНИЕ В ИЗГОТОВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ 223
Глава 8. Неразъемные соединения 223
8.1. Сварные соединения 223
8.1.1. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых соединений ручной дуговой сваркой (ГОСТ 5264—80) 230
8.1.2. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых соединений сваркой под флюсом (ГОСТ 8713—79) 243
8.1.3. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых соединений в среде защитных газов (ГОСТ 14771—76) 253
8.1.4. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых соединений электрошлаковой сваркой (ГОСТ 15164—78) 265
8.1.5. Конструктивные элементы подготовленных кромок свариваемых соединений из двухслойной коррозионностойкой стали (ГОСТ 16098—80) 273
8.1.6. Конструктивные элементы подготовленных кромок сварных соединений стальных трубопроводов (по ГОСТ 16037—80) 283
8.1.7. Материалы и режимы сварки 296
8.1.8. Сварка двухслойных сталей 308
8.1.9. Сварка разнородных сталей 313
8.1.10. Сварка алюминия и его сплавов 315
8.1.11. Сварка меди и медных сплавов 319
8.1.12. Газовая сварка латуни 322

8.1.13. Сварка никеля ... 323
8.1.14. Сварка титановых сплавов ... 334
8.1.15. Сварные соединения из алюминия и алюминиевых сплавов ... 337
8.1.16. Сварные соединения из винипласта и полиэтилена ... 353
8.1.17. Расчет прочности сварных соединений ... 358
8.2. Паяные соединения ... 360
8.2.1. Оловянно-свинцовые припои ... 360
8.2.2. Серебряные припои ... 362
8.2.3. Медно-цинковые припои ... 363
8.2.4. Основные типы и параметры паяных соединений ... 364
8.2.5. Пределы прочности на срез паяных соединений ... 366
8.2.6. Допускаемые напряжения в паяных соединениях ... 367
8.3. Клеевые соединения ... 367
8.3.1. Конструктивные элементы склеиваемых деталей ... 368
Глава 9. Покрытия ... 370
9.1. Клеи и другие вспомогательные материалы ... 378
9.2. Кислотоупорные замазки, цементы и герметики ... 381
Глава 10. Материалы для прокладок и набивок ... 382
Глава 11. Сетки и ткани фильтровальные ... 389
11.1 Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками нормальной точности (ГОСТ 6613—86) ... 389
11.2. Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками контрольные и высокой точности (ГОСТ 6613—86) ... 389
11.3. Ткани фильтровальные ... 390
ЧАСТЬ III. КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ... 394
Глава 12. Общие сведения ... 394
12.1. Назначение и характеристика технологических аппаратов ... 394
12.2. Основные расчетные параметры и другие данные ... 395
12.3. Расчет на механическую прочность ... 396
12.4. Требования, предъявляемые к сварным технологическим аппаратам ... 411
12.4.1. Общие требования ... 411
12.4.2. Требования к конструированию ... 411
12.4.3. Требования к изготовлению ... 412
12.4.4. Требования к испытаниям ... 413
12.4.5. Требования к эксплуатации ... 413
12.4.6. Общие указания и рекомендации ... 413
12.4.7. Техническое задание ... 414
12.4.8. Паспорт аппарата ... 414
12.5. Технология изготовления стальных сварных технологических аппаратов ... 414
12.5.1. Хранение и подготовка конструкционных материалов ... 414
12.5.2. Вальцовка, штамповка, отбортовка и гнутье деталей ... 415
12.5.3. Сварка ... 415
12.5.4. Сборка ... 418
12.5.5. Термообработка ... 418
12.5.6. Консервация, окраска, упаковка, транспортировка и хранение ... 419
12.6. Испытание аппаратов ... 421
12.6.1. Контроль качества конструкционного материала и сварных соединений ... 421
12.6.2. Испытания аппаратов на прочность и герметичность ... 425
Глава 13. Обечайки цилиндрические ... 427
13.1. Конструкции ... 427
13.2. Расчет цилиндрических обечаек ... 428
13.2.1. Расчет обечаек, нагруженных внутренним избыточным давлением. ... 429
13.2.2.Расчет обечаек, нагруженных наружным давлением ... 429
13.2.3. Расчет обечаек, нагруженных осевой растягивающей силой P и внутренним избыточным давлением $p_и$ ... 429
13.2.4. Расчет обечаек, нагруженных внешней осевой сжимающей силой ... 430
13.2.5. Расчет обечаек, нагруженных внешним изгибающим моментом ... 431
13.2.6. Расчет обечаек, нагруженных внешней поперечной силой ... 431
13.2.7. Расчет обечаек, работающих под совместным действием наружного давления, внешней осевой сжимающей силы и внешнего изгибающего момента ... 431
13.2.8. Расчет обечаек с кольцами жесткости, нагруженных внутренним избыточным давлением ... 432
13.2.9. Расчет обечаек с кольцами жесткости, нагруженных наружным давлением ... 433
13.2.10. Расчет обечаек с кольцами жесткости, нагруженными совместно действующими нагрузками $p_и$, P, Q и M ... 434
Примеры ... 435

