

**ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ
ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

Правила проектирования

**ВОДАЗАБОРНЫЯ ЗБУДАВАННІ
З ПАВЕРХНЕВЫХ КРЫНІЦ**

Правілы праектавання

Издание официальное

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь
Минск 2011

Ключевые слова: водоводы, водоем, водозабор, водоисточник, водопонижение, водоприемник, водоток, миграция наносов, монтаж оборудования, земляные работы, бетонные, русловые процессы, система волн

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.....	2
4 Общие требования.....	3
5 Оценка условий забора воды из водотока	5
6 Оценка условий забора воды из водоема	14
6.1 Общие указания	14
6.2 Расчет элементов волн на открытых, огражденных акваториях и в прибрежной зоне	14
6.3 Течения в водоемах.....	15
6.4 Миграция наносов и мутность воды.....	18
6.5 Гидротермика водоемов.....	21
6.6 Взаимодействия течений с сооружениями.....	23
7 Схемы и состав водозаборных сооружений	24
8 Конструкции водозаборных сооружений на водотоках.....	27
8.1 Водозаборные сооружения с русловыми водоприемниками.....	27
8.2 Водозаборные сооружения с водоприемниками берегового типа	27
8.3 Водоприемные ковши	28
8.4 Водозаборные сооружения на водотоках с неустойчивым руслом.....	32
8.5 Водозаборные сооружения плотинных гидроузлов и на устьевых участках водотоков, впадающих в водоемы	33
8.6 Водозаборные сооружения на водотоках с малыми глубинами.....	35
8.7 Самопромывающиеся ковши	38
9 Конструкции водозаборных сооружений на водоемах	43
9.1 Общие требования	43
9.2 Водозаборные сооружения с самотечными или сифонными водоводами	44
9.3 Водозаборные сооружения берегового типа.....	46
9.4 Водозаборные сооружения с подводным огражденным каналом	47
9.5 Водозаборные сооружения островного типа	51
9.6 Комбинированные водозаборные сооружения	51
9.7 Водозаборные сооружения в условиях стратифицированного водоема	52
10 Гидрологические и гидравлические расчеты водозаборных сооружений	54
10.1 Гидрологические расчеты	54
10.2 Гидравлические расчеты водозаборных сооружений	54
11 Защитные устройства водозаборных сооружений.....	58
11.1 Общие требования	58
11.2 Сорудерживающие устройства	61
11.3 Рыбозащитные устройства	68
Приложение А (рекомендуемое) Примеры прогноза деформаций русла	76
Библиография	79

ТЕХНИЧЕСКИЙ КОДЕКС УСТАНОВИВШЕЙСЯ ПРАКТИКИ

ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ
Правила проектирования**ВОДАЗАБОРНЫЯ ЗБУДАВАННІ З ПАВЕРХНЕВЫХ КРЫНІЦ**
Правілы праектаванняWater intake facilities from surface sources
Design rules

Дата введения 2011-01-01

1 Область применения

Настоящий технический кодекс установившейся практики (далее — технический кодекс) устанавливает правила проектирования строящихся, реконструируемых и капитально ремонтируемых водозаборных сооружений из поверхностных источников (далее — водозаборных сооружений) для систем централизованного водоснабжения (питьевого, хозяйственного, производственного и сельскохозяйственного).

Требования настоящего технического кодекса являются обязательными для соблюдения всеми юридическими (независимо от формы собственности) и физическими лицами, осуществляющими проектирование водозаборных сооружений из поверхностных источников, вновь строящихся и реконструируемых.

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 45-4.01-30-2009 (02250) Водозаборные сооружения. Строительные нормы проектирования

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

ТКП 45-3.04-168-2009 (02250) Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения

ТКП 45-3.04-170-2009 (02250) Гидротехнические сооружения. Правила определения нагрузок и воздействий (волновых, ледовых и от судов)

СТБ 1884-2008 Строительство. Водоснабжение питьевое. Термины и определения

СНБ 1.02.01-96 Инженерные изыскания для строительства

СНБ 1.02.03-97 Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений

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

СНБ 4.01.01-03 Водоснабжение питьевое. Общие положения и требования

П1-98 к СНиП 2.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик.

¹⁾ СНБ, пособие к СНиП 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

В настоящем техническом кодексе применяются термины, установленные в СТБ 1884, СНБ 4.01.01, [1] и [2], а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 вдольбереговое течение: Смещение масс воды вдоль берега, вызванное и поддерживаемое энергией разрушающихся косоподходящих к берегу волн или масс воды, сбрасываемых в прибойную зону.

3.2 вершина волны: Наивысшая точка гребня волны.

3.3 ветроволновое течение: Смещение масс воды от действия ветра и волнения.

3.4 водопотребитель: Юридическое или физическое лицо, получающее в установленном порядке воду для обеспечения своих нужд.

3.5 волновое давление: Доля (составляющая) гидродинамического давления, обусловленная волнением на свободной поверхности жидкости.

3.6 волновое течение: Смещение масс воды вследствие ассиметрии орбитального движения частиц жидкости при волнении.

3.7 высота волны: Превышение вершины волны над соседней подошвой на волновом профиле.

3.8 глубинный водозабор: Процесс отбора воды из нижних слоев источника водоснабжения.

3.9 гравитационные ветровые волны: Волны, вызванные ветром, в формировании которых основную роль играет сила тяжести.

3.10 градиентное течение: Смещение масс воды за счет градиента давления или перепада ее уровня, возникающего от действия косоподходящих волн и сосредоточенных течений.

3.11 гребень волны: Часть волны, расположенная выше средней волновой линии.

3.12 динамическое равновесие: Состояние русла, при котором русловые и пойменные деформации находятся в соответствии с расходом наносов.

3.13 длина волны: Горизонтальное расстояние между вершинами двух смежных гребней на волновом профиле.

3.14 забор воды: Процесс отбора воды из источника водоснабжения.

3.15 извилистость рек: Криволинейность очертаний русла в виде чередования его левых и правых поворотов.

3.16 компенсационное течение: Отток придонных слоев воды, обусловленный перекосом уровня воды, вызванным ветроволновым дрейфом или другими разновидностями течений.

3.17 ложбина волны: Часть волны, расположенная ниже средней волновой линии.

3.18 луч волны: Линия, перпендикулярная фронту волны в данной точке.

3.19 меандр (излучина): Изгиб русла реки в плане.

3.20 меандрирование: Русловой процесс, характеризующийся непрерывными изменениями плановых криволинейных (чаще синусоидальных и петлеобразных) очертаний русла.

3.21 местные условия источника водоснабжения: Совокупность топографических, геологических, метеорологических, гидрологических, гидроморфологических, гидротермических, гидробиологических и других факторов выбранного или заданного участка источника воды.

3.22 место водозабора: Участок источника водоснабжения, в пределах которого забираемая водоприемником вода оказывает влияние на перемещение наносов, сора, шугольда, планктона, а также на направление течений, возбуждаемых другими факторами.

3.23 нерегулярные волны: Волны, элементы которых изменяются случайным образом.

3.24 пережат: Характерная форма донного рельефа, сформированная отложениями наносов, обычно в виде широкой гряды, пересекающей русло под некоторым углом к общему направлению течения.

3.25 период волны: Интервал времени между прохождением вершин двух смежных волн через фиксированную вертикаль.

3.26 подошва волны: Наинизшая точка ложбины волны.

3.27 плес: Участок реки с большими устойчивыми глубинами.

3.28 поступательные (бегущие) волны: Волны, видимая форма которых перемещается в пространстве.

3.29 пояс меандрирования (руслоформирования): Полоса поймы, где происходят русловые процессы.

3.30 прибойная зона: Прибрежная полоса водоема, в пределах которой происходит разрушение волн.

3.31 проток: Речной рукав, идущий параллельно основному руслу.

3.32 профиль волны (главный): Линия пересечения взволнованной поверхности с вертикальной плоскостью в направлении луча волны.

3.33 разгон волны: Протяженность охваченной ветром акватории, измеренная по направлению ветра до расчетной точки.

3.34 расчетная скорость ветра: Скорость ветра при определении элементов волн на высоте 10 м над расчетным уровнем воды.

3.35 расчетный уровень воды: Уровень, назначаемый с учетом сезонных и годовых колебаний ветрового нагона воды.

3.36 расчетный шторм: Шторм, наблюдающийся 1 раз в течение заданного ряда лет (25, 50 и 100) с такой скоростью, направлением, разгоном и продолжительностью действия ветра, при которых в расчетной точке формируются волны с максимальными за этот ряд лет элементами.

3.37 регулярные волны: Волны, высота и период которых остаются неизменными в данной точке пространства, занятого жидкостью.

3.38 русловой процесс: Постоянно происходящие изменения морфологического строения русла реки и поймы, обусловленные действием текущей воды.

3.39 селективный водозабор: Послойный забор воды из источника за счет разности ее плотности в придонном и поверхностном слоях.

3.40 система волн: Ряд последовательных волн, имеющих одно происхождение.

3.41 скорость волны: Скорость перемещения гребня волны в направлении ее распространения.

3.42 средняя волновая линия: Линия, пересекающая график волновых колебаний так, что суммарные площади выше и ниже этой линии одинаковы.

Примечание — Для регулярной волны — горизонтальная линия на графике волновых колебаний, проведенная на уровне полусуммы отметок ее вершины и подошвы.

3.43 старица: Старое русло реки, сохранившееся в виде протоки, цепочки озер или подковообразных понижений поймы, находящихся в разных стадиях зарастания.

3.44 статическая устойчивость русла: Состояние русла, при котором продольный и поперечные профили русла не изменяются во времени.

3.45 сточное течение: Течение, вызванное втеканием или вытеканием масс воды из водоема, а также их оттоком от наветренного берега с прекращением волнения.

3.46 стратификация: Разделение воды на отдельные слои с разной плотностью, возникающее под воздействием перепадов температур и из-за отличия в содержании взвешенных наносов между отдельными слоями воды.

3.47 транзитное течение: Смещение масс воды по всей длине водоема, связанное с их втеканием и одновременным вытеканием из него.

3.48 фронт волны: Линия на плане взволнованной поверхности, проходящая по вершинам гребня данной волны.

4 Общие требования

4.1 Водозаборные сооружения представляют собой комплекс гидротехнических сооружений и оборудования (технологическое, подъемно-транспортное, промывное, дренажное, защитное, средства измерения и автоматизации и др.), состав и номенклатура которого в зависимости от конструкций водозаборных сооружений и местных условий определяется проектом.

4.2 Оценку условий забора воды в районе намечаемого размещения водозаборных сооружений, выбор места их расположения, типа и компоновки конструктивных элементов следует производить с учетом природно-климатических особенностей и параметров природных факторов, определяющих местные условия водотоков и водоемов.

Ограничения по объемам забора воды из водоисточников должны приниматься с учетом природоохранных расходов воды в реках, оставляемых в результате намечаемого использования водных ресурсов, а в водоемах — с учетом допустимых объемов забора воды в расчетные периоды.

4.3 Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснований инвестиций в строительство водозаборных сооружений следует принимать в соответствии с СНБ 1.02.03.

4.4 Порядок разработки и согласования, состав проектной документации, включая разработку экологического паспорта, для строящихся, реконструируемых и капитально ремонтируемых водозаборных сооружений следует принимать в соответствии с СНБ 1.03.02.

4.5 Возникающие сложности в работе водозаборных сооружений в Республике Беларусь обусловлены преимущественно недостаточной оценкой в проектах местных условий водоисточников и последующим нарушением их в процессе строительства и эксплуатации, а также циклическим характером изменений природно-климатических условий (интенсивное обрастание ракушкой решеток и водоводов водозаборных сооружений на водохранилищах Чижовское и Поплавы, а также аккумуляция наносов в некоторых водозаборных сооружениях для орошения и др.).

4.6 При оценке возможности использования водных ресурсов следует учитывать:

- расходный режим, водохозяйственный баланс и устойчивость ложа или берегов с прогнозом на 20–25 лет;

- требования к качеству воды, предъявляемые потребителями (для питьевых нужд — согласно требованиям [3]);

- качественную характеристику воды в источнике с прогнозом возможного ее изменения с учетом изменения качественного состава атмосферных осадков, уровня агротехники и поступления сточных вод;

- качественные и количественные характеристики мутности, водной растительности, планктона, биообрастателей и сора, их режим и перемещение донных отложений;

- осенне-зимний режим источника и неустойчивые явления в источнике;

- температуру воды по периодам года и ее стратификацию;

- ледовые явления;

- характерные особенности весеннего вскрытия источника, половодья и прохождения паводков;

- требования органов государственного санитарного надзора, государственного управления по природным ресурсам и охране окружающей среды, сельского хозяйства, рыбоохраны, водного транспорта;

- возможность организации зон санитарной охраны при заборе воды на хозяйственно-питьевые нужды в соответствии с требованиями [4];

- технико-экономическую оценку условий комплексного использования вод различных источников рассматриваемого района.

4.7 При оценке достаточности водных ресурсов источника следует учитывать обеспечение гарантированного расхода воды в водотоке или объема воды в водоеме после ее забора.

4.8 В случае недостаточности водных ресурсов источника следует предусматривать регулирование естественного стока воды, в том числе с устройством наливных водохранилищ, а также возможность переброски воды из других, более многоводных источников.

4.9 При проектировании сооружений забора воды из источников следует предусматривать мероприятия по предотвращению механического и биологического загрязнения воды, забираемой водоприемниками, при последующем ее транспортировании по каналам и водоводам.

4.10 При заборе воды из источников, имеющих рыбохозяйственное значение, следует предусматривать рыбозащитные устройства.

4.11 Условия забора воды из водохранилищ и водоемов в отличие от водотоков имеют следующие особенности:

- колебания уровня воды в течение сезона и года, которые часто достигают нескольких метров;

- сложное сочетание стоковых с ветроволновыми, вдольбереговыми, компенсационными, градиентными и другими течениями, возбуждаемыми волнением;

- своеобразная динамика прибрежных зон, характеризующаяся интенсивной переработкой берега и прибрежного склона на одних участках и аккумуляцией продуктов этой переработки на других;

- вдольбереговая и поперечная миграция наносов, обусловленная местными особенностями выбранного участка водоема;

- возможность интенсивного заиления;

- изменяющееся качество воды по мутности, температуре, минерализации, содержанию планктона, сора, кислорода и др.;
- появление в прибрежных зонах интенсивных сосредоточенных течений, транспортирующих массы воды с большим содержанием наносов, планктона, сора;
- местное переохлаждение воды в предледоставные периоды;
- изменяющиеся по времени направления и скорости течений, возбуждаемых ветром и волнением;
- стратификация воды, обусловленная различием по глубине температур и мутности;
- возможность образования над водоприемником вихревого водоворота-воронки и интенсивного захвата в него поверхностных слоев воды;
- более интенсивное развитие биообрастателей;
- возможность интенсивного зарастания водоема высшей водной растительностью на участках прибрежных склонов;
- периодические сгонные и нагонные явления, параметры которых определяются местными топографическими, метеорологическими и гидрологическими особенностями выбранного участка водоема.

4.12 Водозаборные сооружения должны быть рассчитаны на эксплуатацию в обычных и редко повторяющихся чрезвычайных условиях, в том числе и при максимальных и минимальных уровнях воды в водоемисточнике расчетной обеспеченности.

Строительные материалы и конструкции, применяемые при возведении водозаборных сооружений должны соответствовать требованиям, предъявляемым к материалам и конструкциям для гидротехнических сооружений.

4.13 Надежность работы водоприемных устройств является определяющей в надежности работы всего водозаборного сооружения в целом.

Водоприемные устройства водозаборного сооружения должны быть работоспособными в условиях забора воды, осложненных:

- уменьшением глубин или снижением расходов воды в реке;
- образованием в потоке внутриводного льда и шуги, шугозаполнением русла, а также транспортированием потоком шуги, наносов, сора, корчей, топляков и т. п.;
- судоходством, регулированием стока на гидроэлектростанции (ГЭС);
- захватом загрязнений водоема;
- переформированием русла или побережья водоема;
- волнением, вдольбереговыми перемещениями наносов, нагоном сора и льда;
- развитием ракушки, планктона и водорослей.

4.14 При технико-экономической оценке вариантов водозаборных сооружений следует учитывать затраты на мероприятия, направленные на снижение последствий от изменения экологической обстановки в зоне строительства водохранилищ для водозаборных сооружений в хозяйственной деятельности землепользователей, продуктивности лесных угодий и др.

4.15 Снижение стоимости сооружения насосных станций за счет уменьшения заглубления фундамента и длины трубопроводов может быть достигнуто при использовании капсульных агрегатов, у которых приводной электродвигатель расположен в герметичной стальной капсуле, обтекаемой водой, а также погружных моноблочных насосных агрегатов со встроенным электродвигателем «сухого» типа или водозаполненного асинхронного электродвигателя.

4.16 Инженерные изыскания для проектирования и строительства водозаборных сооружений следует производить в соответствии с СНБ 1.02.01.

5 Оценка условий забора воды из водотока

5.1 Выбор водоемисточников должен быть обоснован результатами анализа гидрологических данных, гидроморфологического анализа руслового процесса и прогноза изменения руслового режима, осуществляемого специалистами соответствующего профиля.

5.2 В гидрологическом отношении каждая река в выбранном створе должна характеризоваться следующими данными, используемыми при проектировании водозаборных сооружений:

- изменением расхода воды в течение года расчетной обеспеченности (гидрографом реки);
- графиком связи расходов и уровней воды (кривая расходов воды);
- графиком изменения уровней воды в рассматриваемом створе;

- графиком изменения уровней по длине;
- продолжительностью стояния уровней воды;
- водностью реки и твердым стоком.

5.3 Особенности питания реки следует определять по характеру гидрографа и изменению уровня воды в течение года. В зависимости от снегового, дождевого, озерного и подземного питания различают гидрографы только с одним весенним пиком подъема уровней и со многими пиками, которые формируются за счет выпадения дождевых ливней.

В настоящее время в связи с сельскохозяйственным освоением больших площадей заболоченных земель, повсеместным использованием рек в качестве водоприемников, водоисточников для увлажнения земель и гидротехническим строительством, формы гидрографов на ряде рек подверглись существенным изменениям, что должно учитываться при их анализе.

5.4 При использовании графиков связи расходов и уровней воды необходимо учитывать их различия для открытого и закрытого льдом русла, различать фазы подъема и спада уровней, учитывать возможность зашугованности и сезонные деформации русла.

5.5 Вертикальные габариты водозаборных сооружений определяют высокие и низкие уровни воды в створе расположения водозаборного сооружения, отметки ледостава и ледохода, зажорных и других уровней.

5.6 Количество дней, в течение которых уровни воды не опускаются ниже заданной отметки, следует определять по кривым повторяемости и кривым продолжительности уровней воды.

5.7 Водность рек для целей водоснабжения характеризуется минимальными расходами воды различной обеспеченности по лимитирующим сезонам в зависимости от потребителя.

5.8 Схемы деформаций речного русла и поймы, получение их количественных характеристик и связей с руслоформирующими факторами необходимо определять при проведении гидроморфологического анализа.

5.9 В русловом процессе реки выделяют обратимые и необратимые деформации.

К обратимым деформациям относят повторяющиеся изменения русла при прохождении по нему песчаных гряд.

К необратимым деформациям относят односторонний размыв или заиление отдельных фрагментов русла или поймы, а также искусственное переустройство ложа водотока при регулировании реки или возведении сооружений.

5.10 Учитывая многообразие вариантов инженерного вмешательства в естественный русловый режим, водотоки подразделяют на три группы, увязанные с размерами и интенсивностью переформирований русла и примыкаемой части поймы, показанные на рисунке 5.1.

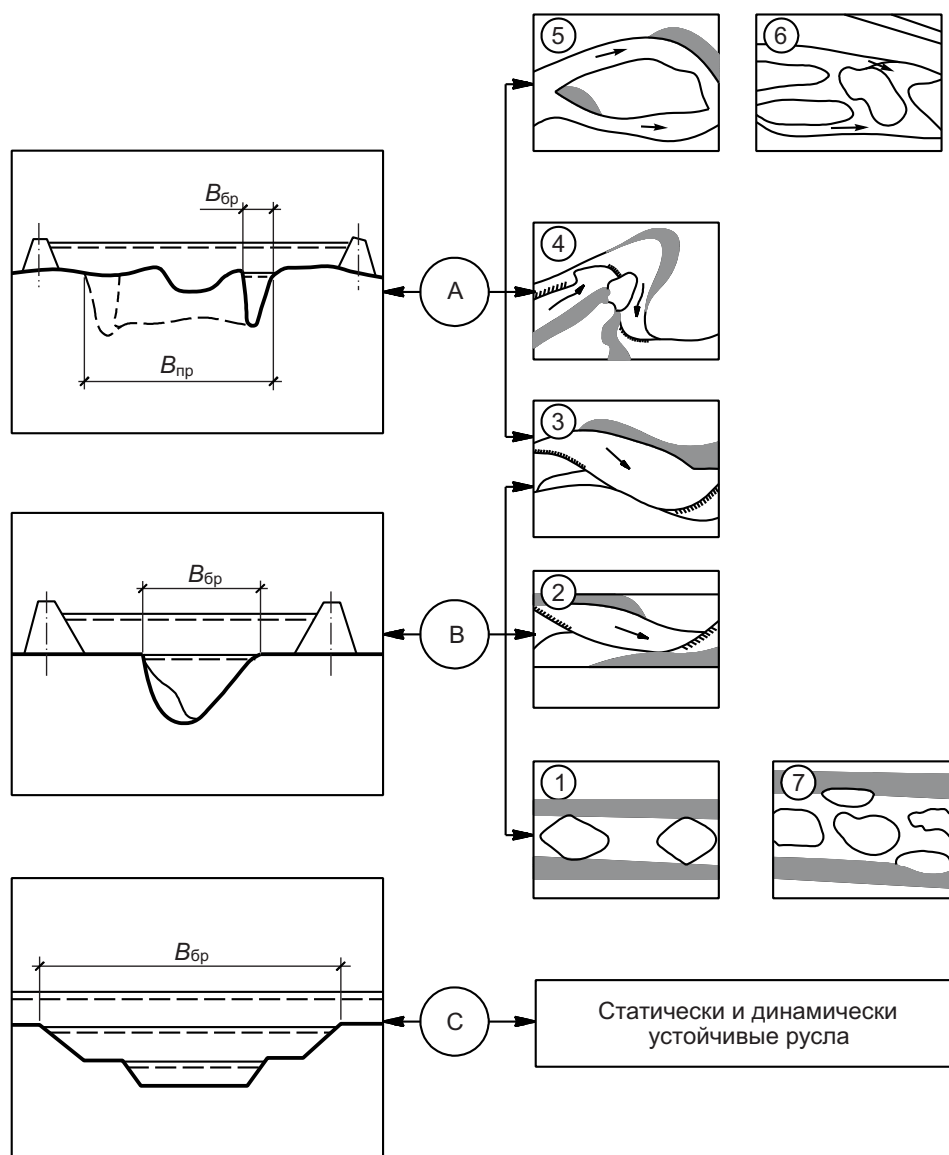
Группа «А» объединяет участки извилистых рек, естественных и отрегулированных следующими способами: делением потока, обвалованием (дамбы обвалования вынесены за пределы пояса руслоформирования $B_{пр}$) и др. приемами, при которых русло реки с меандрирующими типами руслового процесса 4–6 оставлено в естественном состоянии.

При расположении водозаборных сооружений на пойме в пределах пояса руслоформирования следует учитывать плановые смещения русла.

Группа «В» объединяет участки рек с прямолинейными или слабоизвилистыми руслами, естественными или отрегулированными посредством подчистки, частичного спрямления, обвалования (дамбы обвалования расположены параллельно руслу). Все деформации в таких случаях ограничиваются областью русла и сводятся к сползанию вниз по течению крупномасштабных русловых форм.

При расположении водозаборных сооружений в таких условиях следует учитывать уменьшение расчетной пропускной способности за счет заиления дна на участках, где уменьшается транспортирующая способность потока. В таких случаях необходимо определять участки заиления и интенсивность вертикальных деформаций.

Группа «С» объединяет участки водотоков, при строительстве которых осуществлялось инженерное вмешательство в условия прохождения естественного руслового процесса со сменой его типа (спрямление, создание русел сложного сечения), а также новые водопроводящие системы. К этой группе относятся участки с руслами статического или динамического равновесия. Наиболее опасными в таких условиях деформациями является размыв бровок и заиление дна при нарушении статической или динамической устойчивости русел, что должно выявляться в процессе оценки динамики руслового режима.



Типы руслового процесса:

- 1 — ленточно-грядовый; 2 — побочный; 3 — ограниченное меандрирование;
 4 — свободное меандрирование; 5 — незавершенное меандрирование;
 6 — пойменная многорукавность; 7 — осередковый

Рисунок 5.1 — Схема разделения водотоков по группам

5.11 Следует различать статическую и динамическую устойчивость спрямленных русел и проводящих каналов.

При обеспечении статической устойчивости русла (статического равновесия) поперечные и продольный профили его не изменяются во времени от действия руслового потока, в случаях русел без крепления движение наносов по дну отсутствует.

Русло, в котором происходит сбалансированный обмен наносами между потоком и ложем, называют руслом динамического равновесия. В таком русле первоначально заданный профиль откосов несколько трансформируется, принимая равноустойчивую форму (если она не была задана таковой на стадии строительства). В нем идет обратимый непрерывный процесс переформирования русловых образований в соответствии с изменением расходов и уровней воды в реке или канале, но при этом основные морфометрические параметры русла — ширина по верху и средняя глубина сохраняются постоянными, а, следовательно, обеспечивается заданный гидравлический режим.

5.12 Разделение водотоков по типам руслового наличия процесса следует производить в соответствии с рисунком 5.1. При этом не исключается возможность наличия смешанных типов руслового процесса.

5.13 Для прямолинейных и слабоизвилистых русел характерны только вертикальные циклические деформации. В зависимости от формы перемещающихся вниз по течению элементарных русловых образований такие русла могут иметь ленточно-грядовый, побочневый или осередковый тип руслового процесса.

При ленточно-грядовом типе деформация русла происходит в результате поступательного движения больших ленточных гряд с сезонным изменением их высоты по всей ширине русла. В условиях низкой межени движение ленточных гряд может приостанавливаться. Гребни гряд отстоят один от другого на расстоянии примерно от четырех до восьми ширин русла. Русло реки в плане имеет незначительную и неупорядоченную извилистость. Плановые деформации не характерны.

При побочневом типе руслового процесса ленточные гряды перекашиваются в плане, причем направление перекаса смежных гряд противоположно. В межень прибрежные части этих мезоформ обсыхают, образуя песчаные отмели (побочни), располагающиеся по длине реки в шахматном порядке. Затопленный гребень образует перекаст. Снизу к гребню нередко примыкает коса, образующая затон. Деформации русла сводятся к сползанию перекошенных в плане ленточных гряд. Плановые деформации берегов наблюдаются на участках подвальев гряд, но не получают большого развития.

Осередковый тип руслового процесса характеризуется распластанным многорукавным руслом, по которому перемещаются гряды наносов. Возвышенные части гряд в межень обнажаются, закрепляются растительностью и образуют осередки, разделенные протоками. Осередковый тип руслового процесса косвенно характеризует большие объемы стока донных наносов на участках, где транспортирующая способность потока резко уменьшена по сравнению с выше расположенным участком.

5.14 В извилистых речных руслах распространенным видом деформации является меандрирование. Меандрирующие русла, в зависимости от характера плановых деформаций, могут быть ограниченно-, свободно-, незавершенно-меандрирующими и с пойменной многорукавностью.

При ограниченном меандрировании плановые деформации выражаются в сползании вниз по течению излучин и огибаемых ими пойменных массивов без существенного изменения их плановых очертаний и продольного профиля дна. Вертикальные деформации сопровождаются снижением отметок перекастов в межень и их восстановлением в первую половину половодья. На плесе деформации имеют обратный ход, а именно: размыв — в половодье и намыв — в межень.

При свободном меандрировании разворот излучин в плане осуществляется относительно фиксированных точек пересечения оси русла и линии перекастов с одновременным изменением размера и формы излучины со временем. Цикл развития излучины завершается промывом перешейка петли русла. Поток переходит в спрямленное русло, а старое главное русло превращается в старицу. После прорыва перешейка цикл развития излучины повторяется.

При незавершенном меандрировании разворот излучин сопровождается образованием спрямляющей протоки на разных стадиях ее развития при резком несовпадении динамических осей потока в половодье и межень. Тип процесса распознается по наличию на меандрирующем участке двух русел: первичного русла и спрямляющего протока.

При частом и глубоком затоплении поймы в результате образования повторных спрямляющих протоков незавершенных меандр образуется тип руслового процесса, называемый пойменной многорукавностью. Спрявление русел охватывает не только отдельные излучины, но часто и серию излучин, образуя длинные пойменные протоки и большие пойменные острова. В протоках могут существовать различные типы руслового процесса.

5.15 Не следует смешивать понятия меандрирование и извилистость рек. Под последним понимают криволинейность очертаний русла в виде чередования его левых и правых поворотов. Извилистые в плане русла нельзя причислять к меандрирующим, если они не изменяют своих очертаний с течением времени.

5.16 Динамическое взаимодействие потока и русла следует условно разделять на структурные уровни.

К нижнему уровню — уровню микроформ, наиболее краткосрочному и быстро стабилизирующемуся, относится смещение отдельных частиц и русловых микроформ, размеры которых значительно меньше размеров русла. Они обнаруживаются во всех типах руслового процесса.

На среднем уровне — уровне мезоформ (средних по размерам) их нарушение и восстановление происходит в течение периода средней продолжительности половодья.

На верхнем уровне — уровне макроформ (соизмеримых с размерами русла) масштаб времени определяется в многолетнем разрезе.

Для каждой из структурных форм при прогнозе руслового режима следует использовать отдельные решения.

Оценку переформирований русла следует производить на основании сопоставления картографических материалов или данных эхолотирования. При отсутствии таких данных оценка переформирования производится по морфометрическим зависимостям.

5.17 На нижнем уровне (смещения отдельных частиц) при гидравлических расчетах должен использоваться метод оценки устойчивости русла по допустимым скоростям потока, т. е. должно соблюдаться условие

$$V_{\text{доп.н}} \leq V_{\text{ср}} \leq V_{\text{доп.в}}, \quad (5.1)$$

где $V_{\text{ср}}$ — средняя скорость потока, м/с;
 $V_{\text{доп}}$ — допустимая средняя скорость потока при соответствующей стадии движения наносов (отрыв отдельных частиц, движение гряд и взвешивание), м/с;
 «н» и «в» — индексы соответственно нижнего и верхнего пределов скоростей.

5.18 Параметры микроформ (гряд) установившегося профиля вычисляют по следующим формулам.

Высота микроформ h_r , м:

— при глубине потока $H \leq 1$ м

$$h_r = 3,5H \cdot \frac{\left(1 - \frac{V_{\text{нр}}}{V_{\text{ср}}}\right)^{0,67}}{\lg \frac{H}{d_{50}} + 6}; \quad (5.2)$$

— при $H > 1$ м

$$h_r = 2,1 \cdot \frac{d_{50}}{Fr^{4,1}} \cdot \left(\frac{V_{\text{ср}}}{V_{\text{нр}}} - 1\right)^{1,4}. \quad (5.3)$$

В формулах (5.2) и (5.3):

$V_{\text{нр}}$ — неразмывающая скорость потока для дна, м/с; определяют по формуле (5.35) для стадии начала влечения отдельных зерен грунта;

d_{50} — диаметр частиц грунта, в котором 50 % массы составляют более мелкие частицы, м;

Fr — число Фруда; $Fr = \frac{V_{\text{ср}}}{\sqrt{gH}}$.

При отсутствии входящих в формулы (5.2) и (5.3) исходных данных высоту микроформ следует приближенно оценивать по формулам:

— при $H \leq 1$ м

$$h_r = 0,25H; \quad (5.4)$$

— при $H > 1$ м

$$h_r = 0,2 + 0,1H. \quad (5.5)$$

В условиях половодья максимальную высоту микроформ h'_r , м, следует вычислять по приближенной формуле

$$h'_r = 2,5h_r. \quad (5.6)$$

Высоту микроформ h_r в формуле (5.6) необходимо измерять в межень, перед половодьем или через месяц после него.

Длину микроформ l_r , м, следует вычислять по формуле

$$l_r = H \cdot \sqrt[3]{\frac{C^2}{g}}, \quad (5.7)$$

где C — коэффициент Шези, м^{0,5}/с.

Для приближенных расчетов длину микроформ l_r , м, следует вычислять по формуле

$$l_r = 4,2H. \quad (5.8)$$

В условиях половодья максимальную длину микроформ l'_r , м, следует вычислять по приближенной формуле

$$l'_r = 2,5l_r. \quad (5.9)$$

Длину микроформ l_r в формуле (5.9) необходимо измерять в межень, перед половодьем или через месяц после него.

Скорость смещения микроформ c_r , м/с, следует вычислять по формуле

$$c_r = 0,019v_{cp}Fr^3. \quad (5.10)$$

Период смещения микроформ τ_r , с, следует вычислять по формуле

$$\tau_r = \frac{l_r}{c_r}. \quad (5.11)$$

Удельный расход донных наносов при движении микроформ q_r , м²/с, следует вычислять по формуле

$$q_r = 0,011h_rv_{cp}Fr^3. \quad (5.12)$$

5.19 При отсутствии подробных и разновременных съемок на данном участке высоту ленточных гряд $h_{лг}$, м, и их длину $l_{лг}$, м, следует вычислять по формулам:

$$h_{лг} = 0,2H_{пл}, \quad (5.13)$$

$$l_{лг} = 6B_{бр}. \quad (5.14)$$

В формулах (5.13) и (5.14):

$H_{пл}$ — глубина в плесе (между грядами) при уровне воды в пойменных бровках, м;

$B_{бр}$ — ширина русла по урезу при уровне воды в пойменных бровках, м.

Скорость движения ленточных гряд $c_{лг}$, м/с, при расходе воды, соответствующем уровню бровок, следует вычислять по формуле

$$c_{лг} = \frac{l_{лг}q_{лг}}{F_{лг}}, \quad (5.15)$$

где $F_{лг}$ — площадь продольного сечения ленточной гряды, м²; вычисляют по формуле

$$F_{лг} = \alpha h_{лг}l_{лг}, \quad (5.16)$$

здесь α — коэффициент формы гряды; принимают равным 0,6;

$q_{лг}$ — удельный расход донных наносов, м²/с, при движении ленточных гряд; вычисляют по формуле

$$q_{лг} = 0,00453 \cdot \frac{v_{cp}}{v_{нр}} \cdot d_{50} \cdot (v_{cp} - v_{нр}) \cdot \left(\frac{H}{d_{50}} \right)^{0,33}. \quad (5.17)$$

Если известна высота микроформ h_r , м, скорость движения ленточной гряды $c_{лг}$, м/с, следует вычислять по формуле

$$c_{лг} = 0,018 \cdot \frac{h_r}{h_{лг}} \cdot \frac{v_{cp}^4}{(\sqrt{gH})^3}. \quad (5.18)$$

Период смещения ленточных гряд $\tau_{лг}$, с, следует вычислять по формуле

$$\tau_{лг} = \frac{l_{лг}}{c_{лг}}. \quad (5.19)$$

5.20 Высоту $h_{пб}$, м, и длину $l_{пб}$, м, побочня следует вычислять по формулам:

$$h_{пб} = 0,3H_{пл}, \quad (5.20)$$

$$h_{пб} = 0,24 \cdot (Q_{50\max})^{0,37}, \quad (5.21)$$

$$l_{пб} = \frac{0,02}{I} \cdot H_{пл}, \quad (5.22)$$

$$l_{пб} = 10 \cdot (Q_{50\max})^{0,67}. \quad (5.23)$$

В формулах (5.21) – (5.23):

$Q_{50\max}$ — максимальный расход 50 %-ной обеспеченности, м³/с;

I — средний уклон потока на участке, имеющем от восьми до десяти мезоформ.

Скорость движения и период смещения побочня следует вычислять как и для ленточных гряд по формулам (5.15), (5.18) и (5.19).

