

**НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ
СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Правила проектирования

**ПОМПАВЫЯ СТАНЦЫ
СІСТЭМ ВОДАЗАБЕСПЯЧЭННЯ**

Правілы праектавання

Издание официальное

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь
Минск 2011

Ключевые слова: арматура, высота всасывания, давление, дросселирование, изменение характеристик насоса, коллектор, контрольно-измерительное оборудование, насосные станции, насосы, привод насосов, параллельная работа насосов, последовательная работа насосов, рабочее колесо, технологические трубопроводы, характеристики насосов

Предисловие

Цели, основные принципы, положения по государственному регулированию и управлению в области технического нормирования и стандартизации установлены Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

1 РАЗРАБОТАН научно-проектно-производственным республиканским унитарным предприятием «Стройтехнорм» (РУП «Стройтехнорм»), техническим комитетом по стандартизации в области архитектуры и строительства «Водохозяйственное строительство, водоснабжение и водоотведение» (ТКС 05)

ВНЕСЕН главным управлением научно-технической политики и лицензирования Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

2 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ приказом Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь от 7 июня 2010 г. № 204

В Национальном комплексе технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства настоящий технический кодекс установившейся практики входит в блок 4.01 «Водоснабжение и водоотведение»

3 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

© Минстройархитектуры, 2011

Настоящий технический кодекс установившейся практики не может быть воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь

Содержание

1	Область применения.....	1
2	Нормативные ссылки	1
3	Термины и определения и сокращения.....	2
4	Общие требования	2
5	Насосы	3
5.1	Типы насосов. Классификация	3
5.2	Показатели насосов.....	5
5.3	Характеристики насосов.....	7
5.4	Режимы работы насосов, насосных установок и их регулирование.....	12
6	Привод насосов	13
7	Оборудование насосных станций	14
7.1	Общие положения.....	14
7.2	Определение параметров основного оборудования.....	16
7.3	Определение мощности приводного двигателя.....	20
8	Всасывающие и напорные линии насосных станций.....	21
8.1	Общие положения.....	21
8.2	Всасывающие линии насосных станций.....	23
8.3	Напорные линии насосных станций	24
9	Резерв мощности насосных станций.....	26
10	Габариты насосной станции	26
10.1	Общие положения.....	26
10.2	Определение размеров в плане.....	27
10.3	Определение размеров в вертикальной плоскости.....	27
11	Электроснабжение	31
12	Средства контроля и управления насосной станцией.....	32
12.1	Общие положения.....	32
12.2	Процессы, выполняемые приборами автоматики на насосных станциях.....	33
13	Строительные решения и конструкции зданий насосных станций.....	34
13.1	Общие положения.....	34
13.2	Компоновочные решения	35
13.3	Подземная часть здания	35
13.4	Наземная часть здания	35
13.5	Служебные помещения.....	35
13.6	Противопожарные требования.....	36
13.7	Отопление и вентиляция.....	36
14	Блочные насосные станции.....	36

Приложение А (справочное) Изменение характеристик насоса при изменении частоты вращения и геометрических параметров рабочего колеса. Примеры расчета.....	37
Приложение Б (справочное) Построение графической характеристики совместной работы насосов, водовода и водопроводной сети. Примеры расчета.....	41
Приложение В (справочное) Системы для заливки насосов, установленных выше уровня воды в резервуарах или водоисточниках.....	47
Приложение Г (справочное) Средства защиты насосных станций от гидравлического удара.....	54
Приложение Д (справочное) Методика определения технико-экономической эффективности применения АСУ с регулируемым приводом в насосных установках	60
Библиография.....	63

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ

НАСОСНЫЕ СТАНЦИИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ
Правила проектирования**ПОМПАВЫЯ СТАНЦЫІ СІСТЭМ ВОДАЗАБЕСПЯЧЭННЯ**
Правілы праектаванняPumping stations of water supply systems
Design rules

Дата введения 2011-01-01

1 Область применения

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее — технический кодекс) устанавливает правила проектирования насосных станций централизованных и локальных систем водоснабжения населенных пунктов и объектов.

Требования настоящего технического кодекса являются обязательными при разработке проектной документации для вновь строящихся и реконструируемых насосных станций.

2 Нормативные ссылки

В настоящем техническом кодексе использованы ссылки на следующие технические нормативные правовые акты в области технического нормирования и стандартизации (далее — ТНПА):¹⁾

ТКП 45-4.01-31-2009 (02250) Сооружения водоподготовки. Строительные нормы проектирования

ТКП 45-4.01-32-2010 (02250) Наружные водопроводные сети и сооружения. Строительные нормы проектирования

ТКП 45-4.01-52-2007 (02250) Системы внутреннего водоснабжения зданий. Строительные нормы проектирования

ТКП 45-3.02-90-2008 (02250) Производственные здания. Строительные нормы проектирования

ТКП 45-2.02-138-2009 (02250) Противопожарное водоснабжение. Строительные нормы проектирования

ТКП 45-4.01-197-2010 (02250) Наружные водопроводные сети и сооружения. Правила проектирования

СТБ 1884-2008 Водоснабжение питьевое. Термины и определения

ГОСТ 6134-2007 Насосы динамические. Методы испытаний

ГОСТ 17398-72 Насосы. Термины и определения

СНБ 1.03.02-96 Состав, порядок разработки и согласования проектной документации в строительстве

СНБ 2.02.01-98 Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов

СНБ 2.02.02-01 Эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре

СНБ 4.01.01-03 Водоснабжение питьевое. Общие положения и требования

СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.

¹⁾ СНБ имеют статус технического нормативного правового акта на переходный период до их замены техническими нормативными правовыми актами, предусмотренными Законом Республики Беларусь «О техническом нормировании и стандартизации».

Примечание — При пользовании настоящим техническим кодексом целесообразно проверить действие ТНПА по Перечню технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства, действующих на территории Республики Беларусь, и каталогу, составленным по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочные ТНПА заменены (изменены), то при пользовании настоящим техническим кодексом следует руководствоваться замененными (измененными) ТНПА. Если ссылочные ТНПА отменены без замены, то положение, в котором дана ссылка на них, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения и сокращения

В настоящем техническом кодексе применяют термины, приведенные в СТБ 1884, ГОСТ 17398, СНБ 4.01.01, [1] и [2], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 вакууметрическая высота всасывания: Высота всасывания с учетом гидравлических потерь во всасывающем трубопроводе и скоростного напора на входе во всасывающий патрубок насоса.

3.2 воздушный разрыв: Воздушная прослойка по вертикали не менее 0,2 м между нижней образующей трубы или ее торцом (при вертикальном положении) и верхним краем борта водоприемника (воронки, трапа, резервуара, люка канализационного колодца, бровки канала) или уровнем 2 %-ной обеспеченности в водоеме или водотоке.

3.3 всасывающий трубопровод: Участок трубопровода между заборным оголовком и всасывающим коллектором.

3.4 всасывающий коллектор: Трубопровод, расположенный внутри здания насосной станции, к которому подключают внешние всасывающие трубопроводы и внутростанционные всасывающие трубопроводы от всасывающих патрубков насосов.

3.5 диктующая точка: Наивысшая и (или) наиболее удаленная точка водопроводной сети, в которой при обеспечении нормативного свободного давления во всех остальных точках этой сети создаются свободные давления, превышающие нормативные.

3.6 напорный коллектор: Трубопровод, к которому подключают напорные трубопроводы насосов и все нитки водовода.

3.7 насосная станция второго подъема: Насосная станция, забирающая воду из резервуаров чистой воды водозабора и подающая ее по водоводам к снабжаемому объекту.

3.8 повысительная насосная установка; ПНУ: Установка, включающая в себя насосы с аккумулялирующими емкостями или без них, которая забирает воду без разрыва струи из водопроводной сети низкого давления и подает ее в водопроводную сеть зданий повышенной этажности или высотных зданий.

3.9 рабочая точка: Точка пересечения характеристики напорного трубопровода с характеристикой $p = f(Q)$ насоса(-ов).

3.10 регулируемый насос: Насос, обеспечивающий изменение подачи, а для динамических насосов — и давления.

4 Общие требования

4.1 Разработка проектной документации на строительство водопроводных насосных станций должна осуществляться в соответствии с требованиями СНБ 1.03.02 и других ТНПА.

4.2 При проектировании новых или реконструируемых водопроводных насосных станций следует учитывать возможности:

- обеспечения подачи воды на объект в ближайшие 10–15 лет;
- максимального использования существующего оборудования и зданий;
- расположения групп насосов с разными характеристиками в одном здании;
- минимального заглубления машинного зала;
- блокировки насосных станций со зданиями по очистке и хранению питьевой воды;
- максимального использования средств по автоматическому управлению режимами работы;
- установки более мощного оборудования при перспективном развитии;
- обеспечения мелкого ремонта непосредственно на насосной станции;
- создания бытовых условий при диспетчерском управлении насосной станцией;
- защиты насосов от гидравлических ударов;
- удобства обслуживания насосов, регулирующего и другого оборудования.

4.3 При реконструкции насосной станции следует провести ее предпроектное обследование. При этом определяются:

- техническое состояние здания насосной станции;
- глубина заложения фундаментов здания и насосов;
- техническое состояние трансформаторной подстанции (ТП) и распределительного устройства (РУ);
- установленная мощность насосной станции;
- марки насосов и их приводов;
- режимы работы насосной станции в различные периоды года;
- коэффициенты неравномерности подачи воды в водопроводную сеть населенного пункта;
- абсолютные отметки пола машинного зала, днища, минимального, пожарного и максимального уровня воды в резервуарах чистой воды;
- удельный расход электроэнергии на подачу воды в водопроводную сеть за последние два года;
- фактические гидравлические и энергетические характеристики насосов;
- техническое состояние грузоподъемного оборудования;
- техническое состояние дренажной системы;
- наличие подсобных помещений и мастерской для мелкого ремонта насосов и запорно-регулирующего оборудования;
- техническое состояние запорно-регулирующего оборудования;
- схема коммуникаций машинного зала и площадки второго подъема (исполнительная съемка М 1:500) с уточненными диаметрами и длинами трубопроводов;
- фактические гидравлические сопротивления всасывающих трубопроводов от резервуаров до насосов;
- фактические гидравлические сопротивления напорных трубопроводов от насосной станции второго подъема до начала распределительной водопроводной сети;
- места установки контрольно-измерительных приборов, достаточность и правильность их монтажа.

4.4 При предпроектном обследовании на каждый вид оборудования составляют акт о его дальнейшем использовании или замене.

4.5 После предпроектного обследования составляют техническое задание на реконструкцию насосной станции.

5 Насосы

5.1 Типы насосов. Классификация

5.1.1 По принципу действия насосы подразделяются на динамические и объемные.

Типы насосов, их классификация по виду сил, действующих на жидкую среду, по характеру и направлению движения жидкой среды, по виду и конструкции рабочих органов, по виду отвода жидкости приведены в ГОСТ 17398.

5.1.2 Динамические насосы по конструктивным признакам (форме рабочего колеса и характеру движения жидкости в проточной части) подразделяются на лопастные и вихревые.

В лопастных насосах преобразование механической энергии привода в гидравлическую энергию перекачиваемой жидкости происходит в рабочем колесе и расположенном за ним отводе, служащих для преобразования части кинетической энергии в энергию давления.

Вихревой насос состоит из рабочего колеса с радиальными лопастями, установленного в цилиндрический корпус. В боковых и периферийных стенках корпуса имеется концентричный канал, соединяющий всасывающее и нагнетательное отверстия, между которыми имеется перемычка. Жидкость от всасывающего патрубка прогоняется лопатками по каналу к нагнетательному патрубку.

К лопастным насосам относятся центробежные, диагональные и осевые, отличающиеся друг от друга по направлению потока жидкости на выходе из рабочего колеса. Направление движения потока жидкости на выходе из рабочего колеса лопастных насосов показано на рисунке 5.1.

Лопастные насосы подразделяются по количеству потоков внутри рабочего колеса (одностороннего и двустороннего входа) и по количеству ступеней рабочих колес в насосе (одноступенчатый, многоступенчатый).

По расположению оси вращения вала насосы подразделяются на вертикальные, горизонтальные и с наклонной осью.

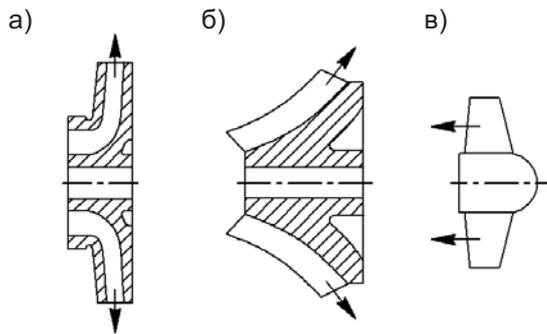


Рисунок 5.1 — Классификация лопастных насосов по направлению потока жидкости на выходе из рабочего колеса:
а — центробежный;
б — диагональный;
в — осевой

По всасывающей способности насосы подразделяются на самовсасывающие и несамовсасывающие.

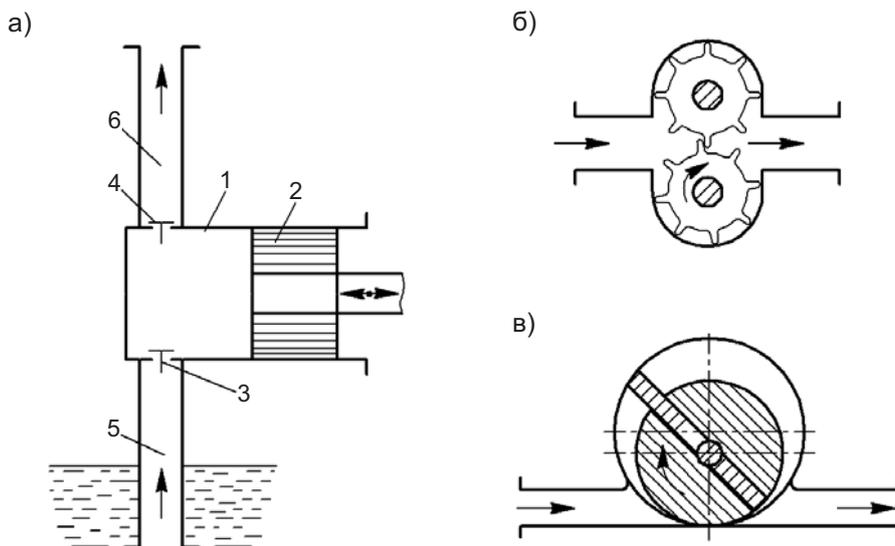
По величине создаваемого давления центробежные насосы подразделяются на низконапорные (давление до 0,2 МПа), средненапорные (давление от 0,2 до 0,6 МПа) и высоконапорные (давление выше 0,6 МПа).

По способу соединения с двигателем центробежные насосы подразделяются на приводные (со шкивом или редуктором), соединяемые непосредственно с двигателем с помощью муфт, и моноблочные.

По роду перекачиваемой жидкости насосы бывают водопроводные, канализационные, теплофикационные (для горячей воды), кислотные, грунтовые и др.

Классификация насосов по назначению не может быть строгой, так как одни и те же насосы применяются в водоснабжении, энергетике, в химическом производстве и т. д.

5.1.3 Объемные насосы по принципу действия рабочего органа подразделяются на поршневые и роторные (шестеренные, пластинчатые и др.). В роторных насосах рабочим органом могут быть зубчатые колеса, винты, пластины. Принципиальные схемы объемных насосов приведены на рисунке 5.2.



1 — цилиндр; 2 — поршень; 3, 4 — клапаны;
 5 — всасывающий трубопровод; 6 — напорный трубопровод

Рисунок 5.2 — Принципиальные схемы объемных насосов:
а — поршневой;
б — шестеренный;
в — пластинчатый

5.2 Показатели насосов

5.2.1 Основными определяемыми показателями насосов согласно ГОСТ 6134 являются:

а) показатели назначения:

- подача;
- напор (давление);
- частота вращения;

б) показатели эффективности и конструктивные:

- кавитационный запас Δh ($NPSH$) ($NPSHA$, $\Delta h_{\text{доп}}$ или $NPSHR$, $\Delta h_{\text{кр}}$ или $NPSH3$);
- коэффициент полезного действия (КПД);
- мощность насоса;
- высота самовсасывания;
- внешняя утечка;
- масса;

в) показатели надежности:

- средняя наработка до отказа;
- ресурс;

г) показатели эргономические:

- вибрация;
- шум;

д) показатели безопасности:

- механические;
- термические;
- электрические.

Необходимость проведения испытаний по определению конкретных показателей устанавливают в программе, методике и технической документации на конкретные типы насосов.

5.2.2 Давление насоса p , МПа, — разность удельных энергий жидкости между напорным и всасывающим патрубками насоса, — вычисляют по формуле

$$p = p_n - p_v + \frac{\rho \cdot (v_n^2 - v_v^2)}{2 \cdot 10^6} + \frac{\rho g}{10^6} \cdot (Z_n - Z_v), \quad (5.1)$$

где p_n , p_v — абсолютное давление соответственно на выходе и входе насоса, МПа;

v_n , v_v — скорость жидкости соответственно на выходе и входе насоса, м/с;

Z_n , Z_v — высота точек замера давления соответственно на выходе и входе насоса от плоскости сравнения, м;

ρ — плотность жидкости, кг/м³;

g — ускорение свободного падения, м/с².

5.2.3 Полезную мощность насоса N_n , кВт, вычисляют по формуле

$$N_n = 10^3 Q p, \quad (5.2)$$

где Q — подача насоса, м³/с.

Вследствие неизбежных потерь энергии в самом насосе потребляемая им мощность должна быть больше полезной мощности. Неизбежные потери энергии в насосе учитывает коэффициент полезного действия η , представляющий собой отношение полезной мощности N_n к мощности потребляемой насосом N ; вычисляют по формуле

$$\eta = \frac{N_n}{N}. \quad (5.3)$$

5.2.4 Кавитационный запас — это надкавитационный напор на входе насоса $NPSH$ (Δh). Согласно ГОСТ 6134 полный абсолютный напор на всасывании за вычетом напора, соответствующего давлению пара, отнесенный к базовой плоскости $NPSH$; вычисляют по формуле

$$NPSH(\Delta h) = H_1 - Z_D + \frac{p_{\text{amb}(6)} - p_v}{\rho g}, \quad (5.4)$$

- где H_1 — полный напор на входе насоса, м;
 Z_D — разность отметок базовой плоскости *NPSH* и эталонной плоскости, м;
 $p_{amb(б)}$ — барометрическое давление, Па;
 p_v — давление насыщенных паров при заданной температуре, Па.

Следует различать следующие виды надкавитационного напора *NPSH*:

— имеющийся *NPSH* (Δh) — *NPSHA*: определяют *NPSH* для заданной подачи условиями установки (диаметр всасывающего трубопровода определенной длины, местные сопротивления, разность отметок оси насоса (базовая плоскость) и уровня воды в источнике (эталонная плоскость), температура перекачиваемой жидкости и геодезическая отметка установки оси насоса);

— допустимый *NPSH* (Δh) — *NPSHR* ($\Delta h_{доп}$): выдаваемое изготовителем насоса минимальное значение *NPSH* для номинальной подачи перекачиваемой жидкости, обеспечивающее работу насоса без падения напора при заданной подаче, т. е. допустимый кавитационный запас $\Delta h_{доп}$;

— критический *NPSH* (Δh) — *NPSH3* ($\Delta h_{кр}$): определяют *NPSH* для 3 % падения полного напора первой ступени насоса как стандартное основание для использования при построении кавитационных характеристик.

5.2.5 Допустимый кавитационный запас насоса $\Delta p_{доп}$, МПа, вычисляют по формуле

$$\Delta p_{доп} = k_3 \Delta p_{кр}, \quad (5.5)$$

где k_3 — коэффициент запаса; принимают в диапазоне от 1,1 до 1,5;

$\Delta p_{кр}$ — кавитационный запас, соответствующий началу снижения параметров при кавитационном испытании насоса, МПа.

Допустимый кавитационный запас приводится в характеристике насоса, получаемой при кавитационном испытании согласно ГОСТ 6134.

5.2.6 Кавитационный запас установки насоса Δp_3 (*NPSHA*), МПа, должен быть больше допустимого кавитационного запаса насоса; вычисляют по формуле

$$\Delta p_3 = p_b + \frac{\rho}{10^6} \cdot \frac{v_b^2}{2} - \frac{p_n}{10^6}, \quad (5.6)$$

где p_n — давление насыщенных паров при температуре перекачиваемой жидкости, Па.

Зависимость давления насыщенного пара и плотности воды от температуры приведена в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Температура, °С	Давление пара, Па	Плотность, кг/м ³
0	610,7	999,80
1	656,4	999,88
2	705,9	999,92
3	757,4	999,96
4	812,9	1000,00
5	871,8	999,98
6	934,9	999,94
7	1001,2	999,90
8	1072,0	999,84
9	1147,3	999,78
10	1227,1	999,70
11	1311,7	999,60
12	1401,5	999,48
13	1496,6	999,34
14	1597,4	999,20
15	1704,0	999,00
16	1816,9	998,88

Окончание таблицы 5.1

Температура, °С	Давление пара, Па	Плотность, кг/м ³
17	1936,3	998,72
18	2062,3	998,54
19	2159,7	998,36
20	2336,9	998,20
21	2485,0	997,96
22	2641,9	997,74
23	2807,6	997,54
24	2982,2	997,32
25	3166,6	997,10
26	3359,7	996,84
27	3563,7	996,56
28	3778,5	996,30
29	4004,0	996,00
30	4241,3	995,70
31	4491,4	995,36
32	4557,1	995,00
33	5018,8	994,64
34	5318,1	994,26
35	5622,1	993,90
36	5939,9	993,54
37	6274,3	993,20
38	6624,4	992,80
39	6991,2	992,44
40	7374,6	992,30
41	7776,7	991,70
42	8198,3	991,32
43	8638,7	990,94
44	9099,6	990,54
45	9582,1	990,20
50	12334,8	988,10

5.2.7 Допустимую геометрическую высоту всасывания насоса $H_{\text{доп}}$, м, вычисляют по формуле

$$H_{\text{доп}} = \frac{10^6}{\rho g} \cdot (p_{\text{атм}} - p_{\text{п}} - \Delta p_{\text{доп}} - \Delta p_{\text{вт}}), \quad (5.7)$$

где $p_{\text{атм}}$ — атмосферное давление, МПа;

$\Delta p_{\text{вт}}$ — потери давления во всасывающем трубопроводе насоса, МПа.

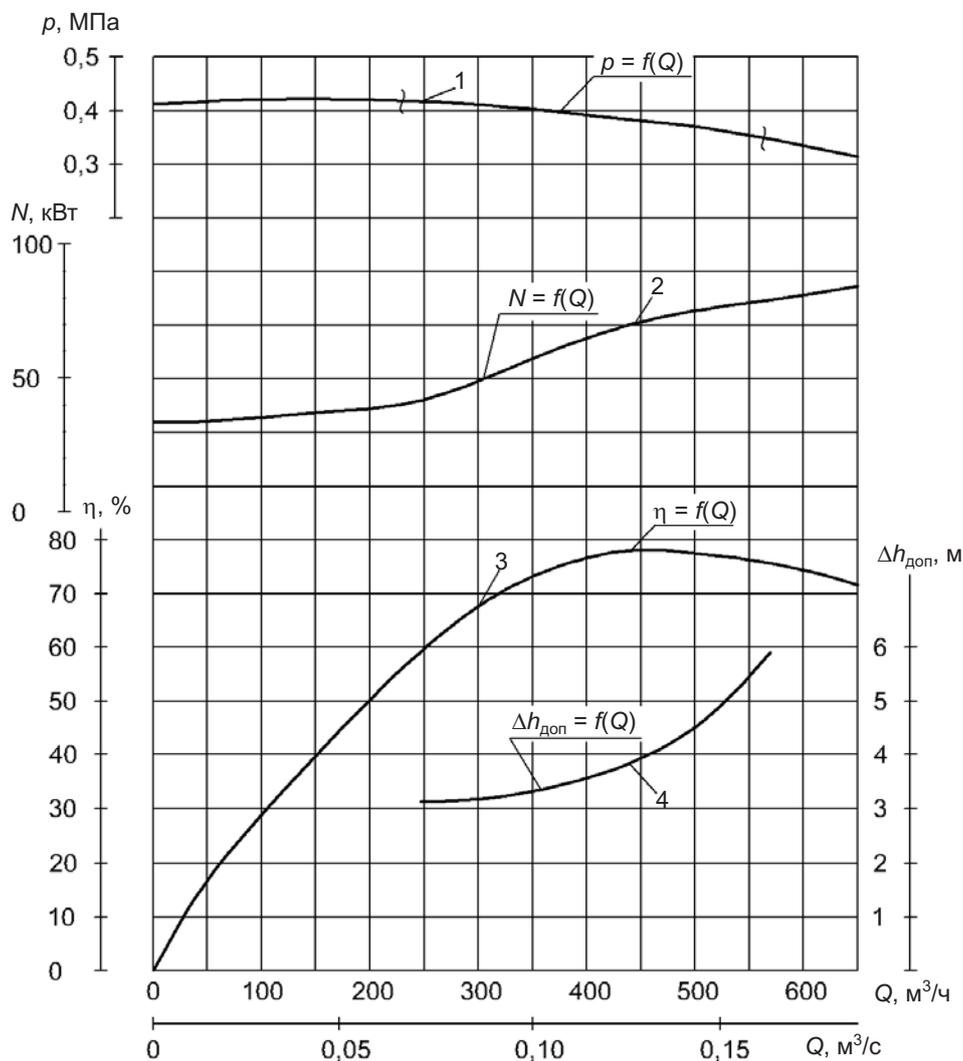
5.3 Характеристики насосов

5.3.1 При расчете режима работы насосов следует пользоваться характеристиками, полученными при испытаниях по ГОСТ 6134, приведенными в технической документации производителей (паспорта, компьютерные программы подбора насосов, каталоги), при их отсутствии — справочными данными по [3], [4].

5.3.2 Основными характеристиками насоса при заданном числе оборотов и диаметре рабочего колеса являются:

- зависимость давления от подачи $p = f(Q)$;
- зависимость мощности от подачи $N = f(Q)$;

— зависимость коэффициента полезного действия от подачи $\eta = f(Q)$;
 — зависимость допустимого кавитационного запаса от подачи $\Delta h_{\text{доп}} = f(Q)$.
 Характеристики насоса, как правило, приводят в виде графиков или в табличной форме.
 На рисунке 5.3 приведены графики характеристик насоса.



1 — график зависимости давления от подачи $p = f(Q)$; 2 — график зависимости мощности от подачи $N = f(Q)$;
 3 — график зависимости коэффициента полезного действия от подачи $\eta = f(Q)$;
 4 — график зависимости допустимого кавитационного запаса от подачи $\Delta h_{\text{доп}} = f(Q)$

Рисунок 5.3 — Графики характеристик насоса марки 1Д630-90б при частоте вращения 1180 об/мин

5.3.3 Давление p , МПа, насоса в пределах рекомендуемой области работы можно вычислить по формуле

$$p = p_{\text{пр}} - S_{\text{ф1}} Q_{\text{н}}^2, \quad (5.8)$$

где $p_{\text{пр}}$ — приведенное давление, соответствующее пересечению кривой (параболы) и оси ординат, МПа;

$S_{\text{ф1}}$ — фиктивное сопротивление насоса, 10^6 кг/м^7 ;

$Q_{\text{н}}$ — подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$.

Фиктивное сопротивление насоса $S_{\text{ф1}}$, 10^6 кг/м^7 , и приведенное давление $p_{\text{пр}}$, МПа, соответствующее точке пересечения кривой (параболы) и оси ординат, вычисляют по формулам:

$$S_{\text{ф1}} = \frac{p_1 - p_2}{Q_2^2 - Q_1^2}, \quad (5.9)$$

$$p_{np} = p_1 + S_{\phi 1} Q_1^2 = p_2 + S_{\phi 1} Q_2^2, \quad (5.10)$$

где p_1, p_2 — давление соответственно в точках 1 и 2 графика рабочей части характеристики насоса, МПа;

Q_1, Q_2 — подача воды насосом при его работе соответственно в точках 1 и 2 графика характеристики $p = f(Q)$, м³/с.

На рисунке 5.4 показаны переменные, входящие в формулы (5.9) и (5.10).