Глава 14. Днища и крышки приварные 446
14.1. Конструкции 446
14.2. Расчет днищ и крышек 466
14.2.1. Расчет днищ, нагруженных внутренним избыточным давлением 466
14.2.2. Расчет днищ, нагруженных наружным давлением 466
14.2.3. Расчетные схемы и расчетные параметры 466
14.2.4. Условия применения формул расчета 467
14.2.5. Расчет гладких конических обечаек, нагруженных внутренним избыточным давлением 468
14.2.6. Расчет гладких конических обечаек, нагруженных наружным давлением. 468
14.2.7. Расчет конической и цилиндрической части или двух конических частей, соединенных между собой без тороидального перехода нагруженных внутренним избыточным или наружным давлением. 469
14.2.8. Расчет конической и цилиндрической части или двух конических частей, соединенных между собой тороидальным переходом, нагруженных внутренним избыточным или наружным давлением 470
14.2.9. Расчет пологого конического днища с тороидальным переходом, нагруженного внутренним избыточным давлением 470
14.2.10. Расчет конической и цилиндрической обечаек, соединенных между собой укрепляющим кольцом, нагруженных внутренним избыточным или наружным давлением 470
14.2.11. Расчет пологого конического днища и цилиндрической обечайки, соединенных между собой укрепляющим кольцом, нагруженного внутренним избыточным давлением 471
14.2.12. Расчет соединения штуцера или цилиндрической обечайки с конической обечайкой по меньшему диаметру, нагруженного внутренним избыточным или наружным давлением 472
14.2.13. Расчет гладких конических обечаек, нагруженных осевой растягивающей силой 472
14.2.14. Расчет гладких конических обечаек, нагруженных осевой сжимающей силой 473
14.2.15. Расчет конической и цилиндрической части или двух конических частей, соединенных между собой без тороидального перехода, нагруженных осевой растягивающей или сжимающей силой 473
14.2.16. Расчет конической и цилиндрической части или двух конических частей, соединенных между собой тороидальным переходом, нагруженных осевой растягивающей или сжимающей силой 473
14.2.17. Расчет конической и цилиндрической обечаек, соединенных между собой укрепляющим кольцом, нагруженных осевой растягивающей или сжимающей силой 474
14.2.18. Расчет соединения штуцера или цилиндрической обечайки с конической обечайкой по меньшему диаметру$_м$, нагруженных осевой растягивающей или сжимающей силой 474
14.2.19. Расчет гладких конических обечаек, нагруженных внешним изгибающим моментом. 474
14.2.20. Расчет соединения конических и цилиндрических обечаек, нагруженных внешним изгибающим моментом 475
14.2.21. Расчет конических обечаек от сочетания нагрузок 475
14.2.22. Расчет гладких конических обечаек при совместном действии нагрузок 475
14.2.23. Расчет переходной части конических обечаек при совместном действии нагрузок 475
14.2.24. Расчет крышек и днищ, нагруженных внутренним избыточным давлением 475
14.2.25. Расчет крышек и днищ, нагруженных наружным давлением 476
14.2.26. Условия применения формул расчета 477
14.2.27. Расчет плоских круглых днищ и крышек, нагруженных внутренним избыточным или наружным давлением 477
14.3. Узлы сопряжения оболочек 480
Примеры 488
Глава 15. Крышки отъемные, люки 494
15.1. Конструкции 494
15.2. Расчет крышек 497
Примеры 499
Глава 16. Рубашки 508
16.1. Конструкции 508
16.2. Расчет корпусов аппаратов с неразъемными рубашками 508
Глава 17. Штуцера 517
Глава 18. Укрепление отверстий в стенках аппарата 526
18.1. Конструкции 526
18.2. Расчет укрепления отверстий 527
18.2.1. Область применения и основные формулы 527
18.2.2. Одиночные отверстия 529
18.2.3. Учет взаимного влияния отверстий 535
Примеры 536
Глава 19. Фланцевые соединения 541
19.1. Конструкции 541
19.2. Прокладки для герметизации фланцевых соединений 569
19.3. Фланцевые бобышки 574
19.4. Расчет фланцевых соединений 579