Глубинные деформации при движении побочней $\Delta z_{дн}$, м, следует вычислять по формуле

$$\Delta z_{дн} = h_{пб} + h'_{г}. \quad (5.24)$$

Ширину береговой полосы $\Delta B_{бр}$, м, периодически разрушаемой и восстанавливаемой при движении побочней, следует вычислять по формуле

$$\Delta B_{бр} = 0,1B_{бр}. \quad (5.25)$$

5.21 Для определения глубинных деформаций на участках с ленточно-грядовым и побочневым типами руслового процесса при наличии разновременных съемок должна выбираться съемка, соответствующая максимальной водности. Поперечные профили на некоторой длине участка реки совмещают на одном графике. Огибающая профилей ограничивает область максимальных глубинных деформаций.

5.22 При ограниченном меандрировании глубинные деформации в зависимости от исходных данных могут определяться несколькими способами.

При наличии материалов разновременных съемок — аналогично 5.21. При этом поперечные профили должны проходить через русло и через пойменный массив и наноситься нормально к линии, проходящей по середине пояса меандрирования. Профили необходимо совмещать на одном графике по вертикальной оси, соответствующей середине пояса меандрирования.

При полном отсутствии материалов съемки используют аналоги реки. Аналог должен быть подобен изучаемому участку реки по следующим признакам:

- типу руслового процесса;
- степени развитости излучины;
- уклону дна долины;
- ширине меженного русла и пояса руслоформирования;
- расходу воды и продолжительности среднемноголетнего половодья;
- крупности донных отложений.

На участке аналога не должно быть искусственных условий, ограничивающих развитие русла данного типа.

Расчет плановых деформаций русла при ограниченном меандрировании сводится к определению:

- скорости сползания излучины $c_{и}$, м/г.;
- длины излучины $l_{и}$, м;
- времени переработки пойменного массива $t_{пм}$, г., в пределах пояса меандрирования.

Связь между этими показателями следует вычислять по формуле

$$t_{пм} = \frac{l_{и}}{c_{и}}. \quad (5.26)$$

5.23 При свободном меандрировании глубинные деформации следует определять следующим образом:

— прогноз отметок в любом поперечном створе по мере развития излучины составляют по данным измерений глубин в аналогичных створах на других излучинах рассматриваемого участка реки, находящихся на разных стадиях развития;

— сезонные деформации русла определяют при совмещении как продольных, так и поперечных профилей, измеренных в половодье и межень;

— при наличии в плесах и на перекатах излучины ленточных гряд глубинные деформации определяют с их учетом;

— на участках перекатов и пляжа излучины в расчет общей величины глубинных деформаций включают высоту мезоформ в половодье, вычисляемую по формуле (5.8).

При отсутствии необходимых данных следует использовать материалы по аналогу реки.

5.24 Плановые деформации вогнутых берегов свободноеандрирующего русла $\Delta B_{бр}$, м, следует вычислять по формуле

$$\Delta B_{бр} = K_{и} T c_{и \max} \cdot \frac{H_{\max} - H_{ср}}{H_{пл} - H_{ср}}, \quad (5.27)$$

где $K_{и}$ — коэффициент, учитывающий изменение скорости плановых деформаций излучины в зависимости от стадии ее развития; определяют в зависимости от угла разворота $\alpha_{разв}$, ...°, по данным таблицы 5.1;

T — срок прогнозирования, г.;

$c_{и \max}$ — наибольшая в пределах данной излучины скорость смещения бровки вогнутого берега, м/г.;

$H_{\max}$, $H_{пл}$ — наибольшие глубины русла соответственно в расчетном створе и в пределах всей излучины, м;

$H_{ср}$ — средняя глубина на гребнях двух смежных перекатов, ограничивающих излучину и расположенных в местах перегиба средней линии излучины, м.

При пользовании формулой (5.27) расчетные интервалы времени принимают равными не более 5 лет, а общее время прогноза — не более 25 лет.

При отсутствии разновременных съемок приближенно принимают, что среднее плановое смещение бровки вогнутого берега излучины составляет в год 5 % от ширины русла между пойменными бровками.

Таблица 5.1

Угол разворота $\alpha_{разв}$, ...°	50	100	120	150	180	200	250
Коэффициент $K_{и}$	0,1	0,5	0,8	1,0	0,8	0,5	0,1

5.25 При незавершенном меандрировании русловые деформации должны рассчитываться для основного русла и для спрямляющего протока.

Расчет планового смещения бровки вогнутого берега основного русла до момента перехода в спрямляющий проток большей части расхода воды производят аналогично 5.24.

Спрямляющий проток на ранней стадии формирования имеет слабокриволинейное русло побочного типа, и его деформации следует учитывать в соответствии с 5.20.

После перехода в спрямляющий проток большей части расхода воды основного русла плановое смещение береговой линии протока $\Delta B_{пр}$, м, за T лет следует вычислять по формуле

$$\Delta B_{пр} = 0,2 T c_{бр}, \quad (5.28)$$

где $c_{бр}$ — скорость смещения бровки вогнутого берега излучины основного русла, м/г.

5.26 Для спрямленных участков рек и каналов прогноз величины параметров динамически устойчивого русла следует производить по морфометрическим зависимостям. Для несвязных грунтов такой прогноз следует проводить по результатам вычислений следующих формул:

$$B_{бр} = I^{0,189} \cdot (n_{ш} Q_p)^{0,54} \cdot \left(\frac{\lambda_c g \rho_B}{P_s} \right)^{0,46}, \quad (5.29)$$

$$H_c = \frac{1}{I^{0,405}} \cdot \left(\frac{n_{ш} Q_p P_S}{\lambda_c g \rho_B} \right)^{0,27}, \quad (5.30)$$

$$\frac{B_{6p}}{H_c} = I^{0,594} \cdot (n_{ш} Q_p)^{0,27} \cdot \left(\frac{\lambda_c g \rho_B}{P_S} \right)^{0,73}. \quad (5.31)$$

В формулах (5.29) – (5.31):

I , Q_p и $n_{ш}$ — соответственно уклон, расход воды, м³/с, и коэффициент шероховатости русла (русло работает в бровках полным сечением);

H_c — средняя глубина воды по сечению, м;

ρ_B — плотность воды, кг/м³;

λ_c — коэффициент стабилизации русла; для спрямленных рек и крупных проводящих каналов, находящихся в состоянии динамического равновесия, принимают равным 5;

P_S — показатель прочности грунта, Па; вычисляют по формуле

$$P_S = g \rho_1 d_{50} f + C_p, \quad (5.32)$$

здесь ρ_1 — плотность грунта, взвешенного водой, кг/м³; вычисляют по формуле

$$\rho_1 = (\rho_s - \rho_B) \cdot (1 - n_s), \quad (5.33)$$

ρ_s — плотность частиц грунта, кг/м³;

n_s — пористость грунта;

d_{50} — диаметр частиц, содержание которых в грунте составляет 50 %;

f — коэффициент внутреннего трения грунта в воде;

C_p — расчетное сцепление грунта при разрыве в воде, Па; определяют посредством отрыва с поверхности грунта цементированной на ней пластинки; для однородных песчаных грунтов (при $0,1 \text{ мм} \leq d_{50} \leq 1,0 \text{ мм}$) вычисляют по формуле

$$C_p = \frac{0,0032}{\sqrt{d_{50}}}. \quad (5.34)$$

5.27 Русло с параметрами B_{6p} и H_c , рассчитанными по формулам (5.29) – (5.31) будет находиться в динамически устойчивом состоянии только при наличии характерных признаков, для которых найдено опытное значение коэффициента λ_c , т. е. при соответствии расхода насосов, поступающих на участок, его транспортирующей способности и при покрытии прибрежной зоны (бровок русла) травяной растительностью, закрепляющей верхнюю зону откосов и повышающей сопротивляемость русла размыву.

При отсутствии закрепления прогноз устойчивости к размыву дна и откосов русла следует производить по допустимым скоростям течения воды для разных стадий движения наносов.

Допустимую среднюю скорость потока $v_{доп}$, м/с, вычисляют по формуле

$$v_{доп} = a \cdot \left(\frac{R}{d_p} \right)^x \cdot \sqrt{\frac{n_y}{\rho_B} \cdot \eta P_S}, \quad (5.35)$$

где a — коэффициент;

R — гидравлический радиус, м;

d_p — расчетный диаметр частиц грунта, м; для однородных песчаных грунтов принимают $d_p = d_{50}$, для неоднородных — $d_p = d_{85}$ и для глинистых грунтов — размер агрегатов d_p в пределах от 0,003 до 0,004 м;

x — показатель степени;

n_y — коэффициент условий работы; принимают равным:

1 — при содержании наносов в потоке в коллоидном состоянии $S < 0,1 \text{ кг/м}^3$;

1,3–1,5 — для мелких и средних песков;

1,5–1,7 — для крупных и гравелистых песков при $S \geq 0,1 \text{ кг/м}^3$;

η — относительная глубина потока; вычисляют по формуле

$$\eta = \frac{H}{H_{от}}, \quad (5.36)$$

здесь $H_{от}$ — глубина потока на откосе, м, по вертикали, в которой определяют допустимую среднюю скорость; для наиболее неустойчивой низовой части откоса (у его подошвы) принимают $H_{от} = H$ (для дна $\eta = 1$).

В формуле (5.35) показатель прочности грунта P_s , Па, для дна вычисляют по формуле (5.32), а для откоса (при $m > 1/f$) — по формуле

$$P_s = g\rho_1 d_p \cdot \sqrt{f^2 - \frac{1}{m_2} + \frac{C_p}{g\rho_1 d_p} \cdot \left(2f + \frac{C_p}{g\rho_1 d_p}\right)}, \quad (5.37)$$

где m — коэффициент заложения откоса.

Значения коэффициента a и показателя степени x в формуле (5.35) принимают в зависимости от стадии движения наносов:

$a = 2,06, x = 0,17$ — для стадии начала влечения отдельных зерен грунта;

$a = 3,18, x = 0,14$ — для стадии начала образования гряд;

$a = 5,96, x = 0,10$ — для начала взвешивания грунта.

5.28 Примеры прогноза деформаций русла приведены в приложении А.

6 Оценка условий забора воды из водоема

6.1 Общие указания

6.1.1 Надежность забора воды требуемого расхода и качества должна определяться в первую очередь местными условиями выбранного участка водоема.

6.1.2 Местные условия выбранного участка водоема могут изменяться вследствие последующей переработки берегов и прибрежных склонов, аккумуляции продуктов этой переработки, строительства инженерных сооружений в пределах прибрежной зоны, усиления биологической активности в результате изменения качества воды и других факторов.

6.1.3 Местные условия выбранного участка водоема подразделяются на легкие, средние и тяжелые.

6.1.4 Гидрологические, гидроморфологические, гидротермические, гидробиологические и прочие процессы, развивающиеся в водоемах, обусловлены в первую очередь местными топографическими, метеорологическими, гидрологическими, геологическими и другими особенностями выбранного участка водоема.

6.1.5 Следует учитывать, что указанные в 6.1.4 процессы индивидуальны, но в ряде случаев параметры местных условий, не поддающиеся расчету, можно принимать по аналогии с параметрами изученных водоемов, в которых процессы близки по характеру процессам в рассматриваемом водоеме.

6.2 Расчет элементов волн на открытых, огражденных акваториях и в прибрежной зоне

6.2.1 На поверхности водоема от действия ветра образуется нерегулярное трехмерное (ветровое) волнение.

Ветровое волнение, образованное в пределах глубоководной или мелководной зоны, по мере перемещения на убывающих глубинах стабилизируется или перестраивается в нерегулярное двухмерное волнение. Процесс перестроения сопровождается относительным уменьшением высоты и длины волн малой обеспеченности при одновременном увеличении высоты и длины волн большой обеспеченности.

6.2.2 При определении элементов волн на открытых и огражденных акваториях необходимо учитывать следующие волнообразующие факторы:

- скорость ветра;
- продолжительность непрерывного действия ветра над водной поверхностью;
- размеры и конфигурацию охваченной ветром акватории;
- рельеф дна и глубину водоема с учетом колебаний уровня воды.

6.2.3 Расчет элементов волн следует производить в соответствии с требованиями ТКП 45-3.04-170.

6.3 Течения в водоемах

6.3.1 Водоемам, в отличие от водотоков, свойственно многообразие течений, изменяющихся во времени, по направлению, глубине и величинам скоростей.

Для водоемов Республики Беларусь основным является ветроволновое течение, а для небольших водохранилищ и прудов — также транзитное.

Величины скоростей и наносотранспортирующая способность других видов течений незначительны.

6.3.2 Интенсивность ветроволнового течения, зона действия на глубинах $H > H_{cr}$ определяются параметрами волн, зависящими от скорости ветра, а также от их угла подхода к прибрежному склону на рассматриваемом участке водоема.

6.3.3 При фронтальном подходе ветра и волн к относительно прямолинейному прибрежному склону в поверхностных слоях воды наблюдается ветроволновое, а в придонных — компенсационное течение обратного направления. При этом ветроволновое течение обычно находится на глубинах $H < 0,2\bar{\lambda}$, а компенсационное — $0,2\bar{\lambda} < H < 0,5\bar{\lambda}$.

6.3.4 Скорость ветроволнового течения на поверхности воды $v_{вТП}$, м/с, при скорости ветра $V_{\omega} < 20$ м/с следует вычислять по формуле

$$v_{вТП} = 0,02 V_{\omega}. \quad (6.1)$$

6.3.5 Переход поверхностных слоев воды в придонные или ветроволнового течения в компенсационное происходит преимущественно в прибойных зонах.

6.3.6 На подходе к месту разрушения волн скорости ветроволнового и компенсационного течений увеличиваются. К моменту разрушения волн скорость ветроволнового течения $v_{вТП}$, м/с, в поверхностном слое приближается или равна скорости их перемещения, величину которой следует вычислять по формуле

$$v_{вТП} = \sqrt{2gh_{гр.кр}}, \quad (6.2)$$

где $h_{гр.кр}$ — критическая высота гребня волны, м.

6.3.7 Распределение скоростей волнового течения по глубине $v_{вТП}$, м/с, в месте начала разрушения волн, подходящих по нормали к берегу, при прохождении их гребней допускается вычислять по формуле

$$v_{вТП} = \eta^2 \cdot \sqrt{2gh_{гр.кр}}, \quad (6.3)$$

$$\text{где } \eta = \frac{Z}{H_{cr} + H_{кр}},$$

здесь Z — глубина воды, отсчитываемая от поверхности склона, м;

H_{cr} — критическая глубина волны, м;

$H_{кр}$ — критическая высота волны, м.

6.3.8 В зонах разрушения волн или в прибойных зонах орбитальное движение частиц жидкости отсутствует. При прохождении гребней волн массы воды на всю глубину волновым течением смещаются в сторону луча волнения, а при прохождении ложбин — компенсационным течением смещаются в обратном направлении.

6.3.9 Значение орбитальной придонной скорости на прибрежном склоне в зоне действия неразрушающихся волн v_g , м/с, следует вычислять по формуле

$$v_g = \frac{n\pi h'}{\sqrt{\frac{\pi}{g} \cdot \lambda' sh \frac{4\pi}{\lambda'} \cdot H}}, \quad (6.4)$$

где h' — высота волны в точке пересчета, м;

λ' — длина волны в точке пересчета, м;

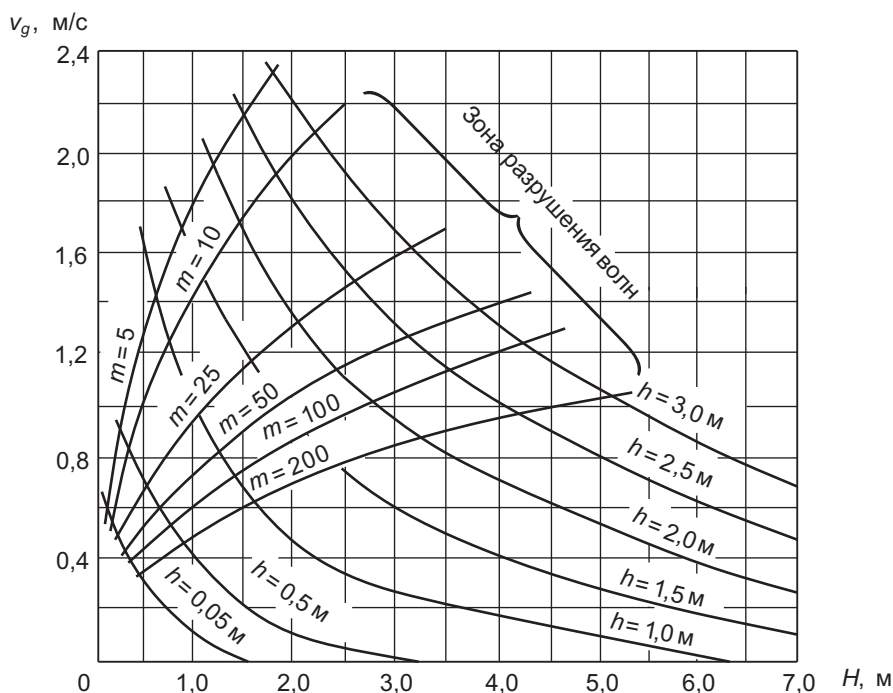
n — коэффициент; принимают в зависимости от относительной пологости волн по таблице 6.1.

Таблица 6.1

Относительная плотность волны λ'/h'	8	10	15	20
Коэффициент n	0,60	0,70	0,75	0,80

С учетом пологости прибрежного склона и критических глубин величину придонной орбитальной скорости можно определять по графику рисунка 6.1.

6.3.10 В большинстве случаев волны открытого водоема подходят под косым углом к выбранному участку берега или прибрежного склона. В этих случаях вследствие отсутствия или слабого проявления волнового нагона компенсационные течения на подходе к прибойным зонам обычно не прослеживаются.

Рисунок 6.1 — График для расчета придонных орбитальных скоростей волн $\lambda_{гп}/h_{гп} = 10$

6.3.11 В прибойных зонах наряду с волновыми и компенсационными появляются вдольбереговые течения. Они возбуждаются и поддерживаются энергией разрушающихся волн или масс воды, транспортируемых ветроволновым течением и сбрасываемых разрушающимися гребнями в прибойные зоны.

Значение средней скорости вдольберегового течения при одном разрушении $\bar{v}_{вб}$, м/с, следует вычислять по формуле

$$\bar{v}_{вб} = S_b \cdot \sqrt{\frac{gh_{кр(15\%)}^2}{\tau m \sin \alpha_0}}, \quad (6.5)$$

где S_b — обобщенный коэффициент, значение которого определяют по графику рисунка 6.2;

τ — период волны, с;

m — коэффициент заложения откоса (склона);

α_0 — угол, образованный лучом волнения и нормалью к склону к моменту разрушения, ...°.

6.3.12 При многократном разрушении волн среднюю скорость вдольберегового течения в пределах каждой последующей прибойной зоны $\bar{v}'_{вб}$, м/с, вычисляют по формуле

$$\bar{v}'_{вб} = S_b \cdot \sqrt{\frac{g \cdot (\bar{h}_{крn}^2 - \bar{h}_n^2)}{\tau m \sin \alpha_n}}, \quad (6.6)$$

где $\bar{h}_{крn}$, $\bar{h}_n$ — соответственно высоты волн 15 %-ной обеспеченности к моменту данного разрушения и образованных после его прекращения, м;

α_n — угол, образованный лучом волнения и нормалью к склону к моменту разрушения, ...°.

6.3.13 Среднюю скорость вдольберегового течения $\bar{v}'_{вб}$, м/с, между первой и второй, второй и третьей и между последующими прибойными зонами вычисляют по формуле

$$\bar{v}'_{вб} = 0,25 \cdot (\bar{v}'_{вбn} + \bar{v}'_{вб(n-1)}), \quad (6.7)$$

где $\bar{v}'_{вбn}$ и $\bar{v}'_{вб(n-1)}$ — соответственно средние скорости вдольберегового течения в пределах предыдущей и последующей прибойных зон, м/с.

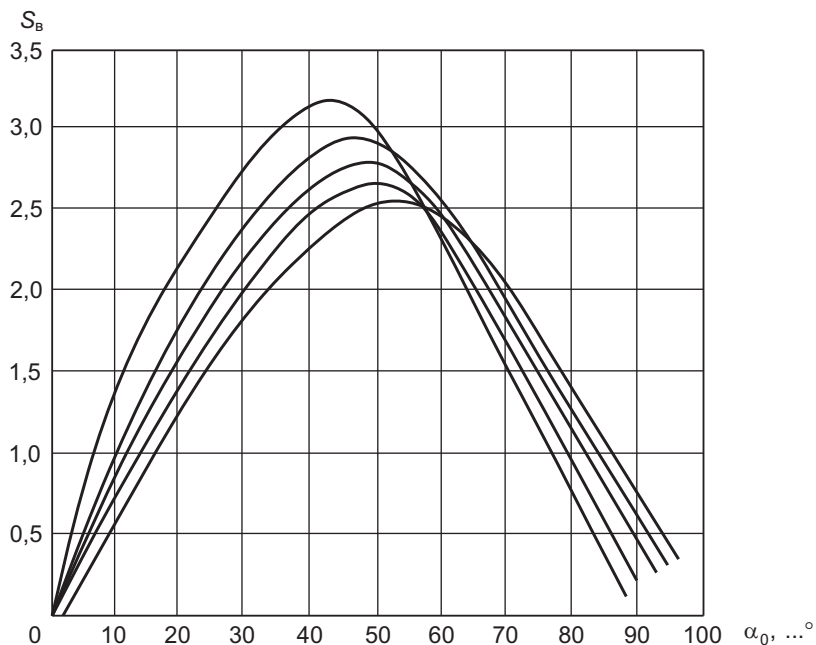


Рисунок 6.2 — График изменения коэффициента S_b

6.3.14 Ветроволновые течения как при фронтальном, так и при косом подходе волн транспортируют в прибойные зоны массы воды с повышенным содержанием планктона, отмершей растительности, сора.

6.3.15 В пределах прибойных зон вследствие резкого увеличения скоростей течений, ослабления водообмена с открытой акваторией водоема и повышения аэрации вода дополнительно переохлаждается и увеличивается ее плотность или мутность за счет частиц грунта, слагающих поверхность прибрежного склона.

6.3.16 Повышенная плотность воды способствует появлению в придонном слое плотностного течения, которое при фронтальном подходе волн совпадает по направлению с компенсационным, усиливает последнее, образуя смешанное течение.

6.3.17 В местах резкого изгиба берега или прибрежного склона вдольбереговое течение за счет инерционных сил и повышенной плотности транспортируемых масс воды может выходить за пределы прибойных зон в открытый водоем.

6.3.18 Направление течения, вышедшего из зоны действия возбуждающих сил, названного инерционным, зависит от топографических особенностей и глубин воды на подходе к избранному участку водоема, плотности и исходных скоростей течения, интенсивности, направления волнения и других факторов.

6.4 Миграция наносов и мутность воды

6.4.1 Миграция наносов на прибрежных склонах вследствие многообразия и нестационарности действующих факторов обусловлена различными условиями: топографическими, гидрологическими, геологическими и др.

6.4.2 Частицы грунта, образующие берега и прибрежные склоны, в зависимости от их крупности, значения орбитальных скоростей и интенсивности течений могут находиться во взвешенном, полувзвешенном, влекомом и неподвижном состоянии.

6.4.3 Состояние частиц грунта на поверхности прибрежного склона определяется следующими факторами:

- их средней крупностью, связностью и заложением прибрежного склона;
- величинами и направлением (по отношению к орбитальным) скоростей течений, возбуждаемых волнением, в прибрежной зоне.

6.4.4 Механизм перемещения наносов зависит от их состояния, крупности, угла подхода луча волнения к прибрежному склону, скоростей течений, орбитального движения жидкости и ряда других факторов.

Наносы, находящиеся во взвешенном состоянии, независимо от направления и интенсивности волнения, глубин воды и других факторов, транспортируются течением той или иной разновидности.

6.4.5 При подходе луча волнения по нормали к прибойной зоне относительно прямолинейного прибрежного склона взвешенные наносы транспортируются преимущественно компенсационными, а затем плотностными течениями в придонном слое в сторону открытого водоема.

Вследствие предельного увеличения придонных орбитальных скоростей, а также и компенсационных течений наиболее интенсивное повышение мутности происходит в зоне разрушения волн (рисунок 6.3).

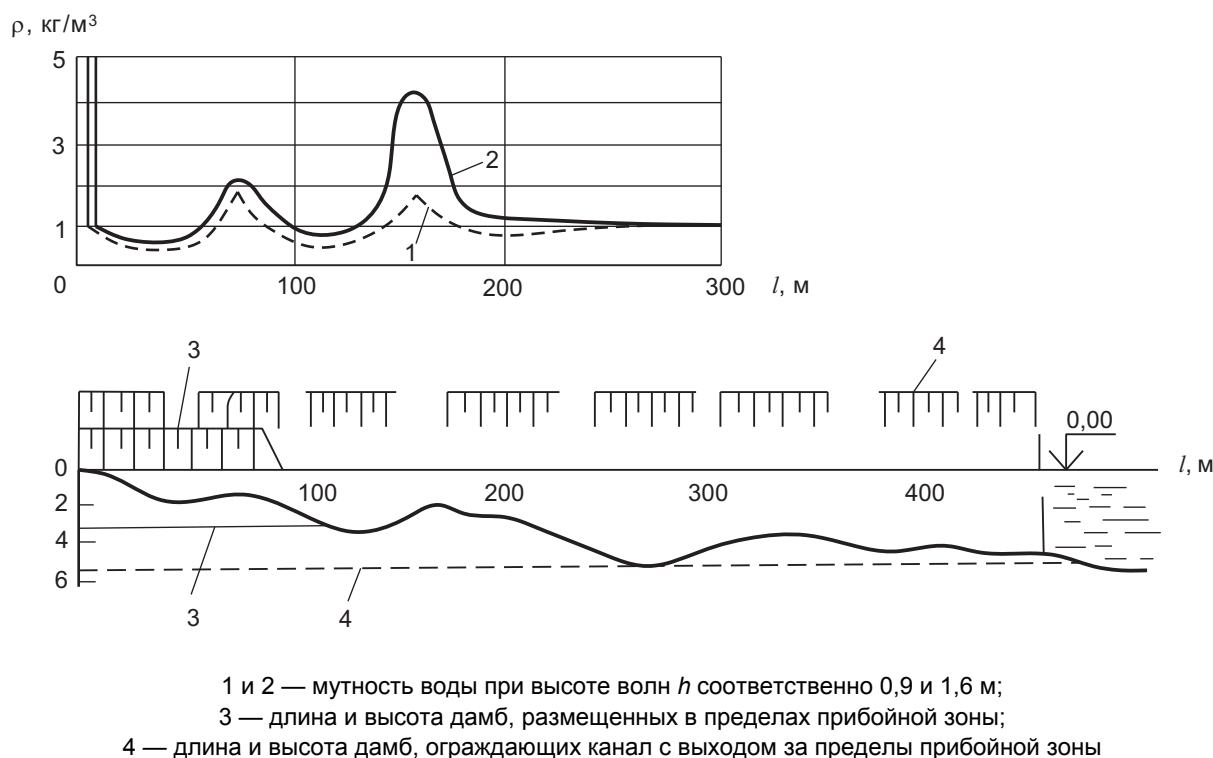


Рисунок 6.3 — Схема изменения мутности на прибрежном склоне, высоты и длины дамб, ограждающих подводящий канал водозаборного сооружения

Одновременно полувзвешенные и влекомые наносы вследствие асимметрии профиля волн или орбитальных скоростей на подходе к прибойным зонам перемещаются в сторону берега.

В зонах разрушения волн из-за наличия интенсивного компенсационного течения в придонном слое эти наносы перемещаются в обратном направлении. Такой механизм перемещения полувзвешенных

и влекомых наносов способствует образованию подводных валов в условиях стационарных уровней и элементов волн, а также удержанию наиболее крупных частиц грунта в приурезовой зоне водоема.

6.4.6 При косом подходе волн к пологому прибрежному склону вся упомянутая разновидность наносов из-за совпадения направления их перемещения с ветроволновым течением более интенсивно перемещается к месту разрушения волн.

В месте разрушения эти наносы вдольбереговыми течениями перемещаются вдоль берега, а затем, в зависимости от местных условий, градиентными, инерционными и плотностными течениями — в сторону открытого водоема.

6.4.7 При одинаковой крупности и связности частиц грунта на мутность воды в прибрежной зоне, а вместе с ней и на миграцию наносов большое влияние оказывают пологость волн и прибрежного склона, интенсивность их разрушения, относительная глубина h/H и другие факторы. С увеличением крутизны прибрежного склона, относительной глубины, интенсивности разрушения и пологости волн мутность и миграция наносов при одной и той же их крупности увеличиваются.

6.4.8 Состояние частиц несвязного грунта на пологом прибрежном склоне от действия орбитальных придонных скоростей можно определить по графику рисунка 6.4.

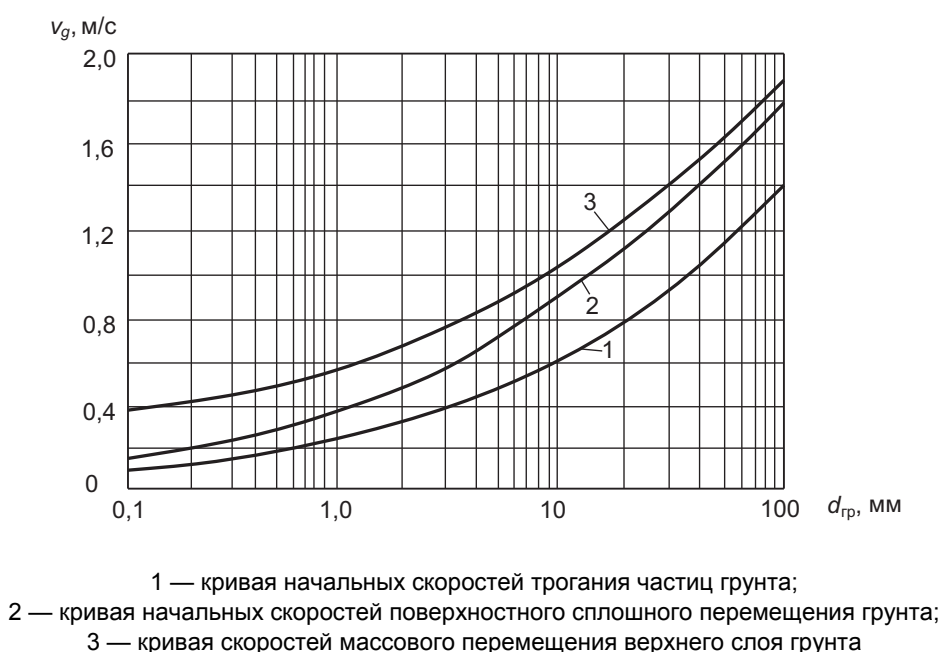


Рисунок 6.4 — Начальные волновые скорости трогания и перемещения частиц грунта на горизонтальном и слабонаклонном дне

6.4.9 Мутность воды в пределах прибойных зон ρ_p определяется в первую очередь относительной глубиной h/H и интенсивностью разрушения волн. Для приурезовой зоны, прибрежный склон которой сложен из мелкозернистых грунтов, средняя мутность воды $\bar{\rho}_p$ находится в пределах от 2 до 30 значений средней мутности воды $\bar{\rho}_0$ на подходе к первому разрушению волн, а в зонах более раннего разрушения — от $2\bar{\rho}_0$ до $5\bar{\rho}_0$.

6.4.10 Распределение мутности на вертикалях прибрежного склона, сложенного преимущественно из мелкозернистых песков, можно определить по данным таблицы 6.6, в которой Z — расстояние от поверхности воды до рассматриваемой точки.

Таблица 6.2

Z/H	0,00	0,20	0,40	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95
$\bar{\rho}_i/\bar{\rho}_p$	0,54	0,56	0,68	0,90	1,13	1,43	1,97	2,52

6.4.11 Расход наносов Q_n , м/с, транспортируемый течением той или иной разновидности в пределах прибрежной отмели или перед планируемыми сооружениями, можно вычислить по формуле

$$Q_n = \bar{v} F_T, \quad (6.8)$$

где $\bar{v}$ — средняя скорость течения, м/с;

F_T — площадь живого сечения зоны действия течения, м².

6.4.12 Суммарный вдольбереговой расход наносов Q'_n , м³/с, за время T , сут, вдоль прибрежного склона ориентировочно можно вычислить по формуле

$$Q'_n = \frac{2,2 \cdot 10^{-4}}{m^{0,66}} \cdot \left(\frac{g}{d_{гр}} \right)^{0,5} \cdot (h_{1\%}^2 \bar{\lambda})_{гр} \cdot \sin 2\alpha_\omega, \quad (6.9)$$

где $\bar{d}_{гр}$ — средний диаметр частиц грунта, м;

$h_{1\%}$ — высота волн 1 %-ной обеспеченности, м;

$\bar{\lambda}$ — средняя длина волн, м.

6.4.13 Сток наносов Q_t , м³, за время T , сут, приближенно можно вычислить по формуле

$$Q_t = \frac{19,1}{m^{0,66}} \cdot \left(\frac{g}{d_{гр}} \right)^{0,5} \cdot \sum (h_{1\%}^2 \bar{\lambda})_{гр} \cdot T \sin 2\alpha_\omega. \quad (6.10)$$

6.4.14 Время, в течение которого ожидается предельная переработка берега T_n , г., можно вычислить по формуле

$$T_n = \frac{2S_n}{V_{\max}}, \quad (6.11)$$

где $V_{\max}$ — максимальная скорость переработки берега относительно прямолинейного берега, м/г.; вычисляют по формуле

$$V_{\max} = K' V'_{\max}, \quad (6.12)$$

здесь $V'_{\max}$ — максимальная скорость переработки берега относительно берега сложного очертания, м/г.; определяют по графику рисунка 6.5;

K' — коэффициент, зависящий от высоты берега h_6 , м, над расчетным уровнем воды; определяют по таблице 6.3.

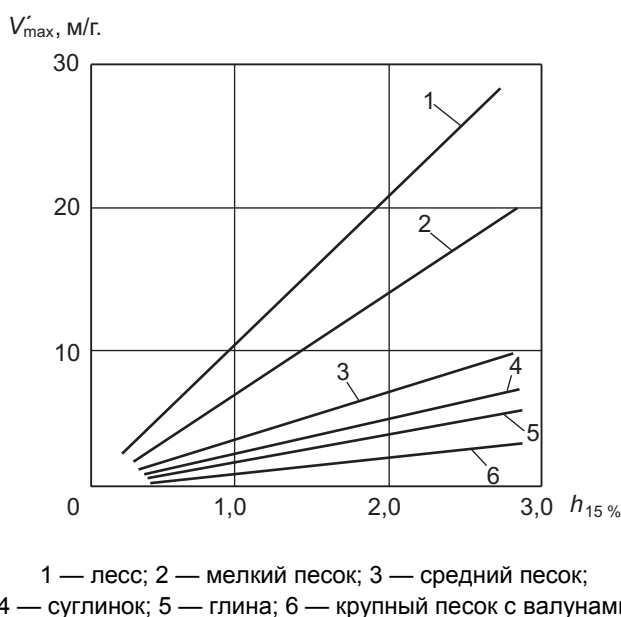


Рисунок 6.5 — График $V_{\max} = f(h_{15\%}, h_6)$ при высоте берега $h_6 < 2$ м

Таблица 6.3

Высота берега h_b , м	Не более 2	2–5	5–10	10–15
Коэффициент K'	1	0,8	0,6	0,4

6.4.15 Для мысов максимальная скорость переработки берега обычно в 1,5–2,0 раза больше, чем для относительно прямолинейного берега.

6.4.16 Значение ожидаемой переработки берега S_T за заданное количество лет T можно вычислить по формуле

$$S_T = V_{\max} T \cdot \left(1 - 0,5 \cdot \frac{T}{T_n} \right). \quad (6.13)$$

6.4.17 Изложенная методика расчета не позволяет учесть всей совокупности местных условий избранного участка водоема. Поэтому при решении ответственных задач целесообразно постараться найти сведения по отступлению бровки берега на начальном этапе заполнения водоема, с последующей корректировкой расчетных формул.