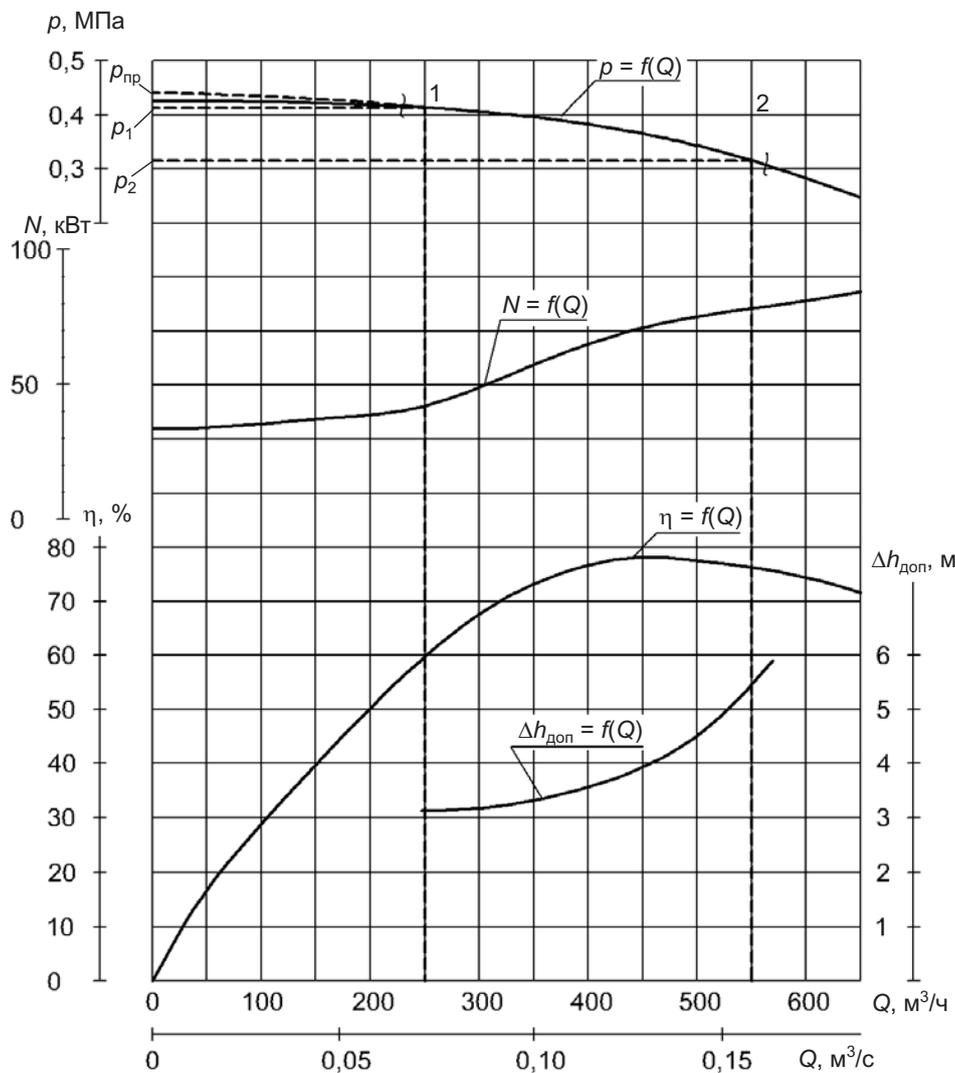


Рисунок 5.4 — Графики переменных p_1, p_2 и Q_1, Q_2 из рабочей области характеристики насоса $p = f(Q)$ для определения параметров $S_{\phi 1}$ и p_{np} по формулам (5.9) и (5.10)

5.3.4 При параллельной работе нескольких однотипных насосов их фиктивное сопротивление S_{ϕ} , 10⁶ кг/м⁷, вычисляются по формуле

$$S_{\phi} = \frac{S_{\phi 1}}{n_n^2}, \quad (5.11)$$

где n_n — количество однотипных насосов.

Приведенное давление группы однотипных насосов, работающих параллельно, принимается равным приведенному давлению одного насоса, вычисляемому по формуле (5.10).

5.3.5 При параллельной работе нескольких разнотипных насосов их фиктивное сопротивление S_{ϕ} , 10^6 кг/м^7 , вычисляются по формуле

$$S_{\phi} = \frac{p_1 - p_2}{(Q_{н1}^{(2)} + Q_{н2}^{(2)} + \dots + Q_{нn}^{(2)})^2 - (Q_{н1}^{(1)} + Q_{н2}^{(1)} + \dots + Q_{нn}^{(1)})^2}, \quad (5.12)$$

где $Q_{н1}^{(1)} + Q_{н2}^{(1)} + \dots + Q_{нn}^{(1)}$ — соответственно подача каждого насоса при давлении p_1 , $\text{м}^3/\text{с}$;

$Q_{н1}^{(2)} + Q_{н2}^{(2)} + \dots + Q_{нn}^{(2)}$ — то же, при давлении p_2 , $\text{м}^3/\text{с}$.

Приведенное давление $p_{пр}$, МПа, группы разнотипных насосов, работающих параллельно, вычисляются по формуле

$$p_{пр} = p_1 + S_{\phi} \cdot (Q_{н1}^{(1)} + Q_{н2}^{(1)} + \dots + Q_{нn}^{(1)})^2 = p_2 + S_{\phi} \cdot (Q_{н1}^{(2)} + Q_{н2}^{(2)} + \dots + Q_{нn}^{(2)})^2. \quad (5.13)$$

5.3.6 Для группы последовательно работающих насосов с одинаковыми характеристиками фиктивное сопротивление S_{ϕ} , 10^6 кг/м^7 , следует вычислять по формуле

$$S_{\phi} = n_n S_{\phi 1}. \quad (5.14)$$

Приведенное давление $p_{пр}$, МПа, группы однотипных насосов, работающих последовательно, вычисляются по формуле

$$p_{пр} = n_n p_{пр1}, \quad (5.15)$$

где $p_{пр1}$ — приведенное давление насоса, вычисленное по формуле (5.10).

5.3.7 Для группы последовательно работающих насосов с различными характеристиками их общее фиктивное сопротивление S_{ϕ} , 10^6 кг/м^7 , следует вычислять по формуле

$$S_{\phi} = \frac{(p_{н1}^{(1)} + p_{н2}^{(1)} + \dots + p_{нn}^{(1)}) - (p_{н1}^{(2)} + p_{н2}^{(2)} + \dots + p_{нn}^{(2)})}{Q_2^2 - Q_1^2}, \quad (5.16)$$

где $p_{н1}^{(1)} + p_{н2}^{(1)} + \dots + p_{нn}^{(1)}$ — соответственно давление каждого насоса при подаче Q_1 , МПа;

$p_{н1}^{(2)} + p_{н2}^{(2)} + \dots + p_{нn}^{(2)}$ — то же, при подаче Q_2 , МПа.

Приведенное давление $p_{пр}$, МПа, группы разнотипных насосов, работающих последовательно, вычисляются по формуле

$$p_{пр} = p_{пр1} + p_{пр2} + \dots + p_{прn} = (p_{н1}^{(1)} + p_{н2}^{(1)} + \dots + p_{нn}^{(1)}) + S_{\phi} Q_1^2 = (p_{н1}^{(2)} + p_{н2}^{(2)} + \dots + p_{нn}^{(2)}) + S_{\phi} Q_2^2, \quad (5.17)$$

где $p_{пр1}, p_{пр2}, \dots, p_{прn}$ — соответственно приведенное давление каждого насоса, вычисленное по формуле (5.10).

5.3.8 Кавитационная характеристика насоса, как правило, приводится в технической документации изготовителя и представляется в виде графической зависимости допустимого кавитационного запаса $\Delta h_{\text{доп}}$ ($NPSHR$) от подачи Q (см. рисунок 5.4).

5.3.9 При подборе насосов часто возникает необходимость пересчета паспортных характеристик, определенных при частоте вращения n , для перехода на другую частоту вращения рабочего колеса n_1 при одном и том же диаметре рабочего колеса. Как правило, это обусловлено комплектацией насоса электродвигателем.

5.3.10 Для получения характеристики насоса при частоте вращения рабочего колеса, отличной от паспортной частоты вращения, используют уравнения из закона подобия рабочих колес лопастных насосов:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{n}{n_1}, \quad (5.18)$$

$$\frac{p}{p_1} = \left(\frac{n}{n_1} \right)^2, \quad (5.19)$$

$$\frac{N}{N_1} = \left(\frac{n}{n_1} \right)^3, \quad (5.20)$$

где Q и Q_1 — подача насоса соответственно при частоте вращения рабочего колеса n и n_1 , м³/с;
 p и p_1 — давление соответственно при частоте вращения рабочего колеса n и n_1 , МПа;
 N и N_1 — мощность насоса соответственно при частоте вращения рабочего колеса n и n_1 , кВт.

Пример расчета характеристик насоса при частоте вращения, отличной от паспортной, приведен в приложении А.

5.3.11 Снижение частоты вращения ниже номинальной может производиться в пределах, устанавливаемых производителем насосов. Снижение частоты вращения ниже минимального значения, указанного производителем, и повышение частоты вращения колеса допускается только по согласованию с производителем.

5.3.12 Требования потребителей насосов по подаче и давлению чрезвычайно разнообразны, и экономически нецелесообразно изготавливать насосы для каждого расчетного случая. Для увеличения области применения насоса в практике проектирования и эксплуатации насосных станций следует применять срезку рабочего колеса насоса, т. е. уменьшение диаметра колеса при сохранении ширины его на выходе.

Для лопастных насосов, имеющих коэффициент быстроходности $n_s < 150$, лучшее соответствие расчетных величин Q_{cp} и p_{cp} опытными данными получается при расчете срезки колеса по формулам:

$$\frac{p_{cp}}{p_H} = \left(\frac{D_{cp}}{D_H} \right)^2, \quad (5.21)$$

$$\frac{Q_{cp}}{Q_H} = \left(\frac{D_{cp}}{D_H} \right)^3, \quad (5.22)$$

$$\frac{N_{cp}}{N_H} = \left(\frac{D_{cp}}{D_H} \right)^5, \quad (5.23)$$

где p_{cp} , p_H — соответственно давление развиваемое насосом при срезке рабочего колеса и без срезки, МПа;

D_{cp} , D_H — соответственно диаметр срезанного и несрезанного рабочего колеса, мм;

Q_{cp} , Q_H — соответственно подача насоса при срезанном и несрезанном рабочем колесе, м³/с;

N_{cp} , N_H — соответственно мощность насоса при срезанном и несрезанном рабочем колесе, кВт.

5.3.13 В зависимости от коэффициента быстроходности n_s рекомендуются следующие пределы срезки колес:

- | | |
|-------------------|---------------------------|
| — от 20 % до 15 % | — при $60 < n_s < 120$; |
| — “ 15 % “ 11 % | — при $120 < n_s < 200$; |
| — “ 11 % “ 7 % | — при $200 < n_s < 300$. |

Допустимость срезки рабочего колеса насоса и предельный диаметр рабочего колеса после срезки обычно устанавливает производитель насосов.

Пример пересчета характеристик насоса при срезке рабочего колеса в допустимых пределах приведен в приложении А.

5.3.14 Изменение коэффициента полезного действия η_{cp} при срезке рабочего колеса определяют по формуле

$$\eta_{cp} = 1 - (1 - \eta_H) \cdot \left(\frac{D_H}{D_{cp}} \right)^{0.25}, \quad (5.24)$$

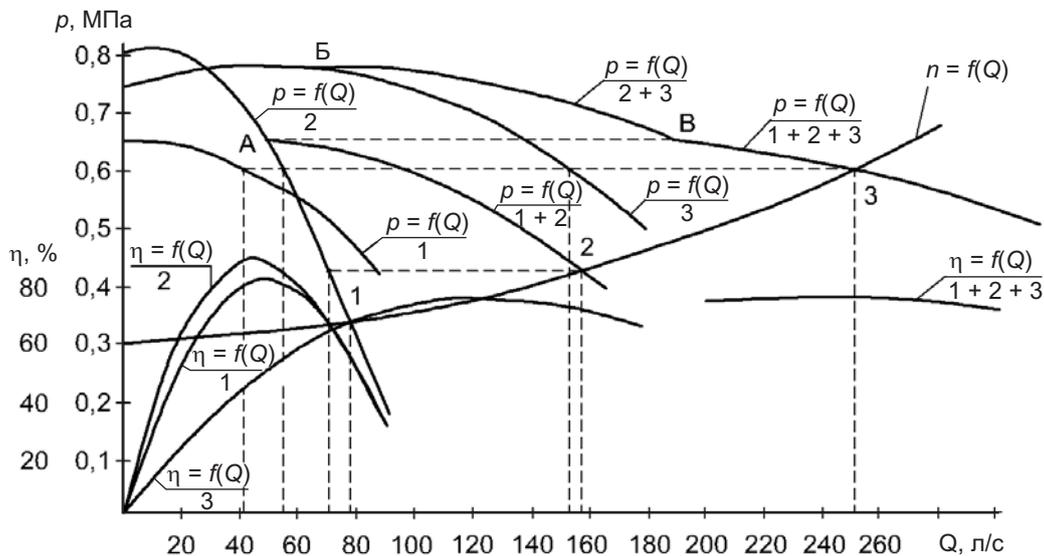
где η_H — коэффициент полезного действия насоса до срезки рабочего колеса.

5.4 Режимы работы насосов, насосных установок и их регулирование

5.4.1 Точка пересечения графика характеристики $p = f(Q)$ насоса(-ов) с графиком характеристики водовода или водопроводной сети определяет рабочую точку насоса(-ов), примеры определения которой приведены в приложении Б.

5.4.2 При подборе насоса(-ов) рабочая точка должна находиться в рабочей части характеристики насоса, указываемой производителями.

5.4.3 На рисунке 5.5 приведены графики характеристик $p = f(Q)$ трех разнотипных насосов и график характеристики водовода.



А — точка, от которой строятся графики характеристики параллельной работы насосов № 1 и № 2;
 Б — точка, от которой строятся графики характеристики параллельной работы насосов № 2 и № 3;
 В — точка, от которой строятся графики характеристики параллельной работы насосов № 1, № 2 и № 3;
 1, 2 и 3 — соответственно рабочие точки совместной работы насосов и водовода: насоса № 2 и водовода; параллельной работы насосов № 1 и № 2 и водовода; параллельной работы трех насосов и водовода

Рисунок 5.5 — Графики совмещенной характеристики параллельной работы трех разнотипных насосов и водовода диаметром 500 мм, длиной 8000 м

Точки 1, 2 и 3 пересечения графиков характеристик одного, двух и трех насосов с графиком характеристики водовода являются рабочими точками. В интервале между минимальной и максимальной подачей воды в водопроводную сеть населенного пункта координаты Q и p этой точки изменяются. Обеспечение требуемых значений Q и p насоса(-ов) в этом интервале может быть достигнуто за счет искусственного изменения характеристики трубопровода или насоса.

5.4.4 Работа системы насос — водопроводная сеть в требуемой рабочей точке регулируется изменением характеристики сети, частотой вращения рабочего колеса насоса, срезкой рабочего колеса.

5.4.5 Изменение характеристики совместной работы насоса, водовода и водопроводной сети возможно путем дросселирования задвижкой, установленной на напорной линии насоса. Установки дополнительного оборудования этот метод не требует. Дроссельное регулирование осуществляется введением добавочного сопротивления в напорный трубопровод системы, благодаря чему график характеристики $p_{тр} = f(Q)$, приведенный на рисунке 5.6, водовода и водопроводной сети поднимается более круто и пересекает график характеристики насоса в рабочей точке 2, соответствующей требуемой подаче Q_3 .

Требуемая мощность N , кВт, насосной установки определяется зависимостью

$$N = 10^3 \cdot \frac{Q_3 p_{н2}}{\eta_{н2}}, \tag{5.25}$$

где Q_3 — требуемая подача насоса в рабочей точке 2, м³/с;
 $p_{н2}$ — давление насоса в рабочей точке 2, МПа;
 $\eta_{н2}$ — коэффициент полезного действия насоса в рабочей точке 2.

Полезная мощность насоса N_3 , кВт, для обеспечения работы системы в рабочей точке 3 составляет:

$$N_3 = 10^3 Q p_3, \quad (5.26)$$

где p_3 — требуемое давление насоса в рабочей точке 3, МПа.

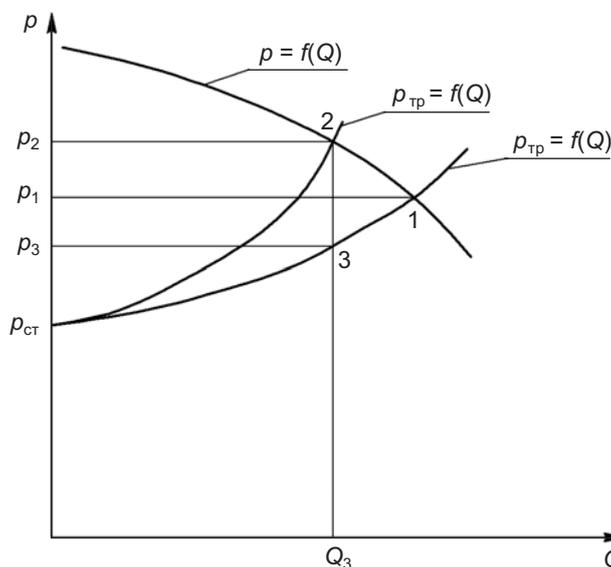


Рисунок 5.6 — Графики характеристики системы насос — водовод и водопроводная сеть при регулировании работы насоса дросселированием

При регулировании насоса дросселированием коэффициент полезного действия η вычисляют по формуле

$$\eta = \frac{p_3}{p_{н2}} \cdot \eta_{н2}. \quad (5.27)$$

5.4.6 Регулирование режима работы насоса изменением частоты вращения рабочего колеса является из всех известных способов наиболее экономичным.

Наиболее простым способом изменения частоты вращения ротора асинхронного электродвигателя согласно [5] является изменение частоты тока.

6 Привод насосов

6.1 В системах водоснабжения для привода насосов мощностью до 500 кВт в большинстве случаев следует применять асинхронные электродвигатели переменного трехфазного тока, отличающиеся простотой конструкции и небольшой стоимостью.

6.2 Синхронные электродвигатели переменного тока применяют для привода мощных насосов, характеризующихся большой продолжительностью работы.

Для насосов с горизонтальным валом используют синхронные двигатели общего применения различных типоразмеров, имеющие большой диапазон мощности, от 132 до 4000 кВт, и частоту вращения 100–1500 об/мин при напряжении от 380 до 6000 В.

Для привода вертикальных насосов применяются синхронные двигатели трехфазного тока частотой 50 Гц, мощностью от 630 до 12 500 кВт, напряжением 6 и 10 кВ с опережающим $\cos \varphi = 0,9$, позволяющим получить от двигателя при работе его в номинальном режиме реактивную мощность до 40 % от номинальной.

6.3 Для насосных станций систем водоснабжения следует применять следующие типы насосов: консольные, с двухсторонним входом, погружные и т. д.

Указанные типы насосов, как правило, поставляются производителями комплектно с электродвигателями.

6.4 Форма исполнения приводного двигателя должна соответствовать условиям окружающей среды. Как правило, для насосных станций систем водоснабжения следует принимать обдуваемые электродвигатели с влагоустойчивой изоляцией.

6.5 Напряжение приводного двигателя следует принимать в зависимости от его мощности и напряжения сети энергосистемы, к которой подключается насосная станция.

7 Оборудование насосных станций

7.1 Общие положения

7.1.1 Насосные станции включают частично или полностью следующие группы оборудования:

- основное энергетическое;
- механическое;
- вспомогательное;
- электрические устройства;
- санитарно-технические устройства;
- технические средства противопожарной защиты.

7.1.2 Основное энергетическое оборудование включает насосы и приводные двигатели. Количество насосов определяется максимальной подачей насосной станции и мощностью насоса.

7.1.3 Механическое оборудование включает в себя задвижки (затворы) с электроприводом и подъемно-транспортные механизмы.

7.1.3.1 Задвижки или затворы предназначены для изменения режима работы насосной станции и отключения насосов при периодическом их осмотре и ремонте.

Применение задвижек или затворов в насосных станциях определяется технико-экономическим обоснованием. В отдельных случаях, при соответствующем обосновании, допускается вид запорной арматуры для применения при обвязке насосов указывать в задании на проектирование насосной станции.

7.1.3.2 Подъемно-транспортные механизмы предназначены для монтажа и демонтажа оборудования, трубопроводов и фасонных частей, а также для производства ремонтных работ.

7.1.4 Вспомогательное оборудование включает в себя системы технического водоснабжения, дренажно-осушительную, маслоснабжения (при необходимости) и вакуум-систему (при установке насосов выше уровня воды в резервуарах), контрольно-измерительные приборы и системы автоматизации.

7.1.4.1 Система технического водоснабжения предназначена для подачи технически чистой воды к устройствам для водяной смазки направляющих подшипников и сальниковых уплотнений насосов, а также к теплообменникам вспомогательного оборудования (компрессоров, крупных электродвигателей, маслонапорных установок и др.).

7.1.4.2 Дренажно-осушительная система предназначена для откачки воды из машинного зала, всасывающих труб насосов.

7.1.4.3 Система маслоснабжения служит для обеспечения маслами соответствующих марок масляных ванн и подшипников электродвигателей, механизмов системы регулирования, силовых трансформаторов и маслonaполненных электрических аппаратов распределительных устройств.

Эта система должна включать в себя емкости для хранения оперативных запасов чистого масла и для слива отработавшего масла, коммуникационные трубопроводы, маслонапорные установки, маслonaсосные агрегаты и аппаратуру для очистки масла.

7.1.4.4 Вакуум-систему следует предусматривать для заливки водой насосов, установленных выше уровня воды в резервуарах или водосточниках, принципиальная схема которой приведена в приложении В.

7.1.4.5 Контрольно-измерительные приборы и система автоматизации, включающие в себя устройства контроля за состоянием основных насосов и другого оборудования, предназначены для поддержания режима работы насосов в заданных пределах и их автоматическую остановку при выходе контролируемых параметров за пределы установленных.

Степень автоматизации технологических процессов и состав контрольно-измерительных приборов насосной станции следует принимать в зависимости от назначения ее и требований системы водоснабжения.

7.1.5 Электрические устройства насосной станции включают в себя силовые трансформаторы, выводы высокого и низкого напряжений, распределительное устройство (РУ), токопроводы к электродвигателям, системы контроля и собственных нужд.

Система собственных нужд обеспечивает электроснабжение электродвигателей маслонапорных установок, системы технического водоснабжения и дренажа, освещения, устройств автоматики и защиты и других потребителей электроэнергии.

Напряжение электродвигателей, предназначенных для установок, обслуживающих собственные нужды, как правило, применяется низкое, поэтому в качестве пусковых устройств на насосной станции предусматривается низковольтный распределительный щит собственных нужд.

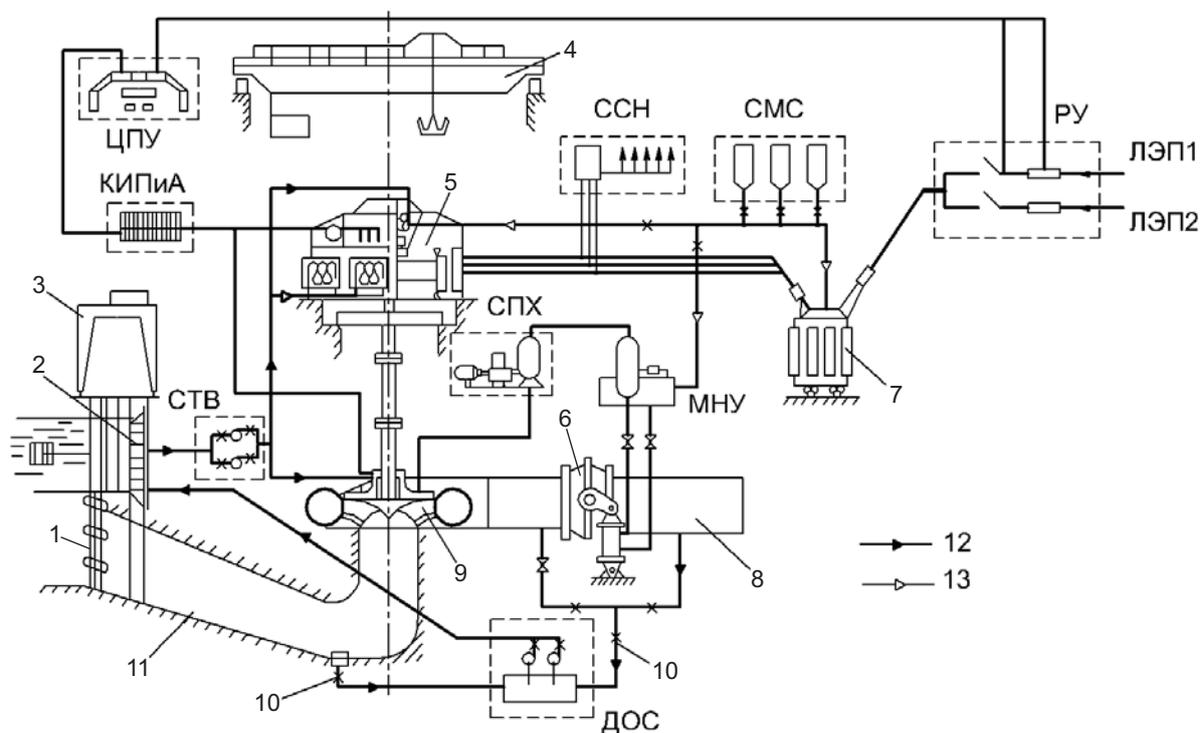
Надежность электроснабжения системы собственных нужд согласно [6] должна быть высокой, поэтому ее следует резервировать.

7.1.6 Насосные станции следует оборудовать техническими средствами противопожарной защиты согласно требованиям нормативных документов системы противопожарного нормирования и стандартизации.

Кроме того, в насосных станциях должны предусматриваться питьевой водопровод, канализация, вентиляция и отопление в соответствии с требованиями нормативных документов по указанным системам.

7.1.7 Схема насосной станции с указанием всех возможных групп оборудования в ней приведена на рисунке 7.1.

7.1.8 Выбор оборудования насосных станций должен осуществляться на основании технико-экономических расчетов.



- СТВ — система технического водоснабжения; ДООС — дренажно-осушительная система;
 СМС — система маслоснабжения; ССН — система собственных нужд;
 МНУ — маслонапорные установки; СПХ — система пневматического хозяйства;
 РУ — распределительное устройство;
 КИПиА — контрольно-измерительные приборы и автоматика;
 ЦПУ — центральный пульт управления
- 1 — решетка; 2 — плоский затвор; 3 — козловой кран; 4 — мостовой кран; 5 — электродвигатель;
 6 — дисковый затвор; 7 — силовой трансформатор; 8 — напорный трубопровод; 9 — насос;
 10 — задвижки; 11 — всасывающая труба; 12 и 13 — направление движения соответственно воды и масла

Рисунок 7.1 — Схема технологического оборудования насосной станции

7.2 Определение параметров основного оборудования

7.2.1 Основными параметрами насосных станций являются подача и давление, которые изменяются в течение суток в зависимости от режима водопотребления населенного пункта, который определяется по ТКП 45-4.01-32.

7.2.2 подача насосной станции определяется режимом водопотребления населенного пункта, наличием регулирующих емкостей, условиями тушения пожаров, а также наличием других водозаборных сооружений, работающих на общую водопроводную сеть населенного пункта.

Подача насосной станции в течение расчетного периода изменяется от минимального часового расхода в сутки минимального водопотребления (начало расчетного периода) до максимального часового расхода в сутки максимального водопотребления (конец расчетного периода).

При безбашенной системе подачи $Q_{\text{мин.нс}}$ и $Q_{\text{макс.нс}}$, м³/ч, насосной станции вычисляются по формулам:

$$Q_{\text{мин.нс}} = \frac{k_{\text{ч мин}} Q_{\text{сут мин}}}{24}, \quad (7.1)$$

$$Q_{\text{макс.нс}} = \frac{k_{\text{ч макс}} Q_{\text{сут макс}}}{24}, \quad (7.2)$$

где $k_{\text{ч мин}}$, $k_{\text{ч макс}}$ — соответственно минимальный и максимальный коэффициенты часовой неравномерности водопотребления;

$Q_{\text{сут мин}}$ — минимальное суточное водопотребление в начале расчетного периода, м³;

$Q_{\text{сут макс}}$ — максимальное суточное водопотребление в конце расчетного периода, м³.

