

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

Н. В. Васильева, А. А. Боровиков

РЫБОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ГИДРОТЕХНИКА С ОСНОВАМИ ГИДРАВЛИКИ

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия для студентов
учреждений образования, обеспечивающих получение
общего высшего образования по специальности
6-05-0831-01 Водные биоресурсы и аквакультура*

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2025

УДК 628.88:639.3(075.8)

ББК 40.6я76

В19

*Рекомендовано методической комиссией факультета
биотехнологии и аквакультуры 25.03.2024 (протокол № 7)
и Научно-методическим советом
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии
27.03.2024 (протокол № 7)*

Авторы:

кандидат технических наук, доцент *Н. В. Васильева*;
кандидат технических наук, доцент *А. А. Боровиков*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *А. С. Анженков*;
доктор сельскохозяйственной науки, профессор *Т. В. Козлова*

Васильева, Н. В.

В19 Рыбохозяйственная гидротехника с основами гидравлики : учебно-методическое пособие / Н. В. Васильева, А. А. Боровиков. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2025. – 226 с.
ISBN 978-985-882-688-8.

Даны основы эксплуатации прудов гидротехнических сооружений рыбо-водных хозяйств. Приведены характеристики прудов и конструкции гидротехнических сооружений, водохозяйственный расчет.

Для студентов учреждений образования, обеспечивающих получение общего высшего образования по специальности 6-05-0831-01 Водные биоресурсы и аквакультура.

УДК 628.88:639.3(075.8)

ББК 40.6я76

ISBN 978-985-882-688-8

© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2025

ПРЕДИСЛОВИЕ

Управление водными ресурсами и эффективное использование естественных и искусственных водоемов и водотоков для целей рыбоводства посредством гидротехнических сооружений составляют научную и практическую основу гидротехники. *Рыбохозяйственная гидротехника* – это гидротехника, применяемая в различных областях рыбоводства и относящаяся к такому виду капитального строительства, при котором гидротехнические сооружения проектируются, строятся и эксплуатируются с учетом биологии разводимых рыб. Она решает ряд сложных комплексных задач, связанных со строительством рыбоводных предприятий, возведением рыбозащитных устройств на водозаборах, обеспечением пропуска рыбы к местам нереста, использованием для рыбоводных целей водохранилищ и др.

Значительный прирост рыбы невозможен без коренной реконструкции, технического перевооружения и развития материально-технической базы рыбоводных хозяйств, оснащения их современными материально-техническими средствами для эффективной эксплуатации водоемов и гидротехнических сооружений. В связи с этим и отводится значительная роль рыбохозяйственной гидротехнике как неотъемлемой части рыбоводства.

Важно в процессе обучения освоить современные и перспективные методы проектирования и расчета комплекса гидротехнических сооружений, обеспечивающих создание и эксплуатацию прудового рыбоводного хозяйства.

Для успешной работы в рыбоводном хозяйстве специалист должен уметь анализировать исходные данные (рельеф, геология, гидрология и др.), знать конструкции сооружений, возможности применения и технологию их возведения, владеть методами расчета выбранных конструкций, прогнозировать последствия, вызванные их строительством и эксплуатацией.

Цель настоящего учебного пособия – дать необходимые знания в области конструирования и проектирования гидротехнических сооружений и рыбоводных прудов. В нем представлены наиболее распространенные конструктивные решения сооружений, а также примеры их компоновок в составе гидроузлов и рыбоводных прудов. Материал изложен на основе действующих нормативных документов.

1. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ

1.1. История развития рыбохозяйственной гидротехники

Гидротехника – это наука, изучающая вопросы использования водных ресурсов для нужд народного хозяйства, а также вопросы борьбы с водной стихией при помощи строительства специальных инженерных сооружений, которые называются гидротехническими.

История гидротехники началась с юго-восточных древних государств более 5000 лет назад. На засушливых с круглогодичным теплым климатом территориях Африки, Аравийского полуострова, Азии смена летнего и зимнего сезонов в течение определенного отрезка времени приводила к катастрофическим наводнениям, принося даже в засушливые районы большие массы воды. Только путем устройства высоких дамб различной протяженности удавалось защитить эти земли от новых подтоплений, а оросительные каналы обеспечивали их водой в засушливые периоды года. Работы по обвалованию территорий, связанные с защитой от наводнений, строительство земляных плотин выполнялись в Китае, Индии еще за 2000 лет до н. э., а регулирование русел рек Тигра и Ефрата – до 500 лет до н. э. В Египте за 4000 лет до н. э. была построена каменная плотина «Кошейн», а относительно сложные сооружения для орошения возводились в IX и VIII вв. до н. э. в Урарту и Хорезме. В Европе в период феодальной раздробленности, когда из-за частых войн и междоусобиц экономика не могла широко развиваться, гидротехническое строительство сводилось к устройству малых сооружений – водяных мельниц, небольших сооружений для регулирования русел рек.