6.5 Гидротермика водоемов

6.5.1 Водоемам обычно свойственна температурная стратификация воды по глубине. Она зависит от глубины и проточности водоема, ветроволновой активности на его поверхности, климатических условий и других факторов.

6.5.2 Плотность воды ρ_b , кг/м³, в зависимости от ее температуры определяют по таблице 6.4.

Таблица 6.4

Температура воды t , °C	Плотность воды ρ_b , кг/м ³	Температура воды t , °C	Плотность воды ρ_b , кг/м ³	Температура воды t , °C	Плотность воды ρ_b , кг/м ³	Температура воды t , °C	Плотность воды ρ_b , кг/м ³
0	0,99987	10	0,99975	25	0,99712	60	0,98338
3	0,99999	12	0,99955	30	0,99576	70	0,97794
4	1,00000	14	0,99930	35	0,99413	80	0,97194
5	0,99999	16	0,99900	40	0,99235	90	0,96556
6	0,99997	18	0,99865	45	0,99037	100	0,95865
8	0,99989	20	0,99826	50	0,98820		

6.5.3 При наличии волнения происходит нарушение температурной стратификации на глубину, которую вычисляют по формуле

$$H_{\text{сн}} e^{\frac{-6H_{\text{сн}}}{\lambda}} = \frac{2\alpha' g \beta_p \cdot (t_1 - t_2)}{\left(\frac{\bar{h}}{\lambda} \right)^3 \cdot \left(\frac{\bar{c}^3}{\lambda} \right)}, \quad (6.14)$$

где $H_{\text{сн}}$ — толщина слоя ветрового перемешивания воды, м;

β_p — коэффициент объемного расширения воды;

t_1 и t_2 — температура воды соответственно поверхностного и придонного слоев, °C;

$\bar{h}$ — средняя высота ветровой волны, м;

$\bar{c}$ — средняя фазовая скорость волны, м/с.

Правую часть формулы (6.14), обозначенную через K_0 , можно определить по графикам рисунка 6.6.

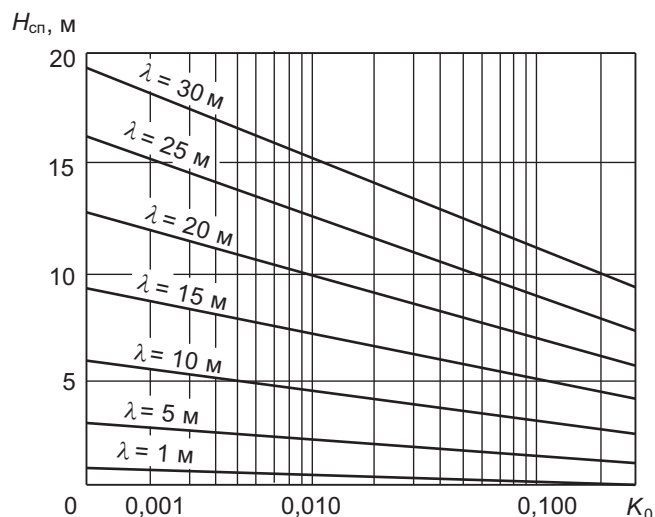


Рисунок 6.6 — График для определения глубины ветрового перемешивания в зависимости от температурной стратификации и параметров волнения

В местах выхода сосредоточенных течений прибойной зоны в открытый водоем температурная стратификация обычно нарушается на всю глубину воды.

По мере ослабления ветра и волнения температурная стратификация восстанавливается.

6.5.4 В предположительные периоды в прибрежных зонах вследствие слабого водообмена между прибойной зоной и открытой акваторией водоема, интенсивной аэрации потока и наличия других факторов происходит местное переохлаждение воды. При достижении водой температуры 0 °С местное переохлаждение ее Δt , °С, в прибойных зонах (рисунок 6.7) в первом приближении следует вычислять по формуле

$$\Delta t = \frac{2K_p \cdot (3,5\Delta l + 2,28t_b) \cdot [1 + 0,8V_{\omega 2} + f(\Delta t) \cdot L \cdot \sum B_{кр}]}{3600C_T \rho B H_{кр} \bar{v}}, \quad (6.15)$$

где K_p — коэффициент, учитывающий дополнительную теплоотдачу при разрушении волн ($K_p \cong 0,5$ при $5 \text{ м/с} < V_{\omega 2} \leq 20 \text{ м/с}$);

$\Delta l = l_0 - l_2$ — разность между максимальной упругостью водяных паров при температуре поверхности воды $t = 0$ °С и абсолютной влажностью воздуха на высоте 2 м над поверхностью воды (Δl обычно находится в пределах от 2 до 4 мбар);

t_b — температура воздуха на высоте 2 м, °С;

$V_{\omega 2}$ — скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью воды, м/с;

$f(\Delta t)$ — функция, учитывающая увеличение интенсивности испарения при положительной разности температур воды и воздуха (таблица 6.5);

$\sum B_{кр}$ — суммарная ширина зоны разрушения волн, м (см. рисунок 6.7);

C_T — удельная теплоемкость воды;

B — ширина прибойной зоны, м;

L — длина разгона волн, м.

Таблица 6.5

Разность температур Δt , °С	0	1	2	3	5	7	10
Функция $f(\Delta t)$	0,00	0,15	0,30	0,43	0,66	0,85	1,09

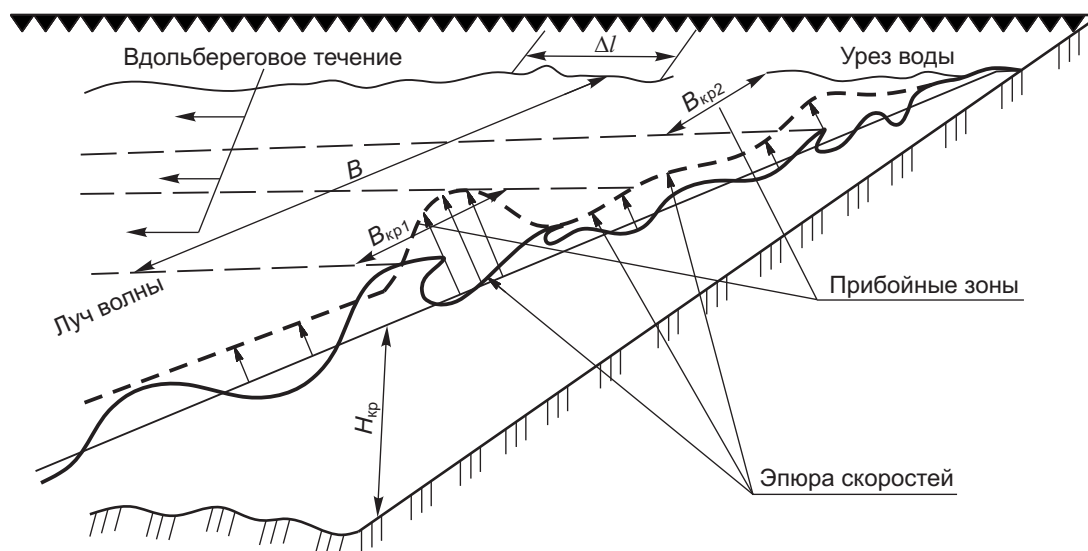


Рисунок 6.7 — Схема для расчета местного переохлаждения воды в прибойных зонах

6.6 Взаимодействие течений с сооружениями

6.6.1 В условиях водоемов одними из основных элементов водозаборных сооружений являются волнозащитные или берегозащитные сооружения.

Конструктивная схема и компоновка берегозащитных сооружений определяется типом водозаборных сооружений, ожидаемой переработкой берегов и прибрежных склонов в месте их размещения, интенсивностью волнения, ледовых нагрузок и рядом других факторов.

6.6.2 По сложившейся традиции берегозащитные сооружения используют при любом типе водозаборных сооружений. При этом корни берегозащитных сооружений размещают за пределами ожидаемой переработки берега, а головы или их лицевую грань обычно выводят за пределы первого разрушения волн.

6.6.3 Вынос или выход волнозащитных сооружений в процессе последующей переработки берега и прибрежного склона за пределы прибойной зоны, независимо от типа водозаборного сооружения, способствует перехвату вдольбереговых течений и их выходу за пределы прибойной зоны в открытый водоем.

6.6.4 После выхода вдольберегового, а в некоторых случаях и градиентного течения за пределы прибойной зоны их направление и скорость перемещения определяются компоновкой и конструктивными элементами волнозащитных сооружений, направлением и интенсивностью волнения и ветроволновых течений, пологостью прибрежного склона, мутностью транспортируемых масс воды и рядом других факторов.

6.6.5 На водозаборных сооружениях с самотечными или сифонными водоводами и водоприемниками, вынесенными в открытый водоем, по мере переработки берега и прибрежного склона, независимо от других факторов, интенсивность отклонения вдольбереговых, а затем и градиентных течений волнозащитными сооружениями будет усиливаться. Предельной является ситуация, когда градиентные течения могут выходить в сторону водоема по нормали к поверхности прибрежного склона от места примыкания волнозащитных сооружений к берегу. Этими причинами объясняется имеющее место на ряде водозаборных сооружений периодическое увеличение захвата в водоприемники воды с повышенным содержанием продуктов переработки берегов, планктона, водной растительности, появление шуголедовых помех в преддоставные периоды и нарушение температурной стратификации в месте водозабора.

6.6.6 На водозаборных сооружениях с береговыми водоприемниками, устраиваемых на устойчивых берегах и прибрежных склонах, при размещении волнозащитных сооружений, не выходящих за пределы $2H_{cr}$, вдольбереговые течения обычно обтекают последние непосредственно в месте водозабора. В этих случаях, независимо от глубин в месте расположения водоприемных устройств, в них будут преимущественно захватываться массы воды, транспортируемые вдольбереговыми течениями в прибойной зоне.

6.6.7 На водозаборных сооружениях с подводящим каналом, огражденным волнозащитными дамбами, вдольбереговые и градиентные течения при косом подходе волн обтекают дамбы. В подводящий канал, независимо от длины дамб, поступают преимущественно массы воды, транспортируемые вдольбереговыми течениями в прибойных зонах.

6.6.8 Аналогичная картина обтекания дамб, ограждающих подводящий канал, наблюдается и при наличии волнолома перед каналом.

6.6.9 При незначительной вдольбереговой миграции наносов, когда не ожидается аккумуляция наносов между прилегающим прибрежным склоном и ограждающей волнозащитной дамбой, искривлением ее голов удастся отклонить вдольбереговые и градиентные течения от входа в подводящий канал.

6.6.10 При косом подходе волн размещение волнозащитных сооружений на глубинах $H > H_{cr}$ приводит к местному нарушению бытового режима течений и миграции наносов на избранном участке водоема. При этом с увеличением глубин воды в месте размещения волнозащитных сооружений интенсивность аккумуляции наносов на одних участках, а также переработка берега и прибрежного склона на других возрастают.

6.6.11 Во всех случаях наиболее обоснованным инженерным решением следует считать то, при котором не нарушается или незначительно нарушается сооружениями бытовой режим избранного участка водоема на период эксплуатации водозаборного сооружения.

6.6.12 Эффективного отклонения вдольбереговых и градиентных течений от места водозабора инженерными сооружениями удастся достичь только при наличии резкого падения глубины в месте их расположения и при незначительной вдольбереговой миграции наносов.

7 Схемы и состав водозаборных сооружений

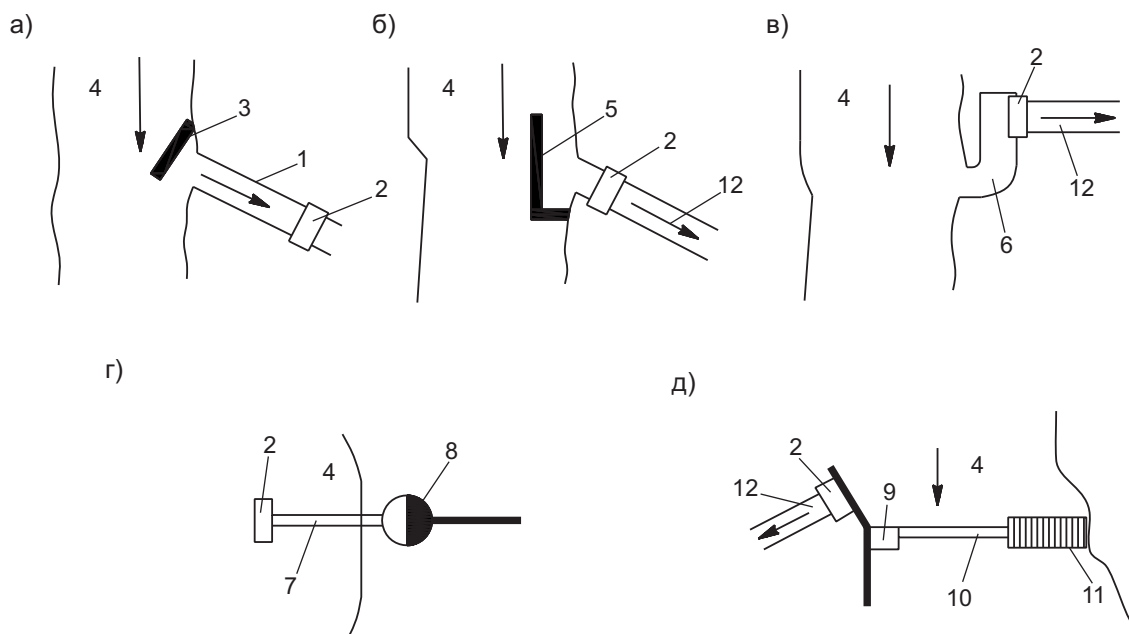
7.1 Водозаборные сооружения из поверхностных источников различаются по:

- виду водоемисточника — из водотока (рек и каналов), из водоемов (озер, водохранилищ и водохранилищ-охладителей);
- назначению — питьевые, промышленные, ирригационные, теплоэнергетические и др.;
- категории обеспеченности подачи воды — в соответствии с СНБ 4.01.01;
- компоновке их основных элементов — совмещенные (компонуются в одном сооружении) и отдельные (комплекс сооружений);
- месту расположения водоприемника — береговые, русловые, выносные (на водоемах) и водозаборные сооружения со смешанным или комбинированным приемом воды с береговым и русловым водоприемниками. Береговые водозаборные сооружения по надежности подачи воды оцениваются на одну категорию выше;
- типу или схеме водозаборного сооружения — береговые насосные станции с самотечными или сифонными водоводами и водоприемниками, вынесенными в водоем (рисунок 7.1г); с открытым или огражденным подводящим каналом (рисунок 7.1а); на плотинные (рисунок 7.1д) и бесплотинные; шпорные (рисунок 7.1б) или ковшовые (рисунок 7.1в); фильтрующие или инфильтрационные; комбинированные и др.;
- характеру подвижности — стационарные, плавучие и фуникулерные;
- сроку эксплуатации — постоянные и временные.

7.2 Водоприемники различаются по:

- способу приема воды — с верхним, боковым, нижним, лобовым и низовым приемом воды;
- условиям приема воды — поверхностный, глубинный или селективный (послойный) и донный;
- положению — незатопленный, временно затопленный и затопленный;
- типу противонамосных устройств — без промывных устройств, с фронтальной промывкой наносов, с горизонтальным полком, с донными галереями и др.;
- материалу изготовления — железобетонные, металлические, деревянные и др.;
- конструктивным особенностям — с вихревой камерой, щелевые, ряжевые, раструбные, трубчатые, зонтичные и др.

7.3 По схеме берегового типа выполняют водозаборные сооружения большой производительности, а также и другие, если местные условия этому благоприятствуют. Для водозаборных сооружений малой и средней производительности применяют схему руслового типа, лучше вписывающуюся в топографические формы побережий и русел и имеющую более благоприятные санитарные условия. При угрозе завала наносами подходов к береговому водозаборному сооружению его надежность повышают устройством руслового водозаборного сооружения.



1 — подводящий канал; 2 — водоприемник; 3 — струенаправляющая система;
 4 — водоисточник; 5 — шпора; 6 — ковш; 7 — самотечный или сифонный водовод; 8 — насосная станция;
 9 — промывное устройство; 10 — водосброс; 11 — глухая плотина; 12 — отводящий канал

Рисунок 7.1 — Схемы поверхностных водозаборных сооружений:

а — с подводящим каналом;
б — шпорные;
в — ковшовые;
г — береговая насосная станция
 с самотечным или сифонным водоводом;
д — плотинные

7.4 Для достижения необходимой маневренности водозаборного сооружения для легких и средних условий забора воды следует предусматривать его секционирование. Количество секций, которые могут работать независимо друг от друга, должно быть не менее двух.

Секционирование обязательно для водоприемников, водоочистных колодцев и насосных станций первого подъема.

При тяжелых условиях забора воды предусматривают дополнительные средства обеспечения бесперебойности подачи воды.

7.5 Затопленные русловые водоприемники получили преимущество в практике проектирования, строительства и эксплуатации водозаборных сооружений. Недостатком этих водоприемников является труднодоступность их обслуживания при аварийной ситуации в период шуголедных явлений в водоисточнике и засорении водоприемных отверстий. Водоприемник должен обеспечивать бесперебойный забор воды в водохозяйственную систему в соответствии с графиком водопотребления, предохранять водовод от поступления в него наносов, шуги, льда, плавника.

7.6 При выборе схемы водозаборного сооружения следует иметь в виду, что в период минимального стока относительный забор воды с применением водоприемного ковша из открытого русла может быть в 2–3 раза больше, чем в водозаборных сооружениях других типов.

Величина предельного забора воды в водоприемные ковши определяется особенностями шуголедовых условий.

В ковш с пониженным дном (на 1–2 м ниже дна реки) с достаточной гарантией может быть отведен расход, составляющий от 50 % до 60 % минимального среднесуточного расхода воды в открытом русле реки. Но в период шугохода величину расхода воды $Q_{\text{в}}$, м³/с, забираемой из реки в ковш, целесообразно принимать в зависимости от расхода шуги $Q_{\text{ш}}$, м³/с, транспортируемой потоком, из следующего условия:

$$\frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{мин}}} \leq 1 - 4 \cdot \frac{Q_{\text{ш}}}{Q_{\text{мин}}}, \quad (7.1)$$

где $Q_{\text{мин}}$ — минимальный расчетный расход воды в русле реки, м³/с, транспортирующий по руслу в период шугохода шугу.

7.7 Конструктивное оформление водоприемников должно отвечать гидрологическим и гидравлическим условиям потока. Водоприемник в водоисточнике должен располагаться таким образом, чтобы создавать благоприятные условия для селективного забора воды, защиты водоприемных окон от наносов, шуги, сора и молоди рыб.

7.8 Принципиальная схема водозаборного сооружения и тип водоприемного устройства принимают в соответствии с ТКП 45-4.01-30 в зависимости от требуемой категории обеспеченности подачи воды и сложности природных условий ее забора.

7.9 Выбор схемы и компоновка водозаборного сооружения в тяжелых местных условиях должны приниматься на основе лабораторных и натурных исследований.

7.10 Для повышения категории водоисточника в тяжелых местных условиях забора воды следует:

— использовать пассивные водозаборные сооружения и такие их компоновки или конструктивные элементы, которые не нарушают бытовой режим водоисточника или сводят нарушения к минимуму. При интенсивной переработке берегов и прибрежных склонов вынос насосной станции за пределы ожидаемой переработки (без устройства берегозащиты) и размещение водоприемников вне зоны действия сосредоточенных течений, выходящих из прибойных зон, позволяют обеспечить водозабор I категории;

— использовать активные водозаборные сооружения и такие их компоновки или конструктивные элементы (ковши, пороги, шпоры, дамбы, откырки и др.), которые позволяют улучшить местные условия забора воды (более ранний ледостав, отклонение от места водозабора масс воды с повышенной концентрацией наносов, сора, шугольда и др.).

7.11 Эффективность работы водоприемных отверстий, оборудованных сороудерживающими решетками, фильтрующими кассетами или рыбозащитными устройствами, зависит от скорости втекания воды в них, их расположения относительно направления течения и поверхности уровня воды в водоисточнике, а также от наличия у отверстий козырьков, порогов, ребер и других элементов.

7.12 Наибольшее распространение получили водоприемные отверстия, расположенные вертикально. Применяют также наклонно и горизонтально расположенные отверстия с поступлением воды сверху вниз и в обратном направлении.

7.13 В условиях мелководных зон водоемов рекомендуется применять вертикально расположенные отверстия, снабженные горизонтальными козырьками, которые наиболее удобны для селективного забора воды, не нарушающего температурную стратификацию воды.

7.14 Для вертикально расположенных водоприемных отверстий различают схемы бокового забора воды, низового (против направления течения потока), лобового (по направлению течения речного потока) и промежуточную схему забора воды, характеризующуюся углом отвода. Эти схемы следует рассматривать для промываемого и непромываемого порогов водоприемных отверстий.

7.15 Горизонтально расположенные отверстия могут быть приподнятыми над дном с поступлением воды или сверху вниз, или снизу вверх и донными, т. е. с поступлением воды только сверху вниз.

7.16 Отверстия для приема воды находятся в разных слоях толщи набегающего потока. Различно ориентированные отверстия в разной степени засоряются плавающим в воде сором, поверхностной и глубинной шугой. Это важное обстоятельство требует учета при проектировании водоприемников.

7.17 Горизонтально расположенные отверстия с поступлением воды снизу вверх усиливают забор воды из придонных слоев и создают наилучшие условия для удаления засорений с решеток. При лобовом заборе воды водоприемные отверстия обычно забиваются сором и глубинной шугой, а при низовом заборе с непромываемым порогом — донными наносами.

Для обеспечения наилучших условий транзита по руслу шуги и наносов наиболее эффективным является низовой забор воды с промываемым порогом.

7.18 Наиболее распространен боковой прием воды, при котором могут быть созданы благоприятные условия для ее забора. Для обеспечения хорошего обтекания водоприемника необходимо очерчивать его лобовую грань по эллипсу с соотношением полуосей от 1,0:1,5 до 1:2 или выполнять ее полигональной, вписывая отдельные прямые части в тот же эллипс.

7.19 В схеме бокового забора на равномерность втекания воды в отверстие большое влияние оказывает конструкция сороудерживающей решетки. Особенно не эффективны круглые вертикальные стержни и горизонтальное положение стержней.

Рекомендуется принимать вертикальное положение стержней решетки, выполненных из полос, с шириной стержней не менее просвета между ними. Такая решетка становится своеобразным струенаправляющим аппаратом, который создает по всей ширине водоприемного отверстия вполне равномерное втекание воды.

7.20 Входящие в комплекс водозаборных сооружений насосные станции должны удовлетворять требованиям ТКП 45-4.01-32 (12.2).

8 Конструкции водозаборных сооружений на водотоках

8.1 Водозаборные сооружения с русловыми водоприемниками

8.1.1 Устройство водозаборных сооружений с русловыми водоприемниками обуславливается необходимостью выноса водоприемного оголовка в русло водоисточника на определенное расстояние от водоприемного колодца и насосной станции.

При русловом водоприемнике технологическая схема водозаборного сооружения может быть как совмещенной, где насосная станция совмещена с водоприемным колодцем, так и раздельной (рисунок 8.1).

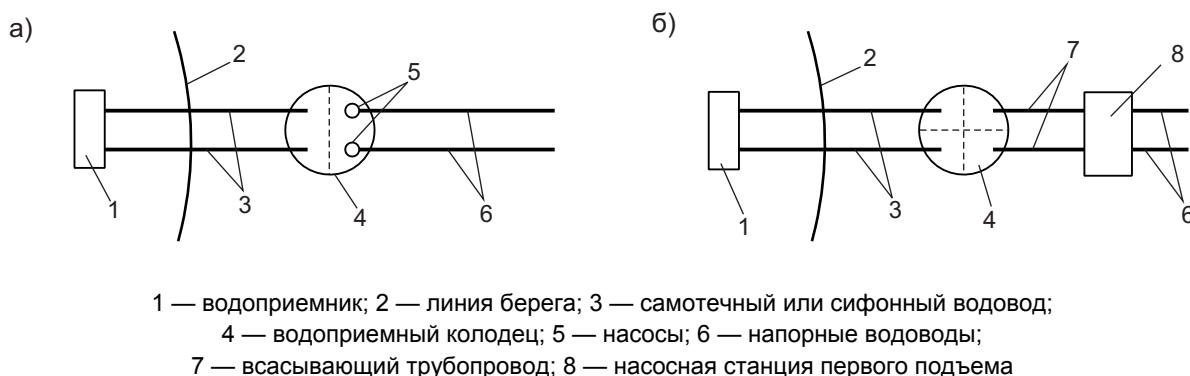


Рисунок 8.1 — Схемы бесплотинных русловых водозаборных сооружений:
а — совмещенной компоновки;
б — раздельной компоновки

Поступление воды от оголовка в водоприемный колодец осуществляется самотечными или сифонными водоводами, которых должно быть не менее двух.

При необходимости обеспечения предварительной грубой очистки воды, после оголовка перед насосами в водоприемном колодце размещают водоочистные сетки. Водоприемные колодцы с водоочистными сетками называют водоприемно-сеточными колодцами.

При применении на оголовках в качестве рыбозащитных мероприятий фильтрующих элементов или при устройстве оголовков фильтрующего типа установка водоочистных сеток не предусматривается.

8.1.2 Наиболее ответственными элементами в технологической схеме водозаборных сооружений являются водоприемники, поэтому при проектировании водозаборных сооружений с русловыми водоприемниками следует применять их типовые проекты.

8.2 Водозаборные сооружения с водоприемниками берегового типа

8.2.1 При благоприятных местных условиях (достаточно крутом береговом откосе) более надежными, экономичными и удобными в эксплуатации являются водоприемники берегового типа с совмещенной или раздельной компоновкой (рисунок 8.2). Водоприемники при таких водозаборных сооружениях размещают в береговых откосах с обеспечением постоянного эксплуатационного обслуживания водоприемных окон в любое время года.

8.2.2 При раздельной компоновке насосную станцию первого подъема устраивают отдельно от берегового водоприемного колодца и подача воды к насосам осуществляется через всасывающие водоводы.

8.2.3 Вода из реки поступает во входные окна водоприемника, которые располагаются в передней стенке водоприемного колодца, как правило, в несколько ярусов по высоте. Ярусное расположение водоприемных отверстий обеспечивает забор воды лучшего качества в зависимости от уровня режима водотока.

Водоприемные отверстия оборудуют пазовыми конструкциями, в которые в зависимости от гидрологической и ихтиологической обстановки на водотоке могут быть опущены: сороудерживающие решетки, рыбозащитные пакеты, решетки-реостаты.

Дополнительно для защиты водоприемных отверстий от плавающих сора, щепы, суги, а также для отвода молоди рыб из зоны забора воды перед водоприемником могут устанавливаться запани различных конструкций или устраиваться пневмозавесы.

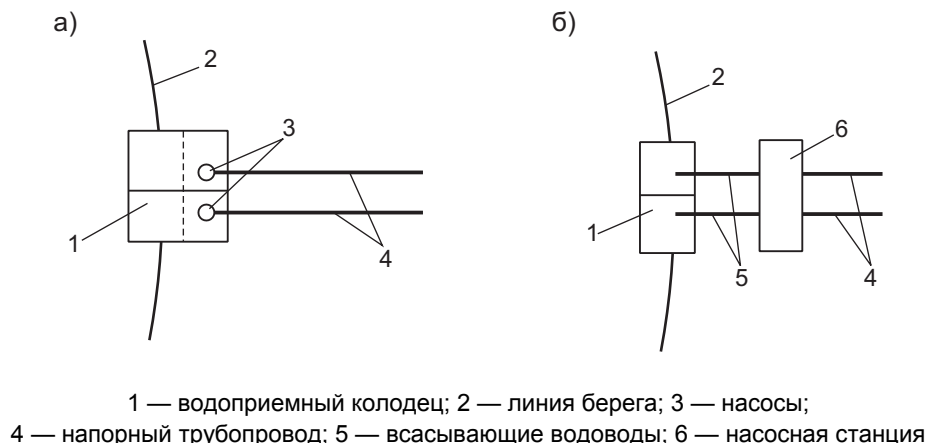


Рисунок 8.2 — Схемы водоприемников берегового типа:
а — совмещенной компоновки;
б — раздельной компоновки

С внутренней стороны водоприемные отверстия оборудуют укороченными задвижками, клапанами или щитами, позволяющими в любое время полностью или частично перейти к забору воды с одного яруса на другой.

Внутри водоприемного колодца находятся сороудерживающие сетки (плоские съемные или вращающиеся), обеспечивающие более полную очистку воды от сора и практически разделяющие колодец на два отделения: водоприемное — перед сеткой и всасывающее — за ней.

8.2.4 Для предотвращения заилиenia взвешенными частицами, поступающими вместе с водой и выпадающими в осадок вследствие резкого уменьшения скорости движения воды в колодце, водоприемно-сетчатый колодец должен быть оборудован наносоудаляющими устройствами — эжекторами, всасывающими водоводами грязевых насосов, специальными приямками, а при больших расходах — взмучивающими водоводами.

8.2.5 Водоприемный колодец выполняют в основном из железобетона прямоугольным, круглым в плане, овальной формы или состоящим из двух полуокружностей с прямыми вставками, в зависимости от места его расположения на берегу, способа возведения или занимаемой площади.

8.2.6 Для обеспечения бесперебойной работы и периодической очистки и ремонта без прекращения подачи воды водоприемный колодец должен быть разделен продольными перегородками на несколько (не менее двух) параллельно работающих секций.

8.2.7 Размеры и площадь водоприемных отверстий колодца должны определяться исходя из допустимых скоростей по условиям рыбозащиты, защиты от шуголедовых помех и допустимых сопротивлений.

8.2.8 Размеры берегового водоприемного колодца в плане определяются габаритами водоприемных отверстий и сеток, количеством и диаметром всасывающих водоводов. Размеры водоприемников, совмещенных с насосной станцией, зависят от количества и типа установленных насосов. Глубина колодца зависит от амплитуды колебания уровней воды в водоисточнике, толщины ледового покрова и грунтовых условий.

8.3 Водоприемные ковши

8.3.1 Водоприемные ковши устраивают для борьбы с шуголедовыми помехами на водотоках для промышленных водозаборных сооружений производительностью не более 25 м³/с.

При соответствующем заглублении дна и последующих очистках водоприемные ковши могут быть использованы для увеличения глубины у места приема воды.

8.3.2 Бассейны водоприемных ковшей должны покрываться ледяным покровом на два-три дня раньше речного потока, их длина и скорости течения должны обеспечивать возможность всплытия к поверхности всех кристаллов ледяной взвеси, имеющей гидравлическую крупность $\omega_{ш} \geq 0,015$ м/с. Отделение ледяной взвеси должно обеспечиваться как в области водоворотных или циркуляционных зон, так и в пределах транзитной струи.

При отводе воды из водотока в ковш не должны захватываться поверхностные массы шуги. В ковше должны обеспечиваться достаточно благоприятные условия для транзита шуги по руслу таким образом, чтобы входная часть ковша не оказалась закупоренной шугой.

8.3.3 Водоприемный ковш необходимо своевременно освобождать от отлагающихся в нем наносов. Кроме того, следует принимать меры для поддержания необходимых глубин на входе в ковш, так как непрерывный и достаточный отвод воды из реки должен поддерживаться в различные сезоны и годы при любом возможном сочетании неблагоприятных условий в русле реки.

8.3.4 В обычных условиях водоприемный ковш не должен значительно изменять бытовой режим потока водоисточника. Стеснение потока не должно приводить к возникновению заторов льда или ухудшению существующего водопользования. Все изменения бытового режима потока должны быть направлены на улучшение руслового режима у места забора воды и предварительно проверены по данным гидроморфологического анализа руслового процесса.

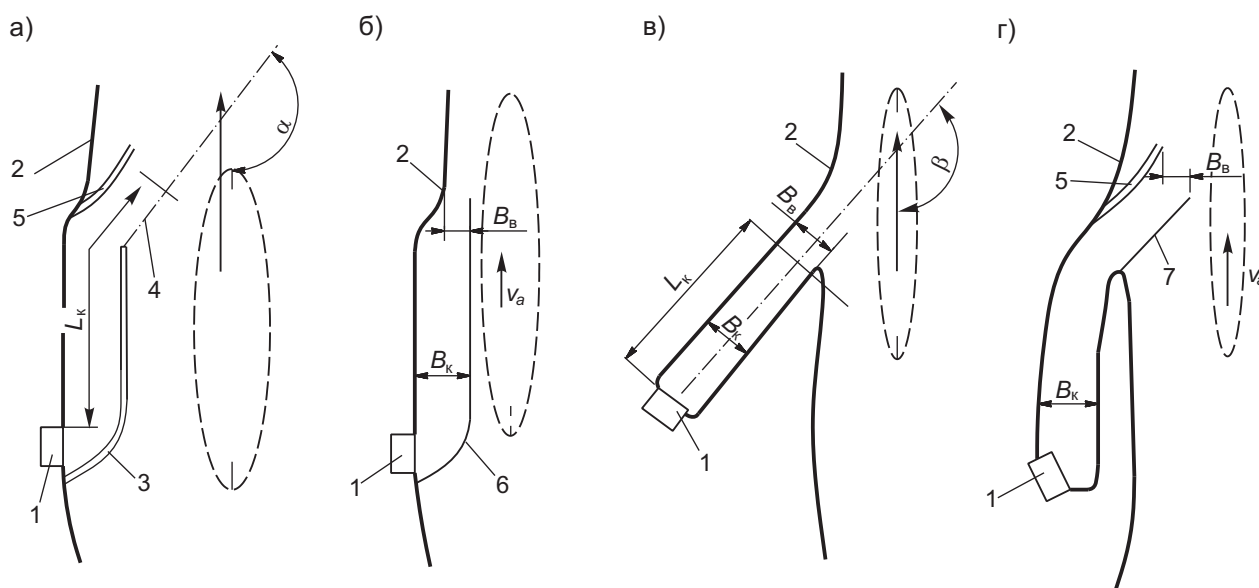
8.3.5 В обычных условиях очистка воды от взвешенных наносов должна рассматриваться как попутная, а иногда и второстепенная задача. Устройство ковшей специально для отстаивания взвешенных наносов в отдельных случаях целесообразно, но требует соответствующих обоснований.

8.3.6 Использование водоприемного ковша как места стоянки судов, понтонов и устройств из них вызывает неблагоприятные изменения режима течений и отложений наносов в ковше, а также приводит к засорению водной поверхности бассейна ковша. Поэтому использование ковша в указанных выше целях не допускается, если вода из ковша подается в хозяйственно-питьевой водопровод, и должно ограничиваться во всех других случаях.

8.3.7 При выборе места расположения ковша на шугоносных реках следует выбирать плесы малой кривизны ($r_n \geq 5B_{ор}$), а место забора воды назначать в пределах третьей четверти длины плеса (вниз по течению).

В условиях средних и малых разветвленных рек ковш необходимо располагать ниже слияния потоков или в протоке с обеспеченным минимальным стоком. На больших реках с интенсивным шугозажорным режимом для расположения водозабора и ковша могут быть использованы обходные протоки.

8.3.8 На шугоносных реках наиболее надежная защита забора воды от шуголедовых помех достигается в результате применения ковша с низовым входом, частично или полностью выдвинутым в русло реки (рисунок 8.3).



- 1 — водоприемник; 2 — линия берега; 3 — незатопляемая в половодье речная дамба;
 4 — затопляемая в половодье верховая шпора; 5 — незатопляемая в половодье низовая шпора;
 6 — затопляемая в половодье речная дамба; 7 — затопляемая в половодье верховая дамба

Рисунок 8.3 — Типы водоприемных ковшей:

- а** — с низовым входом с незатопляемыми в половодье верховой и низовой дамбами и с затопляемой верховой шпорой;
б — с низовым входом с затопляемой в половодье дамбой;
в, г — заглубленные в берег

Водоприемный ковш с низовым входом, полностью или частично выдвинутый в русло реки, образованный незатопляемой дамбой и имеющий свободный подход воды снизу, обычно применяют в условиях:

- шугозажорных рек, характеризующихся постепенно нарастающими значительными подъемами уровней перед установлением ледостава и при установлении его;
- тяжелого весеннего ледохода, возникающего при относительно небольших подъемах уровня воды в русле рек;
- отсутствия сброса промышленных стоков ниже места водозабора на участке берега не менее 10-кратной величины выноса внешней грани ковша в русло.