Пример ... 589
Глава 20. Опоры аппаратов ... 594
20.1. Конструкции ... 594
20.2. Расчет опор для вертикальных аппаратов ... 608
20.3. Расчет горизонтальных аппаратов, установленных на седловых опорах ... 610
20.4. Расчет опор колонных аппаратов на ветровую нагрузку и сейсмические воздействия ... 617
Общие расчетные нагрузки и расчетная температура ... 622
Проверочные расчеты ... 623
Глава 21. Устройства для стропки аппаратов ... 627
21.1. Конструкции ... 627
21.2. Расчет корпуса аппарата на нагрузки, действующие на строповое устройство ... 627
Глава 22. Тарелки ... 637
22.1. Тарелки с одной зоной контакта фаз ... 637
22.2. Тарелка с двумя зонами контакта фаз ... 662
Глава 23. Трубные решетки ... 674
23.1. Конструкции ... 674
23.2. Расчет на прочность элементов кожухотрубчатых теплообменных аппаратов ... 678
Глава 24. Вращающиеся элементы технологического оборудования ... 688
24.1. Валы ... 688
24.1.1. Критическая угловая скорость и условие виброустойчивости ротора, имеющего вал постоянного поперечного сечения ... 690
24.1.2. Расчет валов переменного сечения ... 697
Примеры ... 706
24.2. Диски ... 718
Примеры ... 733
24.3. Быстровращающиеся обечайки ... 738
Примеры ... 744
24.4. Тихоходные барабаны ... 749
Примеры ... 755
24.5. Механические перемешивающие устройства ... 761
24.5.1. Мешалки ... 761
24.5.2. Валы и опоры валов перемешивающих устройств ... 771
24.5.3. Стойки вертикальных приводов аппаратов с перемешивающими устройствами ... 773
Глава 25. Уплотнение валов аппаратов ... 777
25.1. Типовые торцовые уплотнения (ОСТ 26-01-1243—75) ... 780
25.1.1. Торцовые уплотнения типа ТТ ... 783
25.1.2. Торцовое уплотнение типа ТСК ... 784
25.1.3. Торцовое уплотнение типа ТДМ-6 ... 785
25.1.4. Торцовое уплотнение типа ТДМ-16 ... 786
25.1.5. Торцовое уплотнение типа ТДМ-32 ... 787
25.1.6. Торцовое уплотнение типа ТД-6 ... 788
25.1.7. Торцовое уплотнение типа ТД-25 (ТД-32) ... 789
25.1.8. Торцовое уплотнение типа ТДП-25 (ТДП-32) ... 790
25.1.9. Торцовое уплотнение типа ТСФ ... 792
25.1.10. Торцовое уплотнение типа ТДФ ... 793
25.1.11. Торцовое уплотнение типа ТДПФ ... 794
25.1.12. Торцовое уплотнение типа ТДПФ-01 ... 795
25.1.13. Торцовое уплотнение типа ТДПН 110-6К ... 796
25.2. Сальниковые уплотнения ... 796
Глава 26. Аппараты высокого давления ... 800
26.1. Общие сведения ... 800
26.2. Конструкции основных элементов АВД ... 805
26.2.2. Днища ... 805
26.2.3. Фланцы и горловины ... 806
26.2.4. Крышки ... 808
26.2.5. Трубные решетки ... 809
26.2.6. Штуцера ... 810
26.3. Расчет элементов АВД на прочность (ГОСТ 25215—82, ОСТ 26-1046-87) ... 811
26.4. Примеры ... 814
Глава 27. Нормы и методы расчета на прочность при малоцикловых нагрузках (ГОСТ 25859—83) ... 817
27.1. Условия применения ... 817
27.2. Упрощенный расчет на малоцикловую усталость ... 821
27.3. Уточненный расчет на малоцикловую усталость ... 822
Приложения ... 825
Приложение № 1 ... 825
Приложение № 2 ... 837
СПИСОК ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ ... 846



ТИМОНИН
Александр Семенович

Заслуженный изобретатель РФ, действующий член академии теоретических проблем, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное конструирование машин и аппаратов» Московского государственного университета инженерной экологии. Известен своими трудами в области конструирования и расчёта аппаратов химических производств, природоохранного оборудования, тепло- и массопереноса в системах с твёрдой фазой. Имеет более 150 научных публикаций, в том числе автор восьми монографий.

От рукописи — к книге

Издательство
научной литературы
приглашает к сотрудничеству авторов
тел. (084-2)57-88-77

Уважаемые господа!

По вопросу приобретения справочника в 3-х томах
А.С.Тимонина «Основы конструирования и расчета химико-технологического
и природоохранного оборудования»
обращайтесь по одному из адресов:

- 107884, Москва, ГСП, ул. Старая Басманная, д.21/4,
  МГУИЭ, каф. АКМ и А, к проф. А.С. Тимонину
- тел. (095) 267-19-91
- факс 261-96-12 (МГУИЭ для А.С. Тимонина)
- электронная почта: timonin@msuie.ru
- издательство (084-2) 57-88-77.

Тимонин Александр Семенович

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО И ПРИРОДООХРАННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Издание 2-е, переработанное и дополненное

Справочник
Том 1

Лицензия ИД 06130 от 26.10.01
выдана Министерством РФ по делам печати,
телерадиовещания и средств массовых коммуникаций

Подписано в печать 12.12.00. Формат 60×84 1/8.
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Гарнитура «Таймс».
Объем 106,5 п. л. Тираж 1000 экз. Заказ 2871.

Издательство Н. Бочкаревой, 248023, г. Калуга, пл. Победы, 2-28,
тел.: (084-2)57-88-77, (084-2)547-107, 547-347.

Отпечатано в ОАО «Калужская типография стандартов».
248021, Калуга, ул. Московская, 256. Тел. (0842) 55-10-
12. ПЛР № 040138