Коэффициенты часовой неравномерности следует определять в зависимости от численности населения, которое находится в зоне влияния насосной станции.

В системе водоснабжения с башней водопотребление обеспечивается одновременной подачей воды из башни и подачей насосной станцией второго подъема, вследствие чего колебание подачи насосной станции в течение суток уменьшается и вычисляется по формулам:

$$Q_{\text{мин.нс}}^{\text{б}} = \frac{k_{\text{ч мин}} Q_{\text{сут мин}}}{24} + Q_{\text{н}}^{\text{б}}, \quad (7.3)$$

$$Q_{\text{макс.нс}}^{\text{б}} = \frac{k_{\text{ч макс}} Q_{\text{сут макс}}}{24} - Q_{\text{к}}^{\text{б}}, \quad (7.4)$$

где $Q_{\text{н}}^{\text{б}}$ — расход при транзите воды в башню в начале расчетного периода, м³/ч;

$Q_{\text{к}}^{\text{б}}$ — расход воды из башни в конце расчетного периода, м³/ч.

7.2.3 Давление насосной станции $p_{\text{нс}}$, МПа, вычисляются в зависимости от наличия башни или ее отсутствия в системе водоснабжения по следующим формулам:

а) при расположении башни в начале сети (рисунок 7.2)

$$p_{\text{нс}} = p_{\text{вт}} + \frac{\rho g}{10^6} \cdot H_z + \frac{\rho g}{10^6} \cdot H_{\text{б}} + \frac{\rho g}{10^6} \cdot H_{\text{р}} + \Delta p_{\text{в}}, \quad (7.5)$$

где $p_{\text{вт}}$ — потери давления во всасывающем трубопроводе, МПа;

H_z — разность отметок поверхности земли у водонапорной башни $Z_{\text{г}}$ и расчетного уровня воды в резервуаре $Z_{\text{т}}$, м;

$H_{\text{б}}$ — высота башни от поверхности земли до дна резервуара, м;

$H_{\text{р}}$ — высота резервуара башни, м;

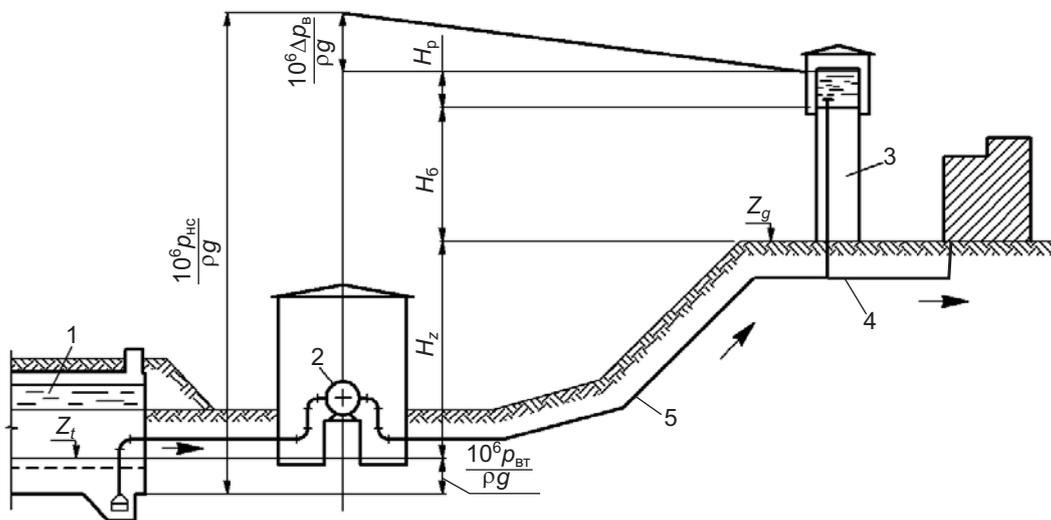
$\Delta p_{\text{в}}$ — потери давления в напорных коммуникациях и в водоводе от насосной станции до водонапорной башни, МПа;

б) при расположении башни в конце водопроводной сети (рисунок 7.3):

1) в часы максимального водопотребления, когда часть воды подается насосной станцией, а другая часть поступает из водопроводной башни,

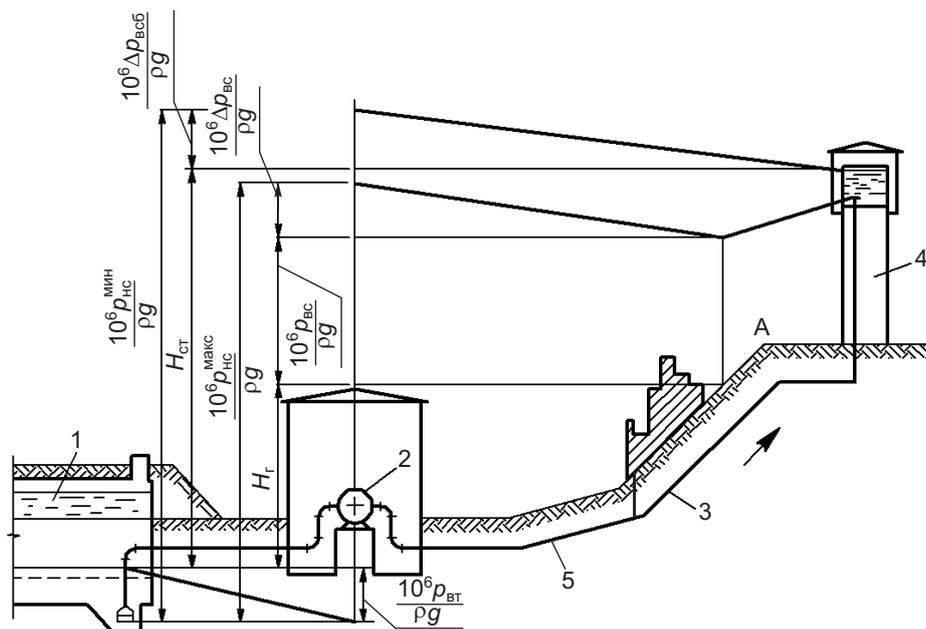
$$p_{\text{нс}}^{\text{макс}} = \frac{\rho g}{10^6} \cdot H_{\text{г}} + p_{\text{вт}} + \Delta p_{\text{вс}} + p_{\text{св}}, \quad (7.6)$$

где H_r — разность отметок точки схода A и расчетного уровня воды в резервуаре, м;
 $\Delta p_{вс}$ — потери давления в напорных коммуникациях насосной станции, в водоводе и сети до точки схода A, МПа;
 $p_{св}$ — требуемое свободное давление в точке схода A, МПа;



1 — резервуар; 2 — насос; 3 — башня; 4 — водопроводная сеть; 5 — водовод

Рисунок 7.2 — Схема подачи воды из резервуара в систему с башней в начале сети



1 — резервуар; 2 — насос; 3 — водопроводная сеть; 4 — башня; 5 — водовод

Рисунок 7.3 — Схема подачи воды из резервуара в систему с контррезервуаром

2) в часы минимального водопотребления, когда вода, подаваемая насосами, поступает в основном транзитом в башню,

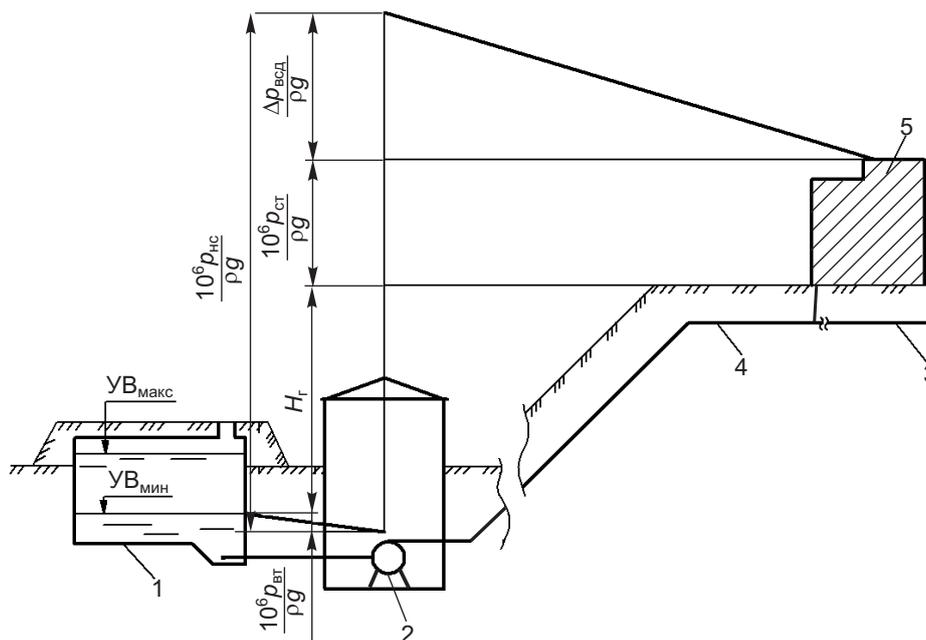
$$p_{нс}^{мин} = \frac{\rho g}{10^6} \cdot H_{ст} + p_{вТ} + \Delta p_{всБ}, \quad (7.7)$$

где $H_{ст}$ — разность отметок расчетного уровня воды в баке водонапорной башни и уровня воды в резервуаре, м;
 $\Delta p_{всб}$ — потери давления в напорных коммуникациях, водоводе, водопроводной сети и соединительных линиях сеть — башня;

в) при безбашенной системе (рисунок 7.4)

$$p_{нс} = p_{ст} + p_{вт} + \frac{\rho g}{10^6} \cdot H_r + \Delta p_{всд}, \quad (7.8)$$

где $p_{ст}$ — требуемое статическое давление в диктующей точке, МПа;
 H_r — разность отметок земли в диктующей точке и уровня воды в резервуаре, м;
 $\Delta p_{всд}$ — потери давления в напорных коммуникациях насосной станции, водоводе и водопроводной сети от точки подключения водовода к сети до диктующей точки.



1 — резервуар; 2 — насос; 3 — водопроводная сеть;
 4 — водовод; 5 — жилая застройка (диктующая точка)

Рисунок 7.4 — Схема подачи воды из резервуара в систему без башни

7.2.4 Определение давления насосной станции следует производить на основе гидравлических расчетов подачи насосной станции, водоводов, водопроводной сети по часам суток при условии обеспечения требуемых давлений в контролируемых (диктующих) точках. Параметры насосной станции, полученные при гидравлических расчетах по часам суток, являются основой для подбора насосного оборудования.

Расчеты по определению параметров насосной станции и подбору насосного оборудования следует выполнять с помощью программ для вычислительной техники.

7.2.5 На основании гидравлических расчетов строят график зависимости давления от величины подачи воды в систему, который является основой для графоаналитического способа подбора насосов (рисунок 7.5). Графики зависимости давления от расхода должны строиться для начала и окончания расчетного периода развития системы и для каждой очереди ее строительства. График характеристик подобранных насосов накладывают на график $p = f(Q)$ системы. Определяют границы изменения давления и подач станции в расчетный период ее эксплуатации и рабочую точку параллельно работающих насосов.

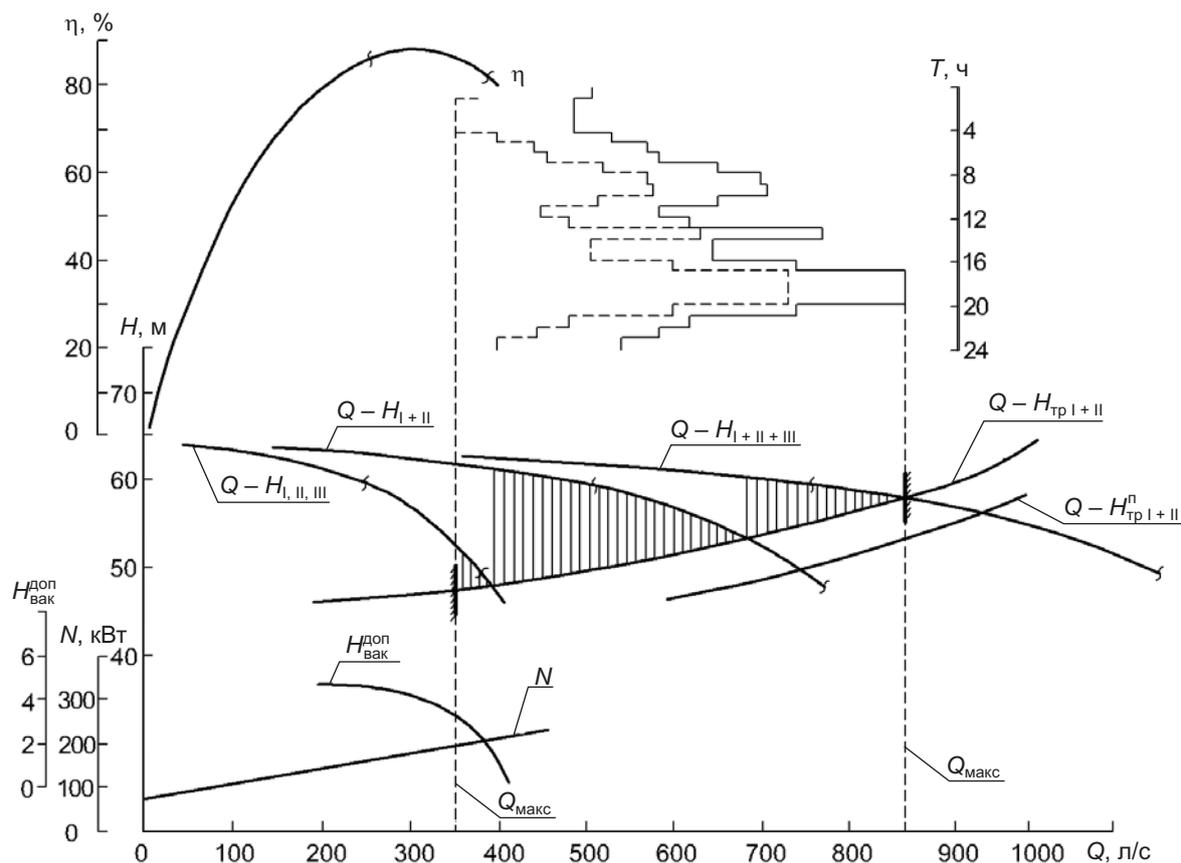


Рисунок 7.5 — График работы насосной станции второго подъема в безбашенной системе водоснабжения

При выборе насосов необходимо принимать во внимание следующие исходные данные:

- задание на проектирование;
- суточный график водопотребления и его изменение по очередям строительства;
- наличие и объем регулирующих емкостей;
- величину производительности станции по очередям строительства;
- степень неравномерности водопотребления на расчетный период и по очередям строительства;
- необходимость установки однотипных насосов.

При определении количества рабочих насосов следует учитывать, что более мощные насосы обладают одновременно более высоким значением КПД. Исходя из этого условия, рекомендуется установка на станции минимального количества более мощных насосов. Однако установка на станции малого количества насосов в то же время влечет за собой увеличение мощности резерва на станции и уменьшение маневренности насосного оборудования станции.

Энергетические показатели будут лучше у тех насосов, у которых рабочая точка при параллельной работе насосов попадает на график характеристики $p = f(Q)$ насоса вблизи левой границы рекомендованной зоны их использования.

Окончательно тип насосов и их количество следует выбирать на основании технико-экономического сравнения нескольких вариантов выбираемых насосов.

7.2.6 В системе с башней, расположенной в начале сети, водопотребление населенного пункта не оказывает прямого влияния на давление, развиваемое насосами. Давление определяется разностью отметок уровней воды в баке башни и резервуаре чистой воды, потерями давления в коммуникациях от резервуаров чистой воды до водонапорной башни и определяется по формуле (7.5) в зависимости от величины подаваемого расхода в башню.

Уровни воды в резервуаре и башне зависят от режимов водопотребления, работы насосной станции в течение суток.

При графоаналитическом способе определяется изменение всех величин для каждого часа, считая расходы и подачи в течение часа постоянными.

7.2.7 На водопроводных насосных станциях второго подъема систем водоснабжения с контррезервуаром количество рабочих насосов определяется из следующих условий:

- в час максимального водопотребления величина подачи воды в сеть от башни, как правило, должна составлять 8 % – 15 % от расхода воды в данный час;
- в час подачи максимального количества воды транзитом в резервуар башни и действия на станции всех рабочих насосов количество воды, подаваемой транзитом в резервуар башни, не должно превышать 25 % – 30 % расхода воды по объекту в данный час.

7.2.8 При установлении подачи насосов следует учитывать влияние на подачу насоса, включение или выключение из параллельной работы отдельных насосов.

При выключении из параллельной работы отдельных центробежных насосов подача оставшихся в работе насосов увеличивается, величина $\Delta h_{\text{доп}}$ и потребляемая мощность изменяются.

Для ориентировочного учета влияния параллельной работы на подачу насосов можно пользоваться следующими значениями величины, обратной коэффициенту параллельности, $1/k_{\text{п}}$:

- при выключении из работы одного насоса — 1,11;
- то же двух насосов — 1,18;
- “ трех насосов — 1,25.

По возросшей подаче необходимо установить по каталогу, насколько изменятся при этом допустимый кавитационный запас насоса и потребляемая им мощность. Следует проверить принятую отметку установки насоса и мощность двигателя. Кроме того, необходимо по совмещенной характеристике водовода и насосов определить допустимость работы отдельных насосов на нитке водовода по условиям допустимого кавитационного запаса $\Delta h_{\text{доп}}$ и мощности приводного двигателя.

7.3 Определение мощности приводного двигателя

7.3.1 Исходными данными для определения требуемой мощности электродвигателя, кВт, являются подача насоса Q , м³/с, и давление p_n , МПа. Подачу и давление насоса принимают по рабочей точке системы насосы — водовод — сеть или насосы — водовод.

7.3.2 Мощность насоса обычно указывают в паспорте насоса или в каталоге. Ее величина, взятая с запасом, соответствует подаче и давлению для предельных точек рабочей части характеристики данного типа насоса. В большинстве случаев применяемые на насосных станциях насосы поставляют заводы или фирмы комплектно с электродвигателями. Не всегда расчетные параметры расхода и давления совпадают с параметрами характеристики $p = f(Q)$ насоса. В этом случае возникает необходимость в определении мощности насоса и требуемой мощности приводного двигателя.

7.3.3 Мощность насоса N_n , кВт, вычисляют по формуле

$$N_n = 10^3 \cdot \frac{Q_n p_n}{\eta_n}, \quad (7.9)$$

где η_n — коэффициент полезного действия насоса при работе в заданном режиме.

7.3.4 Мощность приводного двигателя насоса $N_{\text{дв}}$, кВт, следует принимать больше мощности, потребляемой насосом, на случай перегрузок от неучтенных условий работы и вычислять по формулам:

- при непосредственном соединении вала насоса с валом электродвигателя

$$N_{\text{дв}} = 10^3 k_{\text{зп}} \cdot \frac{Q_n p_n}{\eta_n}; \quad (7.10)$$

- при соединении приводного двигателя насоса через промежуточную передачу

$$N_{\text{дв}} = 10^3 k_{\text{зп}} \cdot \frac{Q_n p_n}{\eta_n \eta_{\text{пр}}}, \quad (7.11)$$

где $k_{\text{зп}}$ — коэффициент запаса мощности;

$\eta_{\text{пр}}$ — коэффициент полезного действия передачи.

7.3.5 Коэффициент запаса мощности $k_{зп}$ зависит от мощности насоса и принимается по таблице 7.1.

Таблица 7.1

Мощность насоса N_n , кВт	До 20	От 20 до 50	От 50 до 300 включ.	Св. 300
Коэффициент запаса мощности $k_{зп}$	1,25	1,20	1,15	1,10

7.3.6 При выборе электродвигателя к насосам необходимо знать мощность, частоту вращения, напряжение в питающей сети, тип и исполнение двигателя. При подборе электродвигателя необходимо стремиться подобрать мощность двигателя как можно ближе к номинальной.

7.3.7 Во избежание дросселирования насосов насосных станций в связи с изменением водопотребления населенного пункта как по очередям развития системы водоснабжения, так и в течение суток с максимальным и минимальным водопотреблением часть насосов следует оборудовать регулируемыми приводами. Характеристики регулируемых и нерегулируемых насосов должны перекрывать всю область изменения водопотребления и соответствующего ему давления, обеспечивающего в контролируемых точках водопроводной сети населенного пункта требуемое давление.

Обычно один-два насоса следует оборудовать преобразователем частоты тока.

7.3.8 Выбор оборудования для системы с частотным приводом осуществляют согласно [5] и [7] в следующем порядке.

7.3.8.1 Вычисляют мощность насоса при работе с номинальной подачей и соответствующим ей давлением по формуле (7.9).

7.3.8.2 Из каталога подбирают короткозамкнутый электродвигатель, мощность которого должна быть больше мощности насоса на 20 % – 30 %, а частота вращения должна соответствовать номинальной частоте вращения насоса. Использование насоса с двигателем номинальной мощности требует ограничения верхнего значения угловой скорости примерно до 90 % от номинального значения.

7.3.8.3 В соответствии с выбранной мощностью приводного двигателя $N_{дв}$, кВт, подбирают преобразователь, номинальная мощность $N_{пр}$, кВт, которого больше или равна номинальной мощности двигателя насоса ($N_{пр} \geq N_{дв}$), а напряжение $U_{пр}$, В, должно соответствовать номинальному напряжению электродвигателя $U_{дв}$, В, ($U_{пр} = U_{дв}$).

8 Всасывающие и напорные линии насосных станций

8.1 Общие положения

8.1.1 Надежность работы насосной станции зависит от выбранной схемы коммуникаций трубопроводов, их переключения и взаимного расположения.

8.1.2 Напорные и всасывающие трубопроводы необходимо оборудовать задвижками (затворами), обеспечивающими возможность отключения любого из насосов или участков трубопровода как при нормальной работе насосов, так и в аварийной ситуации на станции.

8.1.3 Расположение и количество задвижек на напорных и всасывающих линиях трубопроводов принимают исходя из количества рабочих и резервных насосов.

8.1.4 Примерные схемы переключения на всасывающих и напорных трубопроводах насосных станций приведены на рисунке 8.1.

8.1.5 При проектировании насосных станций следует придерживаться выработанных практикой решений установки оборудования, обеспечивающих надежность их работы, удобство монтажа и обслуживания.

Размещение арматуры на напорных и всасывающих трубопроводах должно обеспечить возможность замены или ремонта насосов, обратных клапанов, а также запорной арматуры, с обеспечением непрерывной подачи воды на хозяйственно-питьевые нужды в размере 70 % для насосных станций I и II категории и 50 % — III категории, а также на производственные нужды по аварийному графику.

8.1.6 Всасывающие и напорные трубопроводы необходимо располагать внутри помещений насосных станций таким образом, чтобы они были доступны для монтажа, осмотра и ремонта.

Трубопроводы могут располагаться над полом машинного помещения и в каналах, перекрываемых съёмными плитами или металлическими стальными листами.

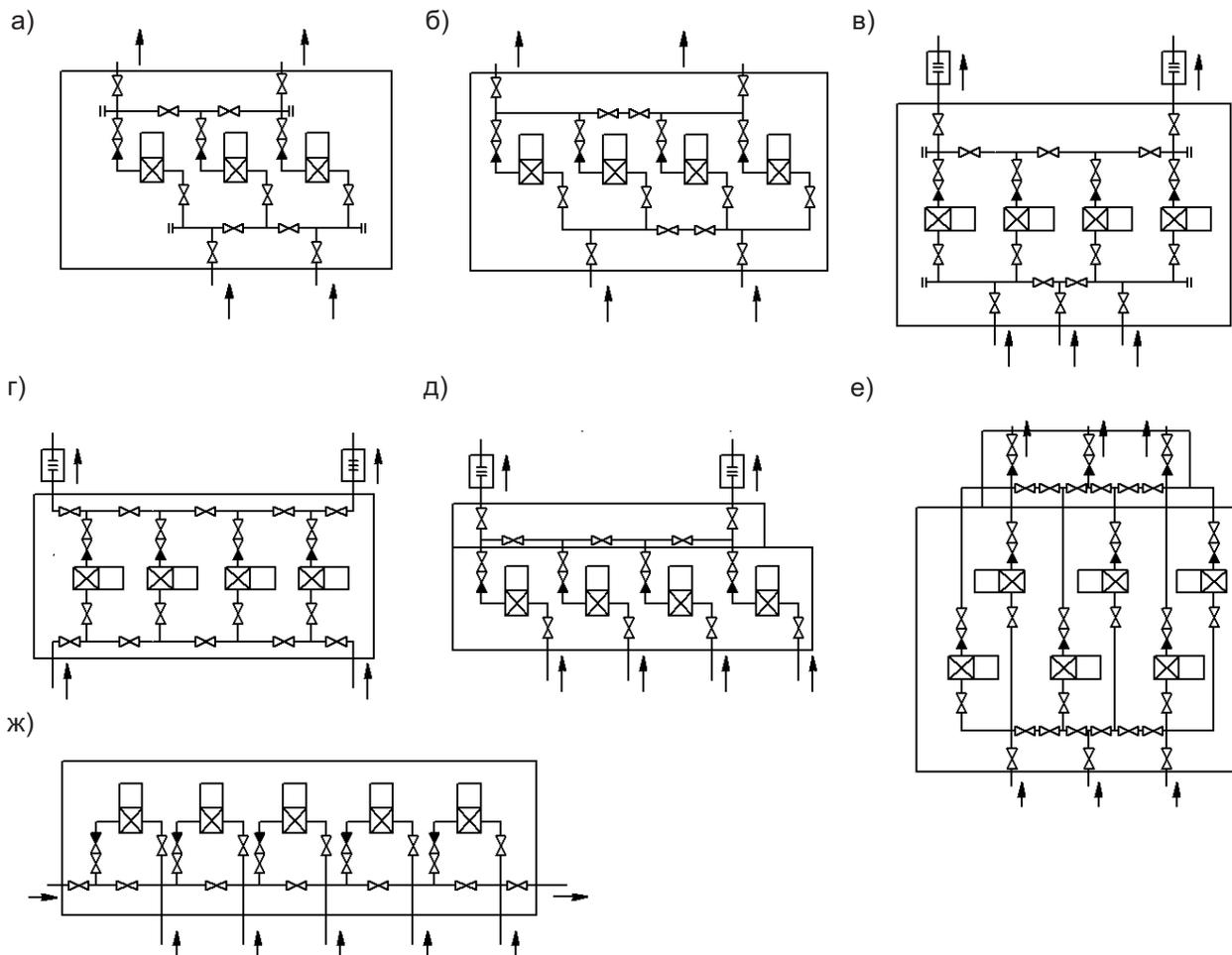


Рисунок 8.1 — Коллекторные переключения на всасывающих и напорных трубопроводах:

- а — схема подвода воды двумя всасывающими трубопроводами к трем насосам, при которой обеспечивается постоянная работа одного насоса во время ремонта одной трубы или задвижки;
- б — схема подвода воды двумя всасывающими трубопроводами к четырем насосам, при которой обеспечивается постоянная работа двух насосов во время ремонта любой трубы или задвижки;
- в, г — схемы подвода воды тремя всасывающими трубопроводами к четырем насосам, расположенным в один ряд, при которых обеспечивается постоянная работа двух насосов во время ремонта любой трубы или задвижки;
- д — схема подвода воды к каждому из четырех насосов, с выносом напорного коллектора в отдельную камеру, при которой обеспечивается постоянная работа двух насосов во время ремонта любой трубы или задвижки;
- е — схема подвода воды тремя всасывающими трубопроводами к шести насосам, расположенным в шахматном порядке, с выносом напорного коллектора в отдельную камеру, при которой обеспечивается постоянная работа четырех насосов во время ремонта любой трубы или задвижки;
- ж — схема подвода воды к каждому насосу с расположением напорного коллектора со стороны всасывающих трубопроводов; при ремонте трубопровода или задвижки исключаются из работы два насоса

Трубопроводы диаметром более 300 мм с соответствующей запорной арматурой следует укладывать над полом машинного помещения как в незаглубленных насосных станциях, так и в заглубленных. Расстояние по вертикали от низа всасывающих и напорных трубопроводов до пола машинного помещения в незаглубленных и заглубленных насосных станциях должно быть не менее 300 мм при диаметре трубопроводов до 300 мм и 400 мм при диаметре трубопроводов более 300 мм.

Размеры каналов следует принимать согласно ТКП 45-4.01-32.