8.3.9 Водоприемный ковш с низовым входом, образованный незатопляемой речной дамбой, может применяться на реках, не характеризующихся шугозажорным режимом или особо тяжелыми условиями весеннего ледохода, если количество наносов, транспортируемое рекой в половодье, не превышает $0,75 \text{ кг/м}^3$. В этих случаях для борьбы с заилинием водоприемного ковша взвешенными наносами у оголовка речной дамбы может устраиваться затопляемая в половодье верховая шпора; гребень ее не должен затопляться в период хода шуги, а угол между осью гребня и направлением течения в реке должен составлять $\alpha \approx 135^\circ$ (см. рисунок 8.3а)).

В тех же условиях, но при необходимости сброса промышленных стоков ниже ковша на расстояние 8–10-кратной величины выноса внешней грани речной дамбы в русло целесообразно применять ковш, снабженный низовой, незатопляемой в половодье дамбой (см. рисунок 8.3а)). В этом случае для борьбы с заилинием ковша взвешенными наносами можно устроить верховую и низовую шпоры, а также бортовую струенаправляющую стенку у низового борта входа в ковш.

8.3.10 Для уменьшения стеснения русла реки в период паводков и половодий при недостаточных глубинах у берега в межень и возможности формирования береговых шугозажоров водоприемный ковш с низовым входом, полностью или частично выдвинутый в русло реки, может быть образован затопляемой в половодье речной дамбой (см. рисунок 8.3б)).

8.3.11 На реках с ограниченной интенсивностью шуголедовых явлений, русла которых изогнуты или сложены слабыми и мелкозернистыми грунтами, предпочтительнее использовать ковши, заглубленные в берег, имеющие угол отвода β от 135° до 150° (см. рисунок 8.3в)). Эту величину угла отвода следует выдерживать хотя бы на входе, если ось остальной части ковша необходимо задать в другом направлении (см. рисунок 8.3г)). Ширину входа в ковш B_v , заглубленный в берег, принимают от 25 % до 35 % меньше ширины ковша B_k .

8.3.12 Использование ковша для предварительного частичного отстаивания наносов целесообразно лишь на реках с мутностью воды $\rho \geq 2 \text{ кг/м}^3$ при наличии устройств, обеспечивающих своевременное удаление отложений.

При мутности воды в реке $\rho > 1 \text{ кг/м}^3$ и наличии специальных требований к предварительному осветлению воды в ковшах, заглубленных в берег, целесообразно устраивать бортовые стенки, регуляторы на входе или другие сооружения, снижающие заносимость ковша.

8.3.13 При необходимости поддержания у входа в ковш или на подходе к нему глубин, превышающих бытовые, особенно в случаях неглубокого залегания кровли коренных пород, рекомендуются водоприемные ковши с самопромывающимся входом, которые могут быть использованы и как своеобразные выпрямительные сооружения.

8.3.14 В отдельных случаях на сильно шугоносных реках, транспортирующих в паводки большое количество мелких взвешенных наносов, водоприемный ковш с низовым входом, выдвинутый в русло реки, может устраиваться только на период шугохода. В этом случае перед водозаборным сооружением параллельно берегу и на расстоянии от него, равном требуемой ширине ковша, необходимо устроить дамбу (или бычок), а в пролете между дамбой и берегом — верховой и низовой регуляторы со щитовыми заграждениями, устанавливаемыми только на период шугохода и создающими при этом ковш, выдвинутый в русло реки.

8.3.15 Отметку дна ковша $\nabla_{\text{дк}}$, м, рекомендуется назначать из расчета обеспечения требуемых глубин в нем в период минимальных уровней зимней межени $\nabla_{\text{мзю}}$, м, когда в водоприемном ковше устанавливается расчетная толщина ледяного покрова. Для этого случая отметку дна ковша $\nabla_{\text{дк}}$, м, следует вычислять по следующей формуле:

$$\nabla_{\text{дк}} = \nabla_{\text{мзю}} - 1,33\delta_{\text{л}} - 0,3 - h_{\text{во}} - h_{\text{п}}, \quad (8.1)$$

где $\delta_{\text{л}}$ — расчетная толщина ледяного покрова в русле реки, м;

$h_{\text{во}}$ — высота водоприемного отверстия, м;

$h_{\text{п}}$ — высота порога водоприемных отверстий, м; назначают в зависимости от высоты слоя наносов в водоприемном ковше в пределах от 0,4 до 1,0 м.

8.3.16 Ширину ковша B_k , м, назначают из расчета на быстрое установление в нем ледяного покрова при работе ковша в тяжелой внешней шуголедовой обстановке; следует вычислять по следующей формуле:

$$B_k = \frac{Q_{вк}}{H_{ш} v_k} - m \cdot (2h_n + h_{ш}), \quad (8.2)$$

где $Q_{вк}$ — расход забираемой из ковша воды, м³/с;

$H_{ш}$ — глубина воды в ковше, м;

v_k — условная средняя скорость воды в ковше, м/с; назначают в зависимости от скорости течения на перекатах в русле в период шугохода v_n по таблице 8.1;

h_n — высота слоя наносов, м;

$h_{ш}$ — минимальная глубина воды, м, при уровне шугохода $\nabla_{мзш}$, м; вычисляют по следующей формуле:

$$h_{ш} = \nabla_{мзш} - \nabla_{дк} - \delta_n - h_n. \quad (8.3)$$

Ширину ковша при этом принимают не менее ширины, необходимой для прохода снаряда, применяемого при очистке ковша от наносов, — $B_k \geq 8$ м.

Таблица 8.1

В метрах в секунду

Скорость воды на перекатах v_n	0,60	0,80	1,00	1,25	1,50
Скорость воды к ковше v_k	0,146	0,115	0,090	0,082	0,050

Указанные в таблице 8.1 условные средние скорости могут быть увеличены от 25 % до 50 %, если к водоприемному ковшу будет подведена теплая вода.

8.3.17 Полную длину водоприемного ковша L_k , м, заглубленного в берег, измеряемую по оси от начального сечения входа до водоприемника, следует вычислять по формуле

$$L_k = l_b + l_{ш} + l_p, \quad (8.4)$$

где l_b — длина входной части ковша, м, охватываемой водоворотом на входе и засоряющейся шугой еще в начале шугохода;

$l_{ш}$ — длина участка ковша, м, на котором откладывается захваченная в ковш ледяная взвесь;

l_p — длина рабочей части ковша, м.

По формуле (8.4) вычисляют также длину ковша с низовым входом, полностью или частично выдвинутым в русло реки, и имеющим низовые ограждающие дамбы. При отсутствии низовых дамб длина $l_b = 0$, так как водоворот в этом случае располагается вне акватории ковша.

Длину входной части водоприемного ковша l_b , м, можно приближенно вычислить по формуле

$$l_b = n_b B_b, \quad (8.5)$$

где n_b — коэффициент; принимают в пределах от 1,0 до 1,5;

B_b — ширина входной части ковша, м; измеряют по урезу среднего горизонта воды при шугоходе.

В зависимости от типа водоприемного ковша и режима его работы длину $l_{ш}$, м, можно принимать равной, м:

от 5 до 10 — для ковша с низовым входом, выдвинутым в русло реки, не имеющего низовых дамб;

“ 15 “ 20 — для ковша, заглубленного в берег;

“ 20 “ 35 — для ковша с верховым входом, полностью или частично выдвинутым в русло реки.

Для больших заборов воды необходимо приведенные значения увеличить в полтора раза. При этом к большим водозаборам относят расходы, превышающие предельную величину расхода воды $Q_{в,пр}$, м³/с, при которых формируется режим с делением потока.

Величину расхода воды $Q_{в.пр}$ следует вычислять по формулам:

— для ковшей, заглубленных в берег, или ковшей с низовым входом и низовыми дамбами

$$Q_{в.пр} = 0,046B_{в}H_{кв}v_a; \quad (8.6)$$

— для ковшей с низовым входом, выдвинутым в русло реки (см. рисунок 8.3) на величину $B_{вд}$, м,

$$Q_{в.пр} = 0,137B_{к}H_{кв}v_a. \quad (8.7)$$

В формулах (8.6) и (8.7):

v_a — средняя скорость течения в прибрежной зоне речного потока, м/с; определяют при среднем уровне шугохода;

$H_{кв}$ — глубина воды на входе в ковш, м.

Длину рабочей части водоприемного ковша l_p , м, в пределах которой скопления кристаллов льда полностью всплывают к поверхности потока, следует вычислять по формуле

$$l_p = 28,7 \cdot \left(\sqrt{b_H^2 + \frac{0,105}{\omega_{ш}} \cdot Q_{вк}} - b_H \right), \quad (8.8)$$

где $\omega_{ш}$ — гидравлическая крупность наиболее мелких скоплений кристаллов внутриводного льда; принимают в пределах от 0,015 до 0,020 м/с;

b_H — начальная ширина транзитной струи в ковше, м; вычисляют по формуле

$$b_H = \frac{Q_{вк}}{H_{кв}v_{кв}}, \quad (8.9)$$

здесь $v_{кв}$ — скорость входа в ковш, м/с.

Скорость $v_{кв}$, м/с, принимают равной при:

$Q_{вк} < Q_{в.пр}$ — от $0,4v_a$ до $0,6v_a$;

$Q_{вк} > Q_{в.пр}$ — “ $0,6v_a$ ” $0,9v_a$.

8.3.18 При выборе отметок гребня дамбы руководствуются следующим:

— отметки гребня незатопляемых дамб ковша принимают больше отметок расчетного максимального горизонта воды в реке от 0,5 до 1,0 м;

— отметки гребня затопляемых верховых дамб ковша принимают равными отметкам уровней шугохода 25 %-ной обеспеченности;

— отметки гребня низовых дамб ковша всегда назначают больше отметок гребня затопляемых верховых дамб;

— речные затопляемые дамбы ковша, устраиваемые на реке с относительно низкими горизонтами весеннего ледохода, могут иметь отметки гребня, равные отметкам расчетных максимальных горизонтов ледохода.

Ширину гребня дамб ковшей принимают от 4 до 5 м, а ширину берм — от 1,5 до 2,0 м, если последние не предназначены для прохода техники.

8.4 Водозаборные сооружения на водотоках с неустойчивым руслом

8.4.1 К неустойчивым руслам водотоков относятся меженные русла, в которых в сравнительно небольшие периоды изменяются поперечные сечения и плановое расположение. При устройстве водозаборных сооружений обычно рассматривают устойчивость русла на отдельных ограниченных участках. На этих участках устойчивость потока и русла можно обеспечить местным стеснением русел, выправительными сооружениями, креплением береговых участков.

8.4.2 Устройство водозаборного сооружения на водотоках с неустойчивыми руслами зависит от величины водотока и интенсивности руслоформирующего процесса.

8.4.3 При побочном и ленточно-грядовом типе руслового процесса необходимо выяснить целесообразность расчленения или дублирования водозабора, который может быть осуществлен с водоприемниками комбинированного типа.

8.4.4 Устройство ковша должно рассматриваться с учетом необходимости систематических или эпизодических расчисток дна русла на подходах к водоприемникам.

8.4.5 Ширину потока в створе водозаборного сооружения во многих случаях рекомендуется ограничить путем некоторого стеснения, создаваемого водозаборным сооружением и креплением противоположного берега. Подобные мероприятия интенсифицируют движение наносов в створе водозаборного сооружения, в результате чего увеличиваются глубины у водоприемника.

8.4.6 При приближении побочня к створу водозаборного сооружения у его низовой оконечности понадобится устройство русловой прорези, а позднее — временных наносоуправляющих сооружений для переброски донных наносов от берега на нижний скат побочня.

В более поздней стадии переформирования русла у водозаборного сооружения возможно устройство верховой прорези вдоль берега или отторжение от него сползающего вниз побочня.

При весьма значительных размерах сползающих по течению побочней и работах по расчистке подходов к водозаборному сооружению при малых заборах воды возможен перенос водоприемных устройств в другие створы реки или применение водозаборных сооружений нестационарного типа.

На малых и средних реках возможно применение сооружений, регулирующих поток и русло.

8.4.7 Наиболее неблагоприятным для устройства водозаборного сооружения является осередковый тип руслового процесса. Из-за очень быстрой изменчивости русла створом для устройства постоянного водозабора может быть место стеснения реки мостами и выходами неразмываемых пород.

8.4.8 При устройстве водозаборных сооружений I и II категорий следует рассмотреть:

- расчленение (или дублирование) водозаборного сооружения на два узла с несколькими водоприемниками, желательно разного типа;

- включение в систему водозаборных сооружений различных емкостей, с помощью которых удовлетворяются потребности в воде в течение от 10 до 100 ч возможного перерыва в подаче воды. Длительность перерыва принимают в зависимости от местных условий и требований;

- проведение соответствующих эксплуатационных мероприятий: расчистку подходов землесосными снарядами, борьбу с наносами с помощью струенаправляющих систем и т. п.

8.4.9 При устройстве водозаборных сооружений на участках с неустойчивым руслом, с учетом требований судоходства, водоприемники размещают за пределами меженного русла в навигационный период и в состав водозаборного сооружения включают водоподводящие каналы и водоприемные ковши, требующие периодических расчисток на подходах к водоприемникам.

8.4.10 На неустойчивых руслах при незначительных шуголедовых явлениях могут применяться водозаборные сооружения плавучего типа, которые используются непрерывно или периодически и как резерв.

8.5 Водозаборные сооружения плотинных гидроузлов и на устьевых участках водотоков, впадающих в водоемы

8.5.1 Плотинные водозаборные сооружения устраивают при необходимости:

- увеличения глубины в месте забора воды из водотока;
- образования в реке регулируемого объема воды, когда бытовые расходы воды в межень недостаточны;
- борьбы с наносами, а также шуголедовыми помехами.

8.5.2 Схема сооружений плотинного водозаборного гидроузла возможна в следующих вариантах расположения водозаборных сооружений:

- совмещенные с плотиной;
- расположенные в непосредственной близости от плотины;
- расположенные на удалении от плотины.

8.5.3 При строительстве плотины вблизи от потребителя ее следует совмещать с водозаборным сооружением.

Расположение водозаборного сооружения на удалении от плотины следует предусматривать в тех случаях, когда вблизи потребителя нет подходящего места для сооружения плотины. При этом уменьшение длины водоводов может компенсировать удорожание сооружений при раздельном строительстве плотины и водозаборного сооружения.

8.5.4 Как при совмещении водозаборных сооружений с плотиной, так и при раздельном расположении русловые плотины следует проектировать с низким порогом в целях уменьшения создаваемого плотиной перепада при пропуске паводков.

8.5.5 Требуемый напор на плотине и нормальный подпорный уровень должны определяться конструкцией водозаборного сооружения и величиной забора воды из водотока.

В зависимости от зимних ледовых условий для оттаивания и сброса шуги над верхом водоприемных отверстий должен быть запас по высоте не менее 1 м. Расстояние от верха водоприемных отверстий до нижней кромки льда должно быть 0,3 м.

8.5.6 При совмещении с плотиной водозаборное сооружение следует располагать в одном из устоев водосброса. При достаточной ширине водосбросного фронта примыкающий к устою с водоприемными отверстиями пролет водосбросного отверстия следует устраивать шириной от 1,5 до 2,0 м и пониженным по отношению к другим отверстиям порогом.

8.5.7 Для подачи воды самотеком на увлажнение земель в нижнем бьефе гидроузла водозаборные сооружения следует устраивать в земляной плотине в створе, расположенном на надпойменной террасе.

8.5.8 При проектировании и строительстве водозаборных сооружений в нижних бьефах гидроузлов следует учитывать гидрологические особенности трех участков нижнего бьефа (рисунок 8.4).

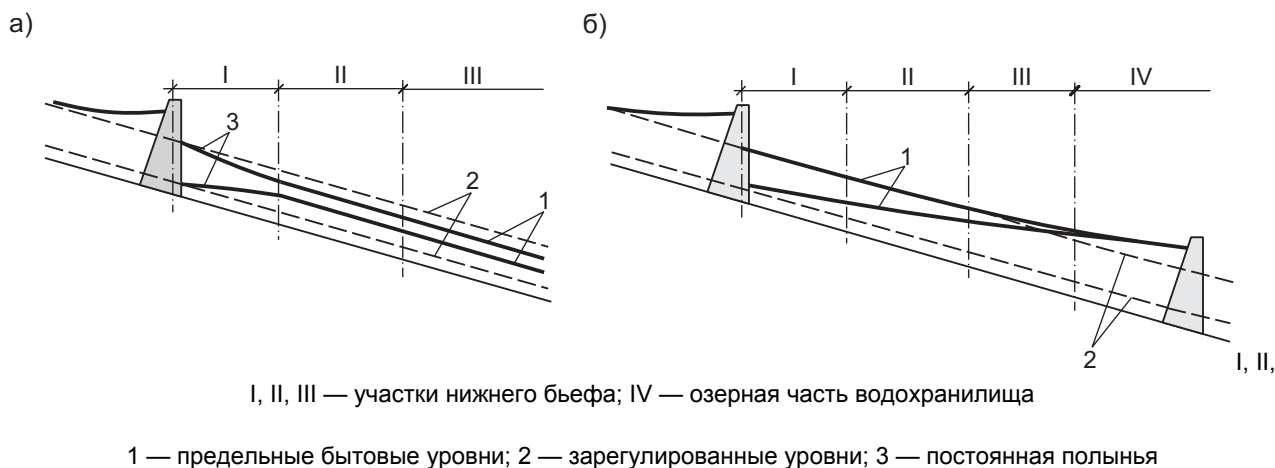


Рисунок 8.4 — Схемы продольных профилей зарегулированных рек:
а — при отсутствии подпора от нижерасположенного гидроузла;
б — при наличии подпора от нижерасположенного гидроузла

Верхний участок I характеризуется наибольшей амплитудой колебаний уровня воды и изменяющимся гидродинамическим воздействием потока на крутые береговые склоны, что приводит к их перестроению, особенно при наличии волнения.

Отстаивание воды в водохранилище и сброс в нижний бьеф осветленной воды увеличивают транспортирующую способность потока в нижнем бьефе и вызывают размыв ложа реки, особенно в верхней части участка.

Попуски воды из водохранилища зимой могут вызвать местный ледоход и значительное повышение уровня воды. Они обуславливают также появление полыньи в ледяном покрове, длина которой в течение зимы меняется в зависимости от колебания температуры воздуха и размера ппуска воды, вследствие чего следует ожидать появления шуги, внутриводного льда, снежуры и связанных с ними ледовых осложнений в работе водозаборных сооружений.

Средний участок II характеризуется меньшей амплитудой и интенсивностью суточных колебаний уровня воды; меньшими гидродинамическим воздействием потока на береговые склоны и размывом ложа реки; большими, чем на участке I, зимними уровнями воды из-за повышения гидравлических сопротивлений русла благодаря наличию ледяного покрова; неустойчивым ледовым режимом из-за возможности продвижения кромки полыньи на этот участок или появления локальных полыней; возможностью поступления шуги и внутриводного льда с участка реки I; возможностью возникновения зимнего ледохода, навала льда и образования щели между берегом и ледяным покровом.

Нижний участок III характеризуется постепенным практическим исчезновением суточных колебаний уровней воды благодаря регулирующей способности русла при неустановившемся движении воды, впадению притоков и подпора от расположенного ниже гидроузла; затуханием недельных изменений расходов и уровней и ослаблением ледовых явлений по сравнению с этими явлениями до постройки гидроузла.

Выявление изменения гидрологических условий и их особенностей должно производиться на основе соответствующих изысканий, а также гидрологических и водохозяйственных расчетов.

8.5.9 При проектировании и строительстве водозаборных сооружений на реках в их истоках из озер следует учитывать дополнительные условия:

- в истоках больших и глубоких озер формируются большие полыньи и сложные шуголедовые условия. По сравнению с режимом в нижних бьефах режим истоков отличается отсутствием значительных колебаний уровней воды в пределах суток и недели;

- в истоках некоторых средних озер во время весеннего половодья могут возникать в реке течения разных направлений. До наполнения озера до некоторого уровня воды в истоках возникает течение в сторону озера, а после такого его наполнения течение приобретает обычное направление — из озера.

8.5.10 При проектировании и строительстве водозаборных сооружений в нижних бьефах гидроузлов особое внимание необходимо обращать на гидротермический режим водохранилища и нижнего бьефа.

При работе малых ГЭС, а также при опорожнении водохранилищ в зимний период, в нижний бьеф сбрасывается вода с положительной температурой в течение холодного периода года.

В нижних бьефах каскада водохранилищ, которые подперты снизу (рисунок 8.4, участок IV), неблагоприятные для водозабора явления развиваются на меньшем участке, однако в этом случае на этом участке наблюдаются другие явления, например обратная волна. Они вызывают значительные перемещения загрязненных вод в направлении, противоположном направлению течения в русле.

Наиболее неблагоприятные для водозабора шуголедовые условия создаются в русле у низовых оконечностей полыней, в области формирования ледяной кромки ледостава, непрерывно надвигающейся по руслу реки под действием волн попусков и термических условий. Поэтому наиболее неблагоприятными для водозабора оказываются те участки реки, для которых число перемещений кромки ледостава через створ за весь холодный период года оказывается наибольшим.

8.5.11 Вследствие недостаточной изученности неустановившегося режима в нижних бьефах гидроузлов и возможности возникновения непредвиденных явлений в русле реки оказываются необходимыми более детальные изыскательские работы у места водозабора, и в частности определение высоты и скорости движения гряд.

В исследованиях должны предусматриваться работы по выявлению особенностей режима волн попусков и их влияния на перемещение загрязнения, в частности специальное взятие проб воды по сечению реки вблизи очагов загрязнений в период подъема и спада волны попуска.

8.5.12 При выборе типа и основных размеров водозаборного сооружения должно учитываться своеобразие условий нижних бьефов гидроузлов.

Для водозаборных сооружений I категории по надежности подачи воды рекомендуется применять незатопляемые водоприемники — береговые или русловые, но доступные в любое время года, например водоприемные ковши разных типов.

Затопленные водоприемники для водозаборных сооружений I категории по надежности подачи воды следует применять только в составе водозаборных сооружений комбинированного типа.

8.5.13 На устьевых участках водотоков, впадающих в водоемы, в зависимости от сложности условий забора воды можно применять все рассмотренные ранее речные водозаборные сооружения. При этом необходимо учитывать следующие гидрологические особенности этих участков:

- формирование русел рек на устьевых участках зависит от условий подпора со стороны водохранилища, в которое впадает река;

- при синхронном подъеме или спаде уровней воды в реке и водохранилище на устьевом участке формируется устойчивое русло;

- при впадении реки в водохранилище (или другой водоем) с относительно небольшой амплитудой колебания уровней воды волна половодий и паводков проходит в пределах устьевого участка с образованием кривой спада, т. е. с увеличением скорости течения воды и наносотранспортирующей способности потока. При этом русло углубляется, а при малых расходах воды в реке, когда сказывается подпор со стороны водохранилища, на этом участке откладываются наносы;

- ежегодная сработка подпорного уровня воды в водохранилище (перед его наполнением в половодье) оказывает значительное влияние на устьевые участки притоков.

8.6 Водозаборные сооружения на водотоках с малыми глубинами

8.6.1 При расположении водозаборного участка на относительно малых глубинах в руслах водотоков прежде всего следует рассмотреть возможность устройства водоприемников с забором воды через горизонтальные или близкие к ним по расположению (потолочные) водоприемные отверстия.

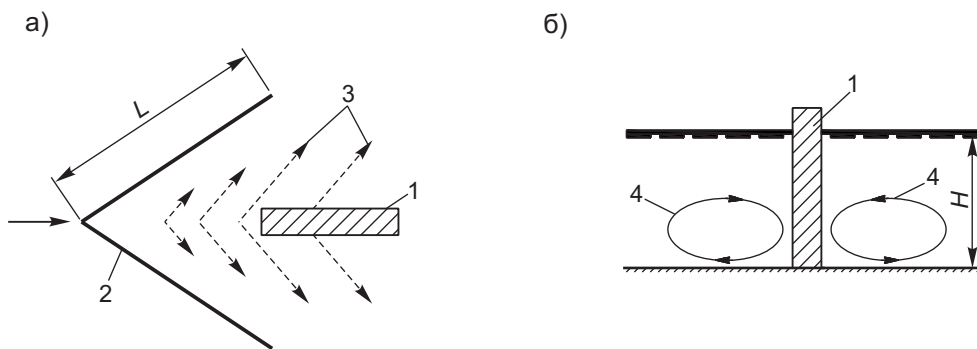
8.6.2 В условиях достаточно устойчивых русел возможно искусственное углубление дна реки у места расположения водоприемника. Искусственное углубление следует предусматривать с учетом возможной естественной промывки расходами паводков и в объеме, достаточном для поддержания выемки в течение длительного периода отложения наносов.

8.6.3 При трассировке прорезей (подводных каналов) следует соблюдать следующие условия:

- начало прорези следует намечать из условия привлечения в нее наибольшего расхода воды;
- направление прорези должно способствовать развитию в потоке поперечной циркуляции, благоприятствующей транзитному движению наносов;
- прорези необходимо делать сквозными и возможно короткими, с кривизной лишь в одном направлении, и располагать под углом не более 17° к направлению течения потока;
- при определении направления прорези следует учитывать направление потока в межень и паводки.

8.6.4 Для поддержания глубин в выемках и прорезях у водоприемников возможна установка специальных струенаправляющих устройств, создающих в речном потоке поперечную циркуляцию, способствующую транзитному пропуску наносов или отводу их в сторону. К таким устройствам относятся:

- две донные расходящиеся направляющие (рисунок 8.5);
- плавучая поверхностная направляющая система, состоящая из ряда щитов-понтонных, соединенных сверху фермой в жесткую систему.



1 — водоприемник; 2 — донные пороги; 3 — направление донных скоростей; 4 — винтовое движение воды

Рисунок 8.5 — Схема защиты водоприемников от заиливания влекаемыми наносами:

а — план;

б — сечение водоприемника, перпендикулярное к оси потока

Для донных расходящихся направляющих при соотношении $L/H = 5$ и угле между направлением течения и направляющими, равном $13^\circ 30'$, винтовое движение устойчиво на большой длине за направляющими, а при меньшем соотношении оно разбивается на ряд винтовых течений. Максимальная продольная донная скорость винтового движения находится на его оси и равна средней скорости по вертикали. Максимальную поперечную скорость на дне по оси винта $V_{п.д.макс}$, м/с, вычисляют по формуле

$$V_{п.д.макс} = V_{пр.ср} \operatorname{tg} \varphi_{\max}, \quad (8.10)$$

где $V_{пр.ср}$ — средняя по сечению продольная скорость движения потока, м/с;

$\operatorname{tg} \varphi_{\max}$ — тангенс максимального угла φ между направлением донной скорости и осью потока; определяют по графику рисунка 8.6.

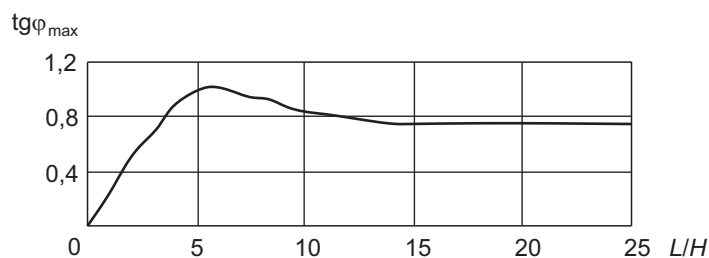


Рисунок 8.6 — Зависимость $\operatorname{tg} \varphi_{\max} = f\left(\frac{L}{H}\right)$

Для большей эффективности направляющие следует продолжить до середины водоприемника.

Угол между донными направляющими следует принимать равным 36° .

Высоту направляющих над дном реки h_a , м, следует вычислять по формуле

$$h_a = 0,33H_{\text{ср.мин}}, \quad (8.11)$$

где $H_{\text{ср.мин}}$ — глубина воды при среднем многолетнем минимальном уровне, м.

Плавную поверхностную направляющую систему, состоящую из понтонов, погружают на глубину от $0,25H$ до $0,35H$. Понтоны заполняют балластом (чаще водой) (рисунок 8.7).

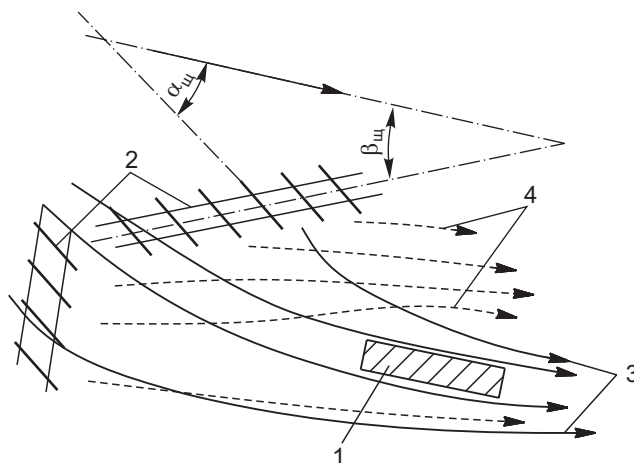
Длину щитов $l_{\text{щ}}$, м, вычисляют по следующей зависимости:

$$l_{\text{щ}} = m_{\text{щ}} \cdot \frac{H_{\text{ср.пав}}}{\sin \alpha_{\text{щ}}}, \quad (8.12)$$

где $m_{\text{щ}}$ — параметр; принимают в пределах от 0,35 до 1,00;

$H_{\text{ср.пав}}$ — средняя глубина в пределах направляющей системы щитов для периода среднего многолетнего паводка, м;

$\alpha_{\text{щ}}$ — угол между направляющей плоскостью щита и направлением течения потока; как правило, принимают в пределах от 16° до 22° .



1 — водоприемник; 2 — системы струенаправляющих понтонов;
3 — направление поверхностных скоростей; 4 — направление донных скоростей

**Рисунок 8.7 — Схема установки понтонов (щитов Потапова)
у водоприемника (лабораторная модель)**

Длина щита должна быть не менее $1,2H_{\text{ср.пав}}$. При большей длине щита их устанавливают в два ряда, при этом длину щита $l'_{\text{щ}}$ следует принимать равной $0,42l_{\text{щ}}$, а просвет между рядами — не более $0,4l_{\text{щ}}$.

Расстояние между соседними щитами в ряду l_1 , м, следует определять из следующего условия:

$$l_1 < l_{\text{щ}} \cdot \frac{\sin \alpha_{\text{щ}}}{\sin \beta_{\text{щ}}}, \quad (8.13)$$

где $\beta_{\text{щ}}$ — угол, образуемый осью системы с направлением оси потока, ...°.

Направляющую систему, как правило, собирают из звеньев по четыре щита, соединенных шарнирно.

Понтоны в плане имеют форму сегмента со стрелой не более $0,25l_{\text{щ}}$.

8.6.5 Для защиты затопленных водоприемников, вынесенных в русло в плесовую область, рекомендуется устраивать на них системы струенаправляющих открылков (рисунок 8.8).

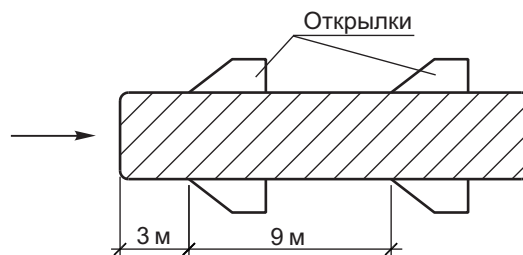


Рисунок 8.8 — Конструктивная схема установки струенаправляющих открылков на водоприемнике

При установке струенаправляющих открылков на русловых водоприемниках следует руководствоваться следующим:

- струенаправляющие открылки представляют собой трапецеидальные щиты, установленные по обеим сторонам водоприемника под отрицательным углом 15° к горизонтальной плоскости. Удаление донных наносов от водоприемного фронта достигается появлением за щитами индуцированных скоростей, направленных у дна в сторону от боковой грани водоприемника;

- при средних скоростях потока в русле более 1 м/с струенаправляющие открылки позволяют создать устойчивую промоину вдоль водоприемного фронта при прохождении песчаных гряд высотой до 1,5 м, удаляя наносы при этом в сторону от водоприемных окон на расстояние, большее чем ширина открылка.

8.7 Самопромывающиеся ковши

8.7.1 В условиях рек с недостаточными глубинами и устойчивым руслом целесообразно применять затопляемые ковшовые водоприемники. При возможности стеснения русла шпорами следует применять самопромывающиеся ковши (СПК).

8.7.2 Самопромывающиеся ковши на реках с малыми или недостаточными глубинами рекомендуются применять для поддержания у водоприемников глубин, которые необходимы для бесперебойного забора воды в системы водоснабжения. При этом самопромывающиеся ковши выполняют все функции по защите водоприемников от наносных, шуголедовых и других помех. Такие водоприемники по строительным нормам обладают первой степенью надежности забора воды.

8.7.3 Створ водозаборного сооружения следует располагать на вогнутых прижимных, в крайнем случае на прямолинейных участках берега. На несудоходных реках самопромывающиеся ковши рекомендуются выдвигать в поток.

8.7.4 При устройстве в составе водозаборного сооружения самопромывающегося ковша более детальному изучению подлежат:

- режим колебания уровня воды во времени;
- режим прибрежных течений в русле выше створа в межень и паводок;
- особенности перемещения в прибрежной зоне донных наносов, шуги и льда;
- литологическое строение русла в пределах расположения сооружений самопромывающегося ковша.

8.7.5 Основные схемы самопромывающихся ковшей классифицируют по следующим признакам:

- огражденные двумя затопляемыми дамбами разной высоты, выдвинутыми в русло, со стенкой-отражателем между ними и забором воды в затопленные водоприемники;

- огражденные одной, выдвинутой в русло, затопляемой дамбой, с забором воды из ковша короткими открытыми каналами или затопленными водоприемниками;

- огражденные двумя затопляемыми дамбами разной высоты и длины, выдвинутыми в русло, с забором воды из ковша в короткие открытые каналы;

- врезанные в берег, с развернутым вдоль русла уширенным самопромывающимся входом, у которого верховым ограждением является срезанный до уровней межени берег, а отражателем — откосный, незатопляемый в паводки выступ низового борта ковша;

- размещаемые в местном расширении русла у прижимного берега реки, который на подходе срезан до уровней межени и оформлен в виде постепенно расширяющейся бермы, выполняющей роль верхового ограждения;

- косые нисходящие со струеформирующим карманом и отражателем с вертикальной гранью;

- со стенкой верхового ограждения и отражателем, выполненными из железобетона, где заглубленный наклонный, расширяющийся книзу струеформирующий карман обеспечивает обтекание затопленного водоприемника, с одно- или двухсторонним фильтрующим забором воды;

- с индивидуальными конструктивно-компоновочными схемами;

- размещаемые в нижних бьефах ГЭС и в верховьях водохранилищ;

- размещаемые на участках местного стеснения русла и выхода в берега и дно коренных пород.

8.7.6 Для всех типов самопромывающихся ковшей существует три характерных гидравлических режима: межень, паводок, половодье.

К режиму межени следует условно относить режимы, при которых уровень воды устанавливается равным или меньшим уровня гребня стенки верхового ограждения. К режиму паводков следует условно относить все режимы, уровни воды которых равны или меньше уровня верха отражателя, а к режиму половодий — режимы, уровень воды при которых выше уровня верха отражателя.

8.7.7 В самопромывающихся ковшах следует применять преимущественно типовые затопленные водоприемники с вихревыми и открытыми камерами и развитой площадью водоприемных отверстий, перекрываемых различными объемными фильтрами.