Первая книга по гидротехнике «Книга о способах, творящих восхождение рек свободное» вышла в 1708 г. по распоряжению Петра I. Русскими плотинными мастерами были разработаны оригинальные конструкции плотин русского типа – земляных с деревянным водосбросом, деревянных водоподъемных плотин, приспособленных к природным условиям русских рек.

В XVII–XVIII вв. в России для заводов были построены водяные двигатели, которые приводились в действие водой из прудов. В этот же период были разработаны и построены типы оригинальных земляных и деревянных плотин.

В XVIII–XIX вв. в трудах А. Т. Болотова встречаются рекомендации по постройке, оборудованию и ремонту прудов, аэрации воды в зимних условиях, борьбе с зарастанием и заилением прудов и др.

В «Трудах Вольного экономического общества, к поощрению в России земледелия и домостроительства, 1767 года» (часть V) сказано о строительстве особых гидротехнических устройств (прудов в дамбах, желобов, специальных бассейнов – ящиков из дубовых досок и пр.) для размножения форели (крошицы) и лососей.

В 1875 г. В. П. Врасский построил в селе Никольском (бывшей Новгородской губернии) первый в России рыбоводный завод с русловыми прудами, созданными путем сооружения на реке Пестовка плотин.

К 1915 г. в России существовали отдельные пруды и прудовые хозяйства в имениях помещиков и монастырях. В монастырских прудах были донные водоспуски (монахи) из дерева и камня.

Начало гидротехнических работ на территории Беларуси относится к первой половине XVI ст., когда в Кобринском старостве, принадлежавшем королеве и великой княгине Боне, был прорыт осушительный канал и начато строительство прудов с целевым назначением. Впервые об этом сказано в «Литовском статусе», датированном 1588 г. С начала XX ст. в ряде мест было сооружено большое количество мельничных прудов. Часто один мельничный пруд приходился в среднем на 4–5 км русла реки. Так, на реке Лебедка – правом малом притоке Немана – действовало три водяные мельницы; на соседних реках было аналогичное положение. Водоемы Беларуси в свое время были богаты рыбой, в том числе и ценными видами: лосось, минога, судак, угорь и др. Развитие товарных отношений в значительной степени способствовало усилению рыболовства на внутренних водоемах, а строительство железных дорог для сбыта рыбной продукции привело к резкому повышению интенсивности рыболовства. Если в конце XIX ст. ежегодно уловы из естественных водоемов составляли около 70 тыс. ц, то уже в начале XX ст. они упали до 10–15 тыс. ц, а так как ведение рыбного хозяйства в то время не регламентировалось, большую часть улова в основном составляла малоценная и неполновозрелая рыба.

Первое специальное обследование водоемов Северо-Западного края с ихтиологической целью проведено летом 1904 г. экспедицией, организованной Отделом ихтиологии Русского общества акклиматизации животных и растений. Основательное рыбохозяйственное обследование водоемов Беларуси проведено Витебской рыбохозяйственной экспедицией, организованной по инициативе Витебского губернского земства в 1914–1916 гг. С середины 1920-х гг. восстановлено рыбководство на бывших помещичьих прудах дореволюционного периода. Образованы крупные полносистемные прудовые хозяйства. В 1924 г. Наркомземом

республики организована Белорусская рыбохозяйственная экспедиция, а в 1928 г. на ее базе создана Белорусская научно-исследовательская станция. Во время Великой Отечественной войны большинство прудовых хозяйств было разрушено. В послевоенный период шло восстановление прудового хозяйства, а с 1960 г. осуществлялось строительство новых хозяйств. В 1970-е гг. были введены в строй крупные рыбоводные предприятия: Локтышинское полносистемное рыбоводное хозяйство площадью 1500 га и полносистемное хозяйство «Любань» площадью 2428 га. Так, к 1989 г. в республике было 9 хозяйств с замкнутым циклом водоснабжения и 2 садковых на теплых водах общей производительностью 3390 тыс. т товарной рыбы.

1.2. Водноресурсный потенциал Беларуси

Наша планета богата водой – гидросфера Земли составляет приблизительно 1,5 млрд. км³. Но из них более 96 % – горько-соленая вода морей и океанов, покрывающая почти 71 % всей поверхности планеты. На долю пресной воды приходится около 90 млн. км² (менее 3 %), причем основной ее запас – это подземные воды и ледники. Однако добраться до них не так-то легко.

Ученые подсчитали, что природные льды содержат более 24 млн. км³ воды – объем стока всех рек Земли за период, равный примерно 500 лет. Если попытаться равномерно распределить лед по поверхности Земли, то он покроет ее слоем толщиной в 53 м. Реки, озера и доступные для использования подземные воды составляют всего лишь 0,3 % мировых запасов свободной воды.