8.1.7 В каналах допускается укладывать трубопроводы диаметром менее 300 мм с перекрытием каналов съемными плитами или металлическими рифлеными листами.

8.1.8 При прокладке трубопроводов над полом необходимо предусматривать переходные мостики с перилами, лестницы или тумбы для обслуживания оборудования.

8.1.9 Всасывающий и напорный трубопроводы каждого насоса должны быть оснащены приборами для замера давления.

8.1.10 Размеры фасонных частей на всасывающих и напорных линиях следует принимать по номенклатурным каталогам изготовителей, действующим ТНПА.

Допускается сварка необходимых стальных фасонных частей на месте монтажа, при этом размеры отдельных элементов фасонных частей следует принимать по действующим ТНПА.

8.1.11 Каждый участок трубопровода между задвижками диаметром 300 мм и более следует оборудовать патрубками с вентилями для выпуска воды в случае ремонта или аварии. Расстояние по вертикали между вентилем и полом должно удовлетворять требованиям воздушного разрыва.

Сбор и отвод воды из выпусков осуществляют с помощью лотков или труб в полу помещений насосных станций в дренажный приямок.

8.1.12 На всех трубопроводах в помещении насосной станции необходимо предусматривать антиконденсационное покрытие, а стальную арматуру следует окрашивать антикоррозионными лаками и красками, разрешенными Министерством здравоохранения Республики Беларусь.

8.2 Всасывающие линии насосных станций

8.2.1 Всасывающий трубопровод является одной из наиболее ответственных частей оборудования станции. Всасывающие трубопроводы как внутри насосной станции, так и за ее пределами следует выполнять из стальных труб на сварке с применением фланцевых соединений для присоединения арматуры.

8.2.2 Конструкция и компоновка элементов всасывающих трубопроводов должны исключать возможность образования в них воздушных мешков и попадания воздуха.

8.2.3 Входное отверстие всасывающей трубы необходимо заглублять на 0,5–1,0 м ниже минимального уровня воды в резервуаре во избежание попадания воздуха во всасывающую трубу.

8.2.4 Всасывающие линии необходимо укладывать с уклоном не менее 5 ‰ с подъемом к насосу. В местах изменения диаметра трубопровода следует применять эксцентрические переходы.

8.2.5 На всасывающем трубопроводе каждого насоса необходимо устанавливать запорную арматуру.

8.2.6 На всасывающем коллекторе насосной станции необходимо устанавливать задвижки или затворы (при необходимости — спаренные) с целью переключения работающих насосов или отключения всей насосной станции в случае аварии.

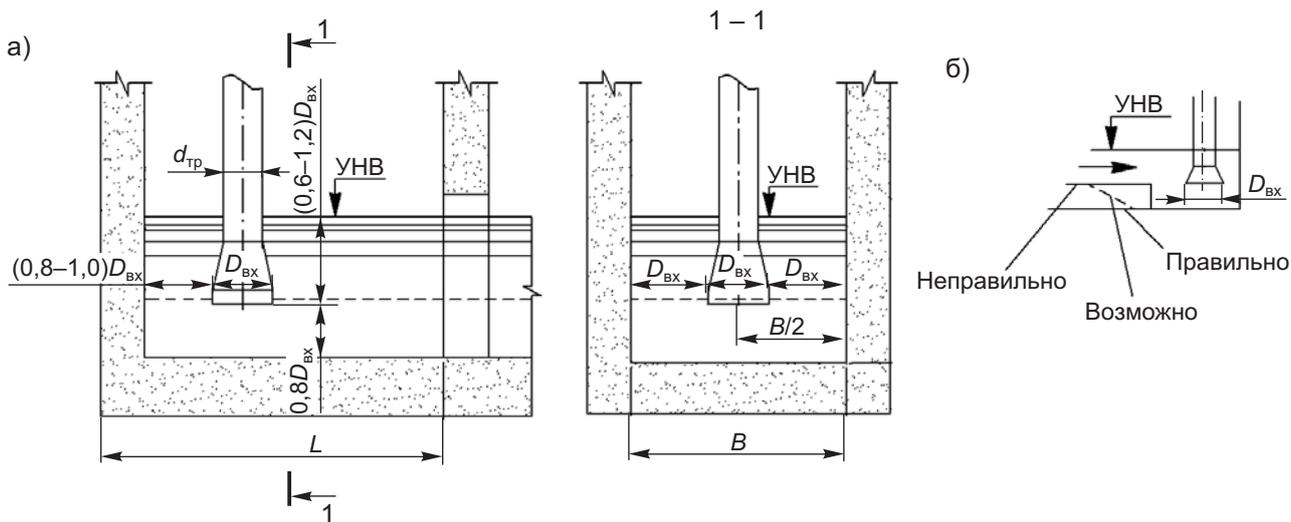
8.2.7 Скорость движения воды во всасывающем трубопроводе следует принимать по ТКП 45-4.01-32 (12.2.11).

8.2.8 При установке насосов выше уровня воды в источнике и при диаметре всасывающей трубы не более 200 мм допускается установка приемного клапана в начале всасывающей трубы. Приемные клапаны следует устанавливать лишь на насосных станциях, которые относятся к III категории по надежности подачи воды.

8.2.9 Расположение всасывающей трубы в приемной камере следует выполнять в соответствии с рисунком 8.2, при этом для уменьшения местных потерь при входе потока во всасывающую трубу диаметр входного сечения $D_{вх}$ следует увеличивать по сравнению с диаметром трубы $d_{тр}$ в 1,25–1,30 раза.

Ширина водоприемной камеры обычно принимается $B = 3D_{вх}$, а длина камеры L определяется из условия, что отношение объема воды в приемной камере V_v к средней подаче насоса $Q_{ср}$ должно быть равно от 15 до 20.

8.2.10 При наличии в водоприемной камере двух и более всасывающих труб расстояние между ними должно быть от $1,5D_{вх}$ до $2D_{вх}$. Взаимное расположение всасывающих труб в приемной камере приведено на рисунке 8.3.



B — ширина камеры; L — длина камеры

Рисунок 8.2 — Расположение всасывающей трубы в приемной камере:
 а — при расположении камеры на уровне подводящего канала;
 б — при расположении камеры ниже подводящего канала или дна резервуара

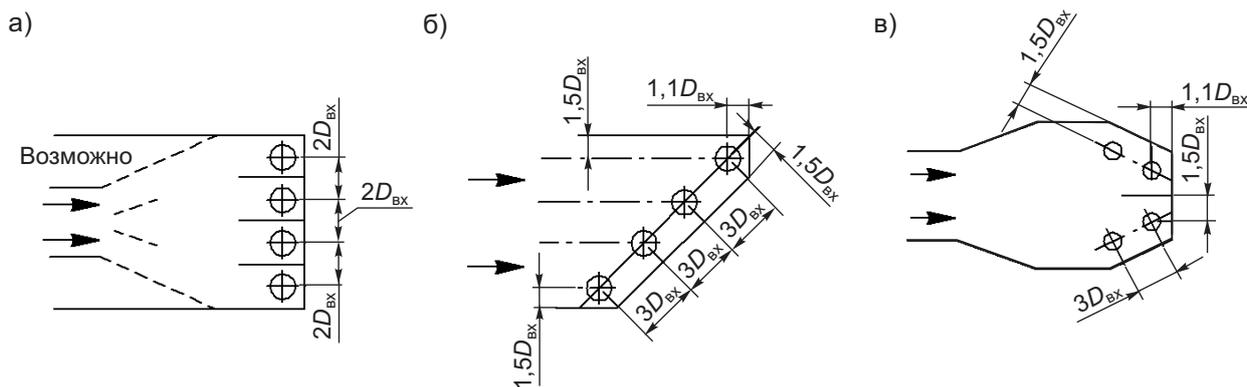


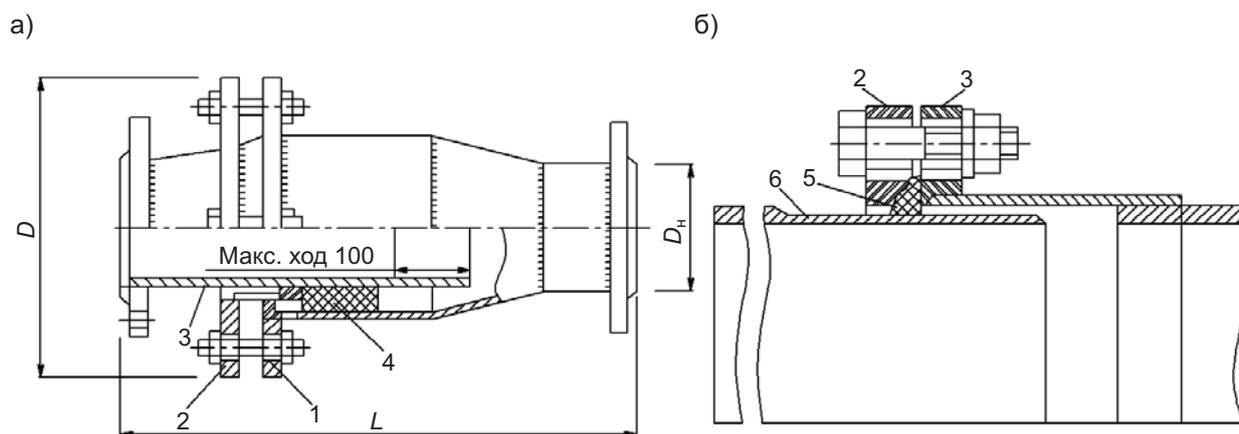
Рисунок 8.3 — Взаимное расположение труб в приемной камере:
 а — при фронтальном расположении;
 б — при расположении под углом к потоку;
 в — при полигональной камере

8.3 Напорные линии насосных станций

8.3.1 Напорные трубопроводы внутри насосной станции следует принимать из стальных труб на сварных и фланцевых соединениях. Скорость движения воды в напорных трубопроводах принимают в соответствии с ТКП 45-4.01-32 (12.2.11).

8.3.2 Напорный коллектор допускается устраивать в отдельно пристроенной галерее только в исключительных случаях. Количество ниток водовода от напорного коллектора, как правило, принимается не менее двух, при этом следует учитывать категорию насосной станции.

8.3.3 Напорные трубопроводы от насосов необходимо оборудовать обратным клапаном непосредственно на выходе, а затем задвижкой или затвором с установкой между ними монтажной вставки, например изображенной на рисунке 8.4, данные по которой согласно [8] приведены в таблице 8.1. Монтажные вставки следует устанавливать при диаметре напорного трубопровода более 200 мм.



1, 3 — соответственно наружный и внутренний патрубки; 2 — фланец;
4 — сальниковая набивка; 5 — уплотнение; 6 — внутренняя труба

Рисунок 8.4 — Монтажные вставки:

а — типа сальникового компенсатора;
б — сварная стальная специальная конструкция

8.3.4 На напорном коллекторе и на каждой нитке водовода из насосной станции следует устанавливать запорную арматуру для возможности переключения насосов и отключения любой нитки водовода.

8.3.5 В насосных станциях на напорном коллекторе при его диаметре 400 мм и более необходимо устанавливать спаренные задвижки или затворы с электроприводом.

8.3.6 Работа запорной арматуры в насосных станциях I и II категории, как правило, при диаметре 400 мм и более должна осуществляться с помощью электропривода, за исключением насосов, которые по условиям работы требуют запорной арматуры с электроприводом.

Таблица 8.1

Условный проход D_y , мм	D_n , мм	D , мм	L , мм	Масса, кг, при давлении, МПа	
				0,6	1,0
125	146	295	500–600	40	44
150	168	320	500–600	46	53
200	219	375	500–600	74	76
250	273	440	500–600	97	103
300	325	490	500–600	114	120
350	377	540	500–600	136	148
400	426	595	500–600	159	179
450	478	700	550–650	202	222
500	529	750	550–650	223	245
600	630	870	550–650	274	312
700	720	980	550–650	334	388
800	820	1100	600–700	423	496
900	920	1200	600–700	479	552
1000	1020	1300	600–700	528	649
1200	1220	1500	600–700	626	897

8.3.7 Расходомеры следует устанавливать на каждой нитке водовода в камерах за пределами здания насосной станции или внутри их с выводом показаний на местный пульт управления и по требованию эксплуатирующих организаций — на диспетчерский пункт управления системой водоснабжения населенного пункта.

8.3.8 При значительном давлении, возникающем в водоводе у насосной станции при гидравлическом ударе в случае отключения электроэнергии, следует предусматривать средства защиты от гидравлического удара, например: воздушные колпаки, обратные клапаны двойного действия, которые приведены в приложении Г. Величину давления при гидравлическом ударе следует определять по ТКП 45-4.01-197.

8.3.9 В отдельных случаях допускается установка в насосной станции оборудования, обеспечивающего сброс воды из напорного коллектора во всасывающий при возникновении гидравлического удара.

9 Резерв мощности насосных станций

9.1 В соответствии с генеральными планами населенных пунктов на перспективное развитие необходимо предусматривать увеличение производительности насосных станций.

Для этой цели необходимо в машинном зале оставлять место для перспективного насоса большей производительности, а также предусматривать увеличенные фундаменты под насосы большей производительности.

9.2 На генплане площадки необходимо оставлять место рядом с насосной станцией для перспективной пристройки машинного зала и установки более мощного электрооборудования в трансформаторные подстанции и распределительные устройства.

9.3 В одном машинном зале насосной станции возможно размещение различных групп насосов одного назначения с учетом возможности заменить в дальнейшем менее мощные насосы на более мощные.

9.4 В фундаментах, предназначенных для установки в перспективе более мощных насосов, следует предусматривать двойные гнезда под анкерные болты: одни — на первую очередь, другие — на перспективу.

9.5 На всасывающих и напорных линиях насосов, которые в перспективе должны заменяться на более мощные, следует предусматривать монтажные вставки. При этом скорости движения воды во всасывающих и напорных линиях, приведенные в ТКП 45-4.01-32 (12.2.11), следует принимать меньшие.

10 Габариты насосной станции

10.1 Общие положения

10.1.1 Размещение насосов и трубопроводов в здании насосных станций должно обеспечивать надежность действия основного и вспомогательного оборудования, удобство, простоту и безопасность эксплуатации, а также учитывать возможность расширения станции в перспективе.

10.1.2 Размеры здания насосной станции второго подъема и повысительных насосных станций (ПНС) в плане зависят от размещения насосов, их типов, размеров, количества основных насосов, а также вспомогательного оборудования и подсобных помещений.

10.1.3 Размещение насосов в машинном зале насосных станций следует осуществлять по следующим схемам:

- однорядное, перпендикулярно продольной оси здания;
- однорядное, параллельно продольной оси здания;
- двухрядное;
- двухрядное в шахматном порядке.

10.1.3.1 Однорядное расположение насосов обеспечивает компактность размещения оборудования при небольшой ширине здания, но увеличивает его длину.

10.1.3.2 Двухрядное расположение применяется при большом количестве насосов различного назначения.

10.1.3.3 Расположение насосов в шахматном порядке сокращает длину здания и упрощает схему коммуникаций.

10.1.4 Выбор схем компоновки насосного оборудования и размещение всасывающих и напорных трубопроводов производится на основе технико-экономического сравнения нескольких вариантов.

10.1.5 Габариты всего здания насосной станции определяются размерами подсобных помещений, которые зависят от производительности и назначения насосной станции.

10.1.6 Для насосных станций второго подъема и повысительных насосных станций, не оснащенных полностью средствами автоматизации и требующих постоянного присутствия дежурного персонала, необходимо предусматривать помещения для диспетчерской службы, электрощитовую, санузел, мастерскую для мелкого ремонта оборудования с набором необходимых инструментов, помещение для обслуживающего персонала с оборудованием его шкафчиками для рабочей одежды и необходимыми условиями для приема пищи.

При наличии на площадках аналогичных помещений, в насосных станциях их не следует предусматривать.

В повысительных насосных станциях, работающих в автоматическом режиме без диспетчерской службы, подсобные помещения допускается не предусматривать.

10.2 Определение размеров в плане

10.2.1 При определении площади машинного зала следует учитывать расстояние между насосами и электродвигателями, между насосами и стеной, проходы вокруг оборудования, которые следует принимать по ТКП 45-4.01-32 (12.2.23).

10.2.2 Длина прямоугольного машинного помещения определяется:

- габаритами насосов и схемой их расположения;
- проходами между насосами, торцевыми стенами и насосами;
- установкой запорной арматуры на всасывающих и напорных коллекторах при их расположении внутри машинного зала;
- возможностью обслуживания насосов и кранового оборудования;
- устройством монтажной площадки;
- устройством площадки для обслуживания кранового оборудования.

10.2.3 Ширина прямоугольного машинного зала определяется:

- размерами насосов и схемой их расположения;
- суммой длин участков трубопроводов, фасонных частей и арматуры на всасывающих и напорных линиях насосов;
- расстоянием между трубопроводами и арматурой вдоль стен;
- габаритами каналов для трубопроводов в соответствии с ТКП 45-4.01-32 (12.5.2);
- устройством переходных мостиков для обслуживания оборудования станции;
- каналами для размещения электрооборудования.

10.2.4 При применении четырех и более насосов с горизонтальным валом допускается применять насосы с различным направлением вращения, что упрощает внутрисканционные коммуникации и позволяет сокращать размеры машинного зала.

10.3 Определение размеров в вертикальной плоскости

10.3.1 Высота машинного зала определяется грузоподъемным устройством для монтажа и демонтажа насосного оборудования, габаритными размерами насосов.

10.3.2 Грузоподъемное устройство следует принимать по ТКП 45-4.01-32 (12.2.25), а его габариты — по паспортным данным заводов-изготовителей.

10.3.3 Высота установки грузоподъемного устройства над монтажной площадкой определяется возможностью выгрузки его с автомобиля или вагонетки и погрузки на них наиболее крупногабаритного элемента оборудования насосной станции, причем эта высота должна быть не менее 3,5 м.

10.3.4 Высота здания насосной станции заглубленного типа представляет собой сумму высот подземной и наземной части здания.

10.3.5 Для доставки, монтажа и ремонта насосного оборудования в машинном зале необходимо предусматривать монтажную площадку на уровне поверхности земли в торце здания.

Расположение и размеры монтажной площадки определяются:

- размещением на ней самого большого по габаритам насоса, причем вокруг него должен предусматриваться свободный проход шириной не менее 0,7 м;
- расстоянием допустимого приближения крюка грузоподъемного механизма к боковым и торцевым стенам здания;
- возможностью разборки насосов;
- возможностью заезда на нее транспортного средства, необходимого для перевозки самого большого по габаритам насоса.

10.3.6 Монтажная площадка в заглубленных насосных станциях должна иметь ограждения высотой 0,7 м над уровнем пола, которое может быть съёмным при монтаже и демонтаже оборудования.

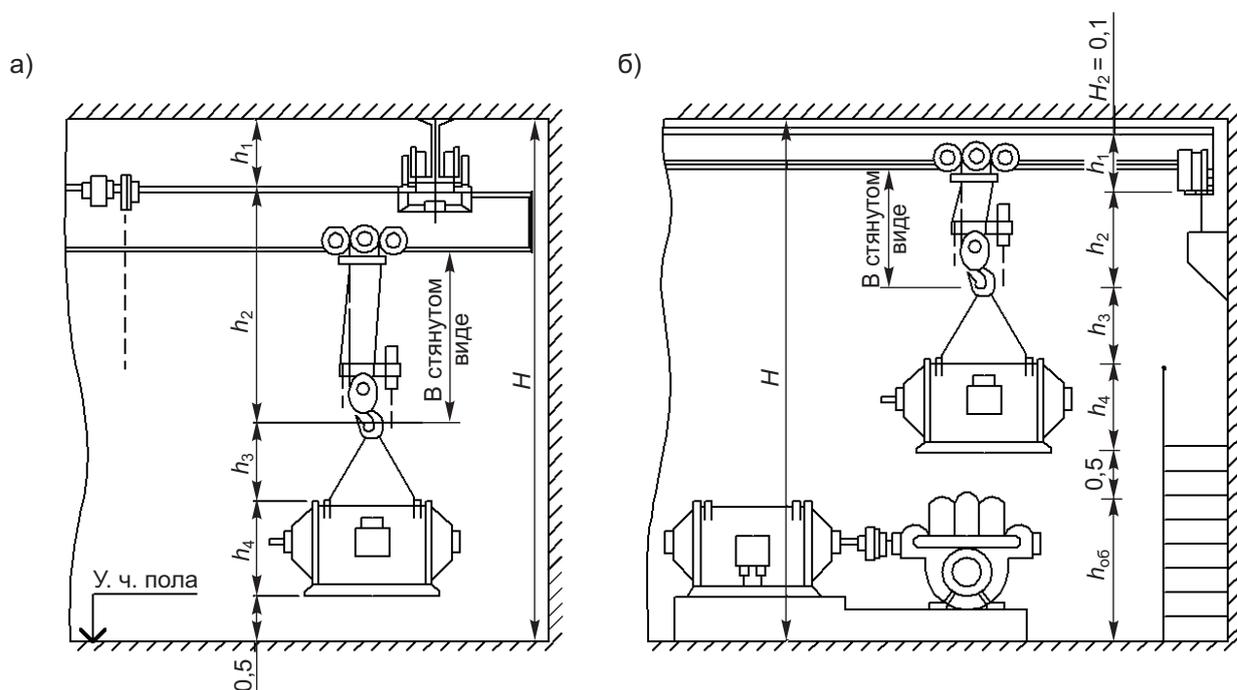
10.3.7 При оборудовании насосного помещения подвесной кран-балкой или мостовым краном высоту его вычисляют по формуле

$$H_{мз} \geq h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + 0,5 + h_{об} + 0,1, \tag{10.1}$$

- где h_1 — высота монорельса кран-балки с учетом подвески его к перекрытию или высота крана над головкой подкранового рельса мостового крана, м;
- h_2 — минимальная высота от крюка до низа монорельса (по паспортным данным кран-балки) или от крюка до головки рельса мостового крана, м;
- h_3 — высота строповки груза; принимают в диапазоне от 0,5 до 1,0 м;
- h_4 — высота переносимого оборудования, м;
- 0,5 — высота от переносимого груза до верха установленного оборудования, м;
- $h_{об}$ — высота самого высокого установленного оборудования, м;
- 0,1 — расстояние по высоте от низа перекрытия до верха балки крана, м.

Параметры формулы (10.1) показаны на рисунке 10.1.

На концах рельсового пути грузоподъемных машин предусматриваются упоры.



Размеры в метрах

Рисунок 10.1 — Схемы расположения грузоподъемного оборудования внутри сооружений:
 а — оборудование насосного помещения подвесным краном;
 б — оборудование насосного помещения мостовым краном

10.3.8 Для обслуживания однобалочных и электрических кранов следует предусмотреть постоянные или передвижные площадки и лестницы.

В отдельных случаях в насосных станциях с насосами малых габаритов предусматривают установку тали или кошки соответствующей грузоподъемности с передвижением ее за пределы здания не менее чем на 3 м.

Необходимо учитывать степень нагрузки подъемно-транспортного оборудования и периодичность его использования, а также безопасность подъемно-транспортных операций.

10.3.9 Размеры фундамента под насосом принимают не менее чем на 15 см больше ширины и длины плиты или рамы, на которой смонтированы насос и приводной электродвигатель. Глубина заложения фундамента определяется расчетом с учетом структуры грунта в основании насосной станции.

10.3.10 Рамы и опорные плиты скрепляют с фундаментами анкерными болтами после проверки их установки по паспортным данным завода-изготовителя.

10.3.11 Высоту фундамента над уровнем чистого пола следует принимать в зависимости от расположения всасывающих и напорных трубопроводов, но не менее 0,10 м.

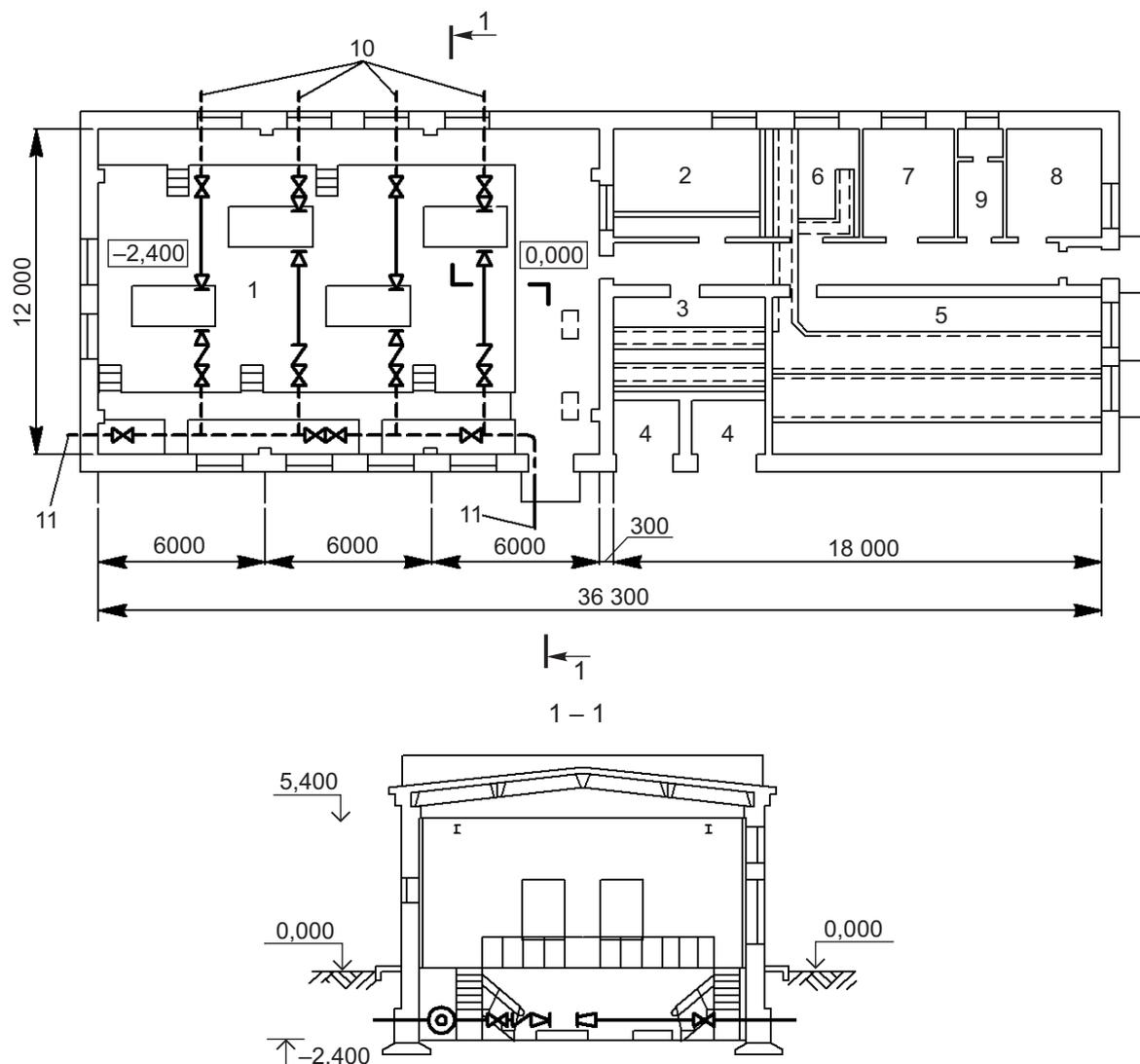
10.3.12 Для доставки оборудования на монтажную площадку предусматривают ворота, ширина которых должна быть на 0,25–0,30 м больше ширины наибольшего насоса насосной станции, а высота принимается из расчета въезда на монтажную площадку автотранспорта или погрузочной вагонетки с оборудованием, но не менее 2,5–3,0 м.

10.3.13 Габариты здания насосной станции должны быть увязаны с размерами типовых железобетонных конструкций.

10.3.14 В машинном помещении заглубленных и наземных насосных станций необходимо предусматривать приямок для отвода дренажных вод, естественных утечек, опорожнения трубопроводов и для использования при аварии на станции. Размер приямка определяют по объему принимаемых вод и способу их удаления, но не менее 0,5×0,5×0,7 м. Отвод воды из приямка следует предусматривать в дождевую канализацию. Диаметр труб дождевой канализации следует определять по расходу воды, который может быть при аварии на трубопроводах или запорной арматуре.

10.3.15 На рисунках 10.2 и 10.3 приведены примерные варианты размещения насосного оборудования и служебных помещений насосных станций, а на рисунке 10.4 согласно [9] — схемы повысительных насосных установок.