8.7.8 Защита от наносов при устройстве самопромывающихся ковшей решается посредством направления влекомых наносов в обход места приема воды стенкой или дамбой верхового ограждения. Их защитное действие по мере возрастания угрозы завала ковша наносами должно последовательно усиливаться или устройством второй, т. е. низовой дамбы, или добавлением к ним отражателя.

8.7.9 Мероприятия по защите от шуги места затопленного водоприемника назначают в зависимости от особенностей шуголедового режима реки. Обеспечение условий для транзита шуги в обход водоприемника является обязательным.

8.7.10 Самопромывающиеся ковши с вертикальными стенками рекомендуется применять на реках, обладающих устойчивым руслом, сложенным мелкозернистыми песками. Эта конструкция лучше других приспособляется к особенностям местных природных условий.

Конструктивно-компоновочная схема самопромывающегося ковша для двух вариантов затопленных водоприемников, с односторонним и двухсторонним забором воды, представлена на рисунке 8.9.

Самопромывающиеся ковши состоят из следующих элементов:

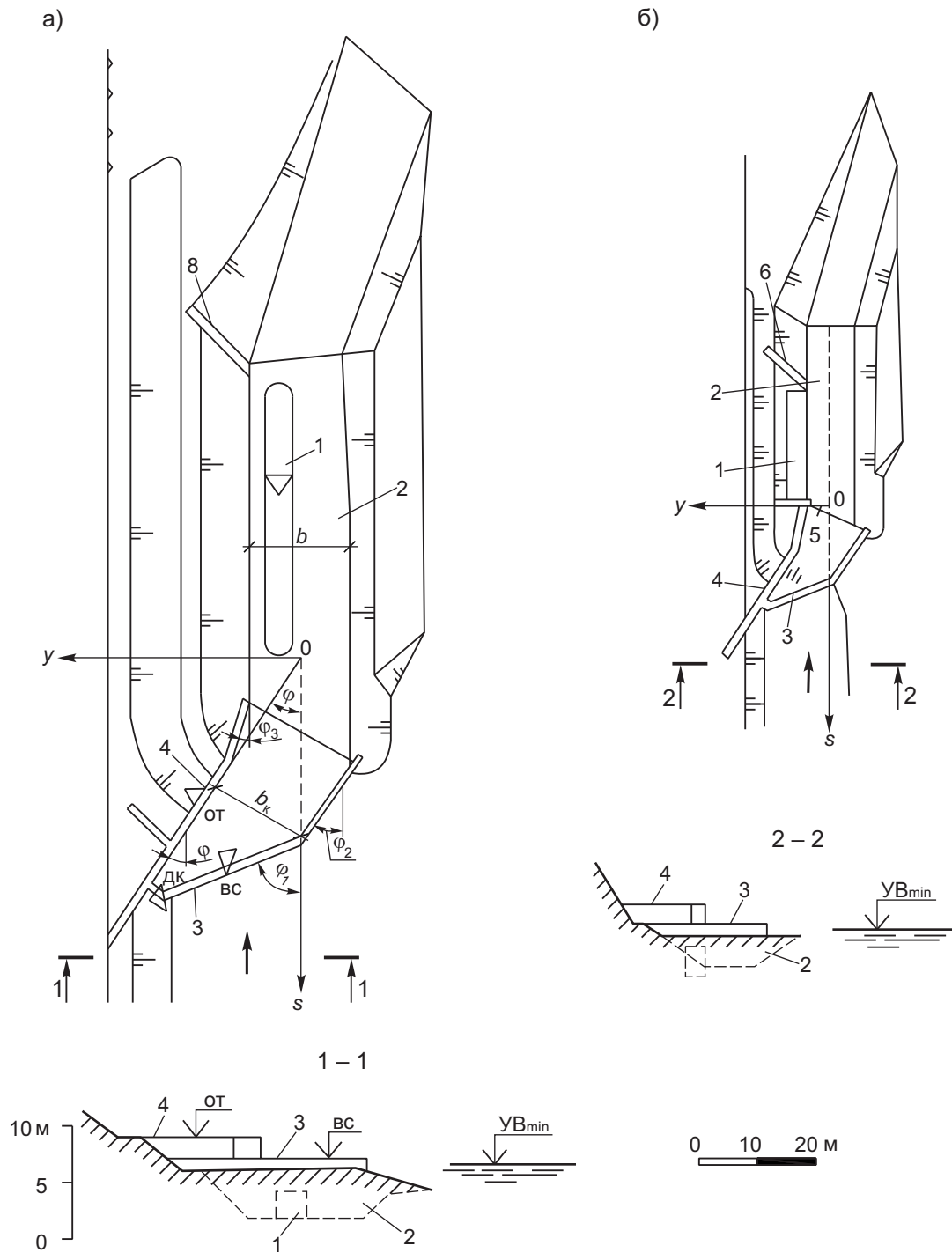
- стенки верхового ограждения — для защиты местного углубления ковша от завала наносами, шугой и сором;

- стенки отражателя — для направления массы и кинетической энергии потока на промыв путем отражения набегающих струй ко дну;

- наклонное дно струеформирующего кармана, направляющее отраженные струи к местному углублению у водоприемника, для исключения его завала донными наносами;

- низовую струенаправляющую стенку, направляющую обратные струи водоворота, которые несут сор и наносы в обход места приема воды.

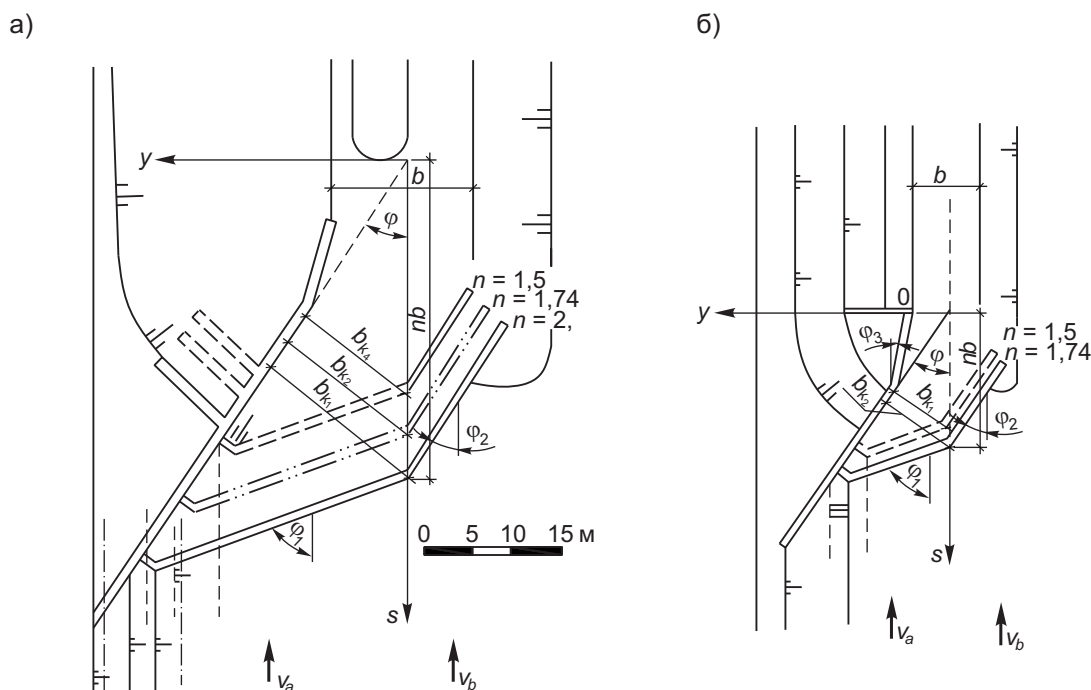
Перечисленные элементы могут быть дополнены устройствами, улучшающими условия эксплуатации водозаборного сооружения (песколовками — перед стенкой верхового ограждения, выпусками напорных струй — для улучшения гидравлических условий у водоприемных отверстий при рыбозащите и др.).



- 1 — затопленный водоприемник; 2 — ковш заглубления;
 3 — стенка верхового заграждения; 4 — отражатель;
 5 — наклонное струенаправляющее дно; 6 — низовая стенка

Рисунок 8.9 — Рекомендуемые схемы СПК с вертикальными стенками:
а — с двухсторонним водоприемником;
б — с односторонним водоприемником

8.7.11 Располагать вертикальные стенки самопромывающихся ковшей, устраиваемых у затопленного водоприемника, рекомендуется в соответствии с рисунком 8.10.



b_{k1}, b_{k2}, b_{k3} — ширина кармана при различных значениях n , равных соответственно 2; 1,74; 1,5

**Рисунок 8.10 — Конструктивно-компоновочные схемы для разных величин водозабора и постоянных углов атаки $\varphi = 35^\circ$, $\varphi_1 = 70^\circ$, $\varphi_3 = 15^\circ$:
а — для двухстороннего водозабора;
б — для одностороннего водозабора**

Для разбивки сооружений используется система разбивочных координат, представленная продольной осью s , полюсом разбивки 0 и углами φ , φ_1 , φ_2 и φ_3 . Система разбивочных координат должна удовлетворять следующим условиям:

- продольная ось s системы выбирается параллельной как направлению набегающего потока, так и геометрической оси местного углубления русла у водоприемника;

- при двухстороннем заборе воды продольная ось s совмещается с геометрической осью ковша углубления и внешней линией водоприемника; при одностороннем заборе воды внешняя линия водоприемника удаляется от оси s на расстояние полуширины дна ковша углубления, а продольные оси s разбивки и середины дна прорези совмещаются, как и в предыдущем случае;

- разбивочный полюс 0 на продольной оси выбирается на пересечении с ней перпендикуляра, опущенного из верховой точки лобовой части водоприемника в любом из его вариантов.

8.7.12 Разбивка стенок струеформирующего кармана выполняется в выбранной системе следующим образом:

- из полюса 0 в сторону берега задается линия расположения верховой ограждающей грани так, чтобы между ней и продольной осью s угол был равен 35° в любом из его вариантов;

- от полюса 0 по продольной оси навстречу набегающему потоку откладывают расстояние S , м, вычисляемое по формуле

$$S = nb, \quad (8.14)$$

где n — параметр; определяют расчетом (см. 8.7.16);

b — ширина по дну ковша заглупления, м.

Найденная точка соответствует точке излома внутренней грани стенки верхового ограждения, из которой задаются две линии:

— в сторону берега под углом к продольной оси $\varphi_1 = 2\varphi = 70^\circ$, определяющей положение верхового звена ограждения;

— в сторону русла под углом $\varphi_2 = \varphi = 35^\circ$ с продольной осью, определяющей положение низового звена.

Точка излома отражающей грани отражателя в схеме с двухсторонним забором воды отстоит от основного полюса на расстоянии l , м, вычисляемом по формуле

$$l = 0,87b + 4,6. \quad (8.15)$$

Протяженность низового звена отражателя принимается равной 10 м, а угол поворота φ_3 — 15° . Аналогичная точка в варианте с односторонним забором определяется линией, проведенной из внешнего верхового угла водоприемника к продольной оси под углом 15° .

8.7.13 Ширина струеформирующего кармана b_k , м, должна быть равна длине перпендикуляра, опущенного из точки излома верхового ограждения на линию отражателя, и вычисляется по формуле

$$b_k = nb \sin \varphi = 0,574nb. \quad (8.16)$$

При $n = 1,74$ $b_k = b$; при $n = 1,5$ и $n = 2,0$, значения b_k/b равны 0,88 и 1,15 соответственно.

Результаты вычислений по формуле (8.16) дают серию подобных контуров струеформирующего кармана разного размера в плане без учета требований высотной компоновки самопромывающегося ковша.

8.7.14 Отметки верха отражателя и верхового ограждения необходимо принимать с учетом местных природных особенностей створа самопромывающегося ковша и применяемого способа шугозащиты.

Если требуется, чтобы шуговые ковры обходили верховое ограждение транзитом, то отметку его верха $\nabla_{\text{вс}}$, м, следует принимать более высокой, но не выше наибольшего уровня шугохода $\nabla_{\text{ш25}}$, м, 25 %-ной обеспеченности, т. е. должно соблюдаться условие

$$\nabla_{\text{вс}} \leq \nabla_{\text{ш25}}. \quad (8.17)$$

Если допускается осуществлять транзит шуговых ковров над водоприемником, то отметку верховой ограждающей стенки принимают меньшей, но не ниже той, при которой толщина слоя воды до верха водоприемника составит не менее 1,5 м.

Отметку верха отражателя $\nabla_{\text{от}}$, м, следует принимать больше отметки гребня верхового ограждения на 1,25–3,00 м в зависимости от местных потребностей самопромыва и особенностей изменения расходов воды, т. е. должно соблюдаться условие

$$1,25 \leq \nabla_{\text{от}} - \nabla_{\text{вс}} \leq 3,00. \quad (8.18)$$

При этом меньшие значения следует принимать для самопромывающихся ковшей у водоприемников малой производительности — до $2 \text{ м}^3/\text{с}$. При производительности $6 \text{ м}^3/\text{с}$ применяют верхний предел, равный 3 м.

8.7.15 Наклонное струенаправляющее дно является также дном струеформирующего кармана, ограниченного верховой ограждающей стенкой и отражателем. Образующие линии этого дна должны быть нормальными к поверхности верхового звена отражателя. Отметки нижней грани дна струеформирующего кармана должны быть равны отметкам дна ковша, а отметки верхней грани его дна $\nabla_{\text{дск}}$, м, следует задавать ниже отметок гребня верхового ограждения на 1,0–1,5 м, т. е. должно соблюдаться условие

$$1,0 \leq \nabla_{\text{вс}} - \nabla_{\text{дск}} \leq 1,5. \quad (8.19)$$

8.7.16 При выборе варианта компоновки сооружений в плане рекомендуется прежде всего установить значение коэффициента n , определяющего координату угла верхового ограждения, а также ширину струеформирующего кармана b_k .

Коэффициент n определяют подбором из уравнения

$$\nabla_{\text{от}} - \nabla_{\text{вс}} = nk_v H_{\text{кн}} \cdot (2n - 0,53), \quad (8.20)$$

где k_v — коэффициент; принимают в пределах от 0,4 до 0,6;

$H_{\text{кн}}$ — глубина в выходном сечении, м; определяют по продольному профилю струеформирующего кармана с учетом условия (8.18) и вычисляют по формуле

$$H_{\text{кн}} = \nabla_{\text{вс}} - \nabla_{\text{дв}}, \quad (8.21)$$

здесь $\nabla_{\text{дв}}$ — отметка поверхности наклонного дна кармана в сечении у излома отражающей грани, м.

8.7.17 В конструкциях стенок самопромываемых ковшей необходимо обеспечить правильное исполнение отдельных деталей, в частности, по рисунку 8.10а:

— на верховой (отражающей) грани отражателя должны быть исключены горизонтальные ребра и полки в виде направляющих для шпунта. Их наличие затрудняет возникновение и работу нисходящих течений, а следовательно, и снижает эффективность работы самопромыва;

— сопряжение верховой и отражающей стенок лучше всего осуществлять изломом верховой (на длине от 2 до 3 м, считая по гребню) и присоединением ее по нормали к отражателю. К создаваемой таким образом вставке должно быть присоединено верхнее ребро наклонного дна струеформирующего кармана;

— за стенкой отражателя и по нормали к ней, примерно на середине длины ее гребня, в виде контрфорса, должна быть отведена неглубоко заложенная стенка длиной от 10 до 15 м с гребнем на уровне гребня отражателя; ее назначение — создание наносотводящего в сторону берега порога и уменьшение засорения ковша углубления при переливах в периоды половодий;

— в необходимых по особым условиям рыбозащиты случаях на низовом звене верховой ограждающей стенки могут устраиваться один или два уступа суммарной высотой от 1,0 до 1,5 м, которые должны быть ограничены только низовым звеном этой стенки;

— на речном откосе местного углубления русла, располагаемого у линии минимального уреза воды в реке, не должны допускаться какие-либо отвалы грунта; более целесообразным следует считать понижение бровки этого подводного откоса и выравнивание поверхности дна русла на всем протяжении местного углубления дна у водоприемника;

— низовая струенаправляющая стенка, устраиваемая у водоприемника с двухсторонним забором воды, может примыкать к его низовому оголовку под углом $\varphi \leq 45^\circ$ и иметь отметку гребня менее отметки гребня верхового ограждения на 1,0–1,5 м;

— низовая струенаправляющая стенка, устраиваемая у водоприемника с двухсторонним забором воды, отводится от берега под углом $\varphi \cong 45^\circ$ к обратным контурным токам водоворота и доводится до линии углубления дна в створе, расположенном ниже низового оголовка водоприемника на длину от 10 до 12 м;

— отметку верха стенки принимают не менее чем на 2 м ниже отметки верха отражателя, она не должна превышать отметку гребня стенки верхового ограждения.

8.7.18 Намеченную конструктивно-компоновочную схему самопромывающегося ковша рекомендуется проверить модельными экспериментальными исследованиями с возможным уточнением этой схемы в зависимости от особенностей местной гидравлической структуры потока.

9 Конструкции водозаборных сооружений на водоемах

9.1 Общие требования

9.1.1 Тип, место расположения и компоновка водозаборных сооружений в пределах заданного района должны определяться в первую очередь местными условиями выбранного участка водоема.

9.1.2 Гидрологические, гидроморфологические, гидротермические и другие процессы в водоемах существенно отличаются от аналогичных процессов в водотоках. Поэтому при проектировании водозаборных сооружений на водоемах, в отличие от водотоков, требуется другой подход к выбору их места расположения и конструктивных элементов.

9.1.3 При размещении водозаборного сооружения в пределах участка водоема с ожидаемой интенсивной переработкой берега и прибрежного склона, вдольбереговой и поперечной миграцией наносов в проектах необходимо учитывать последующие изменения местных условий забора воды за счет возводимых инженерных сооружений.

9.1.4 Основным фактором, определяющим условия работы водозаборных сооружений, являются течения, формирующиеся в прибойных зонах водоема.

Во всех случаях, независимо от типа водозаборного сооружения и водоприемных устройств, необходимо найти такую компоновку и конструктивные элементы, которые позволяют исключить или предельно ослабить проникновение сосредоточенных течений, выходящих из прибойных зон к месту размещения водозаборного сооружения, на весь период эксплуатации.

Проникновение этих сосредоточенных течений к месту забора воды может явиться причиной захвата в водоприемные устройства поверхностных масс воды с повышенным содержанием планктона, водной растительности, сора, шугольда в преддоставные периоды и их завала продуктами вдольбереговой миграции независимо от их конструктивных элементов и глубин воды в месте их размещения.

9.1.5 В случаях когда в районе намечаемого размещения водозаборного сооружения ожидаются в прибрежной зоне интенсивные течения, вдольбереговая и поперечная миграция наносов, необходимо водоприемные устройства выносить за пределы зон их действия или обеспечивать пропуск через створ водозаборного сооружения на некотором удалении от места забора воды.

9.1.6 Правильным проектным решением можно считать то решение, при котором водозаборные сооружения в процессе их эксплуатации не нарушают бытовой режим течений и миграции наносов на избранном участке водоема.

9.1.7 В тяжелых условиях забора воды необходимо найти такие конструктивные решения, при которых будет обеспечиваться периодическое техническое обслуживание водоприемных устройств.

9.1.8 Водоприемные устройства или места забора воды должны находиться за пределами прибойных зон.

9.1.9 Приведенные в разделе 5 расчеты местных условий прибрежной зоны водоема по эмпирическим зависимостям являются приближенными и не позволяют получить полной картины взаимодействия всей совокупности факторов как до, так и после строительства водозаборных сооружений. Полученные результаты расчета параметров следует рассматривать как оценочные и сравнивать с данными наблюдений, осуществляемых на водоемах, которые можно принять за аналоги для рассматриваемого водоема.

В отдельных случаях для средних и тяжелых условий забора воды при проектировании крупных водозаборных сооружений и при отсутствии аналога следует предусматривать моделирование в лабораторных условиях.

9.2 Водозаборные сооружения с самотечными или сифонными водоводами

9.2.1 В условиях интенсивной переработки берегов и прибрежных склонов, большой вдольбереговой миграции или транзита наносов, повышенной засоренности прибрежной зоны, местного переохладения воды в преддоставные периоды целесообразно использовать, независимо от расходов отбираемой воды, водозаборное сооружение с самотечными или сифонными водоводами и затопленными водоприемниками.

Этот тип водозаборного сооружения позволяет обеспечить пропуск сосредоточенных течений прибойной зоны и потока наносов на значительном удалении от места расположения водоприемных устройств, исключить захват масс воды с повышенным содержанием наносов, планктона и прочей взвеси, осуществлять селективный водозабор, что способствует повышению степени обеспеченности подачи воды.

9.2.2 Опыт эксплуатации водозаборных сооружений на водоемах свидетельствует о том, что захват в водоприемные устройства переохлажденных масс воды, наносов, планктона, водорослей и прочей взвеси может быть вызван преимущественно недостаточным учетом в проектах местных условий выбранного участка водоема, неудачной компоновкой берегозащитных сооружений, а также большими скоростями входа воды в сороудерживающие решетки, фильтры и др.

9.2.3 Компоновка или размещение элементов водозаборного сооружения и конструкция водоприемных устройств в каждом конкретном случае должны иметь свои специфические особенности, обусловленные местными условиями выбранного участка водоема.

9.2.4 Компоновка и конструктивные элементы водозаборного сооружения на весь период его эксплуатации, независимо от топографических, геологических и других условий, должны обеспечить пропуск через створ водоводов сосредоточенных течений, выходящих из прибойных зон, и потока наносов на значительном удалении от места расположения водоприемных устройств.

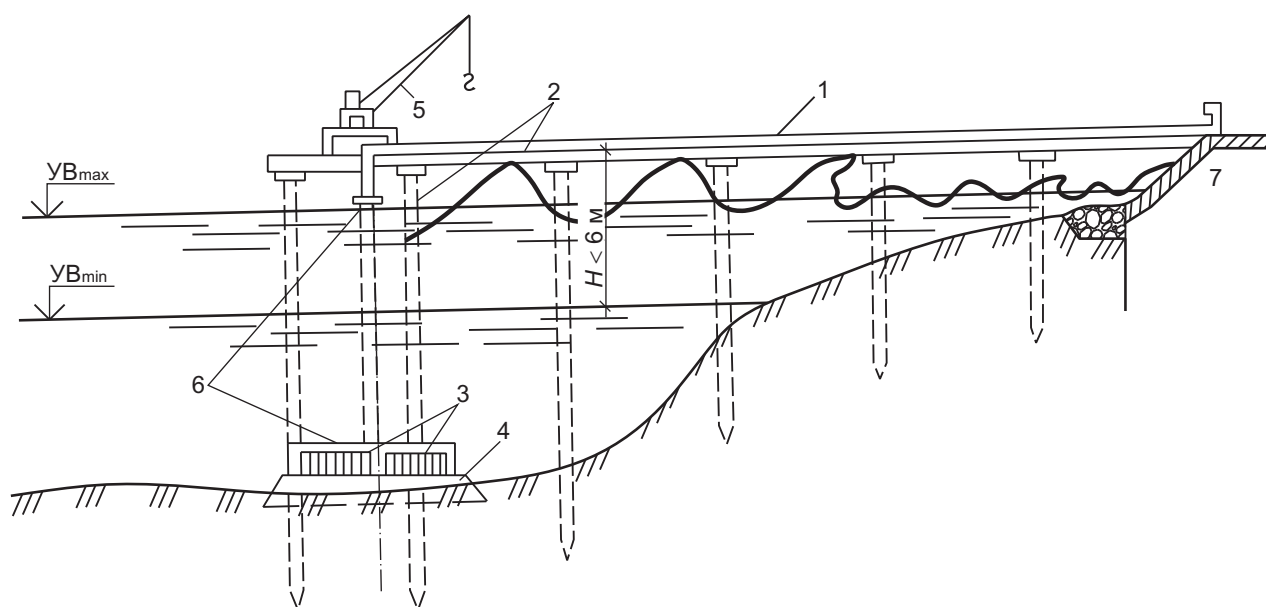
9.2.5 При наличии на выбранном участке берегозащитных покрытий значительной протяженности или устойчивых в отношении переработки берегов и прибрежных склонов наиболее удачным местом для размещения водозаборного сооружения следует считать выступающий в водоем участок берега.

Водозаборное сооружение, размещенное на выступающем берегу, при любых направлениях волнения обеспечивает наиболее благоприятные условия для установки водоприемных устройств за пределами действия сосредоточенных, выходящих из прибойных зон течений и вдольберегового потока наносов.

9.2.6 При размещении водозаборного сооружения на открытом относительно прямолинейном берегу целесообразно не устраивать берегозащитные сооружения. В этом случае водоприемный колодец, насосная станция и другие сооружения выносятся за пределы ожидаемой переработки берега и прибрежного склона.

9.2.7 Волнозащитным и другим элементам водозаборных сооружений во всех случаях необходимо придавать обтекаемые формы, исключающие выход вдольбереговых течений за пределы прибойных зон.

9.2.8 При благоприятных климатических условиях в водохранилищах-охладителях с небольшой глубиной, но достаточной для размещения водоприемников, с незначительным колебанием уровней воды, интенсивным обрастанием водоводов ракушкой и большой засоренностью прибойной зоны целесообразно использовать водозаборные сооружения с сифонными водоводами, уложенными на эстакаде (рисунок 9.1). Такое решение позволяет обеспечить периодическое обслуживание водоприемников, исключить нарушение температурной стратификации воды и бытового режима водоема в месте размещения водозаборного сооружения и с помощью периодического освобождения водоводов от воды исключить или ослабить их обрастание ракушкой.



1 — сифонные водоводы; 2 — эстакада; 3 — водоприемники; 4 — постель;
5 — кран для периодического обслуживания водоприемников;
6 — фланцы; 7 — берегозащитные покрытия

Рисунок 9.1 — Схема водозаборного сооружения с сифонными водоводами на эстакаде

9.2.9 После укладки самотечных или сифонных водоводов в траншею необходимо восстанавливать бытовой рельеф берега и прибрежного склона. Невыполнение этого требования приводит к отклонению масс воды, транспортируемых вдольбереговыми течениями, к водоприемнику.

9.2.10 В условиях водоемов следует применять типы водоприемников, конструктивные элементы которых должны обеспечить:

- равномерное распределение скоростей забираемой воды на входе в водоприемные устройства;
- интенсивную обратную или импульсную промывку, позволяющую отбросить за пределы зоны питания водоприемников сор, шугу, отмершую водную растительность и другую взвесь. Промывку водоприемников следует производить при наличии волнения;
- исключение захвата поверхностных слоев воды, переохлажденных в преддоставные периоды и наиболее теплых, с повышенным содержанием молоди рыб и планктона в летнее время;
- исключение травмирования и захвата в водоприемники забираемой водой молоди рыб.

Для соблюдения этих требований скорость входа воды в водоприемные устройства не должна превышать 0,1 м/с.

Данным требованиям наиболее полно удовлетворяют водоприемники с вихревыми и щелевыми камерами с фильтрующими кассетами, а также фильтрующего или инфильтрационного типа.

9.2.11 Водоприемники, имеющие вытянутую в плане форму, рекомендуется размещать таким образом, чтобы продольная ось совпадала с направлением луча преобладающего волнения.

9.2.12 Входные отверстия водоприемников рекомендуется располагать на глубине ниже минимального уровня воды на величину слоя ветроволнового перемешивания $H \geq 0,5\bar{\lambda}_{\text{гн}}$.

9.2.13 В условиях водоемов, как показывает опыт эксплуатации водозаборных сооружений, в случаях проникания течений из прибойных зон к месту расположения водоприемных устройств снижение скоростей входа в них потока до 0,02 м/с не обеспечивает их защиту от шуголедовых помех, захвата воды с повышенным содержанием наносов и планктона.

9.2.14 В условиях интенсивной переработки берегов и прибрежных склонов в районе расположения водозаборного сооружения не следует размещать водоприемники на наиболее глубоководных участках водоема, являющихся обычно местом свала плотностных течений, транспортирующих взвешенные волнением наносы, отмершую растительность, сор и т. д., и их аккумуляции.

9.2.15 При интенсивной миграции в придонной зоне водоема отмершей водной растительности водоприемники следует поднимать над его ложем.

9.3 Водозаборные сооружения берегового типа

9.3.1 При благоприятных местных условиях более надежными, экономичными и удобными в эксплуатации, как правило, являются водозаборные сооружения берегового типа с отдельной или совмещенной компоновкой водоприемника и насосной станции.

9.3.2 Место размещения водозаборного сооружения берегового типа должно удовлетворять следующим основным требованиям:

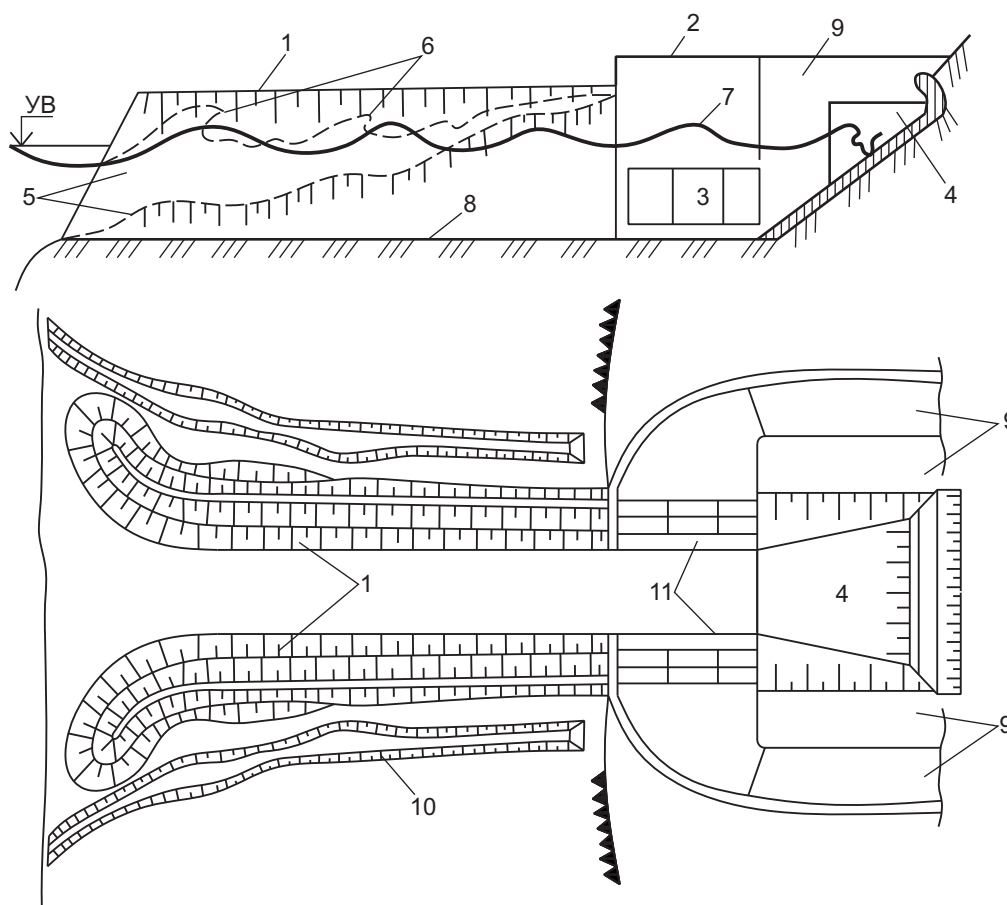
- отсутствие или очень слабая вдольбереговая миграция или транзит наносов;
- наличие устойчивых и пологих берегов с заложением $m \geq 5$ или берегозащитных сооружений большой протяженности по обеим сторонам от створа водозаборного сооружения, исключающих поступление вдольбереговых течений и потока наносов к месту расположения водоприемных окон;
- отсутствие интенсивных вдольбереговых течений в прибрежной зоне водоема по обе стороны от створа водозаборного сооружения.

9.3.3 При недостаточных глубинах воды на подходе к водоприемным устройствам водозаборного сооружения следует устраивать прорезь или расчистку (рисунок 9.2). Глубина воды перед ними при минимальном уровне в навигационный период должна быть не менее $2H_{\text{кр}}$.

9.3.4 Размеры и количество водоприемных окон и их ярусов определяются величиной забираемого расхода, глубиной воды, ее переохлаждением в предлестовые периоды, содержанием в ней сора, планктона и другой взвеси, потребностью организации селективного водозабора.

9.3.5 В тех случаях, когда в районе намечаемого места расположения водозаборного сооружения прогнозируется переработка берегов и прибрежных склонов, вдольбереговая миграция наносов и значительные скорости вдольбереговых и градиентных течений в прибрежной зоне, в проект волнозащитных сооружений и их компоновку следует вносить дополнительные конструктивные элементы (шпоры, буны и др.), позволяющие отклонять поток наносов и течения прибойных зон от места водозабора.

Во всех случаях их можно использовать на участках прибрежных склонов с резким падением глубин в сторону открытого водоема.



- 1 — ограждающие дамбы (шпоры); 2 — водоприемник; 3 — водоприемные окна;
 4 — волногаситель; 5 — прибрежный склон с подводными валами;
 6 — места преобладающего разрушения волн в бытовом режиме; 7 — волнение в канале;
 8 — ложе канала; 9 — двухсекционные отстойники; 10 — перехватывающие траншеи;
 11 — сороочистные и рыбозащитные сооружения

Рисунок 9.2 — Схема компоновки водозаборного сооружения берегового типа

9.4 Водозаборные сооружения с подводным огражденным каналом

9.4.1 В сложных местных условиях (интенсивное переохлаждение воды в прибойных зонах, обрастание элементов забора воды ракушкой, большая удаленность берега от глубин воды, достаточных для размещения водоприемных устройств, и др., а также при потребности забора больших расходов воды) следует использовать подводные каналы, огражденные дамбами и волноломами.

9.4.2 При выборе места расположения и компоновки конструктивных элементов, ограждающих подводный канал, необходимо учитывать следующие специфические особенности:

— дамбы и волнолом, ограждающие канал, перерезают или перехватывают поток наносов и течений прибойных зон;

— течения и поток наносов прибойных зон как правило обходят ограждающие сооружения непосредственно в месте входа воды в огражденный канал;

— широко используемые в практике проектирования и строительства компоновка и конструктивные элементы сооружений, ограждающие подводный канал, не обеспечивают пропуск потока наносов и течений прибойных зон через створ водозаборного сооружения на удалении от входа в него.

Эти особенности являются причиной интенсивной заносимости огражденных каналов, захвата в них воды с повышенным содержанием сора, планктона и др.

9.4.3 Снизить захват в огражденный канал масс воды вдольберегового потока и наносов, поступающих из прибойных зон, можно, используя следующие гидрологические и геоморфологические особенности прибрежных склонов и дополнительные конструктивные элементы ограждающих сооружений:

— на пологих прибрежных склонах с заложением $m \geq 20$, сложенных из несвязных грунтов, наносотранспортирующая способность волнения и течения и интенсивность взмучивания воды не остаются постоянными. Они резко усиливаются в местах разрушения волн и уменьшаются в местах

действия неразбитых волн. Поскольку мутность воды в пределах первой, второй или третьей зоны действия неразбитых или вновь образованных волн практически остается постоянной, то вход в огражденный канал, при незначительном колебании уровня воды в водоеме и мягких климатических условиях, можно располагать в пределах любой из этих зон, обеспечив при этом практически одинаковое качество забираемой воды;

— на пологих прибрежных склонах луч волнения открытого водоема по мере уменьшения глубин воды вследствие рефракции волн разворачивается и на подходе к берегу имеет к нему нормальное или близкое к нормальному направление. В таких случаях, исходя из величин скоростей вдольбереговых течений, вычисляемых по выражениям (6.5) и (6.6), и баланса вдольбереговой миграции наносов, вычисляемых по формулам (6.10) и (6.12), можно определить оптимальную длину ограждающих дамб. Во всех случаях сокращение их длины в допустимых пределах будет способствовать резкому уменьшению перехвата вдольберегового потока наносов и их захвата в огражденный канал, а также деформации прилегающих берегов и прибрежных склонов;

— в местах разрушения волн в придонном слое возбуждаются интенсивные компенсационные течения. Этими течениями полувзвешенные и влекомые наносы перемещаются в сторону открытого водоема. С момента прекращения разрушения и появления вновь образованных волн эти наносы перемещаются в сторону берега. С целью исключения или резкого сокращения попадания полувзвешенных и влекомых наносов в огражденную акваторию вход в канал следует предусматривать непосредственно в месте прекращения разрушения волн;

— в условиях слабого колебания уровня воды в водоеме обеспечить пропуск значительных объемов полувзвешенных и влекомых наносов через створ водозаборного сооружения на некотором удалении от зоны забора воды можно с помощью установки подводного волнолома, который будет способствовать образованию стационарной зоны действия вдольбереговых течений (рисунок 9.3);

— забор воды в огражденный канал рекомендуется осуществлять на участках прибрежных склонов, где имеется резкое падение глубин и незначительная вдольбереговая миграция наносов.