Беларусь располагается в бассейнах двух морей – Черного (58 % территории) и Балтийского (42 %). Главный водораздел проходит извилистой линией с северо-востока на юго-запад по Оршанской и Минской возвышенностям и дальше по северо-западной окраине Полесья. Водные ресурсы республики включают в себя поверхностную и подземную составляющие.

Поверхностные водные ресурсы по территории республики распределены неравномерно, и объемы воды в них колеблются не только по годам, но и по сезонам, т. е. водные ресурсы распределены неравномерно как по территории, так и во времени.

Водные ресурсы поверхностных вод республики приходится на реки, озера, пруды и водохранилища и оцениваются в средний по водности год в 57,1 км³. Из этого объема с территории соседних рес-

публик поступает $20,7 \text{ км}^3$. В многоводные годы транзитный и местный объем речного стока в Беларуси при 1%-ной обеспеченности составляет 96 км^3 , а в особо маловодные годы при 95%-ной обеспеченности он снижается до 39 км^3 . Всего на территории республики имеется более 20 тыс. рек, их общая длина составляет 90 тыс. км. На малые реки длиной не более 10 км приходится 19,3 тыс. км, что составляет 96 % от всей длины. Только 7 основных рек превышают в длину 500 км каждая. Наибольшая водообеспеченность отмечается на севере республики в бассейнах Западной Двины, Немана и верхней части бассейна Днепра. Здесь формируется более 70 % местного стока рек всей республики. Западная Двина и Неман в средний по водности год дают 14 км^3 воды. Эти реки отличаются устойчивым и равномерным распределением стока по сезонам года и малой изменчивостью в течение длительных промежутков времени.

Велик в республике и озерный фонд. Общее количество озер достигает 10,77 тыс. с суммарной площадью водного зеркала 2258 км^2 и полным объемом воды 6 км^3 . Большая часть их сосредоточена на севере республики – Белорусском Поозерье. Наибольшее распространение имеют малые озера с площадью зеркала не выше $0,1 \text{ км}^2$ каждое. На эту группу приходится 9429 озер, хотя суммарный объем воды в них не превышает $1,32 \text{ км}^3$. Широко используются в народном хозяйстве крупные озера (Нарочь, Браславские и др.), особенно в рекреационных целях.

Для водообеспечения хозяйства республики большое практическое значение имеют подземные воды. Естественные ресурсы подземных вод оцениваются в $15,8 \text{ км}^3$ в год, а разведанные утвержденные запасы составляют $2,3 \text{ км}^3$, причем более половины из них гидравлически связаны с речными водами.

Расчеты ресурсов почвенной влаги в метровом слое показали, что эти запасы составляют в средний по водности год $51,7 \text{ км}^3$ для всей территории республики. Общие ресурсы подземных вод, в том числе и слабоминерализованных, находящихся в пределах зоны интенсивного водообмена, по оценкам гидрологов достигают 38–44 млн. $\text{м}^3/\text{сут}$, что составляет в год 14–16 км^3 . Значительная часть этих вод дренируется речной сетью и включается в оценку ресурсов речных вод. Из названного объема можно рассчитывать на использование примерно 4 км^3 в год пресных подземных вод, которые не дренируются реками в пределах Беларуси или имеют весьма большие сроки водообмена с поверхностным стоком (порядка ста лет и более).

В результате устойчивая часть всех водных ресурсов оценивается таким образом, что при условии периодической сработки верхней части призма крупных озер (в пределах до 0,35–0,40 км³ в маловодные годы), а также за счет зарегулированного полезного объема в прудах и водохранилищах можно получить в год не более 1,6 км³ воды.

Глубокие подземные воды и зарегулированные поверхностные воды представляют собой наиболее ценную и устойчивую часть водных ресурсов республики.

Дополнительно к ним для использования без каких-либо существенных мероприятий пригоден только меженный речной сток, гарантированная величина которого с обеспеченностью, равной 95 %, составляет в расчете на наиболее напряженные летние месяцы 1 км³ воды.

Следовательно, наиболее устойчивая часть водных ресурсов республики оценивается в 6,5 км³ воды в год. Эти ресурсы являются основой водообеспечения тех отраслей промышленности, которые предъявляют жесткие требования к бесперебойности снабжения водой и стабильности ее подачи (нефтеперерабатывающая, пищевая, целлюлозно-бумажная), а также используются в целях постоянного обеспечения питьевого водоснабжения населения.

Природные воды Беларуси используются на следующие цели: хозяйственно-питьевое водоснабжение; производственные нужды; гидроэнергетика; судоходство; рекреация; рыбное и прудовое хозяйство; орошение.