10.3.16 Повысительные насосные установки для внутреннего водоснабжения отдельных зданий следует проектировать согласно ТКП 45-4.01-52.



- 1 — машинный зал; 2 — помещение обслуживающего персонала; 3 — щитовая;
 4 — камеры трансформаторов; 5 — распределительное устройство;
 6 — помещение выпрямителей; 7 — помещение статических конденсаторов;
 8 — мастерская; 9 — санузел; 10 — всасывающие трубопроводы; 11 — напорные трубопроводы

Рисунок 10.2 — Насосная станция второго подъема заглубленного типа

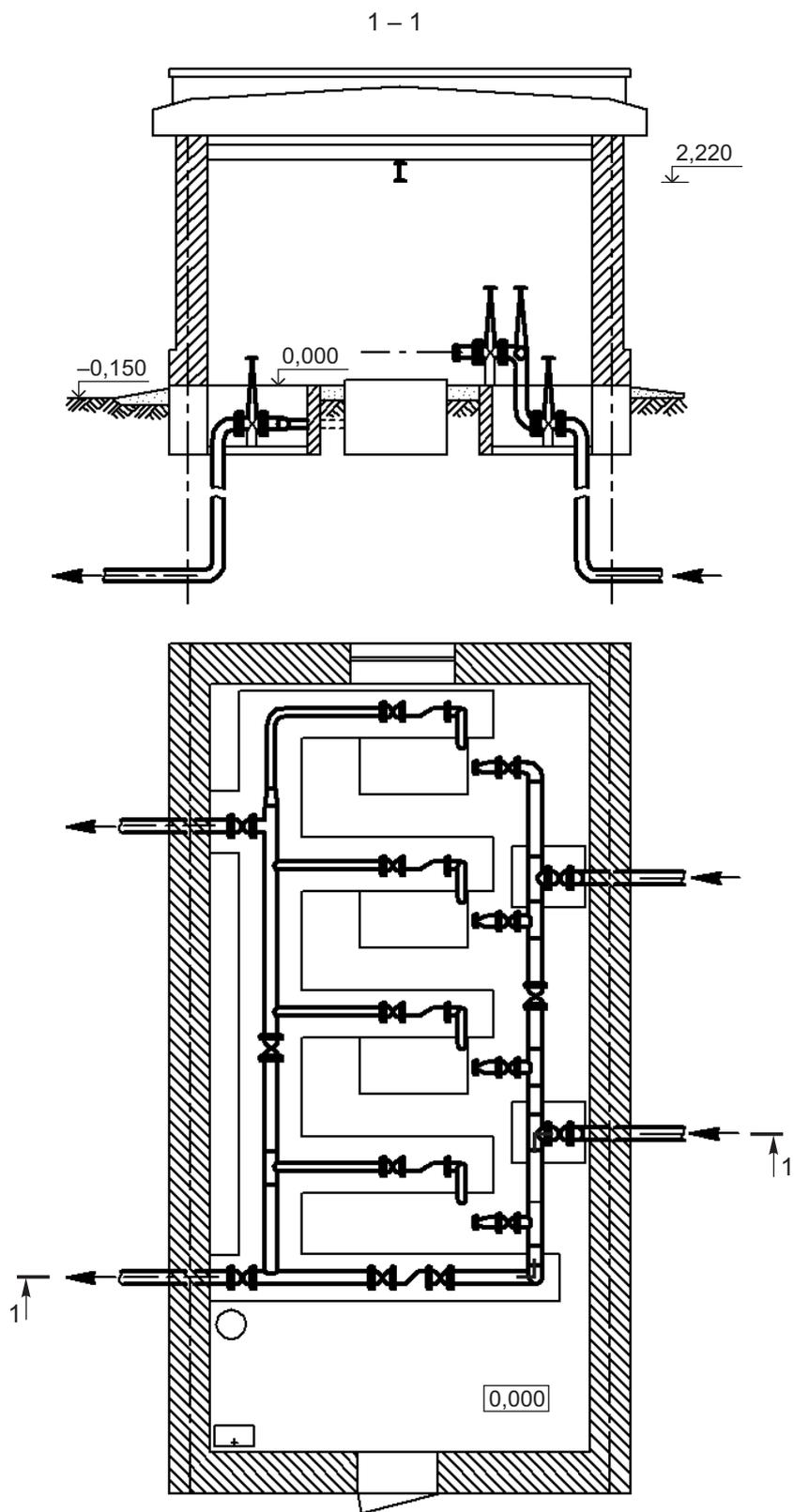
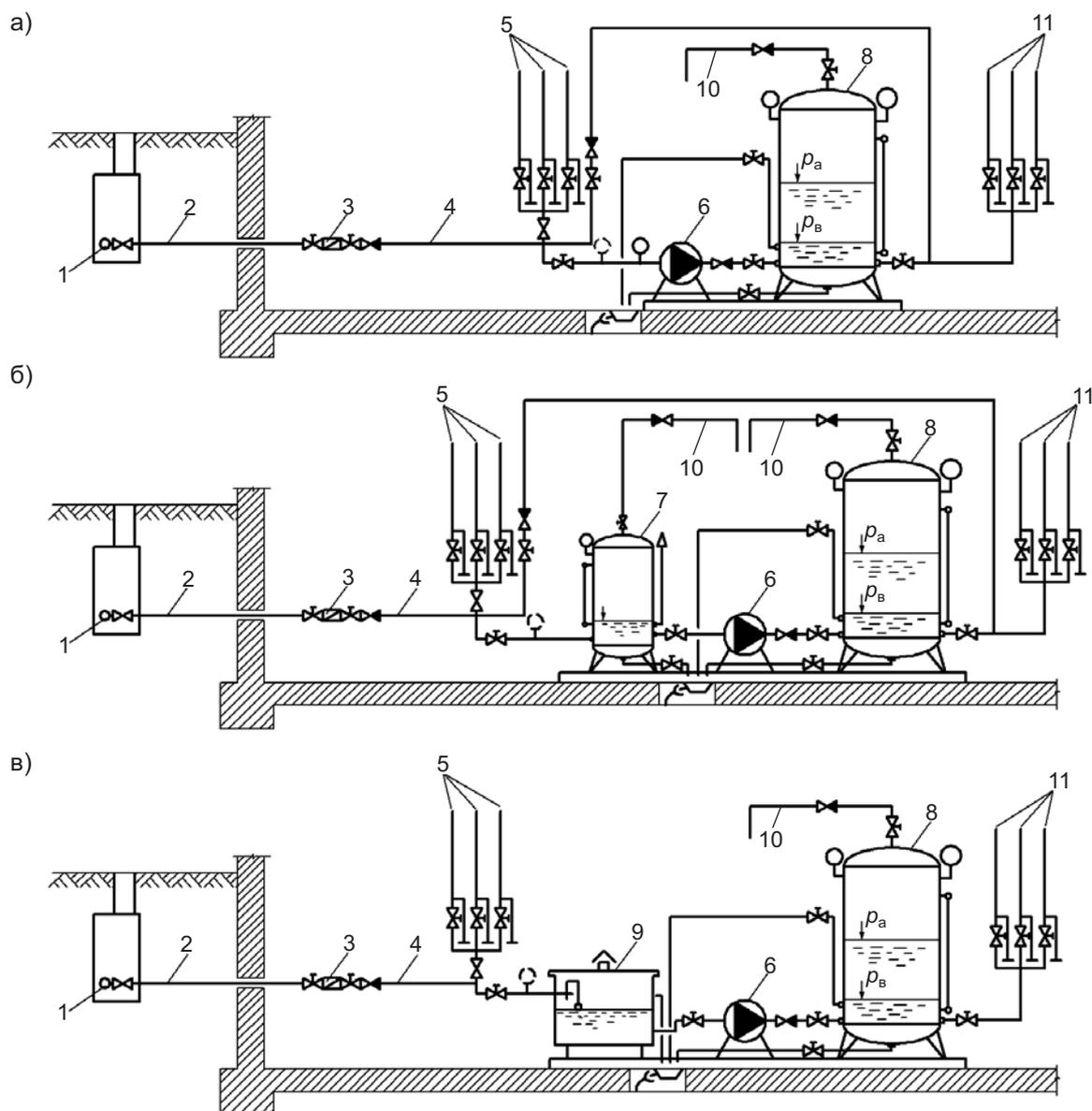


Рисунок 10.3 — Повысительная насосная станция



- 1 — наружный водопровод; 2 — ввод водопровода; 3 — водомер;
 4 — трубопровод от водомера до повысительной насосной установки;
 5 — потребители, давление для которых достаточно в наружной водопроводной сети; 6 — насос;
 7 — пневмобак до насоса; 8 — пневмобак после насоса; 9 — резервуар; 10 — трубопровод от компрессора;
 11 — потребители, давление для которых обеспечивается от повысительной насосной установки

Рисунок 10.4 — Схемы повысительных насосных установок:

а — повысительная насосная установка с пневмобаком после насоса;

б — повысительная насосная установка с пневмобаками до и после насоса;

в — повысительная установка с резервуаром до насоса и пневмобаком после насоса

11 Электроснабжение

11.1 Для пуска, регулирования и остановки приводных электродвигателей насосов, а также для управления вспомогательным оборудованием с электроприводом в насосных станциях следует предусматривать электрическое хозяйство, устройство которого должно соответствовать требованиям [10].

11.2 Электрическое хозяйство, как правило, включает в себя трансформаторы, масляные выключатели, разъединители, изоляторы, токоведущие части, силовые кабели, измерительные трансформаторы и предохранители.

11.3 При блокировке повысительной насосной станции с центральными тепловыми пунктами (ЦТП) или трансформаторными подстанциями (ТП) необходимо предусматривать отдельно от других потребителей учет электроэнергии.

11.4 Освещение машинного зала насосных станций следует выполнять с погрупповым включением.

11.5 Автоматическое включение резервного освещения насосных станций следует предусматривать при постоянном присутствии обслуживающего персонала.

12 Средства контроля и управления насосной станцией

12.1 Общие положения

12.1.1 Основные требования по автоматизации насосных станций приведены в ТКП 45-4.01-32.

12.1.2 Система автоматизации насосных станций должна предусматривать:

— автоматическое управление насосами в соответствии с заданным режимом или по заданной программе;

— автоматический контроль всех параметров, прямо или косвенно характеризующих режим работы насосов и их состояние, защиту и сигнализацию при отклонении от нормальных режимов работы;

— автоматическое регулирование параметров, определяющих технологический режим работы насосов и их экономичность.

12.1.3 Автоматизированная система управления (далее — АСУ) должна соответствовать следующим требованиям:

— кроме автоматического режима управления должна допускаться возможность местного управления каждым из сблокированных между собой механизмов при их осмотре и ремонте. Избиратель управления должен находиться в непосредственной близости от управляемых механизмов или на щите управления, в последнем случае у механизмов должны быть установлены выключатели безопасности (аварийное отключение);

— должна быть исключена возможность управления одновременно двумя способами (например, автоматическим и ручным);

— в случае необходимости оперативного вмешательства диспетчерского персонала в работу автоматизированной установки допускается совмещение режимов автоматического и телемеханического управления со щита управления;

— при переходе на телемеханическое управление цепи автоматики должны отключаться автоматически или специальной командой диспетчера;

— перевод насоса с ручного режима на автоматический не должен сопровождаться отключением находящихся в работе насосов;

— при остановке автоматизированной установки схема автоматики должна прийти в состояние готовности к следующему пуску;

— должна быть предусмотрена блокировка, исключающая возможность автоматического пуска насоса после его аварийного отключения;

— при кратковременном отключении питающего напряжения и последующем его восстановлении элементы схемы автоматики должны прийти в состояние, предшествующее моменту отключения напряжения и обеспечивать самозапуск;

— схемы автоматического программного управления должны строиться так, чтобы выполнение очередной операции разрешалось только после контроля исполнения предыдущей операции;

— устройства автоматики должны иметь минимальное количество видов и величин питающих напряжений;

— сигналы аварийного отключения на автоматизированных насосных станциях при централизованном контроле должны сохраняться до прибытия обслуживающего персонала и передаваться на пункт управления;

— управление насосами должно осуществляться как в ручном, так и в автоматическом режиме и выполняться единым комплексом в составе:

преобразователя частоты тока (ПЧТ) с возможностью подключения к нему любого из насосов рабочей группы;

системы контроля технологических параметров (входное и выходное давление) и управления насосами в режиме не менее чем четыре интервала регулирования в течение суток.

12.1.4 По условиям надежности работы систем автоматизации к ним предъявляются следующие требования:

- надежность всех элементов системы рекомендуется принимать одинакового порядка;
- система автоматики должна быть составлена из элементов, предназначенных для работы в условиях, характерных для водопроводных сооружений, или должны приниматься меры по размещению аппаратуры автоматики в помещениях с температурой, необходимой для нормальной работы КИПиА;
- схемы автоматики должны строиться так, чтобы неисправности их отдельных элементов не могли привести к возникновению аварийных режимов работы насосов.

12.1.5 При разработке систем автоматизации, телемеханизации и технологического контроля необходимо использовать сертифицированные приборы и оборудование как отечественного, так и импортного производства.

12.1.6 Для упрощения схемы автоматизации и повышения ее надежности насосы рекомендуется устанавливать под заливом.

При необходимости применения принудительного залива его следует контролировать с помощью датчиков, исключающих возможность включения незалитого насоса.

12.1.7 Регулирование частоты вращения насосов следует осуществлять с помощью частотно регулируемого привода.

12.1.8 В качестве сигналов для управления насосами второго и последующих подъемов следует принимать:

- давление в заданной точке распределительной сети;
- уровень воды в баке водонапорной башни;
- давление на напорном и всасывающем коллекторах в насосной станции;
- программное устройство, настроенное в соответствии с режимом потребления воды.

12.1.9 Для контроля параметров, наблюдение за которыми необходимо при эксплуатации водопроводной насосной станции, следует предусматривать показывающие приборы; для контроля параметров, изменение которых может привести к аварийному состоянию оборудования, — сигнализирующие показывающие приборы; для контроля параметров, учет которых необходим для анализа работы оборудования или хозяйственных расчетов, — регистрирующие или суммирующие приборы.

12.1.10 Методика определения технико-экономической эффективности применения АСУ с регулируемым приводом в насосных установках приведена в приложении Д.

12.2 Процессы, выполняемые приборами автоматики на насосных станциях

12.2.1 Основными процессами, которые могут выполняться на насосных станциях приборами автоматики, являются:

- прием и передача управляющего сигнала на пуск и остановку насосов;
- выдержка времени перед пуском насосов после получения командного импульса и между отдельными процессами;
- включение одного или нескольких насосов в установленной последовательности;
- создание и поддержание необходимого вакуума во всасывающем трубопроводе и корпусе насоса перед его пуском (при положительной высоте всасывания);
- открывание и закрывание задвижек на трубопроводах в заданные моменты при пуске и остановке насоса;
- контроль за установленным режимом работы насосов при пуске, работе и остановке;
- отключение насоса при аварии и автоматическое включение резервного насоса;
- передача параметра режима работы насоса на диспетчерский пункт;
- защита насоса от электрических, тепловых и механических повреждений;
- контроль за отоплением и вентиляцией в помещении насосной станции;
- защита от несанкционированного доступа посторонних лиц;
- автоматическое включение и отключение дренажных насосов.

12.2.2 При аварийной остановке частотно-регулируемого привода на районных повысительных насосных станциях (при наличии дежурного персонала) автоматическое включение резервного насоса в отдельных случаях не требуется, однако в этом случае следует предусматривать сигнализацию (световую и звуковую) на пульт управления.

12.2.3 На входном трубопроводе в повысительную насосную станцию следует контролировать давление. При давлении менее 0,08 МПа система автоматики должна отключать насосное оборудование, при этом должна предусматриваться возможность перевода защиты из режима отключения насосного оборудования в режим сигнализации (световой и звуковой).

Порядок включения насосов после их отключения при давлении во всасывающем трубопроводе ниже 0,08 МПа следующий:

— насос должен включиться автоматически в работу при давлении во всасывающем трубопроводе выше 0,1 МПа;

— остальные насосы должны включаться в работу с целью обеспечения заданного давления в контролируемой точке, находящейся в зоне влияния повысительной насосной станции.

12.2.4 На районных наземных ПНС (с постоянным обслуживающим персоналом) должна быть предусмотрена возможность перевода защиты оборудования при затоплении машинного зала из режима отключения в режим только сигнализации (световой и звуковой).

12.2.5 На заглубленных ПНС следует предусматривать установку дренажных насосов с ручным и автоматическим режимами работы.

13 Строительные решения и конструкции зданий насосных станций

13.1 Общие положения

13.1.1 Здания насосных станций предназначены для размещения основного, вспомогательного гидромеханического (насосы, трубопроводы с установленной на них арматурой), силового (двигатели, аппаратура, распределительные устройства), механического (грузоподъемные установки) оборудования и служебных помещений.

13.1.2 Конструкция здания насосной станции зависит от его назначения, типа и размера основных насосов, климата и рельефа местности, геологии, гидрогеологии, технологии производства строительных работ, вида применяемых строительных материалов по [6], [8] и предъявляемых к ней технологических требований.

Насосные станции могут проектироваться как отдельно стоящими, так и сблокированными с другими сооружениями (например, со станциями обезжелезивания). Повысительные насосные станции, как правило, должны проектироваться отдельно стоящими наземного типа. Допускается их блокировка с ЦТП или ТП с отдельными входами.

13.1.3 Выбор типа и конструкции здания водопроводной насосной станции и решение схемы ее коммуникаций должны производиться с учетом необходимости обеспечения:

- наиболее эффективной работы энергетического оборудования;
- надежности и удобства эксплуатации;
- наименьших потерь давления;
- надежного действия противомембранных устройств, гидроизоляции, дренажей и т. д.;
- возможно коротких сроков строительства.

13.1.4 По расположению насосов относительно уровня воды в приемном резервуаре или подводящем коллекторе насосные станции подразделяются на:

- насосные станции с положительной высотой всасывания;
- насосные станции, насосы которых находятся под заливом;
- насосные станции с подпором (повысительные насосные станции).

13.1.5 По расположению относительно поверхности земли насосные станции могут быть:

- заглубленные;
- частично заглубленные;
- наземные.

13.1.6 При малом заглублении насосной станции и большом количестве насосов (более трех) следует применять здания прямоугольной формы. При меньшем количестве насосов могут применяться здания круглой формы.

13.1.7 Здание насосной станции состоит из подземной и наземной части. В подземной части располагают насосы, в наземной (незаглубленной) — в основном вспомогательное оборудование и служебные помещения.

13.1.8 Габариты подземной части здания станции должны быть наименьшими при условии размещения и удобства эксплуатации оборудования, а также прочности и устойчивости сооружения и увязаны с габаритами наземной части, применяемыми в соответствии с нормами строительства промышленных зданий.

13.1.9 В отдельных случаях допускается оговаривать конструктивные элементы насосной станции в техническом задании на проектирование (например, устройство глухих стен без окон, двухскатные крыши, двери с калиткой и т. д.).

13.2 Компонировочные решения

13.2.1 Оптимальную компоновку здания насосной станции принимают на основании сравнения нескольких вариантов, которые зависят от типа выбранных насосов.

13.2.2 При выборе размеров здания насосной станции следует руководствоваться правилами:

- при количестве насосов до трех применяют однорядную схему установки;
- при большем количестве насосов следует применять двухрядную схему установки, в отдельных случаях с использованием насосов правого и левого вращения;
- распределительные устройства и служебные помещения располагают в торцах машинного зала или в отдельно стоящих зданиях; при большом количестве насосов для зданий со сложной технологической схемой (наличие системы технического водоснабжения, маслоснабжения и других вспомогательных систем) — в пристройке, расположенной вдоль основного здания;
- в зданиях с низкими машинными залами для подачи оборудования к месту установки предусматривают люки со съемными крышками или раздвижные перекрытия.

13.2.3 Глубина заложения подземной части здания определяется уровнем воды в водоисточнике (резервуаре), допустимой высотой всасывания насосов. В последнем случае здание насосной станции может быть наземного типа.

13.2.4 Выбор типа и компоновки здания насосной станции принимают с учетом не только экономических, но и технических показателей.

13.3 Подземная часть здания

При проектировании подземной части здания, необходимой для размещения основного и вспомогательного оборудования, следует руководствоваться следующими правилами:

- объем подземной части здания должен быть минимально возможным;
- вспомогательные системы, которые могут быть размещены вне подземной части, следует вынести за ее пределы;
- габариты подземной части с целью размещения на ней верхнего строения большей площади увеличивать не рекомендуется;
- подземная часть здания станции длиной более 18 м должна иметь не менее двух выходов.

13.4 Наземная часть здания

13.4.1 При проектировании наземной части здания, служащей для размещения основных насосов в зданиях наземного типа, подъемно-транспортного оборудования как в зданиях наземного, так и заглубленного типа, распределительных устройств и других служебных помещений рекомендуется верхнее строение проектировать прямоугольной формы с одноэтажным машинным залом одного направления.

13.4.2 Монтажная площадка предусматривается для ремонтных работ и разгрузки оборудования с транспортных платформ. Монтажную площадку следует располагать в торце машинного зала со стороны подъездных путей.

В зданиях станций наземного типа для монтажной площадки следует использовать участок пола машинного зала, размеры которого должны быть достаточными для въезда на площадку транспортной платформы с целью разгрузки или погрузки насоса.

В зданиях заглубленных насосных станций монтажную площадку обычно устраивают на уровне земли. Площадка покрывает частично подземную часть здания, в пределах которой обычно размещают вспомогательное оборудование — насосы дренажные, противопожарные и технического водоснабжения, а также небольшие склады материалов.

Ширину монтажной площадки обычно принимают равной ширине машинного зала, а длину — полуторному расстоянию между осями насосов.

13.5 Служебные помещения

13.5.1 Состав служебных помещений следует принимать в зависимости от подачи насосной станции, мощности двигателей, степени автоматизации технологических процессов и др.

13.5.2 Для ремонта оборудования насосной станции следует предусматривать ремонтную мастерскую, если на предприятии отсутствует централизованный ремонт оборудования.

13.6 Противопожарные требования

Здания насосных станций следует проектировать не ниже IV степени огнестойкости по СНБ 2.02.01, они должны удовлетворять требованиям ТКП 45-3.02-90, ТКП 45-2.02-138 и СНБ 2.02.01.

Эвакуационные выходы следует проектировать согласно СНБ 2.02.02.

13.7 Отопление и вентиляция

13.7.1 В зданиях насосных станций следует предусматривать отопление и вентиляцию, проектируемые согласно СНБ 4.02.01 с учетом технологических требований.

13.7.2 Расчетную температуру в производственных помещениях в отопительный период следует принимать:

— в помещениях с постоянным пребыванием обслуживающего персонала (более двух часов в смену) — 18 °С;

— в помещениях без постоянного присутствия персонала — 5 °С;

— в электропомещениях — по технологическим требованиям.

13.7.3 Механические системы вентиляции следует проектировать только в случае невозможности устройства естественной вентиляции или ее недостаточности.

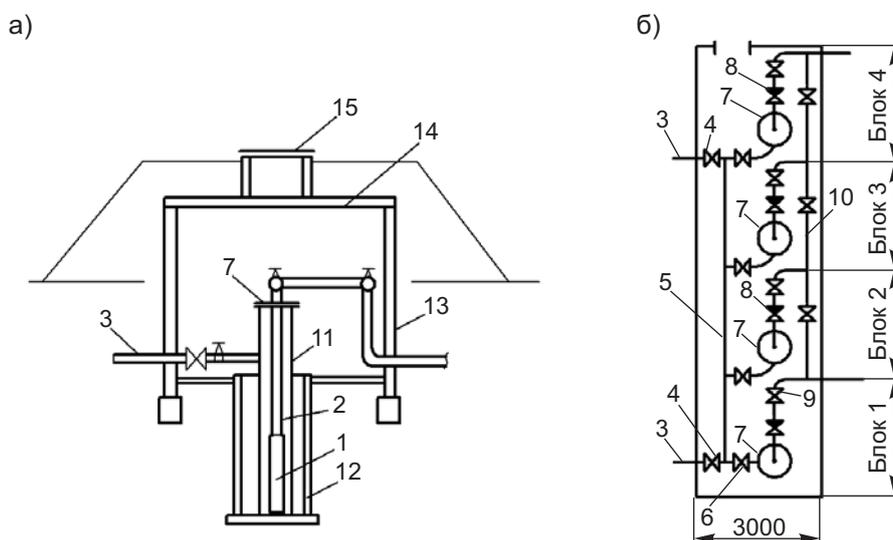
14 Блочные насосные станции

14.1 Применение блочных насосных станций в проектах сокращает стоимость, сроки строительства и повышает качество строительства объекта.

14.2 Насосная станция, оборудованная насосами блочного типа, должна состоять из нескольких транспортабельных блоков, изготавливаемых в заводских условиях. На подготовленной площадке эти блоки собирают в единую технологическую конструкцию в течение сравнительно короткого времени.

14.3 Наиболее предпочтительными насосами для насосных станций блочного типа являются погружные и вертикальные насосы.

14.4 На рисунке 14.1 приведена схема насосной станции блочного типа с погружными насосами типа ЭЦВ (Э — с приводом от погружного электродвигателя, Ц — центральный, В — для подачи воды).



- 1 — погружной насос типа ЭЦВ; 2 — водоподъемная труба; 3 — наружный всасывающий трубопровод;
 4, 6, 9 — задвижки (затворы); 5, 10 — всасывающий и напорный коллекторы; 7 — оголовок;
 8 — обратный клапан; 11 — трубопровод-колодез для погружного насоса; 12 — железобетонная труба;
 13 — железобетонный блок; 14 — плита перекрытия; 15 — люк для монтажа и демонтажа погружного насоса

Рисунок 14.1 — Схема насосной станции блочного типа с погружными насосами:

а — разрез;

б — план

Приложение А
(справочное)

**Изменение характеристик насоса при изменении частоты вращения
и геометрических параметров рабочего колеса. Примеры расчета**

А.1 Пример 1

Произвести пересчет характеристик насоса марки 1Д630-906 с частоты вращения 1450 мин^{-1} на частоту вращения 980 мин^{-1} .

Характеристики насоса при частоте вращения 1450 мин^{-1} приведены в таблице А.1.

Таблица А.1

Характеристики насоса	Значения характеристик насоса в точках графиков									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q, м ³ /ч	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
ρ, МПа	0,645	0,640	0,635	0,630	0,620	0,600	0,570	0,540	0,495	0,420
η	0,00	0,27	0,46	0,61	0,71	0,76	0,77	0,76	0,73	0,67
N, кВт	—	64,5	75,2	84,4	95,1	107,5	121,0	135,4	147,7	153,6

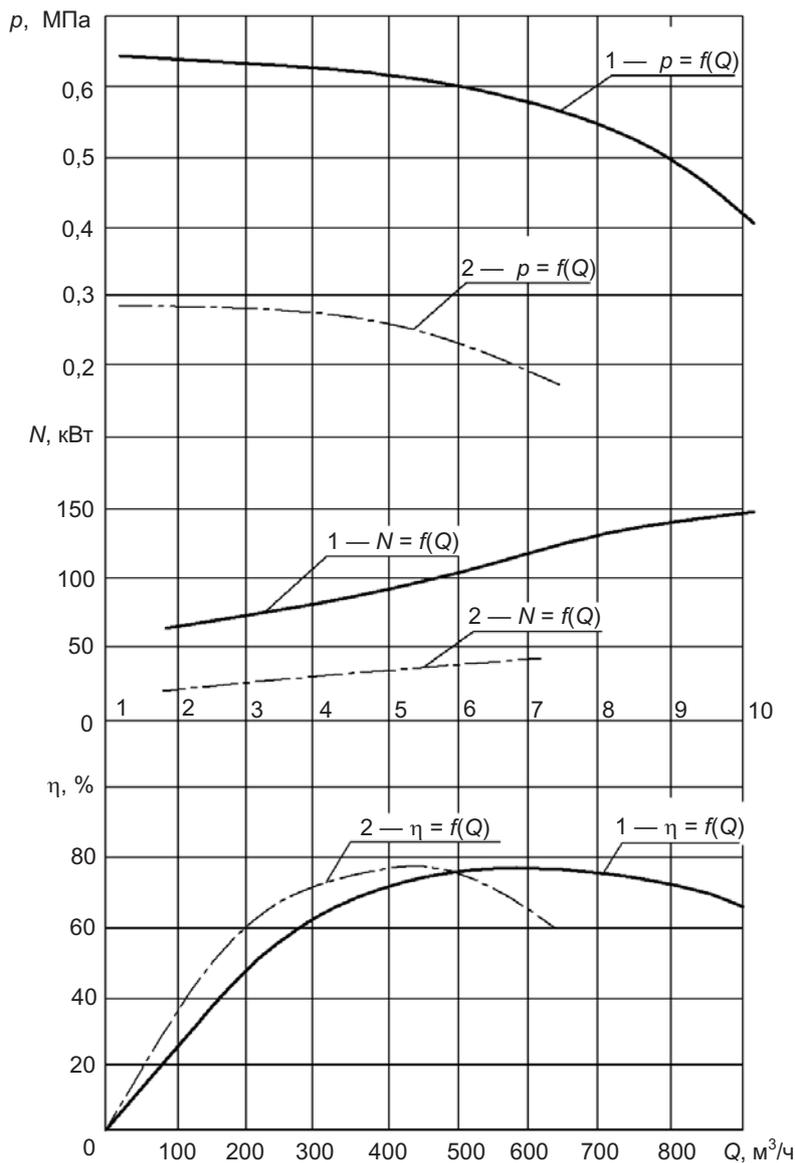
Характеристики насоса пересчитывают по формулам (5.18) – (5.120).