В случаях отсутствия такой возможности водоприемные каналы необходимо оборудовать дополнительными конструктивными элементами ограждающих сооружений, позволяющими отклонять или пропускать поток наносов и течения прибойной зоны на некотором удалении от входа в канал.

9.4.4 Ослабить заносимость огражденного канала и захват в него масс воды, транспортируемых в прибойной зоне, можно с помощью:

— уменьшения глубин воды на входе в огражденный канал или сокращения длины ограждающих сооружений, с учетом требований 9.4.3;

— устройства специальных пассивных конструктивных элементов (изогнутых в плане голов ограждающих дамб, траверс, порогов, волноломов и др.), позволяющих отклонять массы воды прибойных зон от входа в канал.

9.4.5 Размеры огражденного подводящего канала (профиль поперечного сечения, глубина, ширина, длина, высота дамб и др.) определяются:

— расчетным расходом забираемой воды;

— требованиями, предъявляемыми водопотребителями к засоренности воды наносами, водной растительностью и др.;

— изменениями уровней и элементов волн в водоеме;

— ожидаемой интенсивностью заносимости канала;

— намечаемой периодичностью выполнения углубительных работ;

— допустимостью переката волн через гребни ограждающих дамб при максимальных уровнях воды в водоеме;

— возможностью торошения и завала льдом входа в огражденный канал;

— строительными материалами, используемыми для выполнения водозащитных покрытий внешних и внутренних поверхностей ограждающих дамб, и другими факторами.

9.4.6 Прогноз осветления забираемой воды и заносимости канала получают в большинстве случаев по методике, используемой для расчета отстойников.

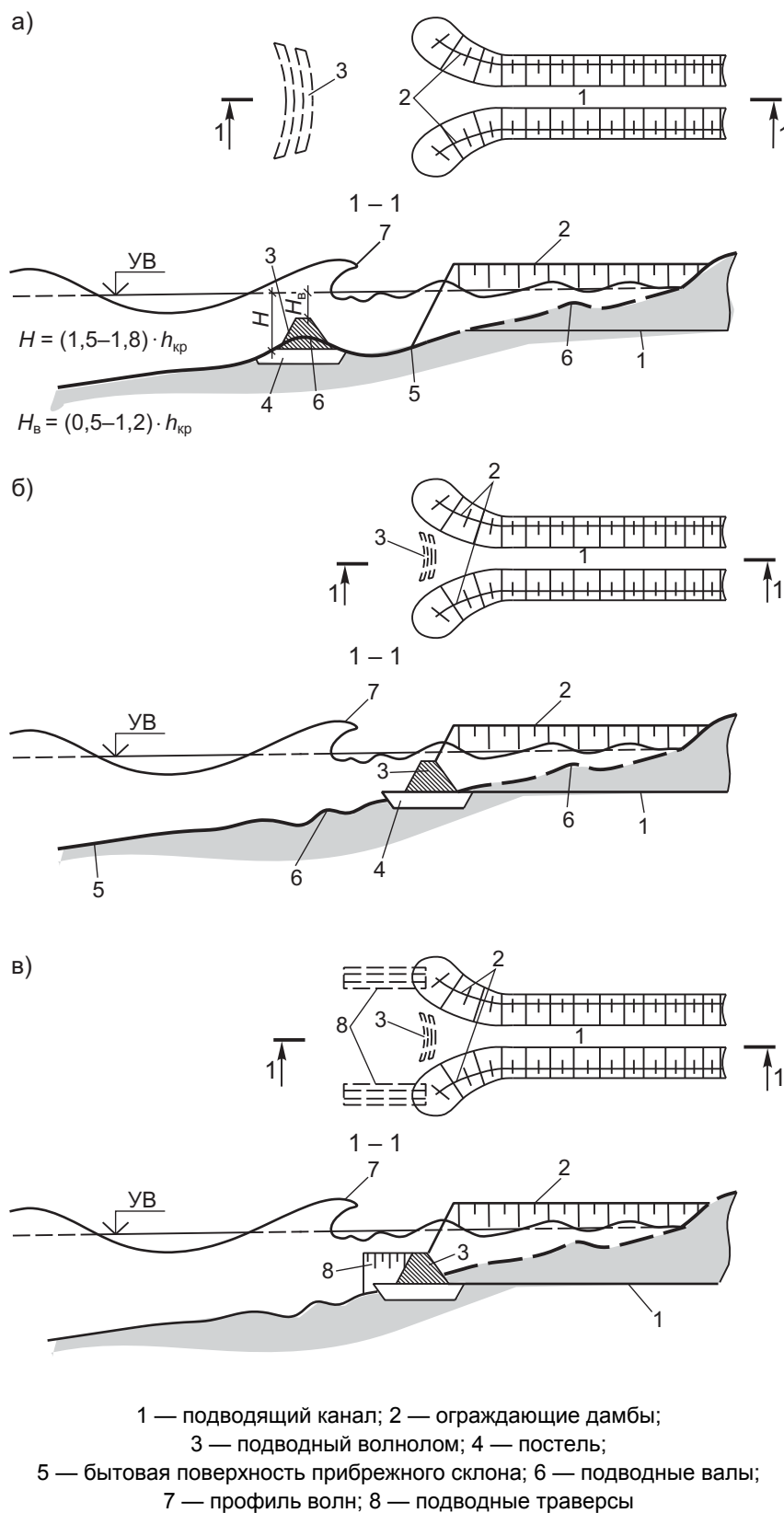


Рисунок 9.3 — Схема водозаборных сооружений с подводящим огражденным каналом и подводным волноломом при расположении подводного волнолома:
 а — на удалении от входа в канал;
 б — на входе в канал;
 в — на входе в канал с подводных траверс и оголовков ограждающих дамб

9.4.7 Среднюю гидравлическую крупность наносов $\bar{\omega}$, м/с, поступающих на входе в подводящий канал, вычисляют по формуле

$$\bar{\omega} = \frac{0,5 \cdot (\omega_n - 2\omega_1)}{\ln \frac{\omega_n}{\omega_1} - 1}, \quad (9.1)$$

где ω_n — гидравлическая крупность наиболее крупных наносов, поступающих в канал во взвешенном состоянии (наибольшая гидравлическая крупность), м/с;

ω_1 — гидравлическая крупность наиболее мелких наносов (наименьшая гидравлическая крупность), м/с.

9.4.8 Для обеспечения удержания во взвешенном состоянии части наносов с наибольшей гидравлической крупностью ω_n , м/с, необходимо, чтобы в потоке была вертикальная составляющая скорости, которую вычисляют по формуле

$$v_b = 0,065 \cdot \frac{n_{\text{ш}}^{0,5} \bar{v}_{\text{пк}}^{0,5} \cdot (\bar{v}_{\text{пк}} - 0,05)}{R^{0,33}}, \quad (9.2)$$

где $\bar{v}_{\text{пк}}$ — средняя скорость транспортируемой массы воды с учетом волнового движения, м/с;

$n_{\text{ш}}$ — коэффициент шероховатости подводящего канала;

R — гидравлический радиус, м.

9.4.9 Критическую мутность или мутность воды, транспортируемой по каналу, заданной или наименьшей гидравлической крупности, при условии, что вертикальная составляющая скорости v_b меньше или равна гидравлической крупности ω_1 , м/с, вычисляют по формуле

$$\rho_{\text{кр}} = 200v_b \cdot \left(\ln \frac{v_b}{\omega_1} - \frac{v_b - \omega_1}{v_b} \right). \quad (9.3)$$

9.4.10 Изменение мутности воды ρ_x , кг/м³, по длине подводящего канала вычисляют по формуле

$$\rho_x = \frac{\rho_0 - \rho_{\text{кр}}}{\frac{vH}{\bar{\omega}} + L_x} \cdot \frac{\bar{v}H}{\bar{\omega}} + \rho_{\text{кр}}, \quad (9.4)$$

где ρ_0 — мутность воды в начале отстойника, кг/м³;

L_x — расстояние от входа в канал до места определения мутности воды, м.

При незначительной взвешивающей способности потока или критической мутности воды, близкой к нулю, изменение мутности ρ_x , кг/м³, вычисляют по формуле

$$\rho_x = \frac{\rho_0}{\frac{vH}{\bar{\omega}} + L_x} \cdot \frac{\bar{v}H}{\bar{\omega}}. \quad (9.5)$$

9.4.11 Длину канала L_k , м, вычисляют по формулам:

— при расчетной или заданной мутности воды ρ_p

$$L_k = \frac{\rho_0 - \rho_p}{\rho_0 - \rho_{\text{кр}}} \cdot \frac{\bar{v}H}{\bar{\omega}}, \quad (9.6)$$

— при незначительной взвешивающей способности потока или критической мутности воды, близкой к нулю,

$$L_k = \frac{\rho_0 - \rho_p}{\rho_0} \cdot \frac{\bar{v}H}{\bar{\omega}}. \quad (9.7)$$

9.5 Водозаборные сооружения островного типа

9.5.1 В условиях интенсивной переработки берегов, вдольбереговой и поперечной миграции наносов, переохладения воды в прибойной зоне в предледоставные периоды целесообразно устраивать водозаборные сооружения островного типа.

9.5.2 Водозаборное сооружение островного типа позволяет:

- исключить нарушение бытового режима течений и миграции наносов на избранном участке водоема;
- обеспечить доступность технического обслуживания водоприемных устройств, повысить категорию водозаборного сооружения;
- повысить качество забираемой воды;
- в зависимости от условий в водоеме изменять глубину забора воды, используя селективный водозабор;
- содержать в работоспособном состоянии резервные водоприемные устройства.

9.5.3 Водозаборное сооружение островного типа должно быть вынесено за пределы возможного разрушения волн при минимальных уровнях воды на участок водоема с незначительной миграцией и аккумуляцией наносов.

9.5.4 К недостаткам водозаборного сооружения островного типа следует отнести:

- тяжелые условия обслуживания в штормовые и предледоставные периоды, что в ряде случаев приводит к длительным периодам отсутствия связи между берегом и водозаборным сооружением;
- ограниченную общую площадь водоприемных окон из-за предъявляемых требований к рыбозащите;
- высокую стоимость строительства в заполненном водохранилище.

9.5.5 Для улучшения условий обслуживания водозаборных сооружений островного типа выбирают пологие участки прибрежной зоны водоема и устраивают эстакады, соединяющие их с берегом.

9.5.6 Исключить или ослабить шуголедовые помехи при водозаборе можно:

- снижением скорости входа воды в водоприемные устройства до 0,05 м/с;
- установкой электрообогрева сороудерживающих или поддерживающих решеток;
- созданием восходящих токов воды с помощью гидравлической или пневматической завесы;
- установкой козырьков над водоприемными устройствами, позволяющих ослабить подсос поверхностных слоев воды и создать более равномерное распределение скоростей;
- переходом на забор воды с глубинных водоприемных окон, расположенных на подветренной стороне водозаборного сооружения, и др.

9.6 Комбинированные водозаборные сооружения

9.6.1 В тяжелых природных условиях целесообразно использовать водозаборные сооружения комбинированного типа.

9.6.2 Используя несколько водоприемников разного типа, размещаемых в различных местных условиях, комбинированное водозаборное сооружение позволяет обеспечить более экономичное проектное решение и повысить степень обеспеченности подачи воды.

9.6.3 Наиболее распространенными являются водозаборные сооружения, имеющие береговой незатопляемый водоприемник или совмещенную насосную станцию и самотечные водоводы с водоприемниками, вынесенными в акваторию водоема.

9.6.4 Выбор места расположения и компоновки каждой группы водоприемников комбинированного водозаборного сооружения должен удовлетворять положениям, изложенным в 9.1.1 – 9.1.8.

9.6.5 Одним из дополнительных требований, предъявляемых к комбинированным водозаборным сооружениям, является необходимость выбора такого участка прибрежной зоны водоема, в пределах которого его водоприемники могли бы быть размещены в существенно отличающихся местных условиях, исключающих возможность одновременного появления той или иной разновидности помех.

9.6.6 Выбор типа и конструктивной схемы водоприемников комбинированного водозаборного сооружения должен определяться одновременно природными и местными условиями выбранных участков водоема.

9.6.7 В тяжелых природных условиях каждая группа водоприемников должна обеспечивать забор из водоема полного расчетного расхода воды водозаборного сооружения.

9.6.8 В состав комбинированного водозаборного сооружения целесообразно включать фильтрующие затопленные водоприемники, а также водоприемники с легкоъемными кассетами из полиэтиленхолста.

9.7 Водозаборные сооружения в условиях стратифицированного водоема

9.7.1 На большинстве водоемов имеет место стратификация масс воды, которая обусловлена перепадом температур по глубине.

9.7.2 Селективный или послойный забор воды позволяет:

— при расположении водоприемных отверстий на глубине обеспечить забор более холодной воды в летнее время и более теплой — в предледоставный и зимний периоды года, а также исключить или резко ослабить захват поверхностных слоев воды с повышенным содержанием планктона;

— при расположении водоприемных отверстий у поверхности воды обеспечить забор преимущественно поверхностных слоев воды в случае повышенной минерализации ее придонных слоев.

9.7.3 Для расчета селективного водозабора необходимы следующие сведения:

— продолжительность существования плотностной стратификации;

— положение границы раздела разноплотностных потоков в районе размещения водозаборного сооружения;

— продолжительность и интенсивность волнения.

9.7.4 Положение поверхности раздела при селективном водозаборе определяется:

— разностью плотностей воды в придонном и поверхностном слоях воды;

— конструктивной схемой водоприемника;

— удельным расходом или скоростью воды на входе в водоприемник;

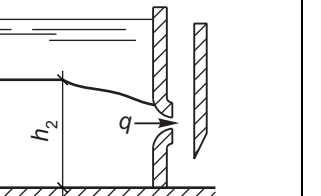
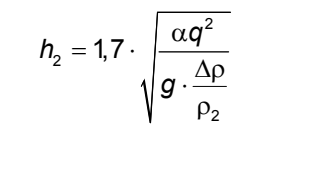
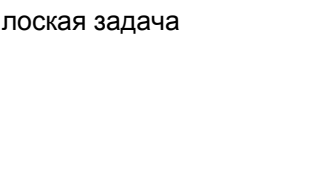
— глубиной воды в водоеме и над входом в водоприемник;

— использованием дополнительных элементов (раструбов, козырьков и зонтиков), устанавливаемых на входе в водоприемник, и др.

9.7.5 В практике используют донный и поверхностный селективный забор воды. Расчетные схемы для определения расстояния от дна водоема до поверхности раздела потоков h_2 при донном заборе воды в стратифицированном водоеме приведены в таблице 9.1.

В таблице 9.2 приведены расчетные схемы для определения расстояния от уровня воды в водоеме до поверхности раздела потоков h_1 при поверхностном заборе воды.

Таблица 9.1

Схемы	Формулы	Область исследования
	$h_2 = 1,7 \cdot \sqrt{\frac{\alpha q^2}{g \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho_2}}}$	Плоская задача
	$\sqrt{\frac{v_{BX}}{g \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho_2} \cdot h_2}} = 2,05 \cdot \left(\frac{h_2}{D} \right)^2$	Пространственная задача
	$\Delta h = 0,84 h_{BX} Fr_{BX}^{0,25}$	Раструб $0,05 \leq Fr \leq 1,50$ $0,4 \leq \frac{\Delta h}{h_{BX}} \leq 0,8$

Окончание таблицы 9.1

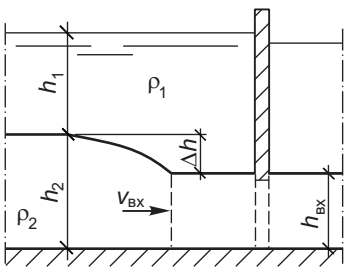
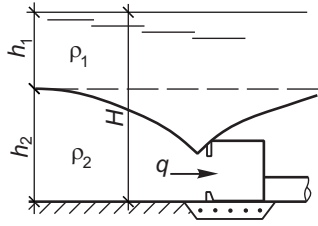
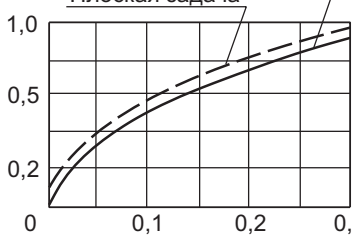
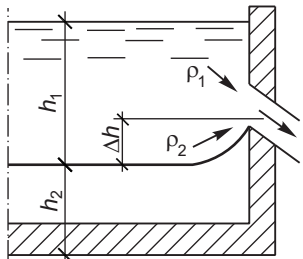
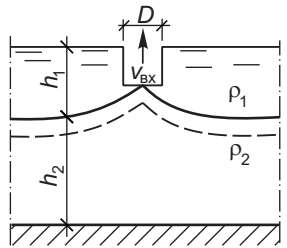
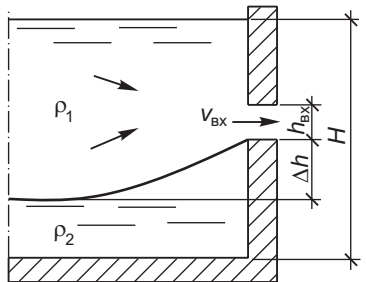
Схемы	Формулы	Область исследования
	$\Delta h = 2h_{\text{BX}} Fr_{\text{BX}}^{0,2}$	Плоская задача $2 \leq Fr \leq 11$ $0,5 \leq \frac{\Delta h}{h_{\text{BX}}} \leq 4,0$
	$\frac{h_1}{H}$ Пространственная задача $\frac{h_1}{H}$ Плоская задача	 $Fr' = \frac{g}{h_2} \cdot \sqrt{\frac{\rho_2 H}{g \Delta \rho}}$ $Fr' = \frac{g}{h_2} \cdot \sqrt{\frac{\rho_2 H}{g \Delta \rho}}$

Таблица 9.2

Схемы	Формулы	Область исследования
	$\frac{\Delta \rho}{\rho_1} \cdot g \cdot \frac{\Delta h^3}{q^2} = 0,438$ $\frac{\Delta \rho}{\rho_1} \cdot g \cdot \frac{\Delta h^5}{Q^2} = 0,154$	Плоская задача Пространственная задача
	$\frac{h_1}{D} = 0,42 \cdot \left(\frac{v_{\text{BX}}}{\sqrt{Dg \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho_1}}} \right)^{0,5}$	Пространственная задача для труб
	$\Delta h = 0,61 \cdot \frac{q^{0,6} v_{\text{BX}}^{0,2} \rho_1^{0,4}}{\Delta \rho^{0,4} g^{0,4}}$	Плоская задача

10 Гидрологические и гидравлические расчеты водозаборных сооружений

10.1 Гидрологические расчеты

10.1.1 Гидрологические характеристики, необходимые для выбора мест размещения водозаборного сооружения, должны основываться на данных гидрологических наблюдений Государственного учреждения «Республиканский гидрометеорологический центр», а также гидрологических изысканий, проведенных на источниках водоснабжения в районе размещения водозаборного сооружения.

10.1.2 Проектирование водозаборных сооружений должно осуществляться на основании следующих гидрологических характеристик водоисточника:

- изменения расхода воды в течение года расчетной обеспеченности (гидрограф реки);
- графика связи расходов и уровней воды (кривая расходов воды $Q = f(H)$);
- уровня и ледового режима реки в створе водозаборного сооружения;
- продолжительности стояния уровней воды;
- максимального и минимального стока реки;
- твердого стока.

Расчеты расхода и уровней воды следует производить в соответствии с ТКП 45-3.04-168 и П1 к СНиП 2.01.14.

10.1.3 Минимальные природоохранные расходы воды в реках, оставляемые в результате намечаемого использования водных ресурсов с учетом водохозяйственных мероприятий, принимают равными не менее 75 % от минимальных среднемесячных расходов воды 95 %-ной обеспеченности, соответственно за летне-осенний и зимний периоды.

10.1.4 Объемы допустимого забора воды из водоемов определяются водным балансом для условий водности маловодных лет 75 %-ной и 95 %-ной обеспеченности.

10.1.5 При отсутствии стокорегулирующих сооружений природоохранные расходы воды для реки, вытекающей из водоема, принимают равными 75 % от минимального месячного стока 95 %-ной обеспеченности.

При наличии стокорегулирующих сооружений, природоохранные попуски принимают в размере гидрографов разной обеспеченности. В год 95 %-ной обеспеченности природоохранные расходы воды не должны быть ниже среднемесячных расходов воды 99 %-ной обеспеченности естественного стока в течение года. В год 75 %-ной обеспеченности природоохранные расходы воды должны быть не менее среднемесячных расходов воды 95 %-ной обеспеченности.

10.1.6 Исключают из источников водоснабжения мелководные водоемы, у которых объем воды на мелководье (с глубиной менее 1 м) составляет более 30 % от полного объема водоема.

10.1.7 Для проточных среднеглубоких и глубоких озер, имеющих повышенные и высокие крутые склоны, дополнительное снижение уровней воды за счет водозабора принимают не более 0,5 м, по сравнению с естественным, а для неглубоких и мелководных озер (при средней глубине от 2 до 5 м) — не более 0,2 м.

10.2 Гидравлические расчеты водозаборных сооружений

10.2.1 Затопленные водоприемники и водоводы

10.2.1.1 Верх водоприемника размещают на отметке не менее чем на 0,2 м ниже минимальной отметки нижней поверхности льда. В случаях размещения водоприемника в пределах судового хода его конструктивную схему согласуют с судовой инспекцией.

10.2.1.2 Конструктивное оформление водоприемников должно отвечать гидравлическим условиям потока. Водоприемник в водоисточнике должен располагаться таким образом, чтобы создавать благоприятные условия для селективного водозабора, защиты водоприемных окон от наносов, шуги, сора и молоди рыб.

10.2.1.3 Гидравлический расчет водоприемников выполняют для определения:

- гидравлических характеристик режима работы;
- размеров водоприемных отверстий, диаметров самотечных или сифонных водоводов и других конструктивных элементов;
- потерь напора в водоприемнике и подводящей системе водоводов;
- наивысшей отметки оси насосов;
- степени неравномерности забора воды.

10.2.1.4 Гидравлические расчеты производят для нормальных и особых условий эксплуатации водозаборных сооружений, в том числе и затопленных водоприемников.

Под нормальными условиями эксплуатации подразумевают одновременную работу всех секций водозаборного сооружения, кроме резервных.

При особых условиях эксплуатации, при минимально возможном уровне воды в источнике, для водозаборных сооружений I категории, когда выключена одна из секций, по другой секции проходит весь расчетный расход забираемой воды, для II и III категорий: 30 % проходит по первой секции и 70 % — по второй.

10.2.1.5 Размеры элементов водозаборного сооружения определяют применительно к нормальным условиям работы, а расчеты потерь давления и отметки оси насосов — применительно к особым условиям.

10.2.1.6 Размеры водоприемных окон или щелей определяют по среднему удельному расходу или скорости втекания воды в водоприемные отверстия (в свету), сороудерживающие решетки, сетки или в поры фильтров, с учетом требований рыбовзащиты.

Допустимые скорости втекания воды в водоприемные окна $v_{\text{окн}}$, м/с, без учета требований рыбовзащиты, принимают для средних и тяжелых условий забора воды соответственно:

- в береговые незатопляемые водоприемники — от 0,6 до 0,2;
- в затопляемые водоприемники — “ 0,3 “ 0,1.

С учетом требований рыбовзащиты в водотоках со скоростью течения более 0,4 м/с допустимую скорость втекания $v_{\text{окн}}$ принимают равной 0,25 м/с, в остальных случаях — 0,1 м/с.

10.2.1.7 Площадь водоприемных отверстий Ω , м², вычисляют при одновременной работе всех секций водозаборного сооружения (кроме резервных) по следующей формуле:

$$\Omega = 1,25 \cdot \frac{Q_{\text{pc}}}{v_{\text{окн}}} \cdot K, \quad (10.1)$$

где Q_{pc} — расчетный расход одной секции, м³/с;

K — коэффициент, учитывающий стеснение отверстий стержнями решеток или сеток;

принимают: для решеток $K = \frac{a+c}{a}$, для сеток $K = \left(\frac{a+c}{a}\right)^2$,

здесь a — расстояние между стержнями в свету, см;

c — толщина стержней, см.

В водоприемниках с фильтрующими кассетами или фильтром площадь водоприемных отверстий Ω , м², вычисляют по формуле (10.1) при $K = 1/n_{\text{ф}}$ (где $n_{\text{ф}}$ — пористость фильтра; для гравийно-щебеночных фильтров принимают в пределах от 0,3 до 0,5, порозластовых — от 0,25 до 0,35, керамзитовых — от 0,30 до 0,45, полиэтиленовых — от 0,4 до 0,5, керамзитобетонных — от 0,2 до 0,4).

10.2.1.8 Водоприемники должны быть защищены от подмыва обтекающим потоком устройством заглубленного основания и при необходимости — креплением ложа водоисточника вокруг них.

Устойчивость ложа рек проверяют по формуле (5.1).

10.2.1.9 Расчет диаметров водоводов D , м, следует производить по значению допустимых скоростей в условиях нормального режима работы водозаборного сооружения по формуле

$$D = \sqrt{\frac{Q_{\text{pc}}}{0,785 v_{\text{доп}}}}, \quad (10.2)$$

где Q_{pc} — расчетный расход одной секции, м³/с;

$v_{\text{доп}}$ — допустимая скорость в трубопроводе, м/с.

Допустимую скорость для самотечных труб принимают в пределах от 0,7 до 1,5 м/с, для всасывающих — от 1,2 до 2,0 м/с.

10.2.1.10 Скорости в самотечных водоводах v , м/с, должны быть проверены по формулам:

— на незаиляемость

$$v \geq v_{\text{кр}} = \sqrt{\frac{K_p \omega D}{0,11 \cdot \left(1 - \frac{\omega}{U^*}\right)^{4,3}}}, \quad (10.3)$$

где $K_p = \sqrt{1 + 3\rho^{2/3}}$ — коэффициент, учитывающий содержание взвеси в потоке;

$$U^* \approx 0,07v;$$

$\bar{\omega}$ — средняя гидравлическая крупность наносов;

— на подвижность захватываемых в трубу влекаемых наносов крупностью $d_{гр}$, мм,

$$v \geq A \cdot \sqrt[4]{Dd_{гр}}, \quad (10.4)$$

где A — параметр; принимают равным 10.

10.2.2 Сифонные водоводы

10.2.2.1 Сифонные водоводы должны быть рассчитаны в следующей последовательности:

— разность уровней воды в водоисточнике и колодце H , м, вычисляют по формуле

$$H = h_g + \sum h_m, \quad (10.5)$$

где h_g — потери давления по длине, м;

$\sum h_m$ — сумма местных потерь, м;

— величину вакуума в водоводе $h_{вак}$, м, вычисляют по формуле

$$h_{вак} = \Delta z + (1 + \xi') \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad (10.6)$$

где Δz — превышение рассматриваемого сечения сифона над уровнем воды в водоисточнике, м;

ξ' — коэффициент сопротивления сифона от входа только до рассматриваемого сечения.

10.2.2.2 Наивысшую допустимую отметку оси насоса $\nabla_{он}$, м, для всех видов водоприемников вычисляют по формуле

$$\nabla_{он} = \nabla_{нуб} + h_{вс} - \sum h_f - h_v, \quad (10.7)$$

где $\nabla_{нуб}$ — отметка наинизшего уровня воды в водоисточнике, м;

$h_{вс}$ — допустимая высота всасывания насосов; определяют по каталогу, м;

$\sum h_f$ — сумма всех потерь давления от входа в водоприемник до насоса, м;

h_v — скоростное давление при входе воды в насос, м.

Потери давления h_f , м, вычисляют по формуле

$$h_f = \frac{\xi v_p^2}{2g}. \quad (10.8)$$

При этом скорости течения v_p определяют по наибольшему расходу в одной из секций водоприемника $Q_p = mQ_v$ (где m принимают в пределах от 0,7 до 1,0) и $v_p = \frac{Q_p}{0,785D^2}$. Коэффициенты местного сопротивления ξ принимают по справочным данным.

10.2.3 Водоприемники с вихревыми камерами

10.2.3.1 Основным элементом для таких водоприемников является вихревая камера с переменным расходом вдоль пути, с переменным или постоянным поперечным сечением и соответственно с постоянной или переменной высотой щели.

10.2.3.2 Расчет основных значений геометрических параметров вихревой конической или цилиндрической камеры следует начинать с определения ее диаметра и длины.

Наибольший диаметр камеры D_{max} , м, вычисляют по формуле

$$D_{max} = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q}{\pi v_{max}}}, \quad (10.9)$$

где v_{max} — максимальная скорость; следует принимать меньше на 10 % – 15 % от расчетной скорости в водоводе, м/с.

Диаметр тупикового торца камеры D_0 , м, следует определять или в зависимости от заданного угла конусности в пределах от 0° до 5° для конических и пирамидальных камер, или из соотношения

$$D_0 \geq 0,6D_{\max}. \quad (10.10)$$

Длину камеры $L_{\text{вк}}$, м, следует принимать исходя из соотношения

$$L_{\text{вк}} \leq 10D_{\max}. \quad (10.11)$$

10.2.3.3 Среднюю скорость во входной щели $v_{\text{щ}}$, м/с, следует вычислять по равенству

$$v_{\text{щ}} = c_{\text{щ}} v_{\max} \approx v_0, \quad (10.12)$$

где $c_{\text{щ}}$ — коэффициент; принимают в пределах от 1,0 до 1,5.

Необходимую площадь щели $F_{\text{щ}}$, м², следует вычислять по равенству

$$F_{\text{щ}} = \bar{h}_{\text{щ}} L = \frac{Q_{\text{в}}}{v_0} = \frac{Q_{\text{в}}}{1,15v_{\max}} \approx \frac{Q_{\text{в}}}{v_{\text{с}}}, \quad (10.13)$$

где v_0 , $v_{\text{с}}$ — скорость в самотечной трубе, м/с.

В пирамидальных, конических и цилиндрических камерах высота щели уменьшается от заглушенного торца в сторону самотечного водовода.

10.2.3.4 В телескопических вихревых камерах величину щели $h_{\text{щ}}$, м, постоянной высоты следует вычислять по равенству

$$h_{\text{щ}} = \frac{F_{\text{щ}}}{L_{\text{вк}}} = \frac{0,785D_{\max}^2}{L_{\text{вк}}}, \quad (10.14)$$

что равнозначно $\bar{v}_{\text{щ}} \approx v_{\max}$.

Диаметр остальных звеньев вихревой камеры вычисляют по формуле

$$D_i = 1,15 \cdot \sqrt{h_{\text{щ}} L_i}, \quad (10.15)$$

где L_i — длина вышележащего участка щели, м.

10.2.3.5 При изложенной схеме расчета основных элементов щелевых вихревых камер потери давления h , м, в них следует вычислять по формуле

$$h = h_{\text{в}} + \frac{\xi_{\text{с}} v_0^2}{2g}, \quad (10.16)$$

где $h_{\text{в}}$ — потери давления при входе потока в зарешеточную камеру, м;

$\xi_{\text{с}}$ — суммарный коэффициент сопротивления щелевых вихревых камер, учитывающий потери давления на вход в вихревую камеру, по ее длине и на вход в самотечный водовод.

При оборудовании водоприемных отверстий сороудерживающими решетками потери давления $h_{\text{в}}$ принимают, как правило, в пределах от 0,03 до 0,05 м.

Для водоприемных отверстий с фильтрующими элементами $h_{\text{в}}$ следует определять по 10.2.5.3.

10.2.3.6 Размеры водоприемных окон $h_{\text{во}}$ и $L_{\text{во}}$ следует вычислять по формуле

$$K = \frac{h_{\text{во}} L_{\text{во}} \mu \cdot \sqrt{2\alpha}}{v_{\max}} - 1, \quad (10.17)$$

где K — коэффициент равномерного распределения расходов потока по длине;

$h_{\text{во}}$ — высота водоприемного отверстия, м;

μ — коэффициент; принимают в пределах от 0,60 до 0,62;

α — коэффициент; принимают равным 1,1.

10.2.4 Щелевые водоприемники

10.2.4.1 Щелевой водоприемник — самотечный, сифонный или всасывающий водовод, на начальном участке которого устраивают щели. Водоприемники обычно имеют круглое или прямоугольное поперечное сечение. Щелевые водоприемники используют, как правило, в водозаборных сооружениях тепловых и атомных электростанций.

10.2.4.2 Используют в большинстве случаев две конструктивные схемы щелевых водоприемников: постоянного сечения с переменной высотой щели по длине и переменного сечения по длине с постоянной высотой щели.

10.2.5 Фильтрующие водоприемники

10.2.5.1 Коэффициент фильтрации K_{ϕ} для фильтров из гравия, гальки или щебня следует вычислять по формуле

$$K_{\phi} = 18e \cdot \sqrt{d}, \quad (10.18)$$

где e — коэффициент пористости; принимают равным:

0,4 — для гравия и гальки;

0,5 — для щебня;

d — диаметр частиц фильтрующего материала, м.

Коэффициент фильтрации K_{ϕ} для фильтров из камня вычисляют по формуле

$$K_{\phi} = Se \cdot \sqrt{d}, \quad (10.19)$$

где S — коэффициент; вычисляют по формуле

$$S = 20 - \frac{14}{\sqrt{d}}. \quad (10.20)$$

Для камня округленной формы принимают $e = 0,4$.

10.2.5.2 Скорость фильтрации воды в фильтре при турбулентном режиме $\bar{v}_{\phi}$ вычисляют по формуле

$$\bar{v}_{\phi} = K_{\phi} \cdot \sqrt{I}, \quad (10.21)$$

где I — пьезометрический уклон.

При ламинарном режиме фильтрации $\bar{v}_{\phi} = K_{\phi} I$.

10.2.5.3 Потери давления в фильтре Δh_{ϕ} следует вычислять по формуле

$$\Delta h_{\phi} = \frac{v_{\phi}^2}{K_{\phi}^2} \cdot \delta, \quad (10.22)$$

где δ — толщина одного слоя фильтра, м.

10.2.5.4 Скорость входа или подхода воды к фильтру $V_{\text{вх}}$ при известной его пористости и заданной или принятой скорости фильтрации вычисляют по формуле

$$V_{\text{вх}} = \frac{v_{\phi}}{n_{\phi}}, \quad (10.23)$$

где n_{ϕ} — пористость фильтра.

11 Защитные устройства водозаборных сооружений

11.1 Общие требования

11.1.1 Опыт эксплуатации водозаборных сооружений свидетельствует, что имеющие место затруднения в их работе связаны с шуголедовыми помехами, завалом водоприемных устройств наносами, захватом в них воды с повышенным содержанием водной растительности, сора и планктона, местным нарушением стратификации воды и др.

11.1.2 При заборе воды из источников, имеющих рыбохозяйственное значение, следует предусматривать рыбозащитные устройства.

Рыбохозяйственное значение водоисточника определяет Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

11.1.3 Водоприемные отверстия должны оборудоваться пазовыми конструкциями, в которые в зависимости от гидрологической и ихтиологической обстановки на водотоке устанавливают: сдерживающие решетки, рыбозащитные кассеты, решетки-реостаты.