Характеристики насоса при частоте вращения 980 мин^{-1} приведены в таблице А.2.

Таблица А.2

Характеристики насоса	Значения характеристик насоса в точках графиков									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q, м ³ /ч	0,0	67,6	135,2	202,8	270,3	337,9	405,5	473,1	540,7	608,3
ρ, МПа	0,295	0,292	0,290	0,288	0,283	0,274	0,260	0,247	0,226	0,192
η	0,00	0,27	0,46	0,61	0,71	0,76	0,77	0,76	0,73	0,67
N, кВт	—	19,9	23,2	26,0	29,4	33,2	37,4	41,8	45,6	47,4

На рисунке А.1 приведены графики характеристик насоса марки 1Д630-906 при частоте вращения 1450 и 980 мин^{-1} .



1 — график при частоте вращения 1450 мин⁻¹; 2 — график при частоте вращения 980 мин⁻¹

Рисунок А.1 — Графики характеристик насоса марки 1Д630-90Б

А.2 Пример 2

Произвести срезку рабочего колеса диаметром $D_k = 525$ мм насоса марки 1Д630-90 для обеспечения требуемого давления 0,78 МПа при расходе 650 м³/ч.

Характеристики насоса марки 1Д630-90 при частоте вращения 1450 мин⁻¹ и диаметре рабочего колеса 525 мм приведены в таблице А.3.

Таблица А.3

Характеристики насоса	Значения характеристик насоса в точках графиков									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q, м ³ /ч	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
p, МПа	0,980	0,980	0,975	0,970	0,960	0,940	0,910	0,880	0,845	0,790
η	0,00	0,24	0,43	0,55	0,66	0,72	0,76	0,78	0,77	0,76
N, кВт	—	113,4	125,9	146,9	161,5	181,2	199,4	219,2	243,7	259,7

Определение величины срезки рабочего колеса насоса и характеристик насоса со срезанным колесом производится в следующей последовательности.

A.2.1 В рекомендуемой заводом-изготовителем рабочей части характеристики насоса по формулам (5.9), (5.10) определяем фиктивное сопротивление $S_{ф1}$ и приведенное давление $p_{пр}$.

Рекомендуемая рабочая часть графика характеристики насоса марки 1Д630-90, приведенная на рисунке А.2, находится в пределах от $Q_1 = 450 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $Q_2 = 750 \text{ м}^3/\text{ч}$ соответственно при давлении $p_1 = 0,95 \text{ МПа}$ и $p_2 = 0,86 \text{ МПа}$.

$$S_{ф1} = \frac{p_1 - p_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{0,95 - 0,86}{\left(\frac{750}{3600}\right)^2 - \left(\frac{450}{3600}\right)^2} = 3,24 \cdot 10^6 \text{ кг/м}^7,$$

$$p_{пр} = p_1 + S_{ф1} Q_1^2 = 0,95 + 3,24 \cdot \left(\frac{450}{3600}\right)^2 = 1,00 \text{ МПа}.$$

A.2.2 Определяем расход Q , $\text{м}^3/\text{с}$, в точке пересечения графика характеристики $p = f(Q)$ насоса с несрезанным колесом и параболы подобных режимов работы, проходящей через точку с заданными параметрами и точку, определяемую на графике характеристики насоса, по уравнению

$$p_{пр} = S_{ф1} Q^2 + \left(\frac{p_{ср}}{Q_{ср}}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot Q^{\frac{2}{3}}. \quad (\text{A.1})$$

Давление p , МПа, вычисляем по формуле

$$p = p_{ср} \cdot \left(\frac{Q}{Q_{ср}}\right)^{\frac{2}{3}}, \quad (\text{A.2})$$

где $p_{ср}$ и $Q_{ср}$ — соответственно требуемые давление, МПа, и расход, $\text{м}^3/\text{с}$, насоса после срезки рабочего колеса.

После подстановки в уравнение (A.1) известных численных значений $1,0 = 3,24 Q^2 + \left(\frac{0,78}{650}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot Q^{\frac{2}{3}}$

и решения его методом последовательных приближений получаем $Q = 751,5 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Выполняем вычисление по формуле (A.2):

$$p = 0,78 \cdot \left(\frac{751,5}{650,0}\right)^{\frac{2}{3}} = 0,859 \text{ МПа}.$$

A.2.3 Определяем диаметр срезанного рабочего колеса по формуле (5.22):

$$D_{ср} = D_{н} \cdot \left(\frac{Q_{ср}}{Q_{н}}\right)^{\frac{1}{3}} = 525 \cdot \frac{650}{751,5} = 500,2 \text{ мм}.$$

Величина срезки составляет $\frac{500,2 - 525}{525} \cdot 100 \% = 4,72 \%$, что допустимо при коэффициенте

быстроходности

$$n_s = \frac{3,65 n \cdot \sqrt{Q}}{\left(\frac{10^6}{\rho g} \cdot p\right)^{3/4}} = \frac{3,65 \cdot 1450 \cdot \sqrt{751,5}}{\left(\frac{10^6}{10^3 \cdot 9,81} \cdot 0,859\right)^{3/4}} = 59,7.$$

A.2.4 Расчет характеристик $p = f(Q)$ и $N = f(Q)$ насоса со срезанным колесом производим по формулам (5.21) – (5.23) и расчеты сводим в таблицу А.4 с представлением характеристик насоса марки 1Д630-90 с диаметрами рабочих колес 525 и 500,2 мм в виде графиков на рисунке А.2.

Таблица А.4

Характеристики насоса марки 1Д630-90 при $D_{ср} = 494,1$ мм	Значения характеристик насоса в точках графиков									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	0,0	86,5	179,0	259,5	345,9	432,4	518,9	605,4	691,9	778,4
$p, \text{ МПа}$	0,890	0,890	0,885	0,880	0,871	0,853	0,826	0,799	0,767	0,717
η	0,000	0,231	0,423	0,543	0,655	0,716	0,757	0,777	0,767	0,757
$N, \text{ кВт}$	—	89,0	98,8	115,3	126,8	142,2	156,5	172,1	191,3	203,9

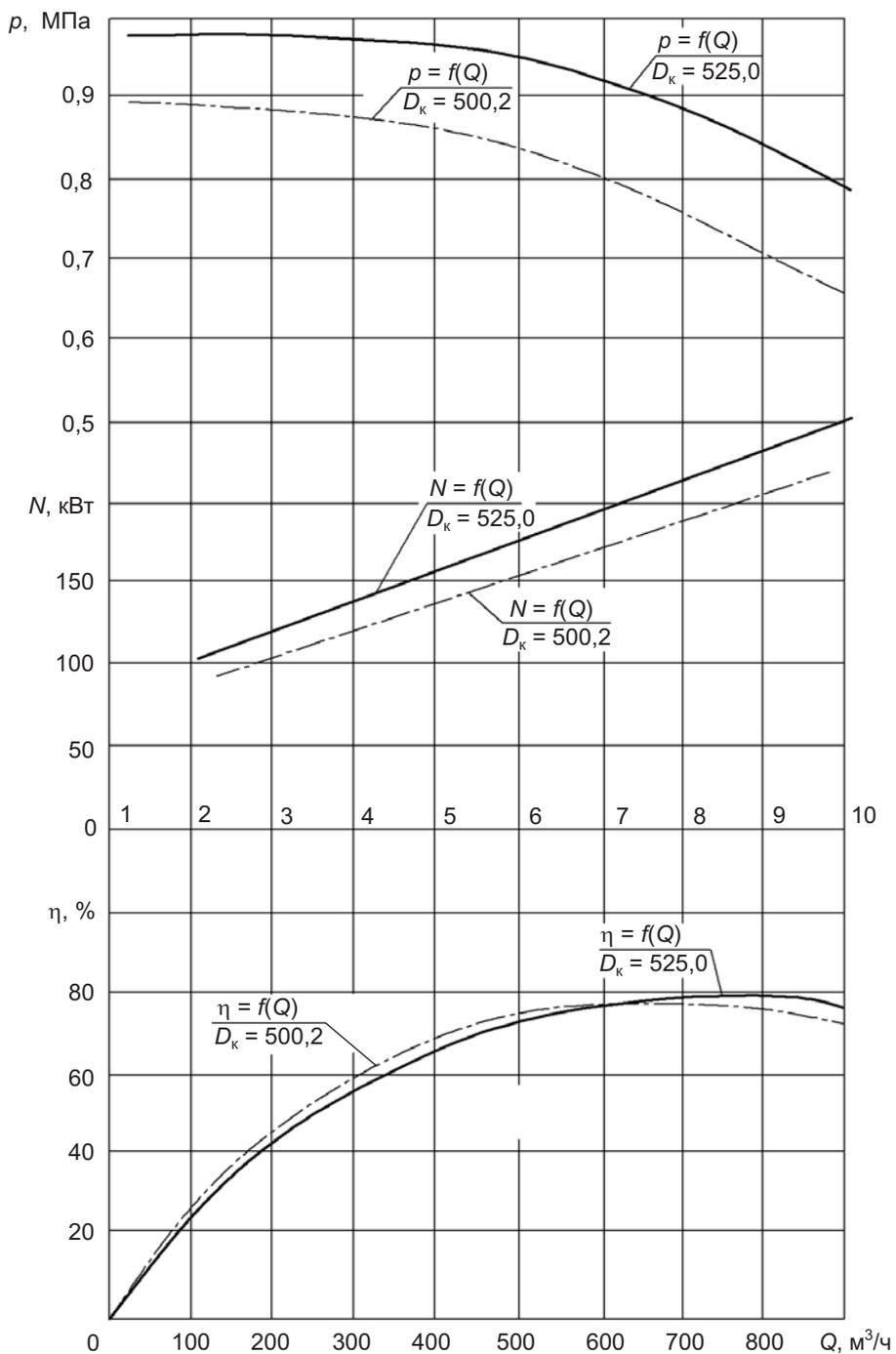


Рисунок А.2 — Графики характеристик насоса марки 1Д630-90 с диаметрами рабочих колес 525 и 500,2 мм и частотой вращения 1450 мин^{-1}

Приложение Б (справочное)

Построение графической характеристики совместной работы насосов, водовода и водопроводной сети. Примеры расчета

Б.1 Общие положения

Б.1.1 Построение графической характеристики совместной работы насосов, водовода и водопроводной сети производится на основе результатов расчетов по формулам (7.5) – (7.8).

Б.1.2 Построение графической характеристики совместной работы насосов, водовода, водопроводной сети может производиться для следующих случаев:

- башня расположена в начале водовода;
- башня расположена в начале водопроводной сети;
- башня расположена в пределах водопроводной сети;
- безбашенная система.

Б.1.3 При выборе насосов для насосной станции следует определять параметры в рабочих точках системы при различном сочетании количества насосов и ниток водовода.

Б.1.4 Давление и расход в рабочих точках системы необходимо определять на перспективу развития системы водоснабжения и по очередям строительства.

Б.1.5 При подаче воды в систему водоснабжения от нескольких источников для каждого из них следует определять район, снабжаемый водой.

Б.1.6 Давление и расход в рабочих точках системы должны определяться для каждого источника.

Б.1.7 Для определения составляющих потери давления в системе резервуары — насосная станция — водовод — водопроводная сеть — башня (или безбашенная система) по формулам (7.5) – (7.8) следует составить расчетную схему системы и произвести гидравлические расчеты ее при различных расходах и различном количестве ниток водовода, находящихся в работе.

Б.1.8 Графики характеристики $p = f(Q)$ одного, двух и более насосов, работающих параллельно, следует строить, используя паспортные или каталожные характеристики отдельных насосов.

Далее приведены примеры построения характеристик системы резервуары — насосная станция — водовод — водопроводная сеть — башня согласно Б.1.2.

Б.2 Примеры

Пример 1

Б.2.1 Насосная станция второго подъема с тремя рабочими насосами марки Д315-65 забирает воду из резервуаров чистой воды и подает ее в водовод из двух ниток диаметром 400 мм каждая, протяженностью 3000 м. В начале водопроводной сети имеется башня с высотой ствола до низа бака 24,0 м.

Абсолютные отметки, м:

- 100,0 — днища резервуаров;
- 104,5 — максимального уровня воды в резервуаре;
- 103,0 — пожарного уровня в резервуаре;
- 129,0 — максимального уровня воды в башне;
- 125,0 — минимального уровня воды в башне.

Длина каждой из двух наружных всасывающих линий диаметром 500 мм от резервуаров до насосной станции — 40,0 м.

Максимальная подача 1000 м³/ч.

Б.2.1.1 Построение графика характеристики трубопроводной системы всасывающие линии — коммуникации насосной станции — водовод — подключение к башне производим, используя результаты вычисления по формуле (7.5).

Б.2.1.2 Потери давления Δp , МПа, в трубопроводах вычисляем по формуле

$$\Delta p = \frac{\rho g}{10^6} \cdot \frac{kq^\beta}{d^m} \cdot L, \quad (\text{Б.1})$$

где k и β , m — коэффициент и показатели степени, зависящие от материала труб; принимают по ТКП 45-4.01-32 (приложение А);

- q — расход в трубопроводе, м³/с;
- d — диаметр трубопровода, м;
- L — длина трубопровода, м.

Б.2.1.3 Результаты расчетов по определению потерь давления в трубопроводах сводим в таблицу Б.1, при этом значения k , β , m приняты соответственно 0,00179; 1,9; 5,1 как для новых стальных и чугунных труб.

Таблица Б.1

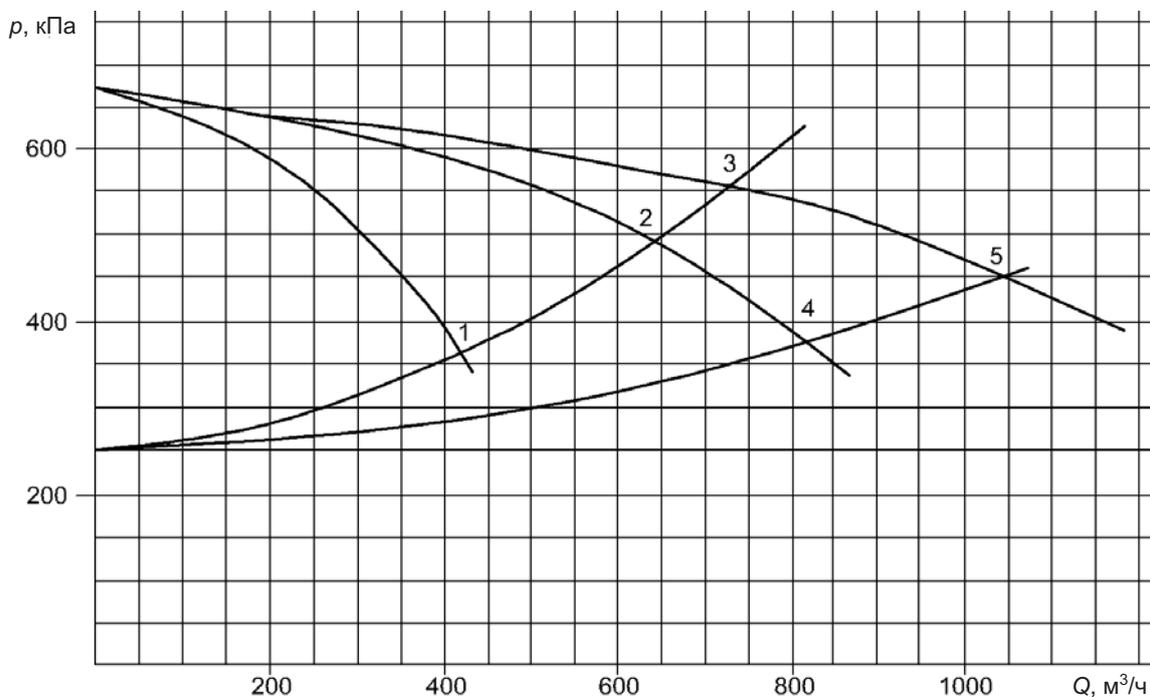
Расход, м ³ /ч	Потери давления, кПа, в трубопроводах							
	Всасывающие линии: $d = 500$ мм, $L = 40$ м		Внутри- станционные коммуникации: $p_k = 50,0$ кПа	Водовод: $d = 400$ мм, $L = 3000$ м		Подключение к башне: $d = 400$ мм, $L = 50$ м	Общие потери давления в системе резервуар — башня, кПа	
	Одна нитка	Две нитки		Одна нитка	Две нитки		Одна нитка	Две нитки
200	0,100	0,025	2,00	23,234	5,808	0,284	25,558	8,057
400	0,372	0,093	8,00	86,711	21,678	0,837	95,920	30,608
600	0,800	0,200	18,00	187,348	46,837	1,808	207,956	66,845
800	1,384	0,346	32,00	323,619	80,905	3,122	360,125	116,373
1000	2,112	0,528	50,00	494,496	123,624	4,771	551,379	178,923
1200	2,987	0,747	72,00	699,209	174,802	6,746	780,942	254,295

Б.2.1.4 В таблице Б.2 приводим значения подачи и давления насоса марки 1Д315-50, принятые согласно данным каталога.

Таблица Б.2

Подача, м ³ /ч	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400
Напор, м вод. ст.	67,0	65,0	63,0	61,5	59,5	57,5	53,5	49,5	45,0	39,5
Давление, кПа	657,3	637,6	618,3	603,3	583,7	564,8	529,7	480,7	441,4	387,5

Б.2.1.5 По данным таблиц Б.1 и Б.2 строим графики (рисунок Б.1).



1, 2, 3 — рабочие точки соответствующего одного, двух и трех насосов на одну нитку водовода;
4, 5 — рабочие точки двух и трех насосов на две нитки водовода

Рисунок Б.1 — Графики характеристик совместной работы насосов и водовода

Значения параметров в рабочих точках, определенные из графиков рисунка Б.1, приводим в таблице Б.3.

Таблица Б.3

Номера рабочих точек	1	2	3	4	5
Подача, м ³ /ч	420,0	643,0	736,0	816,0	1045,0
Давление, кПа	360,0	487,0	560,0	377,0	455,0

Б.2.1.6 Численные значения подачи Q , м³/с, и давления p , Па, в рабочих точках совместной работы насосов и водовода вычисляем по формулам:

$$Q = \sqrt{\frac{p_{\text{пр}} - \frac{\rho g}{10^6} \cdot (Z_6 - Z_p)}{\frac{S_{\text{вТ}}}{k_{\text{вТ}}^2} + \frac{\Delta p_{\text{кнс}}}{Q_{\text{н}}^{\beta}} + \frac{S_{\text{нт}}}{k_{\text{нт}}^2} + S_6 \alpha_6^{\beta} + \frac{S_{\text{ф1}}}{k_{\text{н}}^2}},} \quad (\text{Б.2})$$

$$p = p_{\text{пр}} - \frac{S_{\text{ф1}}}{k_{\text{н}}^2} \cdot Q^2, \quad (\text{Б.3})$$

где Z_6, Z_p — соответственно абсолютные отметки максимального уровня воды в башне и минимального (пожарного) уровня воды в резервуаре, м;

$\Delta p_{\text{кнс}}$ — потери давления в коммуникациях насосной станции при максимальной подаче, МПа;

$Q_{\text{н}}$ — максимальная подача насосной станцией, м³/с;

$S_{\text{вТ}}$ — гидравлическое сопротивление наружных всасывающих трубопроводов, 10⁶ кг/м⁷;

$S_{\text{нв}}$ — гидравлическое сопротивление нитки водовода, кг/м⁷;

$k_{\text{вТ}}, k_{\text{нв}}$ — соответственно количество всасывающих трубопроводов (одного диаметра) и количество ниток водовода (одного диаметра);

α_6 — доля поступления воды в башню от расхода, поступающего по водоводу;

$k_{\text{н}}$ — количество однотипных насосов.

Б.2.1.7 В случае, если параллельные нитки водовода имеют разные длины и диаметры, то общее их гидравлическое сопротивление следует вычислять по формуле

$$S_{\text{об}} = \frac{S_1 S_2 \dots S_k}{\left(\sqrt{\frac{S_1 S_2 \dots S_k}{S_1}} + \sqrt{\frac{S_1 S_2 \dots S_k}{S_2}} + \sqrt{\frac{S_1 S_2 \dots S_k}{S_k}} \right)^{\beta}}, \quad (\text{Б.4})$$

где S_1, S_2, \dots, S_k — соответственно гидравлическое сопротивление первой, второй и последующих ниток водовода или иных трубопроводов, 10⁶ кг/м⁷.

Б.2.1.8 Численные значения параметров Q и p в рабочих точках, вычисленные по формулам (Б.2) и (Б.3), приводим в таблице Б.4.

Таблица Б.4

Номера рабочих точек	1	2	3	4	5
Расход, м ³ /ч	424,31	636,78	734,35	808,66	1053,25
Давление, кПа	361,93	487,54	560,34	373,20	451,75

Пример 2

Б.2.2 Построение графической характеристики совместной работы трех насосных станций на водоводе в одну нитку производят при следующих исходных данных:

— геодезические (относительные) отметки уровней воды, с которых насосные станции (I, II, III) забирают воду и подают в водовод, — соответственно 100, 110 и 115 м;

— геодезическая (относительная) отметка максимального уровня воды в резервуаре (башне), куда вода поступает по водоводу от насосных станций, — 145,0 м;
 — данные по водоводу и местам подключения насосных станций к нему приведены на рисунке Б.2;
 — на каждой насосной станции работает по одному насосу, данные по которым приведены в таблице Б.5.

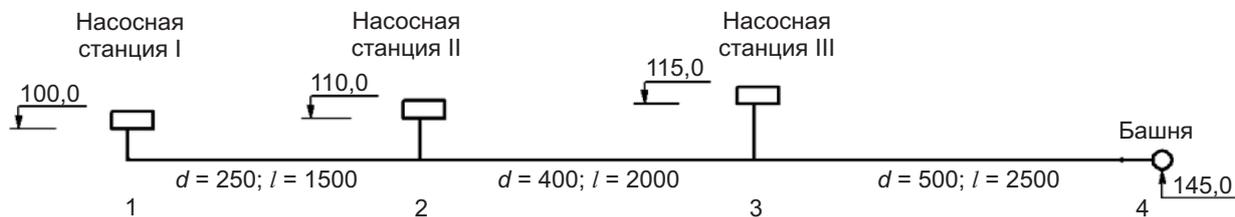


Рисунок Б.2 — Схема водовода с подключенными к нему насосными станциями

Таблица Б.5

Номера насосных станций	Марки насосов	Параметры насосов	Значения характеристик насосов для точек графиков									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	1Д200-90а	Q, м ³ /ч	0,0	40,0	80,0	100,0	120,0	140,0	160,0	180,0	200,0	220,0
		H, м	83,5	83,0	82,5	82,0	80,5	79,0	76,0	74,5	71,0	67,5
II	1Д315-50	Q, м ³ /ч	0,0	80,0	120,0	160,0	200,0	240,0	280,0	320,0	360,0	400,0
		H, м	67,0	65,0	63,0	61,5	59,5	57,0	53,5	49,0	45,0	39,5
III	1Д315-50а	Q, м ³ /ч	0,0	40,0	80,0	120,0	160,0	200,0	240,0	280,0	320,0	360,0
		H, м	55,5	55,0	54,0	53,0	50,5	49,5	47,0	43,5	39,5	36,0

Далее приведен порядок построения графиков характеристик совместной работы насосных станций и водовода.

Б.2.2.1 Строим графики характеристик совместной работы насосов каждой насосной станции (рисунок Б.3) относительно отметок, с которых вода забирается насосными станциями. В примере на каждой насосной станции принято по одному рабочему насосу.

Б.2.2.2 Производим приведение характеристики насосной станции I к точке 2 путем вычитания ординат характеристики трубопровода на участке 1–2 из ординат суммарной характеристики насосной станции I.

Б.2.2.3 Строим график характеристики параллельной работы насосной станции I и насосной станции II, при этом имеется в виду, что характеристики насосных станций I и II приведены к точке 2.

Б.2.2.4 График обобщенной характеристики насосных станций I и II приводим к точке 3 путем вычитания ординат графика характеристики трубопровода на участке 2–3 из графика обобщенной характеристики насосных станций I и II, приведенной к точке 2.

Б.2.2.5 Строим график характеристики совместной работы насосных станций I и II, приведенных к точке 3, и насосной станции III.

Б.2.2.6 График характеристики, полученный по Б.2.2.5, корректируется путем вычитания из его ординат численных значений ординат графика характеристики трубопровода на участке 3–4.

Б.2.2.7 Пересечение графика характеристики, полученного по Б.2.2.6, с прямой, параллельной оси абсцисс и отстоящей от него на отметке уровня воды в башне, определяет рабочую точку совместной работы системы насосная станция I — насосная станция II — насосная станция III — башня.

Б.2.2.8 На рисунке Б.3 пунктирной линией от рабочей точки показано направление графического определения подачи каждой насосной станцией.

Б.2.2.9 Суммарная подача насосных станций должна быть равна подаче, соответствующей рабочей точке работы системы.

Б.2.2.10 Из рисунка Б.3 следует, что подача, м³/ч, составляет:

188 — насосная станция I;

295 — насосная станция II;

325 — насосная станция III.

Б.2.2.11 Давление:

насосная станция I

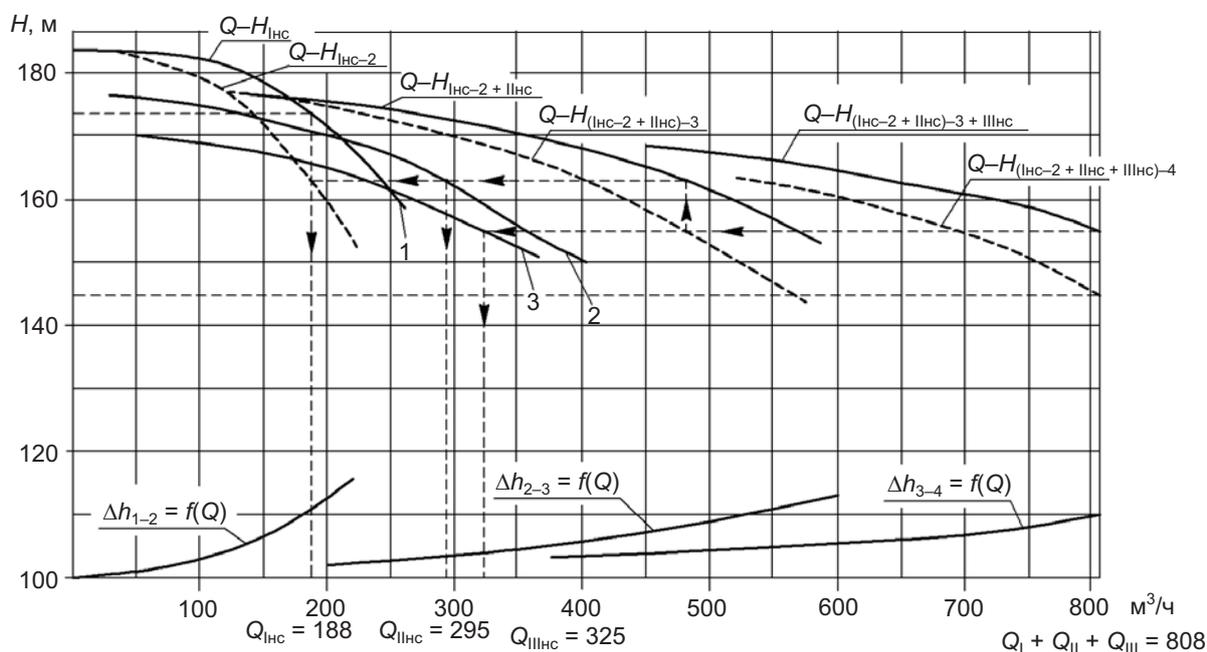
$$p_I = \frac{173 - 100}{1000} \cdot 9,81 = 0,716 \text{ МПа};$$

насосная станция II

$$p_{II} = \frac{162 - 110}{1000} \cdot 9,81 = 0,510 \text{ МПа};$$

насосная станция III

$$p_{III} = \frac{154 - 115}{1000} \cdot 9,81 = 0,382 \text{ МПа}.$$



- 1 — график характеристики $Q-H_{IHC}$ насосной станции I;
 2 — график характеристики $Q-H_{IIHC}$ насосной станции II;
 3 — график характеристики $Q-H_{IIIHC}$ насосной станции III

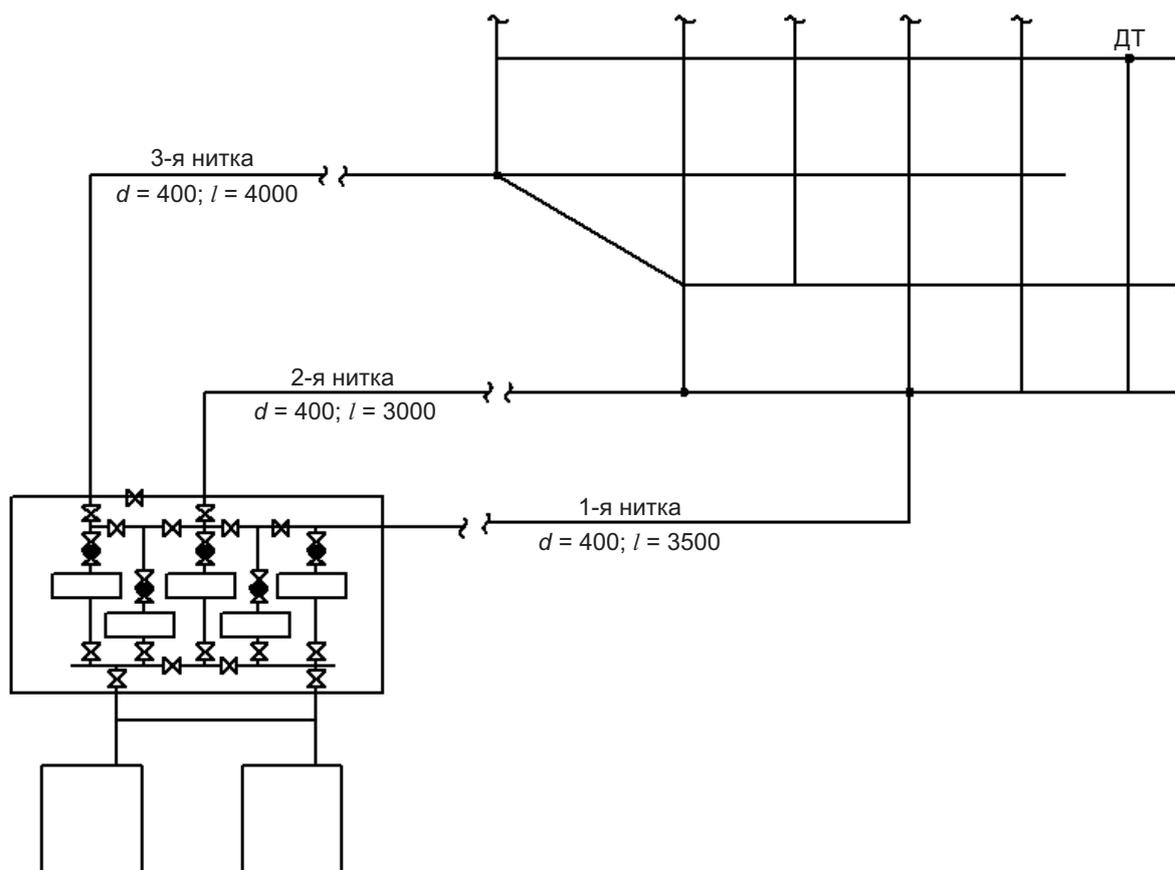
Рисунок Б.3 — Графики характеристик совместной работы трех насосных станций на водоводе в одну нитку

Б.2.3 Пример 3

Построение графиков характеристик совместной работы насосной станции, водовода и водопроводной сети при присоединении ниток водовода к сети в разных точках приведено на рисунке Б.4.

Далее приведен порядок построения графиков характеристик совместной работы насосной станции, водовода и сети.

Б.2.3.1 Производим гидравлические расчеты по программам на ПЭВМ совместной работы водовода и водопроводной сети при различном водопотреблении в пределах от минимального до максимального часового водопотребления (обычно принимается пять-шесть численных значений расхода).



ДТ — диктующая точка водопроводной сети

Рисунок Б.4 — График характеристик системы водоснабжения при подключении трех ниток водовода к различным точкам водопроводной сети

Б.2.3.2 По результатам расчета производим построение графиков характеристик отдельных ниток водовода.

Б.2.3.3 Производим построение графиков характеристик $p = f(Q)$ параллельной работы насосов (одного, двух и более).

Б.2.3.4 Точки пересечения графиков характеристик насосов с графиками характеристик ниток водовода определяют рабочие точки совместной работы насосов, водовода и водопроводной сети.

Б.2.3.5 При выключении одной из ниток водовода из работы построение графиков характеристик совместной работы оставшихся ниток и насосов производится аналогично изложенному в Б.2.3.1 – Б.2.3.4.

Приложение В (справочное)

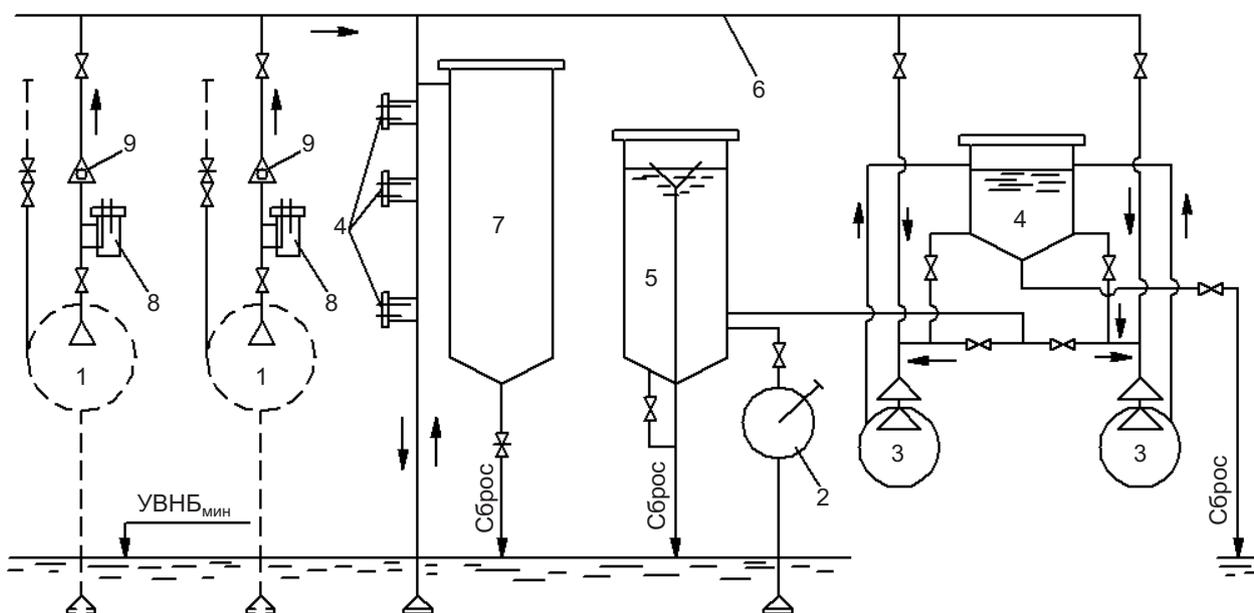
Системы для заливки насосов, установленных выше уровня воды в резервуарах или водоисточниках

В.1 Общие положения

В.1.1 Заливка водой насосов, установленных выше уровня в источнике (резервуаре), может быть выполнена при помощи вакуум-насосов, эжекторов, баков-аккумуляторов, методом автоподсоса, выделением специальных отсеков в резервуарах, в которые поступает вода от сооружений первого подъема или станций очистки воды.

В.1.2 Насосы с помощью роторных вакуум-насосов заливают на насосных станциях любой мощности.

В.1.3 При частых пусках насосов (несколько раз в сутки) рекомендуется использовать в вакуум-системах вакуум-котлы, которые обеспечивают постоянный залив насосов водой и готовность их к пуску; схема приведена на рисунке В.1.



- 1, 2 — соответственно основной и ручной насосы; 3 — вакуум-насос;
 4 — водоотделитель вакуум-насоса; 5 — заливочный бачок-отстойник;
 6 — воздушная магистраль; 7 — вакуум-котел; 8 — сигнализатор уровня;
 9 — клапан выпуска воздуха или вентиль с электроприводом

Рисунок В.1 — Схема централизованной заливки основных насосов с использованием вакуум-котла

В.1.4 Заливать насосы при помощи водовоздушных эжекторов целесообразно при относительно небольшой высоте всасывания от 2 до 2,5 м. Для питания эжекторов рекомендуется использовать воду из напорных трубопроводов или от специального высоконапорного насоса.

В.1.5 На насосных станциях, где предусмотрена постоянная работа одного насоса, можно применять так называемый метод автоподсоса. В этом случае всасывающий патрубок работающего насоса соединяют с всасывающим патрубком неработающего насоса, создавая в нем необходимый вакуум.

В.1.6 На насосных станциях, где установлено небольшое количество насосов (до трех), подлежащих заливке, предусматривают индивидуальный для каждого насоса вакуум-насос без резерва. При большем количестве насосов и при использовании вакуум-котлов рекомендуется предусматривать централизованную систему заливки насосов, имеющую не менее двух вакуум-насосов (один резервный).

В.1.7 Расчетный объем вакуум-котла принимают исходя из условия, чтобы вакуум-насос, поддерживающий расчетный уровень воды в котле, включался не более чем 4 раза в час.

Подсос воздуха в систему зависит от диаметра всасывающего патрубка заливаемого насоса и принимается согласно [8] по таблице В.1.

Таблица В.1

Подсос, л/ч	50	100	200	400
Диаметр всасывающего патрубка, мм	До 150	От 150 до 300	От 300 до 600	От 600 до 1200

В.1.8 Подачу вакуум-насосов $Q_{вн}$, м³/мин, вычисляют согласно [8] по формуле

$$Q_{вн} = \frac{K \cdot \frac{p_{атм}}{g} \cdot (W_{тр} + W_{н})}{T \cdot \left(\frac{p_{атм}}{g} - \Delta h_{г.макс} \right)}, \quad (B.1)$$

- где $p_{атм}$ — атмосферное давление, кПа;
 $W_{тр}$ — объем всасывающего и напорного (до задвижки) трубопроводов, м³;
 $W_{н}$ — объем воздуха в корпусе центробежного насоса; принимают от 0,4 до 0,5 м³;
 K — коэффициент запаса; принимают равным:
 1,05 — при вакууме с остаточным давлением более 0,07 МПа;
 1,1 — при вакууме с остаточным давлением менее 0,07 МПа;
 T — время пуска основного насоса; для производственных и хозяйственных насосов принимают 5 мин, для пожарных насосов — 3 мин;
 $\Delta h_{г.макс}$ — геометрическая высота от оси насоса до наинизшего уровня воды в резервуаре или источнике, м.

В.1.9 Внутренние диаметры вакуумных магистралей $D_{вм}$, мм, следует определять согласно [8] по формуле

$$D_{вм} = c \cdot \sqrt{Q_{вн}}, \quad (B.2)$$

где c — коэффициент; принимают в диапазоне от 35 до 45.

В.2 Пример

Подобрать вакуум-насос для заливки водой насоса марки Д800-57 с подачей $Q_{вн} = 0,2$ м³/с, установленного в насосной станции.

В.2.1 Исходные данные:

- $d_b = 400$ мм и $L_b = 10$ м — соответственно диаметр и длина всасывающего трубопровода до минимального уровня воды в источнике;
 $W_{н} = 0,6$ м³ — объем внутренних полостей насоса;
 $h_{г.макс} = 5,2$ м — высота всасывания;
 $p_{атм} = 98,1$ кПа — атмосферное давление;
 $K = 1,1$ — коэффициент запаса;
 $T = 3$ мин — расчетное время пуска насоса.

В.2.2 Определяем объем воздушной полости во всасывающем трубопроводе:

$$W_{тр} = \frac{\pi d_b^2}{4} \cdot L_b = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} \cdot 10 = 1,26 \text{ м}^3. \quad (B.3)$$

В.2.3 Вычисляем расчетную подачу вакуум-насоса по формуле (В.1):

$$Q_{вн} = \frac{K \cdot \frac{p_{атм}}{g} \cdot (W_{тр} + W_{н})}{T \cdot \left(\frac{p_{атм}}{g} - \Delta h_{г.макс} \right)} = \frac{1,1 \cdot \frac{98,1}{9,81} \cdot (1,26 + 0,6)}{3 \cdot \left(\frac{98,1}{9,81} - 5,2 \right)} = 0,85 \text{ м}^3/\text{мин}. \quad (B.4)$$

В.2.4 Исходя из расчетной подачи $Q_p = 0,85 \text{ м}^3/\text{мин}$ и номинального вакуума 52 % подбираем вакуум-насос с ближайшими равными или большими соответствующими параметрами. Это вакуум-насос марки ВВН1-1,5. Он обеспечивает заливку насоса марки Д800-57 менее чем за 3 мин.

В.2.5 Диаметр вакуумной магистрали вычисляем по формуле

$$D_{\text{вм}} = c \cdot \sqrt{Q_{\text{вн}}} = 45 \cdot \sqrt{0,85} = 41,5 \text{ мм.} \quad (\text{В.5})$$

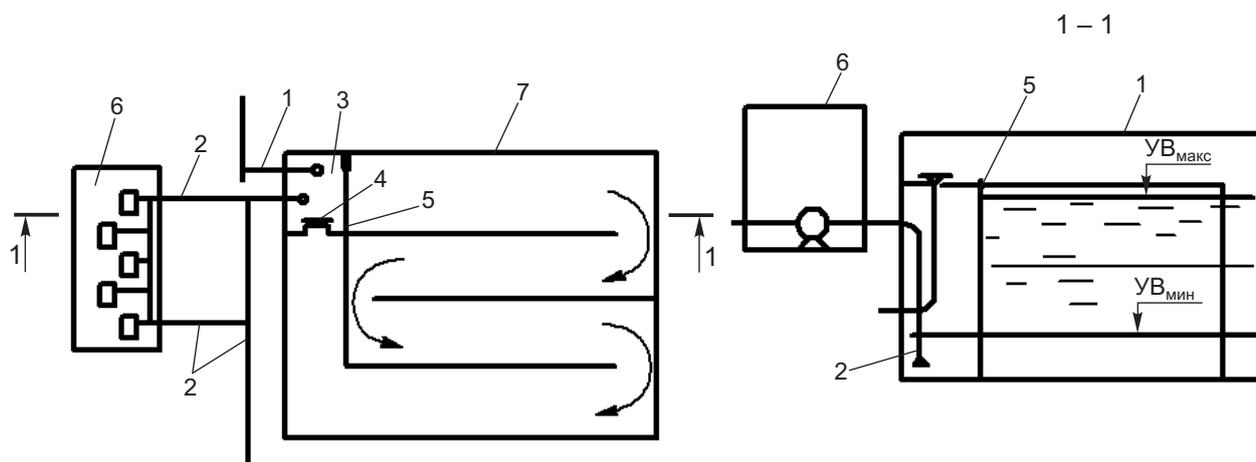
Принимаем диаметр условного прохода вакуумной магистрали $D_{\text{вм}} = 40 \text{ мм}$.

В.3 Заливка насосов от специальной камеры в резервуаре

В.3.1 Заливку насосов, установленных выше уровня воды, допускается согласно ТКП 45-4.01-32 (12.2.6) осуществлять путем устройства специальной камеры в резервуаре чистой воды при соблюдении следующих условий:

- обеспечение гарантированной подачи воды в камеру артезианскими скважинами, станциями очистки воды или иными источниками;
- обеспечение обмена воды в резервуаре не более чем за 48 ч;
- коэффициент часовой неравномерности работы насосной станции не должен превышать единицы при запуске последующего рабочего насоса, при включении которого обеспечивается максимальная часовая подача насосной станции.

В.3.2 На рисунке В.2 приведена схема запуска насосов при организации специальной камеры в резервуаре.



1 — трубопровод подачи воды в резервуар; 2 — всасывающие трубопроводы; 3 — камера; 4 — затвор-хлопушка; 5 — водосливная стенка; 6 — насосная станция; 7 — резервуар

Рисунок В.2 — Заливка насосов при организации специальной камеры в резервуаре

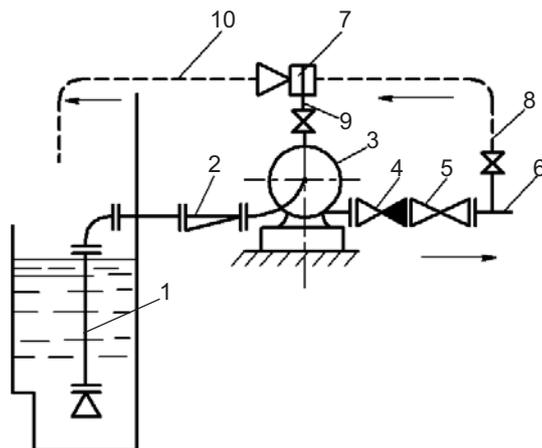
В.3.3 Заливка насосов от специальной камеры в резервуарах чистой воды значительно снижает заглубление насосной станции.

В.3.4 Заглубление насосной станции определяется допустимой высотой всасывания насосов, вычисляемой по формуле (5.7), принятыми отметками минимального и максимального уровня воды в резервуаре.

В.4 Расчет водовоздушного эжектора для заливки насосов

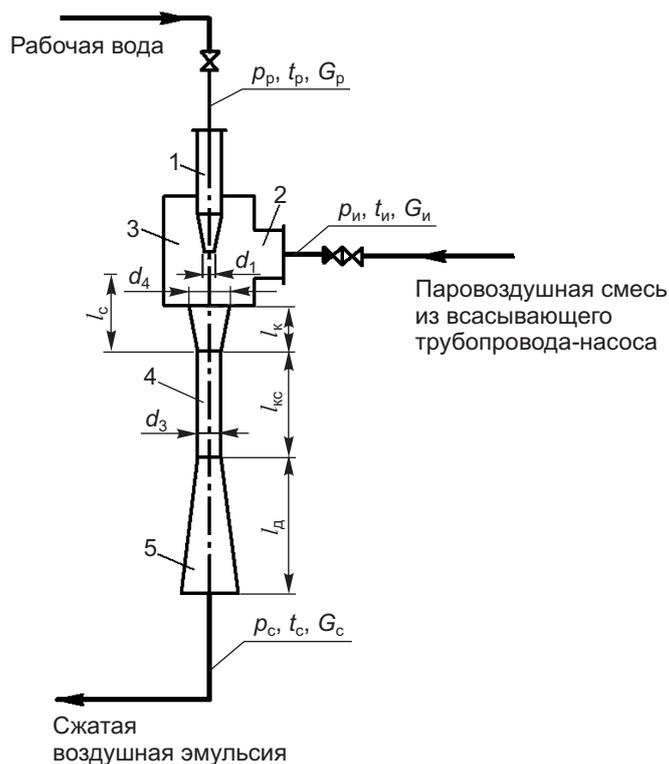
В.4.1 Принципиальная схема заливки центробежного насоса с помощью водовоздушного эжектора приведена на рисунке В.3.

В.4.2 Схема водовоздушного эжектора приведена на рисунке В.4, на котором показаны параметры, подлежащие расчету при конструировании эжектора.



1 — всасывающий трубопровод; 2 — эксцентрический переход; 3 — центробежный насос; 4 — обратный клапан; 5 — задвижка; 6 — напорный трубопровод; 7 — водовоздушный эжектор; 8 — трубопровод рабочей воды; 9 — трубопровод инжектируемого воздуха; 10 — трубопровод водовоздушной эмульсии

Рисунок В.3 — Схема заливки центробежного насоса



1 — сопло; 2 — патрубок инжектируемого воздуха; 3 — приемная камера; 4 — камера смешения; 5 — диффузор

Рисунок В.4 — Схема водовоздушного эжектора

В.4.3 Основные параметры эжектора, которые следует определять при его проектировании:

- рабочее давление воды перед соплом;
- диаметр сопла;
- диаметр камеры смешения и ее длина;
- размеры диффузора;
- требуемое давление, создаваемое эжектором;

- расход рабочей воды;
- расход инжектируемого воздуха или иной газообразной среды.

В.4.4 Основное уравнение, приведенное в [11] и связывающее параметры водовоздушного эжектора, имеет вид:

$$\frac{\Delta p_c}{\Delta p_p} = \varphi_1^2 \cdot \frac{f_{p1}}{f_3} \cdot \left[2\varphi_2 - (2 - \varphi_3^2) \cdot \frac{f_{p1}}{f_3} \cdot (1 - u_0)^2 \right], \quad (\text{B.6})$$

где Δp_c — перепад давления, кПа, создаваемый эжектором, который вычисляется по формуле

$$\Delta p_c = p_c - p_{и}; \quad (\text{B.7})$$

здесь p_c — давление (абсолютное), кПа, смешанного потока на выходе из диффузора;

Δp_p — перепад давления рабочего потока, кПа, вычисляемый по формуле

$$\Delta p_p = p_p - p_{и}, \quad (\text{B.8})$$

здесь $p_p, p_{и}$ — давления (абсолютные), кПа, соответственно рабочего и инжектируемого потоков перед струйным аппаратом;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ — коэффициенты соответственно скорости сопла, входного участка камеры смешения, диффузора; принимают соответственно 0,95; 0,975; 0,90;

f_{p1}, f_3 — площади, м², соответственно выходного сечения рабочего сопла и камеры смешения;

u_0 — объемный коэффициент инжекции; вычисляют по формуле

$$u_0 = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{\Delta p_c}} - 1. \quad (\text{B.9})$$

В.4.5 Отношение сечений f_3/f_{p1} является определяющим геометрическим параметром водовоздушного эжектора, которое согласно [11] вычисляют по уравнению

$$\left(\frac{f_3}{f_{p1}} \right)_{\text{опт}} = \frac{\Delta p_p}{\Delta p_c}. \quad (\text{B.10})$$

В.4.6 Массовый расход воздуха $G_{н}$, кг/с, вычисляют по формуле

$$G_{н} = \frac{(p_{и} - p_{п}) \cdot V_{в}}{R_{в} T_{п}}, \quad (\text{B.11})$$

где $p_{п}$ — давление насыщенного пара при температуре рабочей воды, кПа;

$V_{в}$ — объемный расход инжектируемой среды (воздуха), м³/с;

$T_{п} = 273 + t$ °С — абсолютная температура рабочей воды, °К;

$R_{в}$ — газовая постоянная, Дж/(кг·°К).

В.4.7 Объемный расход рабочей воды $V_{р}$, м³/с, вычисляют по формуле

$$V_{р} = \frac{V_{в}}{u_0}. \quad (\text{B.12})$$

В.4.8 Длину камеры смешения, $l_{кс}$, м, вычисляют по зависимости

$$\left(\frac{l_{кс}}{d_{p1}} \right)_{\text{опт}} = a \cdot \left(\frac{f_3}{f_{p1}} - 1 \right), \quad (\text{B.13})$$

где a — коэффициент; принимают в диапазоне от 10 до 15;

$l_{кс}$ — длина камеры смешения, м;

d_{p1} — диаметр сопла эжектора, м.

В.4.9 Расстояние выходного сечения рабочего сопла l_c , м, от входного сечения цилиндрической камеры смешения вычисляют по формуле

$$l_c = b d_3, \quad (\text{B.14})$$

где b — коэффициент; принимают в диапазоне от 1,0 до 1,5.

В.4.10 Длина входного участка камеры смешения l_k , м, на которой диаметр изменяется от d_4 до d_3 , вычисляют по формуле

$$l_k = \frac{d_4 - d_3}{2 \operatorname{tg} \beta}, \quad (\text{В.15})$$

где β — угол между образующей входного участка камеры смешения и осью эжектора; принимают равным 45° ;

d_4 — диаметр расширенной входной части камеры смешения, м, вычисляют по формуле — при коэффициенте инжекции $u > 0,5$

$$d_4 = 1,55d_1 \cdot (1 + u); \quad (\text{В.16})$$

— при коэффициенте инжекции $u < 0,5$

$$d_4 = 3,4d_1 \cdot \sqrt{0,083 + 0,76u}. \quad (\text{В.17})$$

В.4.11 Длину диффузора эжектора l_d , м, вычисляют по формуле

$$l_d = \frac{d_\tau - d_3}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (\text{В.18})$$

где d_τ — диаметр отводящего трубопровода эжектора, м;

d_3 — диаметр камеры смешения, м;

α — угол конусности диффузора; принимают в пределах от 8° до 16° .

В.5 Пример расчета водовоздушного эжектора

Определить основные параметры водовоздушного эжектора для заливки насоса при диаметре 250 мм и длине 10 м всасывающего трубопровода. Продолжительность заливки 3 мин. Давление воды (абсолютное) перед соплом эжектора 0,5 МПа. Разность отметок между уровнем воды в резервуаре и осью насоса 3,5 м.

В.5.1 По конструктивным соображениям ось эжектора устанавливаем на 1,0 м выше оси насоса.