Дополнительно для защиты водоприемных отверстий от плавающего сора, шуги, а также для отвода молоди рыб из зоны водозабора перед водоприемником могут устанавливаться запани или устраивать пневмозавесы.

С внутренней стороны водоприемные отверстия следует оборудовать затворами (щитами), позволяющими в любое время полностью или частично перейти на забор воды с одного яруса на другой или на замену фильтрующих кассет.

11.1.4 Для предотвращения заилиения водоприемного колодца взвешенными наносами, поступающими вместе с водой и выпадающими в осадок вследствие резкого уменьшения скорости движения воды, колодец должен быть оборудован устройствами для их удаления — эжекторами, всасывающими водоводами грязевых насосов, приемками, а при больших расходах — взмучивающими водоводами.

11.1.5 Размеры и площадь водоприемных отверстий колодца должны определяться исходя из допустимых скоростей по условиям рыбозащиты, защиты от шуголедовых помех и допустимых сопротивлений.

11.1.6 К мероприятиям, способствующим защите водозаборных сооружений от шуголедовых помех, можно отнести:

- создание благоприятных гидравлических условий при выборе места, типа и конструкции водоприемного сооружения;
- устройство водозаборного сооружения ковшевого типа;
- установку перед зоной водозабора водоприемника плотов, запаней;
- обогрев решеток в окнах водоприемников;
- покрытие стержней решеток криофобным материалом;
- сброс у водоприемника теплой воды в период шуголедовых помех при наличии у водопотребителя сбросных вод требуемого качества;
- пуск острого пара на водозаборных сооружениях атомных или тепловых электростанций;
- очистку решеток в окнах водоприемника (ручная, механическая, обратным током воды);
- устройство перед зоной водозабора пневмозащиты;
- снижение скорости входа в водоприемник до 0,05 м/с.

11.1.7 При отводе воды из водотока в ковш не должны захватываться поверхностные массы шуги. В ковше должны обеспечиваться достаточно благоприятные условия для транзита шуги по руслу с тем, чтобы входная часть ковша не оказалась закупоренной шугозатором.

11.1.8 При выборе места расположения ковша на водотоках следует выбирать плесы малой кривизны с радиусом $r \geq 5B$, а место водозабора — назначать в пределах третьей четверти длины плеса (вниз по течению).

Наиболее надежную защиту водозаборных сооружений от шуголедовых помех достигают в результате применения ковша с низовым входом, частично или полностью выдвинутым в русло реки.

11.1.9 На реках, с ограниченной интенсивностью шуголедовых явлений, русла которых изогнуты или сложены слабыми и мелкозернистыми грунтами, предпочтительней устанавливать ковши, заглубленные в берег, имеющие угол отвода около 135° .

11.1.10 В целях уменьшения заносимости ковша крупными взвешенными наносами следует применять верховые, затопляемые в паводок шпоры, располагаемые у оголовков речных дамб.

Шпоры отбрасывают от входа в ковш придонные массы речного потока, влекущие и донные наносы и наиболее крупные фракции взвешенных наносов. Возникающая за шпорой акватория меженного входного водоворота, в которой задерживаются взвешенные наносы и др., в половодье промывается самим потоком.

11.1.11 Опыт эксплуатации водозаборных сооружений на водоемах показывает, что перебои в заборе воды могут быть вызваны преимущественно шуголедовыми помехами. Значительно реже они происходят вследствие завала водоприемных устройств продуктами переработки берегов, захвата воды с повышенным содержанием планктона, сора, водной растительности и деформации конструктивных элементов.

11.1.12 В большинстве случаев перебои в заборе воды вследствие шуголедовых помех бывают на водозаборных сооружениях, элементы которых оказывались в зонах действия вдольбереговых, градиентных, инерционных или плотностных течений, выходящих из прибойных зон.

Реже перебои наблюдаются вследствие чрезмерно больших скоростей входа и незначительных глубин воды над водоприемником, вследствие захвата в них переохлажденных поверхностных слоев воды или ее полного переохлаждения в водоеме в предледоставные периоды.

11.1.13 Выбор мероприятий, обеспечивающих исключение шуголедовых помех, в каждом конкретном случае определяется факторами, способствующими их появлению.

11.1.14 В зависимости от выявленных факторов, местных условий водоема и типа водоприемника шуголедовые помехи, вызванные попаданием переохлажденных масс воды из прибойных зон к месту водозабора, можно устранить или ослабить с помощью следующих мероприятий:

- переносом водоприемных устройств за пределы зоны действия сосредоточенных течений, выходящих из прибойных зон;
- установкой дополнительных конструктивных элементов — бун, шпор, растекателей и т. д., позволяющих отклонить упомянутые течения от места расположения водоприемных устройств;
- электрообогревом входных решеток и водоприемника;
- сбросом теплой воды в зону водозабора.

11.1.15 Шуголедовые помехи, появление которых связано с захватом переохлажденных поверхностных слоев воды, в зависимости от конструктивных элементов водоприемника и местных условий водоема могут быть ослаблены или устранены:

- резким снижением скоростей входа потока в водоприемник;
- переносом водоприемника на более значительные глубины;
- изменением конструктивных элементов водоприемника, позволяющих уменьшить скорость входа потока в сороудерживающие решетки, а иногда и перевести прием воды с верхнего на боковой с помощью установки зонтика;
- установкой над входом в водоприемник козырька, позволяющего снизить подсос поверхностных слоев воды;
- подводом к водоприемнику сжатого воздуха, позволяющего возбудить местную циркуляцию, способствующую притоку более теплых придонных слоев воды;
- обогревом сороудерживающих решеток и водоприемника с помощью электричества или теплой водой.

11.1.16 Перебои в заборе воды, являющиеся следствием переохлаждения воды на всю ее глубину, в зависимости от конструктивных элементов водоприемника и местных условий водоема могут быть ослаблены или устранены с помощью:

- устройства резервного водоприемника на участке водохранилища с более ранним ледоставом;
- устройства дополнительных инженерных конструкций (ограждающих дамб, запаней, плавучих волноломов и др.), позволяющих организовать более ранний ледостав в месте расположения водоприемника;
- устройства фильтрующего водоприемника со скоростями входа воды $v_{вх} \leq 0,001$ м/с;
- обогрева сороудерживающих решеток и водоприемника теплой водой или электричеством.

11.1.17 На водозаборных сооружениях, водоприемники которых удалены от берега, импульсная промывка с последующим обратным током воды является одним из наиболее надежных профилактических мероприятий, обеспечивающих освобождение водоводов, водоприемника и сороудерживающих решеток от шугольда и сора. Для более эффективного ее использования необходимо предусматривать:

- устройство резервных емкостей воды для сочетания импульсной промывки с обратным током воды;
- установку на коммуникациях быстродействующих затворов или задвижек;
- подключение самотечных или сифонных водоводов к напорным водоводам;
- использование водоприемников таких типов, которые обеспечивают равномерное распределение скоростей обратного тока воды по всей площади водоприемных окон, или фильтрующих элементов.

Во всех случаях эффективность промывки значительно увеличивается при наличии волнения.

11.1.18 На водозаборных сооружениях сжатый воздух может использоваться для:

- создания перед входом в водоприемник водовоздушной завесы, способствующей притоку к нему более теплых придонных слоев воды;
- отгона от водоприемника водной растительности, сора и шугольда;
- ослабления заносимости водоема в месте расположения водоприемных устройств.

11.1.19 Заносимость водоприемных устройств продуктами переработки берегов, захват в них воды с повышенным содержанием отмершей водной растительности, планктона, сора и др., как правило, обычно наблюдается в тех случаях, когда к месту водозабора проникают сосредоточенные течения, выходящие из прибойных зон.

В зависимости от местных условий водоема и конструктивных элементов водоприемных устройств перечисленные неполадки можно ослабить или устранить с помощью:

- переноса водоприемника за пределы зоны действия сосредоточенных течений;
- дополнительных инженерных сооружений — бун, шпор, растекателей и др., позволяющих отклонить приведенные ранее течения от места расположения водоприемных устройств;
- установки гидравлических наносозащитных устройств;
- пропуска сосредоточенных течений и потока наносов через створ водозаборного сооружения посредством изменения компоновки берегозащитных сооружений, устройства подводного или гидравлического волнолома, выравнивания примыкающего прибрежного склона и др.

11.1.20 В случаях, когда данные мероприятия по тем или иным причинам трудоемки или признаются недостаточными, может оказаться целесообразным устройство дополнительного или резервного водоприемника.

Действующие и резервные водоприемники должны находиться в существенно отличающихся местных условиях.

11.1.21 Периодическое хлорирование отбираемой воды, скорость в водоводах более 2 м/с, пропаривание и длительное отключение резервных самотечных или сифонных водоводов являются в настоящее время наиболее надежными средствами предотвращения интенсивного обрастания водоводов ракушкой.

11.2 Сороудерживающие устройства

11.2.1 Для предварительной грубой механической очистки воды от относительно крупного сора водоприемные отверстия следует оборудовать решетками.

Металлическая рама решетки, сваренной из угловой стали или швеллера с металлическими стержнями из полосовой или круглой стали приведена на рисунке 11.1. При предварительных проектных проработках рекомендуется принимать размеры сороудерживающих решеток в зависимости от размеров водоприемных отверстий согласно таблице 11.1.

Таблица 11.1

Размеры в миллиметрах

Размер								Масса решетки, кг
водоприемного окна	решетки							
	H	H_1	H_2	h	h_1	L	L_1	
400×600	840	700	600	50	40	500	400	20
600×800	1040	900	800	50	40	700	600	33
800×1000	1255	1130	1000	65	50	930	800	52
1000×1200	1620	1320	1200	80	50	1100	1080	90
1200×1400	1820	1520	1400	80	50	1300	1280	120
1260×2000	2600	2200	1986	120	60	1424	1404	253
1250×2500	3100	2700	2486	120	60	1424	1404	300

Расстояние между стержнями при ручной очистке решеток следует принимать равным:

$0,03D$ (но не менее 20 мм) — для центробежных насосов;

$0,05D$ (но не менее 35 мм) — для осевых насосов, где D — диаметр рабочего колеса насоса.

При машинной очистке расстояние между стержнями может быть увеличено до 7 см.

11.2.2 В зависимости от схемы водоприемника и условий эксплуатации сороудерживающие решетки можно устанавливать вертикально или наклонно.

В зависимости от характера засорения решетки (попадания на нее бревен, топляков, торфа, сучьев, водорослей и т. п.) применяют различные очистные механизмы и устройства: грейферы, механические ковши, свободные и направляемые грабли, специальные тралы, которыми можно перемещать сор вдоль забральной стенки водоприемника. Оборудование для очистки решеток, как правило, прикрепляют к тросам кранов, обслуживающих водоприемник станции, или устанавливают на специальных (решеткоочистительных) машинах, передвигающихся вдоль фронта решеток.

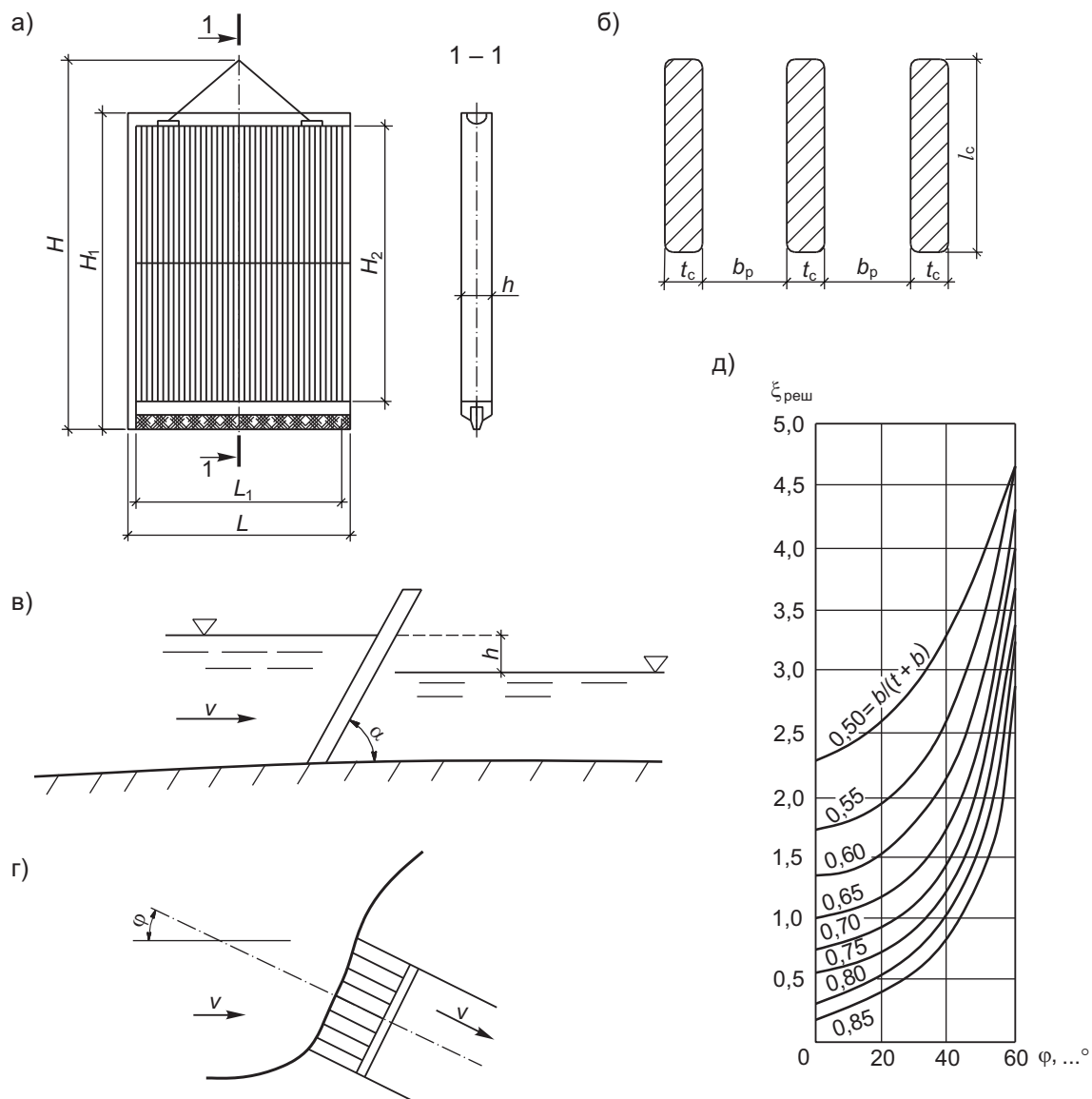


Рисунок 11.1 — Сороудерживающая решетка и схема установки устройства в потоке:

- а — сороудерживающая решетка;
 б — сечение и размеры стержней решетки;
 в — расположение решетки с наклоном;
 г — косое расположение решетки;
 д — график зависимости $\xi_{\text{реш}} = f(\varphi)$

11.2.3 Потери давления в решетках $h_{\text{реш}}$ вычисляют по формуле

$$h_{\text{реш}} = \xi_{\text{реш}} \cdot \frac{\bar{v}_p^2}{2g}, \quad (11.1)$$

где $\bar{v}_p$ — средняя скорость воды перед решеткой, м/с;

$\xi_{\text{реш}}$ — коэффициент сопротивления в решетках вычисляют по формуле

$$\xi_{\text{реш}} = K \cdot \left(\frac{t_c}{t_c + b_p} \right)^{1.6} \cdot \left(2,3 \cdot \frac{l_c}{b_p} + 8 + 2,4 \cdot \frac{b_p}{l_c} \right) \cdot \sin \alpha, \quad (11.2)$$

здесь K — коэффициент; принимают равным для стержней:

- | | |
|---|----------|
| прямоугольного сечения | — 0,504; |
| то же с закругленными входными кромками | — 0,318; |
| клинообразного сечения с закругленными кромками | — 0,182; |

t_c и l_c — соответственно толщина и ширина стержней, мм (см. рисунок 11.1б));
 b_p — величина просвета между стержнями, мм;
 α — угол наклона решетки к горизонту, ...°, (см. рисунок 11.1в)).

Для решетки со стержнями круглого сечения коэффициент сопротивления $\xi_{\text{реш}}$ вычисляют по формуле

$$\xi_{\text{реш}} = 1,79 \cdot \left(\frac{d_c}{b_p} \right)^{1/3} \cdot \sin \alpha. \quad (11.3)$$

При наклонном расположении решетки (см. рисунок 11.1г)) коэффициент сопротивления $\xi_{\text{реш}}$ для стержней прямоугольного сечения 10×70 мм в зависимости от величины угла набегающего потока на решетку φ определяют по графику рисунка 11.1д).

11.2.4 Для борьбы с обмерзанием решеток применяют покрытие стержней решеток гидрофобными материалами (каучуком, эбонитом, резиной, деревом) или изготавливают их из этих материалов.

Для борьбы с обмерзанием решеток применяют обогрев ее элементов.

Обогрев решеток в окнах водоприемника является эффективной мерой, предотвращающей кристаллизацию переохлажденной воды на стержнях решеток, а также прилипание к ним внутриводного льда. Поэтому обогрев должен осуществляться заблаговременно, до начала переохлаждения воды.

Обогрев не может предохранять решетку от механической забивки комьями шуги и поверхностным льдом.

Для исключения образования на стержнях решеток поверхностного льда надо погрузить решетку в воду или утеплить выступающую из воды часть решетки таким образом, чтобы ее температура была не ниже 0 °С.

Для исключения кристаллизации переохлажденной воды на стержнях решеток необходимо, чтобы все части поверхности решетки, которые подлежат защите от обмерзания, имели температуру более высокую, чем температура кристаллизации воды.

Температуру поверхности стержней решетки t_p , °С, вычисляют по формуле

$$t_p = t_b + \frac{P}{\alpha'}, \quad (11.4)$$

где t_p , t_b — соответственно температура поверхности стержней решетки и воды, °С;

P — мощность тока, подводимого к стержням решетки, кВт/м²;

α' — коэффициент теплоотдачи от стержня к воде.

Расчетные значения коэффициента α' вычисляют по формулам:

а) для стержней круглого сечения, с учетом физических параметров воды при температуре 0 °С

$$\alpha' = \frac{1000v_p^{0.6}}{d_c^{0.4}}, \quad (11.5)$$

где v_p — скорость воды в решетке, м/с;

d_c — диаметр стержней решетки, м.

Наличие шуги повышает значение коэффициента теплоотдачи примерно на 10 %; вычисляют по формуле

$$a'_ш = \frac{1000v_p^{0.6}}{d_c^{0.4}}; \quad (11.6)$$

б) для стержней прямоугольного сечения при температуре 0 °С

$$\alpha' = \frac{2200v_p^{0.8}}{b_0^{0.2}}, \quad (11.7)$$

где b_0 — длина пути обтекания стержня (половина длины периметра), м.

С учетом влияния шуги в потоке формула (11.7) принимает вид

$$\alpha'_{ш} = \frac{2420v_p^{0,8}}{b_0^{0,2}}. \quad (11.8)$$

При обогреве решеток электрический ток пропускают непосредственно по стержням или, если последние являются полыми трубками, обогрев их производят, закладывая внутрь каждого стержня электрическую грелку или пропуская по трубкам нагретый теплоноситель (воду, трансформаторное масло и др.).

При равномерном обогреве в расчет принимают максимальное местное (локальное) значение коэффициента теплоотдачи. При стержнях круглого или прямоугольного сечения с полукруглым оголовком расчетное значение мощности определяют по формуле (11.9) с учетом вспомогательных графиков, приведенных на рисунке 11.2. Мощность тока P , кВт/м², подводимого к стержням решетки, вычисляют по формуле

$$P = \frac{0,2v_p^{0,6} \cdot (t_p - t_b)}{d_c^{0,4}}. \quad (11.9)$$

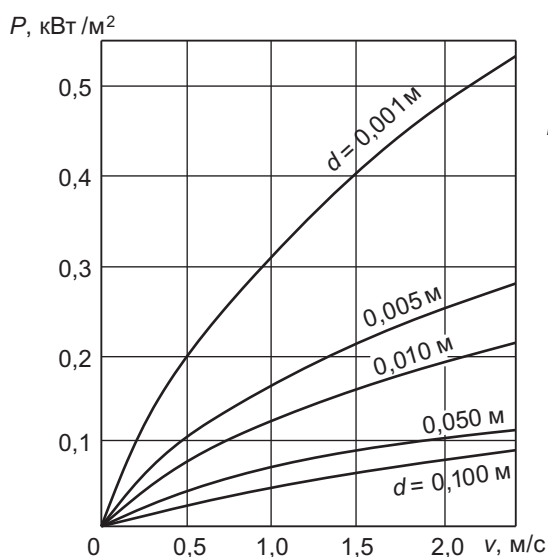
Мощность обогрева стержней прямоугольного сечения вычисляют по формуле

$$P = 7,7v_p^{0,8} \cdot (t_p - t_b). \quad (11.10)$$

При отсутствии точных данных о переохлаждении воды температуру воды t_b можно принимать в пределах от минус 0,04 °С до минус 0,05 °С — на водотоках с большими глубинами и малыми скоростями и от минус 0,06 °С до минус 0,08 °С — на водотоках с малыми глубинами и большими скоростями течения.

Даже при равномерном способе обогрева поверхность стержней оказывается нагретой неравномерно. Если мощность выбрана исходя из среднего значения коэффициента теплоотдачи, то часть поверхности стержня, на которой фактический коэффициент теплоотдачи α_x больше среднего значения, остается недогретой, а остальная часть стержня, наоборот, перегрета.

а)



б)

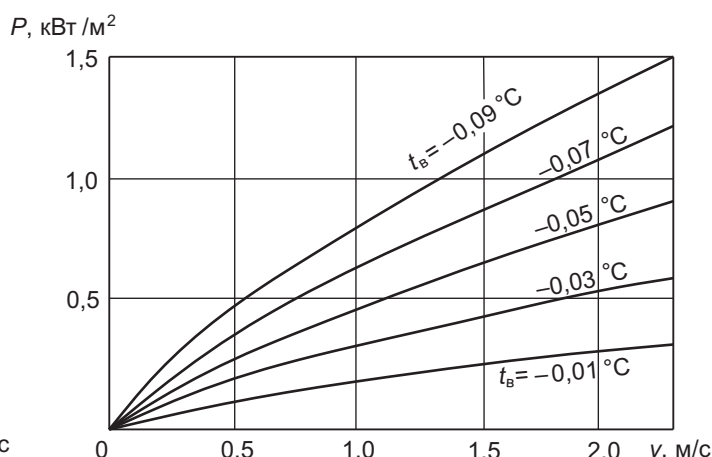


Рисунок 11.2 — График для определения необходимой мощности обогрева стержней:

а — круглого сечения при $t_p - t_b = 0,01$ °С;

б — прямоугольного сечения

Одним из возможных способов обеспечения равномерного обогрева стержней решетки является покрытие их теплоизоляцией разной толщины, при которой $\delta_x \alpha_x = \text{const}$. Теплоизоляционным покрытием могут быть: резина, смеси битума с парафином и канифоли с битумом.

Применение покрытий исключает потери энергии, возникающие от утечек тока через воду, и уменьшает опасность коротких замыканий. При обогреве решеток источником тепла, помещенным внутри полого стержня (горячей водой, паром, электрической грелкой), методы выравнивания температуры могут быть иными. Можно расположить электронагреватели внутри стержня эксцентрично, ближе к передней кромке стержня, или покрыть теплоизоляцией разной толщины внутреннюю сторону полого стержня.

Мощность обогрева, предохраняющего от обмерзания решетку с не полностью погруженными в воду стержнями, достигнет достаточного уровня, если все выступающие из воды части решетки будут нагреты до 0 °С.

Для этого должно быть соблюдено условие

$$P_z \geq \alpha_1 \cdot (-t), \quad (11.11)$$

где P_z — мощность обогрева 1 м² поверхности стержня, кВт/м²;

α_1 — коэффициент теплоотдачи от стержня к воздуху;

t — температура воздуха, °С.

Для стержней коэффициент теплоотдачи от стержня к воздуху α_1 вычисляют по формулам:
— круглого сечения

$$\alpha_1 = 3,7 \cdot \frac{v_\omega^{0,6}}{d_c^{0,4}}, \quad (11.12)$$

где v_ω — скорость ветра, м/с;

— прямоугольного сечения

$$\alpha_1 = 7,1 \cdot \frac{v_\omega^{0,8}}{p}, \quad (11.13)$$

где p — длина периметра поперечного сечения, мм.

Для борьбы с образованием льда на решетках может быть использован сброс теплой воды. Расход теплой воды, сбрасываемой в реку выше по течению Q_T , м³/с, вычисляют по формуле

$$Q_T = \frac{Q \cdot (t + \beta \alpha K_{пл} - t_1)}{(t_\eta + \beta \alpha K_{пл} - t_1) \cdot \eta}, \quad (11.14)$$

где Q — расход воды, поступающей в водоприемник, м³/с;

t — температура воды, поступающей в водоприемник; принимают равной 1 °С;

β — коэффициент, учитывающий содержание шуги в речной воде; принимают в пределах от 0,1 до 0,4 в зависимости от балльности шугохода;

α — коэффициент, учитывающий полноту плавления шуги при сосредоточенном сбросе теплой воды; принимают в пределах от 0,75 до 0,80; при подводе теплой воды к решеткам и равномерном распределении ее по поверхности стержней $\alpha = 0,90$;

$K_{пл}$ — скрытая теплота плавления льда;

t_1 — температура речной воды; принимают равной в периоды шугохода минус 0,05 °С;

t_η — температура теплой воды, сбрасываемой выше водоприемника, °С;

η — коэффициент, зависящий от условий смешения воды; для рек в зависимости от полноты смешения принимают в пределах от 0,4 до 0,6.

11.2.5 В ряде случаев, по возможности, воду для предупреждения обмерзания решеток можно подогревать паром. Расход пара G , кг/ч, определяют по формуле

$$G = 1,5 Q_B t_3, \quad (11.15)$$

где Q_B — расчетный расход водозабора, м³/ч;

t_3 — температура подогрева воды; как правило, принимают в пределах от 0,015 °С до 0,040 °С.

11.2.6 Для защиты водоприемника от механической забивки ледошуговыми образованиями при достаточном обосновании возможно применение пневмозащиты. Расчет параметров пневмозащиты следует вести в следующей последовательности.

Для работоспособности пневмоустановки необходимо, чтобы в активной зоне действия водовоздушного восходящего потока вертикальные составляющие превышали их горизонтальные составляющие в K_u раз, т. е. должно выполняться следующее условие:

$$u_{TB} \geq K_u u_{TH}, \quad (11.16)$$

где u_{TB} и u_{TH} — соответственно вертикальная и горизонтальная составляющая абсолютных скоростей v_T (см. рисунок 11.3);

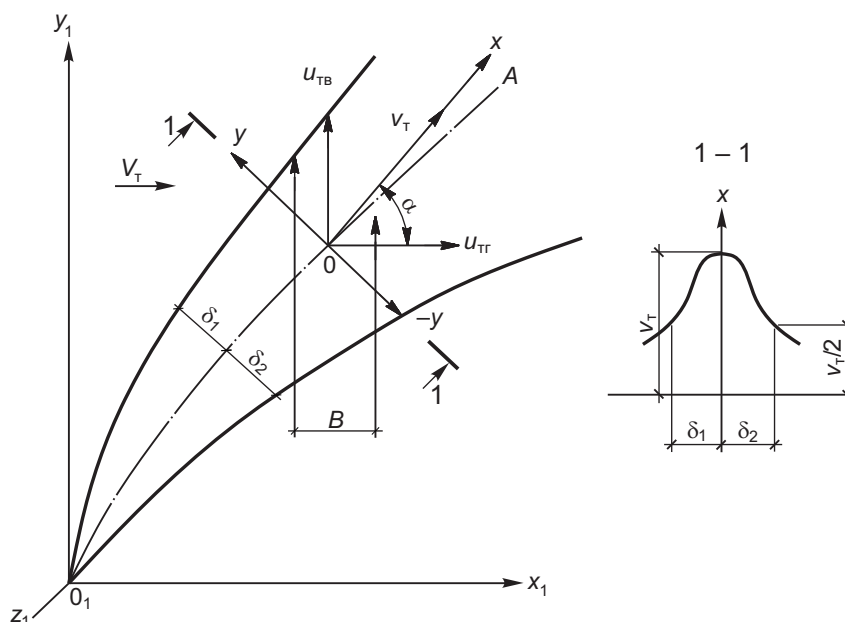
K_u — опытный коэффициент; зависит от скорости и ледонасыщенности реки.

Длина активной зоны равна протяженности укладываемых труб, ширина B — сумме проекций полутолщин внешней и внутренней сторон струи на ось x , взятых по половине максимальной вертикальной составляющей скорости на траектории струи:

$$B = (\delta_{B1} + \delta_{B2}) \cdot \sin \alpha, \quad (11.17)$$

где δ_{B1} , δ_{B2} — полутолщины соответственно внешней и внутренней сторон струи, взятые по половине максимальной вертикальной составляющей скорости на траектории струи.

Натурные исследования, проведенные при применении пневмозащиты, используемой в качестве шугозащитного мероприятия, показали, что для максимальных скоростей течения реки v в пределах от 0,50 до 0,55 м/с коэффициент K_u допускается принимать равным 1,5.



O_1 — точка истечения воздуха в речной поток;
 α — угол наклона траектории струи к горизонтальной плоскости;
 x_1, y_1, z_1 — текущие координаты; $x, 0, y$ — дополнительные координаты;
 Ox — касательные к траектории; OA — траектория струи

Рисунок 11.3 — Схема воздушной струи в сносящем речном потоке

Профили абсолютных скоростей в безразмерных координатах строят по зависимости

$$\frac{v - v_{\delta}}{v_T - v_{\delta}} = \frac{y}{y_c}, \quad (11.18)$$

где v — значение абсолютной скорости в рассматриваемой точке, м:

$v_{\delta} = v_T \cos \alpha$ — для внешней стороны струи, м/с;

$v_{\delta} = 0$ — для внутренней стороны струи, м/с;

v_T — максимальная скорость в рассматриваемом сечении на траектории струи, м/с;

y — координата рассматриваемой точки, м;

y_c — расстояние от оси струи до точки с абсолютной скоростью, м:

$$y_c = f\left(\frac{V_T V_\delta}{2}\right) \quad \text{— для внешней стороны струи;}$$

$$y_c = f\left(\frac{V_T}{2}\right) \quad \text{— для внутренней стороны струи;}$$

V_T — скорость речного потока, м/с.

Максимальную вертикальную составляющую скорости на траектории водовоздушной струи $u_{\max B}$, м/с, определяют по зависимости

$$u_{\max B} = K \cdot \sqrt[3]{\frac{g q_0 u_{TB}}{V_{\max}}}, \quad (11.19)$$

где q_0 — расход воздуха на 1 м перфорированного трубопровода, отнесенный к нормальному давлению;

u_{TB} — вертикальная составляющая скорости на оси струи при условии, что скорости в реке отсутствуют;

K — опытный коэффициент; принимают $K = 0,75$ для q_0 в пределах от 0,008 до 0,026 и $u_{\max} \leq 0,55$ м/с.

Вертикальную составляющую скорости на оси водовоздушной струи u_{TB} , м/с, вычисляют по формуле

$$u_{TB} = 1,92 \cdot \sqrt[3]{\frac{q_0 g}{\rho_B H_0} \cdot (P_0 + \rho_B H_0) \cdot \ln \frac{P_0 + \rho_B H_0}{P_0 + 0,22 \rho_B H_0}}, \quad (11.20)$$

где H_0 — глубина погружения перфорированных труб, м;

ρ_B — плотность воды, кг/м³;

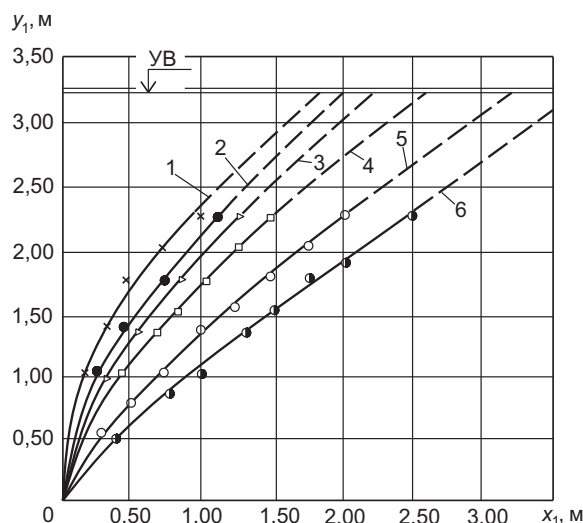
P_0 — абсолютное давление.

Горизонтальную составляющую скорости на траектории струи u_{TT} , м/с, вычисляют по формуле

$$u_{TT} = \frac{u_{TB}}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (11.21)$$

Для создания потока с равномерно распределенными вертикальными составляющими скоростей в активной зоне действия восходящего потока расстояние между отверстиями перфорации соседних труб не должно превышать величину l . Угол наклона траектории струи к горизонтальной плоскости α следует брать в сечении струи, где восходящий поток переходит в плановый растекания.

Координаты траектории струи можно определять и по графику рисунка 11.4.



1 — $q_0 = 0,0256$; 2 — $q_0 = 0,0233$; 3 — $q_0 = 0,0216$; 4 — $q_0 = 0,0198$; 5 — $q_0 = 0,0120$; 6 — $q_0 = 0,00835$

Рисунок 11.4 — Траектории водовоздушных струй

Этим графиком допускается пользоваться до глубины погружения перфорированных труб $H = 5$ м. Ширину активной зоны следует вычислять при $L = H_0/6$ по формулам:

$$\delta_2 = 1,1L, \quad L = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}; \quad (11.22)$$

$$\delta_1^B = 0,7\delta_2, \quad \delta_2^B = \delta_2, \quad (11.23)$$

где L — расстояние от точки истечения до рассматриваемого сечения;

x_1, y_1 — координаты плоскости $x_1, 0_1, y_1$;

δ_1, δ_2 — полутолщины соответственно внешней и внутренней сторон струи, взятые по половине максимальной абсолютной скорости.

11.3 Рыбозащитные устройства

11.3.1 Рыбозащитные устройства являются частью водозаборных сооружений. Рыбозащита водозаборных сооружений должна рассматриваться по двум направлениям:

— первое направление предполагает выбор правильного месторасположения водозаборных сооружений и их водоприемников и связано с особенностями распределения молоди рыб, ее миграции, сезонным и суточным ритмом попадания в данном конкретном водоеме и водотоке. Определяют район с минимальной концентрацией рыб для устройства водозаборного сооружения;

— второе направление предполагает защиту рыб, попавших в зону действия водозаборных сооружений, и основано на знании приемов управления поведением рыб, их реакцией на отдельные раздражители, которые применяют для отпугивания или изменения направления движения молоди рыб, а также на знании скоростей движения рыб. Сезонный ритм попадания молоди рыб в водозаборные сооружения различен в разных водоемах и водотоках и может меняться по годам. Наиболее резкое увеличение концентрации молоди рыб в районе водозаборного сооружения происходит в результате предшествующего нереста производителей и миграции молоди рыб.

11.3.2 При расположении рыбозащитного устройства следует учитывать следующие особенности:

— при развитии многие виды рыб совершают закономерные перемещения (миграции) из одних мест обитания в другие;

— миграционный цикл рыб обычно состоит из нерестовой и нагульной (кормовой, зимовальной) миграции. Одной из форм кормовой миграции являются покатные миграции или скат молоди рыб. Попадание молоди рыб в водоприемные сооружения — это основное следствие покатных миграций;

— в водотоках с достаточной прозрачностью воды в светлое время суток молодь рыб стремится держаться у берегов, где скорости течения соответствуют их плавательной способности;

— горизонтальное распределение рыб по ширине реки неравномерно, изменчиво и в значительной степени определяется плавательными способностями рыб. Изменение скоростей течения в реке может приводить к смещению миграционных трасс движения рыб;

— перемещение различных рыб происходит в водотоках и водоемах различными путями;

— основная масса молоди рыб скатывается вниз по течению после выклева, но молодь рыб некоторых видов задерживается на некоторое время в реках до июня-июля. Чем выше по реке, тем меньше молоди рыб, меньше ее размеры, короче время пребывания;

— на водоемах молодь рыб концентрируется в прибрежной зоне с глубинами в пределах от 2 до 5 м.