В.5.2 По формулам (В.7) и (В.8) вычисляем перепад давления, создаваемый эжектором, и перепад давления рабочего потока:

$$\Delta p_c = p_c - p_{и} = 0,10 - (0,10 - 0,035 - 0,01) = 0,045 \text{ МПа},$$

$$\Delta p_p = p_p - p_{и} = 0,50 - (0,10 - 0,035 - 0,01) = 0,445 \text{ МПа}.$$

В.5.3 По формуле (В.10) вычисляем отношение сечений камеры смешения и сопла эжектора:

$$\left(\frac{f_3}{f_{p1}} \right)_{\text{онт}} = \frac{\Delta p_p}{\Delta p_c} = \frac{0,445}{0,045} = 9,89.$$

В.5.4 Вычисляем по формуле (В.9) объемный коэффициент инжекции:

$$u_0 = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_p}{\Delta p_c}} - 1 = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{0,445}{0,045}} - 1 = 1,67.$$

В.5.5 Вычисляем объемный расход V_b , м³/с, инжектируемого воздуха по формуле

$$V_b = \frac{V_\tau + V_n}{t},$$

где V_τ — объем всасывающего трубопровода, м³;

V_n — объем воздуха в корпусе центробежного насоса; согласно [8] принимают от 0,4 до 0,5 м³;

T — время заливки насоса, с; принимают от 2 до 5 мин.

$$V_b = \frac{V_\tau + V_n}{t} = \frac{3,14 \cdot 0,25^2}{4} \cdot 10}{3 \cdot 60} = 0,00495 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В.5.6 Вычисляем объемный расход рабочей воды по формуле (В.12):

$$V_p = \frac{V_b}{u_0} = \frac{0,00495}{1,67} = 0,00296 \text{ м}^3/\text{с}.$$

В.5.7 Вычисляем диаметр сопла:

$$d_c = \sqrt{\frac{4V_p}{\pi \varphi \cdot \sqrt{2g\Delta p_p \cdot \frac{\rho}{g}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00296}{3,14 \cdot 0,95 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,445 \cdot \frac{10^3}{9,81}}}} = 0,0115 \text{ м} = 11,5 \text{ мм}.$$

В.5.8 Из уравнения (В.10) определяем диаметр камеры смешения:

$$f_3 = f_{p1} \cdot \left(\frac{\Delta p_p}{\Delta p_c} \right)_{\text{опт}} = \frac{3,14 \cdot 0,0115^2}{4} \cdot 9,89 = 0,00127 \text{ м}^2,$$

$$d_3 = \sqrt{\frac{4f_3}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00127}{3,14}} = 0,0362 \text{ м} = 36,2 \text{ мм}.$$

В.5.9 Длину камеры смешения вычисляем по формуле (В.13):

$$l_{\text{кс}} = ad_{p1} \cdot \left(\frac{f_3}{f_{p1}} - 1 \right) = 10 \cdot 0,0115 \cdot (9,89 - 1) = 1,022 \text{ м} = 1022 \text{ мм}.$$

В.5.10 Диаметр входного участка камеры смешения вычисляем по формуле (В.16):

$$d_4 = 1,55 \cdot d_1 \cdot (1 + u) = 1,55 \cdot 0,0115 \cdot (1 + 1,67) = 0,0476 \text{ м} = 47,6 \text{ мм}.$$

В.5.11 Длину входного участка камеры смешения l_k , м, на которой диаметр изменяется от d_4 до d_3 , вычисляем по формуле (В.15):

$$l_k = \frac{d_4 - d_3}{2 \operatorname{tg} \beta} = \frac{46,7 - 36,2}{2 \operatorname{tg} 45^\circ} = 5,3 \text{ мм}.$$

В.5.12 Расстояние выходного сечения рабочего сопла l_c от входного сечения цилиндрической камеры смешения вычисляем по формуле (В.14):

$$l_c = bd_3 = 1,25 \cdot 36,2 = 45,2 \text{ мм}.$$

В.5.13 Длину диффузора эжектора l_d , м, вычисляем по формуле (В.18):

$$l_d = \frac{d_r - d_3}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{50 - 36,2}{2 \operatorname{tg} \frac{10^\circ}{2}} = 87,6 \text{ мм}.$$

Приложение Г (справочное)

Средства защиты насосных станций от гидравлического удара

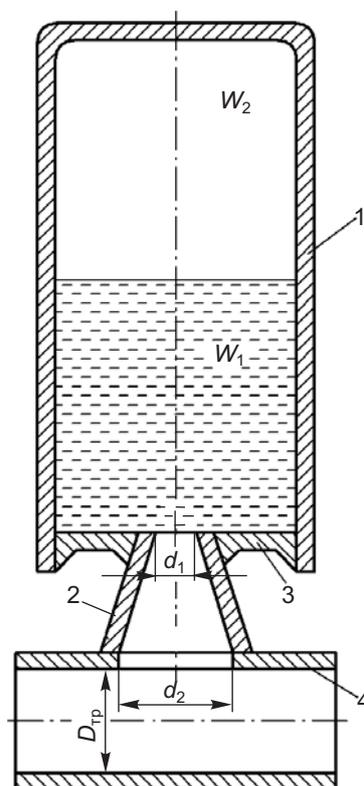
Г.1 Общие положения

Г.1.1 Гидравлические удары возникают при пуске и остановке насосов, при быстром открытии или закрытии регулирующей арматуры на водоводах и от других причин (разрыв трубопроводов, срыв дисков в задвижках и т. п.).

Г.1.2 При гидравлических ударах давление в трубах скачкообразно значительно возрастает, в ряде случаев образуется вакуум, резко колеблется давление, возникает кавитация. Эти явления нарушают герметичность стыков, вызывают разрывы труб, повреждение рабочих колес насосов, контрольно-измерительных приборов, арматуры, нежелательную вибрацию оборудования, увеличение утечек.

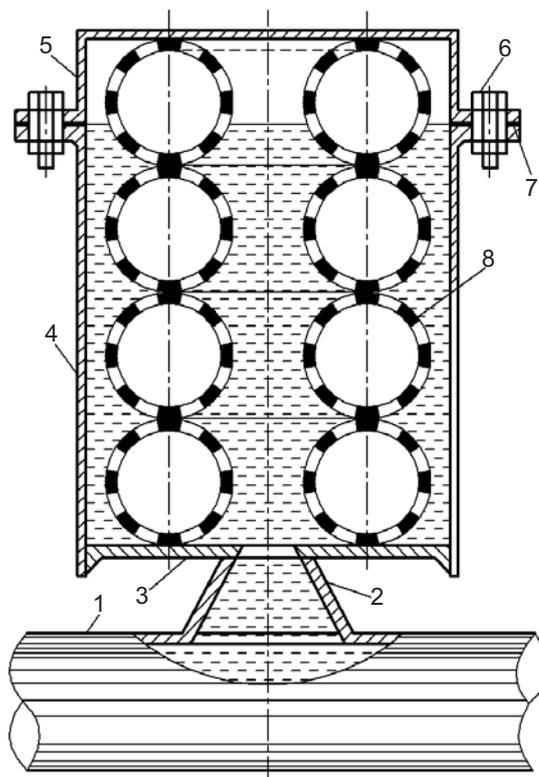
Г.1.3 Величину давления, возникающего у насосной станции при гидравлическом ударе, следует определять по ТКП 45-4.01-197.

Г.1.4 На рисунках Г.1 – Г.5 приведены основные средства противоударной защиты водоводов, водопроводных сетей, насосов и оборудования от гидравлических ударов.



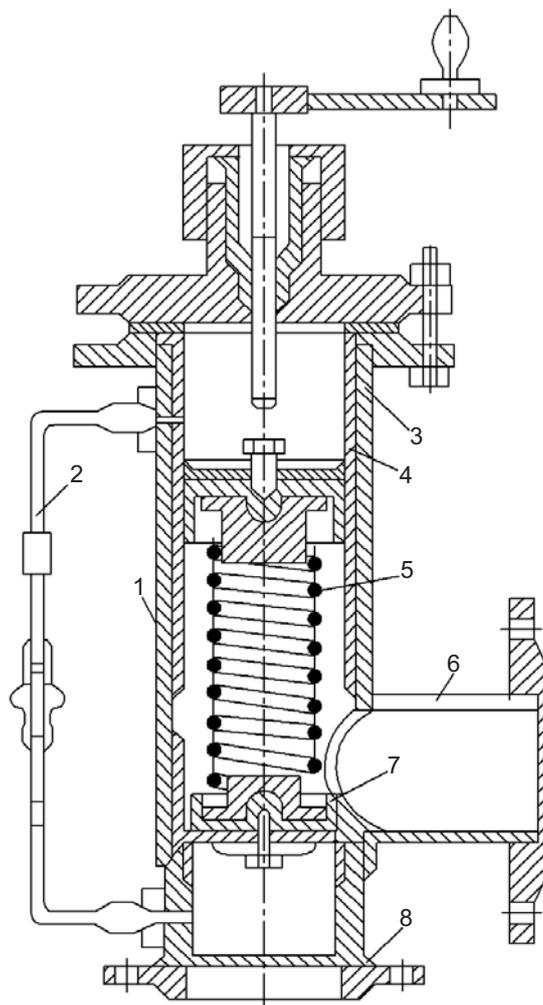
1 — корпус; 2 — переходный патрубок; 3 — днище; 4 — трубопровод

Рисунок Г.1 — Воздушно-гидравлическая колонна с переходным патрубком



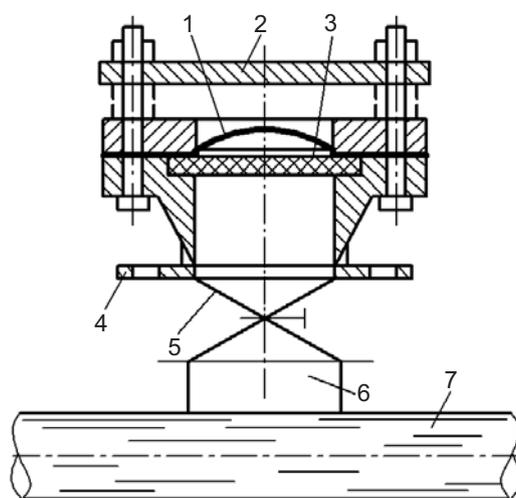
- 1 — магистральный трубопровод;
 2 — переходный конический патрубок; 3 — днище;
 4 — корпус; 5 — крышка; 6 — болты; 7 — прокладка; 8 — торы

**Рисунок Г.2 — Гаситель гидравлического удара
 с упругим рабочим органом в виде торов
 из эластичного материала, заполненных воздухом**



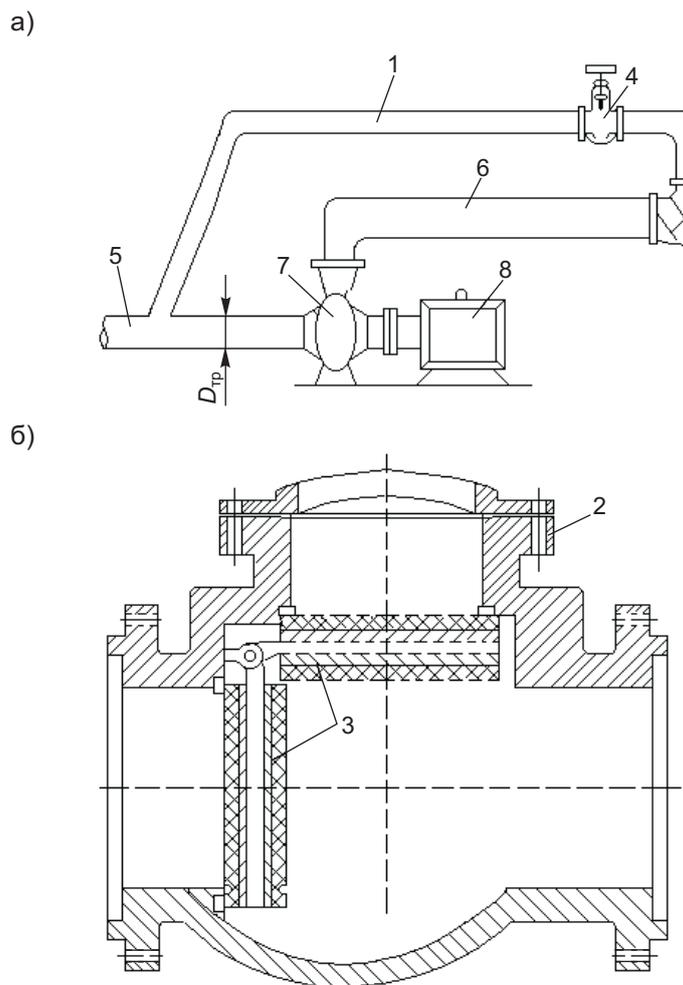
1 — корпус; 2 — соединительная трубка; 3 — цилиндр; 4 — поршень; 5 — пружина;
6 — отверстие для сброса воды; 7 — тарельчатый клапан; 8 — патрубок

Рисунок Г.3 — Пружинный предохранительный клапан плоского типа



1 — мембрана; 2 — наружная защитная плита; 3 — внутренняя защитная пленка из полимера;
4 — фланец; 5 — задвижка; 6 — патрубок; 7 — трубопровод

Рисунок Г.4 — Схема установки разрывной мембраны



1 — обводная труба; 2 — крышка; 3 — тарелка; 4 — задвижка; 5 — всасывающий трубопровод;
6 — напорный трубопровод; 7 — насос; 8 — электропривод

Рисунок Г.5 — Гаситель гидравлического удара с обратным клапаном двойного действия:
а — схема установки;
б — конструкция обратного клапана двойного действия

Г.1.5 Все средства противоударной защиты: гасители с упругими рабочими органами, которые заполнены воздухом; пружинные предохранительные клапаны; предохранительные клапаны с разрывающими рабочими органами — следует устанавливать на защищаемой магистрали в непосредственной близости от места возникновения гидравлического удара — на расстоянии не более 1–3 м.

Г.1.6 Если место возникновения гидравлического удара находится внутри помещений (расположение обратных клапанов в помещении насосной станции), то в таких случаях средства гашения гидравлических ударов на трубопроводной магистрали следует устанавливать с внешней стороны помещения и в непосредственной близости к нему.

Г.1.7 Внутри насосных станций и других помещений допустима установка только гасителей с упругими рабочими органами, недопустимо размещение предохранительных разгрузочных устройств.

Г.1.8 Наиболее простыми средствами гашения гидравлического удара, возникающего в насосных станциях, являются воздушно-гидравлические колпаки или колонны.

Г.2 Расчет воздушно-гидравлических колпаков

Г.2.1 Порядок расчета

Г.2.1.1 Определить объем воздушно-гидравлического колпака $W_{\text{кол}}$, м³, при атмосферном давлении (объем воздуха), необходимый для уменьшения максимального повышения давления при гидравлическом ударе до допустимой величины по формуле

$$W_{\text{колп}} = \frac{w_{\text{тр}} L_{\text{тр}} \cdot (\rho_{\text{см}}^2 v_{\text{пр}}^2 c^2 - \Delta p_0^2) \cdot p_0}{2\rho_{\text{см}} c^2 \cdot \left[p_0 \cdot \ln \frac{p_0 + \Delta p}{p_0} + (k_{\text{тр}} \rho_{\text{тр}} - p_0) \cdot \left(1 - \frac{p_0}{p_0 + \Delta p_0} \right) \right]} \cdot p_{\text{атм}}, \quad (\text{Г.1})$$

- где $w_{\text{тр}}$ — площадь поперечного сечения трубопровода, м²;
 $L_{\text{тр}}$ — длина трубопровода, м;
 $\rho_{\text{см}}$ — плотность транспортируемой жидкости, кг/м³;
 $v_{\text{пр}}$ — предупредная скорость (скорость движения потока, направленного в сторону обратного клапана в момент его закрытия), м/с;
 c — скорость распространения ударной волны в трубопроводе, м/с; определяют по ТКП 45-4.01-197;
 Δp_0 — допускаемое превышение давления в системе, Па;
 p_0 — абсолютное статическое давление в трубопроводе при установившемся режиме, Па;
 $k_{\text{тр}}$ — коэффициент, учитывающий уменьшение потерь напора на трение в зависимости от уменьшения скорости движения потока в трубопроводе; принимают от 0,2 до 0,4;
 $\rho_{\text{тр}}$ — потери давления на трение в трубопроводе, Па;
 $p_{\text{атм}}$ — атмосферное давление, Па.

Г.2.1.2 Проверяют условие, необходимое для отрыва потока у обратного клапана при отключении насоса:

$$c v_0 \rho_{\text{см}} > p_p, \quad (\text{Г.2})$$

- где v_0 — скорость движения потока при установившемся режиме, м/с;
 p_p — рабочее давление в трубопроводе при установившемся режиме в месте возникновения гидравлического удара, Па.

При соблюдении условия (Г.2) произойдет разрыв сплошности потока.

Г.2.1.3 Предупредную скорость обратного потока следует вычислять по формуле

$$v_{\text{пр}} = \frac{v_0 - \frac{p_H}{c\rho_{\text{см}}}}{\sqrt{1 + \frac{p_{\text{тр}}}{p_r + p_{\text{нп}}} \cdot \left(1 - \frac{p_H}{c\rho_{\text{см}} v_0} \right)^2}}, \quad (\text{Г.3})$$

- где p_H — давление, развиваемое насосом при нормальном режиме, Па;
 p_r — статическое давление, Па;
 $p_{\text{нп}}$ — давление насыщенных паров, Па.

Г.2.1.4 Если объем колпака более 25 дм³ и его емкость, дм³, умноженная на рабочее давление, в атмосферах, составляет более 200, то устройство, оборудование и испытание воздушно-гидравлического колпака должно соответствовать [12].

Г.2.2 Пример

Г.2.2.1 Определить размеры воздушно-гидравлического колпака для гашения гидравлического удара в водоводе при внезапном отключении насоса при следующих данных:

- | | |
|--|-------------|
| — диаметр водовода | — 300 мм; |
| — длина водовода | — 2000 м; |
| — скорость распространения ударной волны | — 1000 м/с; |
| — геодезическая высота подачи воды | — 40,0 м; |
| — скорость движения потока воды | — 1,5 м/с; |
| — давление, развиваемое насосом | — 0,78 МПа. |

Г.2.2.2 Вычисляем скорость движения воды в обратном направлении по формуле (Г.3):

$$v_{\text{пр}} = \frac{1,5 - \frac{0,78 \cdot 10^6}{1000 \cdot 1000}}{\sqrt{1 + \frac{0,78 \cdot 10^6 - 1000 \cdot 9,8 \cdot 40}{(0,4 + 0,1) \cdot 10^6} \cdot \left(1 - \frac{0,78 \cdot 10^6}{1000 \cdot 1000 \cdot 1,5} \right)^2}} = 0,66 \text{ м/с.}$$

Г.2.2.3 Вычисляем объем колпака по формуле (Г.1):

$$W_{\text{кол}} = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot 0,3^2 \cdot 2000 \cdot (1000^2 \cdot 0,66^2 \cdot 1000^2 - 0,15^2 \cdot 10^{12}) \cdot 0,1 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^3 \cdot 1000^2 \cdot \left[0,4 \cdot 10^6 \cdot \ln \frac{0,1+0,15}{0,1} + 10^6 \cdot (0,3 \cdot 0,38 - 0,1) \cdot \left(1 - \frac{0,1}{0,1+0,15} \right) \right] \cdot 0,1 \cdot 10^6} = 0,302 \text{ м}^3.$$

Г.2.2.4 Объем $W_{\text{кол}}$, м³, воздушно-гидравлических колонн (объем воздуха) при атмосферном давлении, необходимый для уменьшения максимального превышения давления над рабочим при гидравлическом ударе до желаемой величины при наличии сходящихся конических патрубков (см. рисунок Г.1) с отношением диаметров d_1/d_2 от 0,25 до 0,40, следует определять по формуле

$$W_{\text{кол}} = \frac{w_{\text{тр}} L_{\text{тр}} \cdot \left[(\rho_{\text{см}} v_{\text{пр}} c - \Delta p_{\text{п}})^2 - (\Delta p_0 - \Delta p_{\text{п}})^2 \right] \cdot \rho_0}{2 \rho_{\text{см}} c^2 \cdot \left\{ \rho_0 \cdot \ln \frac{\rho_0 + \Delta p_0}{\rho_0} + \left[k_{\text{тр}} \cdot (\rho_{\text{тр}} + \Delta p_{\text{п}}) - \rho_0 \right] \cdot \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho_0 + \Delta p_0} \right) \right\} \cdot \rho_{\text{атм}}}, \quad (\text{Г.4})$$

где $\Delta p_{\text{п}}$ — превышение (скачок) ударного давления над рабочим при наличии переходного патрубка, Па;

$$\Delta p_{\text{п}} = \Delta p \cdot \left(1 - \frac{d_1}{d_3} \right)^{8,8 v_{\text{пр}}^{-0,5}}. \quad (\text{Г.5})$$

Приложение Д (справочное)

Методика определения технико-экономической эффективности применения АСУ с регулируемым приводом в насосных установках

Д.1 Общая часть

Эффективность применения АСУ с регулируемым приводом в насосных установках обусловлена тремя основными факторами:

- экономией электроэнергии, расходуемой на транспорт воды;
- сокращением утечек и непроизводительных расходов воды в системах водоподачи;
- уменьшением строительных объемов зданий насосных станций за счет укрупнения единичной мощности насосов.

Д.2 Экономия электроэнергии, потребляемой насосной установкой

Экономия электроэнергии $W_{\text{рег}}$, кВт·ч, при применении регулируемого привода происходит за счет исключения дросселирования и вычисляется в соответствии с [5], [7] по формуле

$$W_{\text{рег}} = N_6 T \cdot \left[W_{\text{эк}}^* - (1 + \zeta - \eta_{\text{пр}}) \right] \cdot \frac{\varphi}{\eta_{\text{эд}}}, \quad (\text{Д.1})$$

- где N_6 — мощность, потребляемая насосами при наибольшей подаче, кВт;
- T — длительность расчетного периода, ч;
- $W_{\text{эк}}^*$ — относительная потеря электроэнергии при дросселировании насосов; определяют по рисунку Д.1 в зависимости от $\lambda = Q_{\text{мин}}/Q_6$ и относительного статического напора $H_{\text{п}}^* = H_{\text{п}}/H_6$;
- $Q_6, Q_{\text{мин}}$ — соответственно наибольшая и наименьшая подача насосной станции за расчетный период, м³/ч;
- $H_{\text{п}}$ — статический напор, м;
- H_6 — напор насоса при подаче Q_6 , м;
- ζ — коэффициент, учитывающий потери за счет несинусоидальности преобразованного тока; принимают в диапазоне от 0,03 до 0,05;
- $\eta_{\text{пр}}$ — коэффициент полезного действия частотного преобразователя, который изменяется в диапазоне от 0,90 до 0,95;
- $\eta_{\text{эд}}$ — коэффициент полезного действия электродвигателя;
- φ — коэффициент, учитывающий снижение потерь электроэнергии при дросселировании в зависимости от количества рабочих насосов в насосной станции; принимают согласно [5], [7] по таблице Д.1.

Таблица Д.1

Количество рабочих насосов	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент φ	1,00	0,75	0,66	0,56	0,50	0,47	0,44	0,42	0,40	0,38

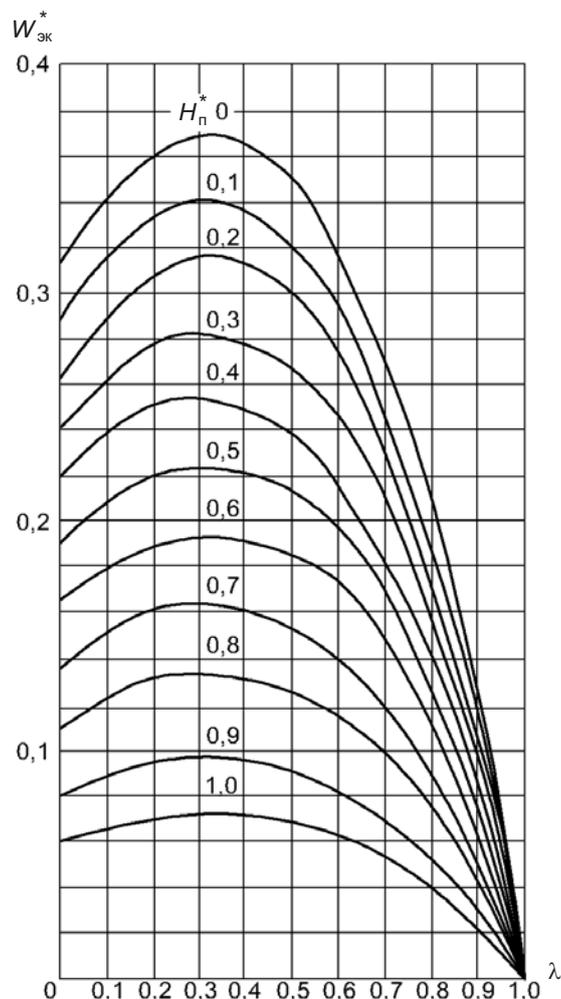


Рисунок Д.1 — Зависимость относительной экономии электроэнергии от параметров λ и H_n^* для водопроводных насосов при замене дросселирования регулированием угловой скорости

Д.3 Снижение расхода воды в насосных установках

Д.3.1 Регулирование режимов работы насосных установок систем водоснабжения осуществляется без применения дросселирования, за счет изменения количества работающих насосов. В промежутке между включением и отключением насосов изменение подачи насосных установок происходит за счет саморегулирования центробежных насосов. При таком способе регулирования повышение давления на коллекторе насосной станции распространяется по всей сети. Это обстоятельство способствует увеличению непроизводительных расходов и утечек через неплотности в санитарно-технических приборах, в трубопроводной арматуре и т. п., которые достигают 20 % – 25 % от общего расхода воды.

Применение АСУ с регулируемым приводом стабилизирует давление в диктующих точках, снижает избыточное давление в сети. Известно, что количество воды, вытекающее из отверстия, пропорционально корню квадратному из давления:

$$\frac{q_1}{q_2} = \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}, \quad (\text{Д.2})$$

где q_1 и q_2 — утечка и непроизводительные расходы соответственно при повышенном давлении p_1 и пониженном давлении p_2 .

Из уравнения (Д.2) следует, что величина утечки и непроизводительных расходов может быть вычислена из выражения

$$\Delta q = q_1 - q_2 = q_1 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}\right). \quad (\text{Д.3})$$

Д.3.2 При снижении давления в сети на 25 % – 35 % утечки и непроизводительные расходы уменьшаются приблизительно на 13 % – 20 %.

Таким образом, в результате стабилизации давления в системе экономия воды может составить 2 % – 4 % от общей подачи.

По литературным данным экономия воды $Q_{\text{эк}}$, м³, в результате применения АСУ с регулируемым приводом составляет от 3 % до 5 %:

$$Q_{\text{эк}} = s \cdot Q_{\text{общ}}, \quad (\text{Д.4})$$

где S — коэффициент; принимают в диапазоне от 0,03 до 0,05;

$q_{\text{общ}}$ — общая подача воды за расчетный период, например за год, м³.

Д.4 Укрупнение единичной мощности насосов

Д.4.1 Крупные насосы имеют лучшие технико-экономические показатели: их КПД выше, материалоемкость меньше, удельная стоимость ниже. Для своего размещения более мощные насосы требуют, при прочих равных условиях, меньших строительных объемов.

Д.4.2 Экономия электроэнергии ΔW_{η} , кВт·ч, за счет применения более мощных насосов с более высоким значением КПД может быть вычислена по формуле

$$\Delta W_{\eta} = W_{\text{рег}} \cdot \left(1 - \frac{\eta_{\text{арп1}}}{\eta_{\text{арп2}}}\right), \quad (\text{Д.5})$$

где $\eta_{\text{арп1}}$ — КПД насосов малой мощности, относительные единицы;

$\eta_{\text{арп2}}$ — КПД насосов укрупненной мощности, относительные единицы;

$W_{\text{рег}}$ — минимально необходимое потребление электроэнергии насосной установки, оборудованной регулируемым приводом укрупненной мощности; вычисляют по формуле

$$W_{\text{рег}} = \frac{N_6 T}{2\eta_{\text{эл.дв1}}} \cdot (a + b\lambda) \cdot \left[H_n^* + \frac{1}{2} \cdot (a^2 + b^2\lambda^2) \cdot (1 - H_n^*) \right]; \quad (\text{Д.6})$$

при $a = 1$; $b = 1$

$$W_{\text{рег}} = \frac{N_6 T}{2\eta_{\text{эл.дв1}}} \cdot (1 + \lambda) \cdot \left[H_n^* + \frac{1}{2} \cdot (1 + \lambda^2) \cdot (1 - H_n^*) \right], \quad (\text{Д.7})$$

где $\eta_{\text{эл.дв1}}$ — КПД электродвигателя малой мощности.

Таким образом, применение регулируемого привода позволяет увеличить единичную мощность насосов, сохраняя при этом достаточно высокие технико-экономические показатели режима работы установки. С другой стороны, применение регулируемого привода требует специальных устройств, сравнительно сложных и дорогих. Поэтому целесообразность увеличения единичной мощности насосов в целях сокращения их количества за счет применения АСУ с регулируемым приводом должна быть подтверждена технико-экономическим расчетом. Для этого следует пользоваться методикой, изложенной в [7] (раздел 6).

Библиография

- [1] Водный кодекс Республики Беларусь от 15 июля 1998 г. № 191-3.
- [2] Закон Республики Беларусь «О питьевом водоснабжении» от 24 июня 1999 г. № 271-3.
- [3] Центробежные консольные насосы с осевым входом для воды типов К и КМ. Каталог. — М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1985.
- [4] Каталог насосов для водоснабжения, теплоэнергетики, сельского хозяйства, жилищно-коммунального хозяйства, пищевых и химических производств. Россия, Орловская область, ОАО «Ливгидромаш», 2003.
- [5] Лезнов Б. С. Экономия энергии в насосных установках. М.: Энергоатомиздат, 1991. — 144 с.
- [6] Карелин В. Я., Новодережкин Р. А. Насосные станции с центробежными насосами. — М.: Стройиздат, 1983. — 224 с.
- [7] Рекомендации по применению регулируемого электропривода в системах автоматического управления водопроводных и канализационных насосных установок. — М.: ВНИИ ВОДГЕО, 1987. — 98 с.
- [8] Чебаевский В. Ф. и др. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок. — М.: Колос, 2000. — 376 с.
- [9] DIN 1988-5-1988 Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen (TRWI). Druckerhöhung und Druckminderung. Technische Regel des DVGW.
(Установки питьевой воды. Технические требования DVGW к повышению и снижению давления).
- [10] Правила устройства электроустановок (ПУЭ) (6-е изд., перераб. и доп.), 2006 г.
Утверждены Минэнерго СССР.
- [11] Соколов Е. Я., Зингер Н. М. Струйные аппараты. — 3-е изд., перераб. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 352 с.
- [12] Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением
Утверждены постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 27 декабря 2005 г. № 56.