11.3.3 При проектировании водозаборных сооружений нужно использовать три принципа рыбозащиты:

— экологический — использовать закономерности, связанные с образом жизни (распределением, миграциями и особенностями попадания рыб в водозаборное сооружение);

— поведенческий — использовать реакции рыб на те или иные раздражители (свет, звук, электрическое поле и др.);

— физический — использовать ряд физических явлений при условии обеспечения жизнедеятельности рыб (задержание механическими преградами, использование разницы плотности воды и рыб и др.).

11.3.4 По способу задержания рыб рыбозащитные устройства подразделяются на:

— механические заграждения — механические препятствия на пути движения рыб в виде сетчатых полотен, жалюзи, фильтров и т. п.;

— гидравлические заграждения — струенаправляющие устройства, с помощью которых в водотоках создаются гидравлические условия для направления движения рыб (запони и отбойные козырьки);

— «физиологические» заграждения — системы, служащие для задержания рыб посредством образования в воде электрических, световых или звуковых полей, завес из воздушных пузырьков (пневматические заграждения) и т. п.

11.3.5 Применительно к проектированию рыбозащитных устройств, в зависимости от расположения водоприемника относительно берега водотока или водоема, водозаборные сооружения подразделяются на следующие типы:

- I — с далеко выдвинутым от берега водоприемником, доступ к которому затруднен;
- II — со сравнительно недалеко выдвинутым от берега водоприемником, доступ к которому осуществляется по эстакаде;
- III — с расположением оголовков в береге или в теле плотины;
- IV — водозаборные сооружения, перед оголовками которых устроены ковши или подводящие каналы.

11.3.6 Рыбозащитные устройства должны быть установлены или на входе в водоприемные отверстия, ковши и водоподводящие каналы водозаборных сооружений, или расположены в камерах, береговых колодцах, ковшах, подводящих каналах. Задержанная в водозаборном сооружении молодь рыб должна выводиться обратно в водоисточники через специальные рыбоотводы.

11.3.7 Размещение сетчатых рыбозащитных заграждений в водозаборных сооружениях разного типа следует предусматривать в соответствии с таблицей 11.2.

Для водозаборных сооружений типа I следует использовать сетки с размером ячеек 4×4 мм. Для водозаборных сооружений типов II–IV размеры ячеек для плоских сеток следует принимать: 2×2 мм — для защиты молоди рыб с длиной тела $L_{рб} \geq 15$ мм и 4×4 мм — для $L_{рб} > 30$ мм.

Для водозаборных сооружений всех типов на водотоках размеры ячеек для плоских сеток с рыбоотводом и сетчатых барабанов следует принимать: 1×1 мм — для защиты молоди рыб всех размеров, 2×2 мм — для $L_{рб} > 15$ мм и 4×4 мм — для $L_{рб} > 30$ мм.

11.3.8 На водозаборных сооружениях с подводящими каналами и ковшами могут устраиваться специальные оголовки для монтажа сетчатых барабанов.

11.3.9 Допускается эксплуатация водозаборных сооружений с затопленными водоприемными отверстиями без оборудования рыбозащитными устройствами при условии, что скорость течения в водотоке на участке расположения водоприемных отверстий в 4 раза и более превышает величину входных скоростей в водоприемные отверстия.

11.3.10 Отбойные козырьки следует устанавливать в водотоках перед понтоном насосных станций и вертикально расположенными всасывающими трубами при скорости течения воды на входе в водозаборные отверстия не более 0,8 м/с и скорости течения воды на участке расположения струенаправляющих щитов не менее 1,0 м/с.

11.3.11 Запони следует предусматривать в водотоках перед водоприемными отверстиями при скорости течения воды на входе в отверстия не более 0,4 м/с и скорости течения воды в водотоке на участке расположения запони не менее 0,8 м/с.

11.3.12 Электрические заградители следует предусматривать на входе в ковши и подводящие каналы при скорости течения в створе расположения системы электродов не более 0,25 м/с и скорости течения в водотоке на участке, прилегающем к входу в ковши и подводящие каналы, не менее 0,4 м/с.

11.3.13 В отечественной и зарубежной практике наиболее широкое применение получили рыбозащитные устройства, основанные на поведенческом и физическом принципе рыбозащиты — различные сетчатые конструкции и фильтры с различным наполнителем. В качестве отвода молоди рыб от рыбозащитного устройства применяют рыбоотводные гидравлические устройства, специальные рыбонасосы, кольцевые эжекторы, самотечные каналы.

Таблица 11.2 — Расположение сетчатых рыбозащитных заграждений в водозаборных сооружениях разного типа

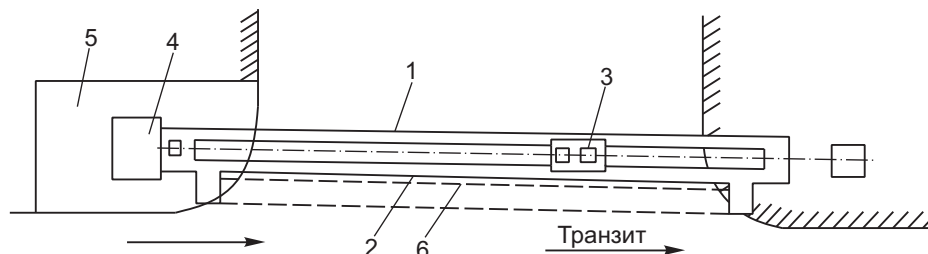
Тип рыбо- защитного устройства	Вид источ- ника	Тип водозаборного сооружения											
		I			II			III			IV		
		Место располо- жения	Скорость течения воды, м/с		Место располо- жения	Скорость течения воды, м/с		Место располо- жения	Скорость течения воды, м/с		Место располо- жения	Скорость течения воды, м/с	
			в ячейке сетки	в водо- токе		в ячейке сетки	в водо- токе		в ячейке сетки	в водо- токе		в ячейке сетки	в водо- токе
Плоские сетки	Водоток	В отверс- тиях водо- приемни- ков	Менее 0,25	Более 0,4	В отверс- тиях водо- приемни- ков	Менее 0,4 при $L_{рб} > 15$	Более 0,4	В отверс- тиях водо- приемни- ков	Менее 0,25 при $L_{рб} \geq 15$	Более 0,4	На входе в ковш или под- водящий канал	Менее 0,25	Более 0,4
	Водоем	То же	Менее 0,1	—	То же	Менее 0,10 при $L_{рб} \geq 15$, менее 0,25 при $L_{рб} \geq 30$	—	То же	Менее 0,10 при $L_{рб} \geq 15$, менее 0,25 при $L_{рб} \geq 30$	—	На входе в подводя- щий канал или в от- верстиях водопри- емников	Менее 0,10 при $L_{рб} \geq 15$, менее 0,25 при $L_{рб} \geq 30$	—
Плоские сет- ки с рыбо- отводами	Водоток	На водо- подводя- щих трак- тах или по- сле водо- приемни- ков	Менее 0,5	—	В берего- вых каме- рах	Менее 0,5	—	В берего- вых каме- рах	Менее 0,5	—	В подво- дящих ка- налах и бе- реговых камерах	Менее 0,5	—
	Водоем	В берего- вых каме- рах	Менее 0,5	—	То же	Менее 0,5	—	То же	Менее 0,5	—	То же	Менее 0,5	—

Окончание таблицы 11.2

Тип рыбо- защитного устройства	Вид источ- ника	Тип водозаборного сооружения											
		I			II			III			IV		
		Место располо- жения	Скорость течения воды, м/с		Место располо- жения	Скорость течения воды, м/с		место располо- жения	Скорость течения воды, м/с		Место располо- жения	Скорость течения воды, м/с	
			в ячейке сетки	в водо- токе		в ячейке сетки	в водо- токе		в ячейке сетки	в водо- токе		в ячейке сетки	в водо- токе
Сетчатые барабаны	Водоток	В отверс- тиях водо- приемни- ков	Менее 0,25 при $L_{рб} \leq 15$, менее 0,40 при $L_{рб} > 15$	Менее 0,4	В отверс- тиях водо- приемни- ков	Менее 0,25 при $L_{рб} \leq 15$, менее 0,40 при $L_{рб} > 15$	—	В отверс- тиях водо- приемни- ков	Менее 0,25 при $L_{рб} \leq 15$, менее 0,40 при $L_{рб} > 15$	—	—	—	—
	Водоем	То же	Менее 0,10 при $L_{рб} \leq 15$, менее 0,25 при $L_{рб} > 15$	—	То же	Менее 0,10 при $L_{рб} \leq 15$, менее 0,25 при $L_{рб} > 15$	—	То же	Менее 0,10 при $L_{рб} \leq 15$, менее 0,25 при $L_{рб} > 15$	—	—	—	—
Примечание — L_p — длина тела молоди рыб, мм.													

11.3.14 Плоские сетки устанавливают в отверстия водоприемников с допустимыми скоростями течения воды сквозь сетку до 0,25 м/с, при скоростях течения в транзитном потоке, обтекающем водоприемник, более 0,2 м/с и длине водоприемного фронта не более 25 м.

Плоские сетки (рисунок 11.5) включают следующие основные элементы: несущую конструкцию, сетчатое полотно, очистное устройство, подъемно-транспортное оборудование.



- 1 — несущая конструкция; 2 — сетчатое полотно;
3 — очистное устройство; 4 — подъемный механизм;
5 — монтажная площадка; 6 — служебный мост

Рисунок 11.5 — Схема расположения конструкции рыбозащитного устройства типа плоской сетки

Несущая конструкция предназначена для размещения всех основных элементов плоской сетки. Монтажная площадка несущей конструкции должна возвышаться не менее чем на 1 м над максимальным уровнем воды.

Сетчатое полотно предназначено для предупреждения попадания рыб, а также мелкого сора в водоприемник, оно набирается из отдельных сеточных рам или сеточных каркасов.

11.3.15 При постоянном водозаборе в течение всего года, включая шуголедовый период, для водозаборных сооружений промышленно-коммунального назначения предпочтительнее устанавливать рыбозащитные устройства объемного фильтрующего типа и легкосъемные щиты с фильтрами из полимерных материалов.

11.3.16 В качестве объемных фильтрующих элементов применяют фильтрующие кассеты и контейнеры различной конструкции, которые можно вставлять в пазовые конструкции водоприемников взамен сороудерживающих решеток. Кассета представляет собой металлический каркас, который заполняют фильтром в насыпном или монолитном пористом виде.

11.3.17 На рисунке 11.6 представлена схема кассеты, заполненная фильтрующим несвязным материалом (полиэтиленовыми или пластмассовыми шариками, керамзитом, гравием, щебнем).

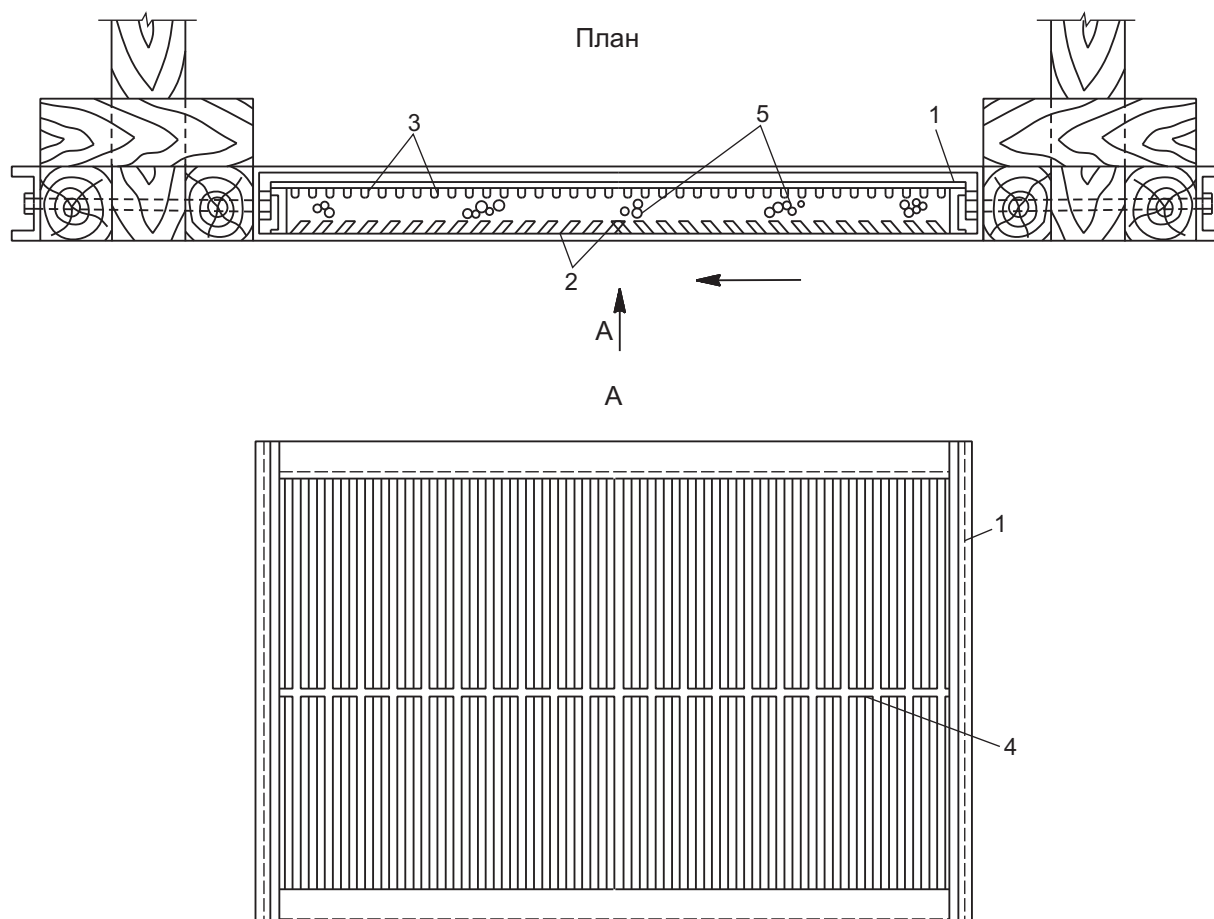
Линейные размеры кассет устанавливают исходя из компоновочных решений и эксплуатационных условий водоприемника, с учетом использования тех или иных подъемных механизмов. Необходимо стремиться к облегчению единичной кассеты (оптимальные линейные размеры кассеты принимают в пределах от 1 до 2 м).

Передние и задние ограничительные ребра должны обладать жесткостью и устанавливаться с шагом, при котором будет обеспечено невыпадение фильтрующего материала. Рекомендуется ребра покрывать гидрофобным материалом.

Толщину кассеты T_n , мм, принимают в соответствии с выражением

$$T_n \geq 3d_{cp}, \quad (11.24)$$

где d_{cp} — средний диаметр фракций наполнителя; принимают не более 25 мм.



1 — металлический каркас; 2 — передние ограничительные ребра;
3 — задние ограничительные стержни; 4 — продольное ребро жесткости;
5 — насыпной наполнитель

Рисунок 11.6 — Плоская кассета с насыпным фильтрующим материалом

11.3.18 Расчет насыпных фильтрующих кассет следует производить в следующем порядке:
— вычислить площадь водоприемного отверстия (брутто) одной секции $F_{бр}$, m^2 , по формуле

$$F_{бр} = k \cdot \frac{Q_p}{v_{\phi}}, \quad (11.25)$$

где k — коэффициент, учитывающий засорение отверстий; принимают равным 1,25;
 v_{ϕ} — скорость втекания воды в водоприемное отверстие, м/с, отнесенная к сечению в свету;
по условиям рыбозащиты при расчетах принимают в пределах от 0,04 до 0,08 м/с;
 Q_p — расчетный расход воды одной секции, m^3/c ;

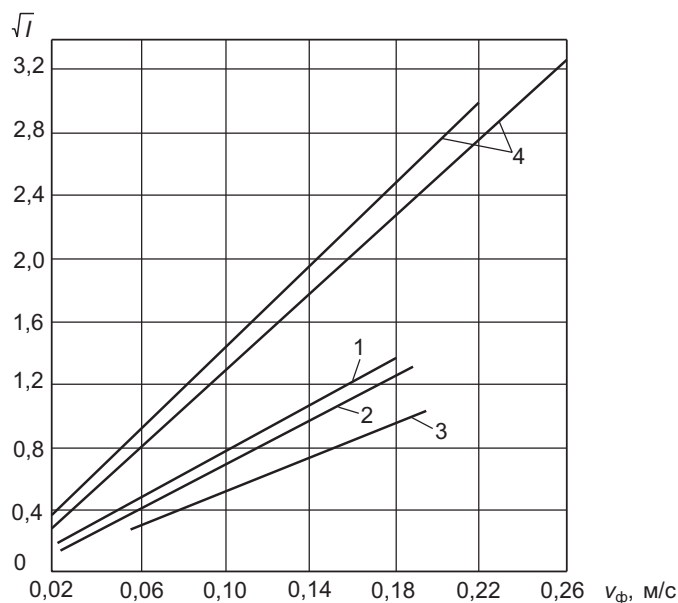
— рассчитать сопротивление фильтра, выраженное перепадом давления Δh , м, исходя из зависимости

$$v_{\phi} = K_{\tau} \cdot \sqrt{I} \quad (11.26)$$

по формуле

$$\Delta h = t_{\phi} \cdot \left(\frac{v_{\phi}}{K_{\tau}} \right)^2, \quad (11.27)$$

где t_{ϕ} — толщина фильтра, м;
 K_{τ} — коэффициент фильтрации для различной загрузки фильтра; определяют приближенно по графику $v_{\phi} = f(\sqrt{I})$ рисунка 11.7.



- 1 — кассета с фильтром из щебня диаметром d от 25 до 50 мм;
 2 — кассета с фильтром из шаров диаметром d , равным 30 мм,
 в двух решетках из стержней размерами 50×5, с просветом 23 мм;
 3 — кассета с фильтром из керамзита диаметром d от 20 до 25 мм;
 4 — кассета с фильтром из керамзитобетона диаметром d от 10 до 20 мм

Рисунок 11.7 — График зависимости $v_{\phi} = f(\sqrt{I})$

11.3.19 Заполнение кассет производится порозластом в виде плит. Пороэластовые фильтрующие плиты изготовляют, согласно техническим условиям, из порозласта — материала, представляющего собой смесь минерального наполнителя с термопластичным полимерным связующим. В качестве наполнителя применяют гравий, керамзит с диаметром фракций от 10 до 12, от 12 до 16, от 16 до 20 мм. В качестве связующего применяют полиэтилен низкой плотности. Содержание полиэтилена должно составлять от 4 % до 5 % по массе. Пороэласт на керамзите имеет плотность от 0,75 до 0,85 т/м³; порозласт на гравии — от 1,5 до 1,7 т/м³.

11.3.20 Пропускная способность 1 м² порозластового фильтра q вычисляют по формуле

$$q = \frac{0,0668 \cdot \sqrt{d_{\text{cp}} H}}{B} \cdot K K_3, \quad (11.28)$$

где 0,0668 — числовой коэффициент, учитывающий влияние пористости;

d_{cp} — средний диаметр фракций наполнителя, м;

H — действующее давление воды, МПа;

B — толщина фильтра, м;

K — коэффициент запаса; принимают в пределах от 0,8 до 0,9;

K_3 — коэффициент засорения; принимают в пределах от 0,3 до 0,5 без учета промывки.

Величину давления на фильтре H' , МПа, проверяют по формуле

$$H' = \frac{Q^2 B}{F^2 K_1^2 K_3^2 K^2}, \quad (11.29)$$

где Q — расход воды через кассету, м³/с;

F — площадь кассеты (нетто), м²;

K_1 — коэффициент турбулентной фильтрации, м/с; принимают при средней пористости 28,5 % (таблица 11.3).

Таблица 11.3

d_{cp} , м	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020
K_T , м/с	0,0298	0,0313	0,0328	0,0340	0,0352	0,0367	0,0379	0,0389	0,0400	0,0412	0,0421

Промежуточные значения коэффициента турбулентной фильтрации K_T , м/с, вычисляют по формуле

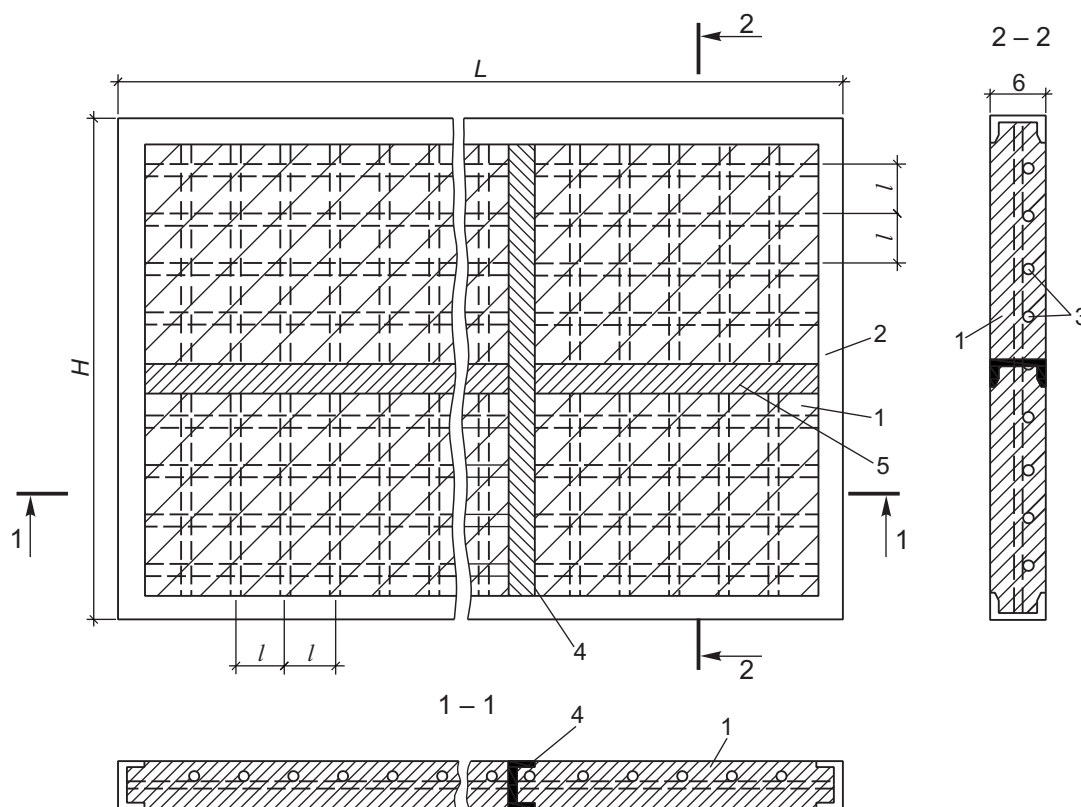
$$K_T = 0,3 \cdot \sqrt{d_{cp}}. \quad (11.30)$$

Формула действительна при $v > 3$ см/с. Необходимо соблюдение условия $H' \approx H$.

11.3.21 Толщина керамзитобетонной кассеты (рисунок 11.8) должна быть не менее трех диаметров крупных фракций керамзита. Керамзитобетонная фильтрующая плита обрамляется по контуру металлической рамой, соответствующей пазовым конструкциям и рассчитанной на прочность.

Армированная сетка может быть одинарной или двойной, с размером ячеек 100×200 мм.

Для увеличения прочностных свойств больших по габаритам кассет рекомендуется предусматривать в них дополнительное включение поперечных и продольных балок.



- 1 — керамзитобетон; 2 — рама кассеты; 3 — арматура;
4 — поперечная балка; 5 — продольная балка

Рисунок 11.8 — Конструктивная схема керамзитобетонной кассеты

Приложение А (рекомендуемое)

Примеры прогноза деформаций русла

Пример 1

Исходные данные:

- однородный песчаный грунт со средней крупностью частиц $d_{50} = 0,00014$ м;
- коэффициент внутреннего трения грунта в воде $f = 0,60$;
- плотность частиц грунта $\rho_s = 2650$ кг/м³;
- пористость грунта $n = 0,39$;
- содержание наносов в потоке в коллоидном состоянии $S < 0,1$ кг/м³;
- глубина потока $H = 1,5$ м;
- средняя скорость потока $v_{cp} = 0,75$ м/с;
- средний уклон потока на участке от восьми до десяти мезоформ $I = 0,0002$;
- глубина в плесе (между грядами) при уровне воды в пойменных бровках $H_{пл} = 2$ м;
- ширина русла по урезу при уровне воды в пойменных бровках $B_{бр} = 30$ м.

Требуется рассчитать значение глубинных деформаций, удельный расход наносов и скорость смещения гряд при:

- ленточно-грядовом типе руслового процесса;
- побочневом типе руслового процесса.

Расчет

1 Определим неразрывающую скорость для дна.

По формуле (5.34) рассчитываем расчетное сцепление грунта:

$$C_p = \frac{0,0032}{\sqrt{d_{50}}} = \frac{0,0032}{\sqrt{0,00014}} = 0,27 \text{ Па.}$$

По формуле (5.33) рассчитываем плотность грунта, взвешенного водой:

$$\rho_1 = (\rho_s - \rho_b) \cdot (1 - n) = (2650 - 1000) \cdot (1,00 - 0,39) = 1006 \text{ кг/м}^3.$$

По формуле (5.32) рассчитываем показатель прочности грунта для дна ($\eta = 1$):

$$P_s = g \rho_1 d_{50} f + C_p = 9,81 \cdot 1006 \cdot 0,0014 \cdot 0,6 + 0,27 = 1,0998 \text{ Па.}$$

Неразрывающую скорость $v_{нр}$ рассчитываем по формуле (5.35) для стадии начала влечения отдельных зерен грунта ($a = 2,06$; $x = 0,17$); при содержании наносов в потоке в коллоидном состоянии S менее $0,1$ кг/м³ принимаем $n_y = 1$; гидравлический радиус приравниваем к глубине потока ($R = H$):

$$v_{нр} = 2,06 \cdot \left(\frac{H}{d_p} \right)^{0,17} \cdot \sqrt{\frac{n_y}{\rho_b} \cdot P_s} = 2,06 \cdot \left(\frac{1,5}{0,00014} \right)^{0,17} \cdot \sqrt{\frac{1}{1000} \cdot 1,0998} = 0,33 \text{ м/с.}$$

2 Определяем параметры микроформ.

Рассчитываем число Фруда:

$$Fr = \frac{v_{cp}}{\sqrt{gH}} = \frac{0,75}{\sqrt{9,81 \cdot 1,5}} = 0,2.$$

Высоту микроформ рассчитываем по формуле (5.3) при глубине H более 1 м:

$$h_r = 2,1 \cdot \frac{d_{50}}{Fr^{4,1}} \cdot \left(\frac{v_{cp}}{v_{нр}} - 1 \right)^{1,4} = 2,1 \cdot \frac{0,00014}{0,2^{4,1}} \cdot \left(\frac{0,75}{0,33} - 1 \right)^{1,4} = 0,33 \text{ м.}$$

Длину микроформ вычисляем по формуле (5.8):

$$l_r = 4,2H = 4,2 \cdot 1,5 = 6,3 \text{ м.}$$

Скорость смещения микроформ вычисляем по формуле (5.10):

$$c_r = 0,019 v_{cp} Fr^3 = 0,019 \cdot 0,75 \cdot 0,23 = 1,07 \cdot 10^{-4} \text{ м/с} = 0,39 \text{ м/ч.}$$

Удельный расход донных наносов вычисляем по формуле (5.12):

$$q_r = 0,011 h_r v_{cp} Fr^3 = 0,011 \cdot 0,33 \cdot 0,75 \cdot 0,23 = 2,63 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с} = 0,095 \text{ м}^2/\text{ч.}$$

Максимальную высоту микроформ в половодье вычисляем по формуле (5.6):

$$h'_r = 2,5h_r = 2,5 \cdot 0,33 = 0,82 \text{ м.}$$

3 При ленточно-грядовом типе руслового процесса рассчитываем:

— высоту ленточных гряд при отсутствии съёмок — по формуле (5.13):

$$h_{лг} = 0,2H_{пл} = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ м;}$$

— их длину — по формуле (5.14):

$$l_{лг} = 6B_{бр} = 6 \cdot 30 = 180 \text{ м.}$$

— скорость движения ленточных гряд — по формуле (5.18):

$$c_{лг} = 0,018 \cdot \frac{h_r}{h_{лг}} \cdot \frac{v_{ср}^4}{(\sqrt{gH})^3} = 0,018 \cdot \frac{0,33}{0,4} \cdot \frac{0,75^4}{(\sqrt{9,81 \cdot 1,5})^3} = 8,36 \cdot 10^{-5} \text{ м/с} = 0,3 \text{ м/ч.}$$

— удельный расход донных наносов — по формуле (5.17):

$$q_{лг} = 0,00453 \cdot \frac{v_{ср}}{v_{нр}} \cdot d_{50} \cdot (v_{ср} - v_{нр}) \cdot \left(\frac{H}{d_{50}} \right)^{0,33} = 0,00453 \cdot \frac{0,75}{0,33} \cdot 0,00014 \cdot (0,75 - 0,33) \cdot \left(\frac{1,5}{0,00014} \right)^{0,33} = 1,29 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с} = 0,0466 \text{ м}^2/\text{ч.}$$

4 При побочном типе руслового процесса рассчитываем:

— высоту побочной при отсутствии съёмок — по формуле (5.20):

$$h_{пб} = 0,3H_{пл} = 0,3 \cdot 2 = 0,6 \text{ м;}$$

— их длину — по формуле (5.22):

$$l_{пб} = \frac{0,02}{I} \cdot H_{пл} = \frac{0,02}{0,002} \cdot 2 = 200 \text{ м.}$$

— скорость движения побочной — по формуле (5.18):

$$c_{лг} = 0,018 \cdot \frac{h_r}{h_{лг}} \cdot \frac{v_{ср}^4}{(\sqrt{gH})^3} = 0,018 \cdot \frac{0,33}{0,6} \cdot \frac{0,75^4}{(\sqrt{9,81 \cdot 1,5})^3} = 5,57 \cdot 10^{-5} \text{ м/с} = 0,2 \text{ м/ч.}$$

5 Значение глубинных деформаций при движении побочной рассчитываем по формуле (5.24):

$$\Delta z_{дн} = h_{пб} + h'_r = 0,60 + 0,82 = 1,42 \text{ м.}$$

6 Значение береговой полосы, периодически разрушаемой и восстанавливаемой при движении побочной, рассчитываем по формуле (5.25):

$$\Delta B_{бр} = 0,1B_{бр} = 0,1 \cdot 30 = 3 \text{ м.}$$

Пример 2

Исходные данные.

На участке реки произвели работы по спрямлению русла для пропуска расхода в бровках Q_p , равного $78 \text{ м}^3/\text{с}$. В проекте приняли трапецеидальное русло с параметрами:

— ширина поверху $B_{бр} = 30 \text{ м}$;

— гидравлический радиус $R = H_c = 3,08 \text{ м}$;

— уклон дна $I = 0,00012$;

— коэффициент шероховатости русла (русло работает полным сечением) $n_{ш} = 0,026$;

— средняя скорость потока $v_{ср} = 0,84 \text{ м/с}$;

— в основании залегает однородный песчаный грунт со средней крупностью частиц $d_{50} = 0,00018 \text{ м}$;

— коэффициент внутреннего трения грунта в воде $f = 0,60$;

— удельное расчетное сцепление грунта при разрыве в воде $C_p = 0,25 \text{ Па}$;

— плотность грунта, взвешенного водой, $\rho_1 = 1010 \text{ кг/м}^3$;

— содержание наносов в потоке в коллоидном состоянии $S < 0,1 \text{ кг/м}^3$.

Требуется рассчитать параметры динамически устойчивого русла, которое сформируется после пяти лет эксплуатации, и оценить устойчивость русла после строительства.

Расчет

1 Учитывая, что после пяти лет эксплуатации верхняя зона откосов (бровки русла) закрепится травяной растительностью, параметры динамически устойчивого русла рассчитаем по морфометрическим зависимостям (5.29) – (5.31), предварительно рассчитав показатель прочности грунта P_S для дна по формуле (5.32):

$$P_S = g\rho_1 d_{50} f + C_p = 9,81 \cdot 1010 \cdot 0,60 \cdot 0,00018 + 0,25 = 1,32 \text{ Па.}$$

$$B_{\text{бр}} = I^{0,189} \cdot (n_{\text{ш}} Q_p)^{0,54} \cdot \left(\frac{\lambda g \rho_B}{P_S} \right)^{0,46} = 0,00012^{0,189} \cdot (78 \cdot 0,026)^{0,54} \cdot \left(\frac{5 \cdot 9,81 \cdot 1000}{1,32} \right)^{0,46} = 33,6 \text{ мм;}$$

$$H_c = \frac{1}{I^{0,405}} \cdot \left(\frac{n Q_p P_S}{\lambda_c g \rho_B} \right)^{0,27} = \frac{1}{0,00012^{0,405}} \cdot \left(\frac{78 \cdot 0,026 \cdot 1,32}{5 \cdot 9,81 \cdot 1000} \right)^{0,27} = 2,73 \text{ м;}$$

$$\frac{B_{\text{бр}}}{H_c} = I^{0,594} \cdot (n_{\text{ш}} Q_p)^{0,27} \cdot \left(\frac{\lambda - g \rho_B}{P_S} \right)^{0,73} = \frac{33,6}{2,73} = 12,3.$$

2 Допустимые средние скорости потока для дна сразу после строительства рассчитаем по формуле (5.35) в зависимости от стадии движения наносов:

— для стадии начала влечения отдельных зерен грунта ($\alpha = 2,06$, $x = 0,17$):

$$v_{\text{доп}} = 2,06 \cdot \left(\frac{R}{d_p} \right)^{0,17} \cdot \sqrt{\frac{n_y}{\rho_B} \cdot P_S} = 2,06 \cdot \left(\frac{3,08}{0,00018} \right)^{0,17} \cdot \sqrt{\frac{1}{1000} \cdot 1,32} = 0,39 \text{ м/с;}$$

— для стадии начала образования гряд ($a = 3,18$, $x = 0,14$):

$$v_{\text{доп}} = 3,18 \cdot \left(\frac{R}{d_p} \right)^{0,14} \cdot \sqrt{\frac{n_y}{\rho_B} \cdot P_S} = 3,18 \cdot \left(\frac{3,08}{0,00018} \right)^{0,14} \cdot \sqrt{\frac{1}{1000} \cdot 1,32} = 0,45 \text{ м/с;}$$

— для начала взвешивания грунта ($\alpha = 5,96$, $x = 0,10$):

$$v_{\text{доп}} = 5,96 \cdot \left(\frac{R}{d_p} \right)^{0,10} \cdot \sqrt{\frac{n_y}{\rho_B} \cdot P_S} = 5,96 \cdot \left(\frac{3,08}{0,00018} \right)^{0,10} \cdot \sqrt{\frac{1}{1000} \cdot 1,32} = 0,57 \text{ м/с.}$$

Вывод

Поскольку средняя скорость в русле ($v_{\text{ср}} = 0,84 \text{ м/с}$) превышает допустимую скорость для дна (и тем более для откосов) на начало взвешивания ($v_{\text{доп}} = 0,57 \text{ м/с}$), то откосы русла сразу после строительства окажутся в неустойчивом состоянии и в русле за период эксплуатации произойдут деформации до параметров динамически устойчивого русла $B_{\text{бр}} = 33,6 \text{ м}$ и $H_c = 2,73 \text{ м}$.

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] Санитарные правила и нормы Республики Беларусь
 СанПиН 10-124 РБ 99 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества
 Утверждены и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 6 января 1999 г. № 1.
- [4] Санитарные правила и нормы Республики Беларусь
 СанПиН № 10-113 РБ 99 Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов хозяйственно-питьевого назначения
 Утверждены и введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 19 октября 1999 г. № 46.