Фонд рыбохозяйственных водоемов Республики Беларусь богат и разнообразен, но в то же время характеризуется крайней раздробленностью. Кроме рек территория Беларуси покрыта сетью многочисленных каналов различного назначения, общая численность которых составляет 1,9 тыс., а их суммарная протяженность – 17,05 тыс. км. Прудовой фонд республики включает в себя площади государственных полносистемных рыбоводных хозяйств и рыбопитомников в количестве 21,86 тыс. га и прудовые площади сельхозпредприятий, построенных для различных целей (комплексного назначения), – 4,59 тыс. га.

1.3. Основные направления развития рыбного хозяйства на внутренних водоемах

Рыбоводство является самостоятельной отраслью рыбного хозяйства. По своей структуре и методам рыбоводство можно разделить

на прудовое и рыбоводство в естественных водоемах. Развитие рыбного хозяйства Беларуси предусматривает несколько направлений.

1. Выращивание рыбы в прудовых хозяйствах.

Основными производителями прудовой рыбы остаются государственные прудовые хозяйства, а дополнительными – сельскохозяйственные предприятия, акционерные общества, фермерские хозяйства, частные предприниматели на арендуемых ими водоемах и на приусадебных участках.

2. Создание рациональных ихтиокомплексов на озерах.

Рациональные ихтиокомплексы – это специализированные воспроизводственные комплексы и нерестово-выростные хозяйства, предназначенные для производства высококачественного разнообразного и разноразмерного рыбопосадочного материала, необходимого для удовлетворения потребностей всех производителей столовой рыбы.

3. Выращивание рыбы в озерно-товарных рыбных хозяйствах.

Учредителями озерно-товарных рыбных хозяйств (ОТРХ) являются государственные рыбхозы и коммерческие структуры, специализирующиеся на рыбоводстве путем контрактации и приватизации рыбохозяйственных водоемов.

4. Речное рыболовство.

Рыбохозяйственная эксплуатация рек может осуществляться самыми различными организациями и частными лицами на основе контрактации и выполнения принятых правил рыболовства.

5. Выращивание рыбы индустриальным методом.

Индустриальное рыбоводство в садках и бассейнах, на предприятиях промышленности с использованием подогретых вод является перспективным направлением современного рыбного хозяйства, позволяющим проводить круглогодичное выращивание деликатесных видов столовой рыбы по принципу откормочного рыбоводства при многократном кормлении рыбы концентрированными кормами.

1.4. Природоохранное законодательство и государственное управление в области использования и охраны водных ресурсов

Государственное управление в области использования и охраны вод осуществляется в целях обеспечения соблюдения юридическими и физическими лицами требований водного законодательства Республики Беларусь. Стандартизация и нормирование в области использования и охраны вод осуществляются в целях обеспечения экологической

2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРУДОВ

2.1. Классификация гидротехнических сооружений

Гидротехнические сооружения различного назначения строятся в разнообразных природных условиях и классифицируются по следующим признакам: по роду водотока или водоема, на котором они построены; по условиям взаимодействия с водотоком или водоемом и по характеру выполняемых функций; по целевому назначению; по условиям использования; по классам и др.

По роду водотока или водоема, на котором они построены, гидротехнические сооружения подразделяют на речные, морские, озерные, или прудовые, и подземные.

По условиям взаимодействия с водотоком или водоемом и по характеру выполняемых функций гидротехнические сооружения подразделяются:

- на водоподпорные (плотины, дамбы и др.), которые перегораживают водоток или ограждают водохранилище (головной пруд) и воспринимают напор воды. Участок водотока (водоема), расположенный выше водоподпорного сооружения (плотины), называется *верхним бьефом*, ниже – *нижним бьефом*; разница уровней воды в верхнем и нижнем бьефах непосредственно около сооружения называется *напором* на сооружении;

- водопроводящие (каналы, трубопроводы, лотки и др.), служащие для подачи воды к местам потребления, например из реки в пруды разных категорий;

- водозаборные, служащие для забора воды из водотоков и водоемов;

- водосбросные (водосливы, глубинные водосбросы, водоспуски и пр.), служащие для сброса излишков воды (паводков) в нижний бьеф;

- регуляционные (струенаправляющие дамбы, берегоукрепительные сооружения и пр.), предназначенные для регулирования взаимодействия потока с руслом (борьба с размывами и отложениями наносов), защиты берегов от воздействия волн и течений.

По целевому назначению гидротехнические сооружения подразделяют на сооружения общего назначения и специальные.

К сооружениям *общего назначения* относятся водоподпорные, водо-

проводящие, водосбросные и регулиционные сооружения, предназначенные для обеспечения требуемого подпора и вместимости водохранилища, пропуска предполагаемого паводкового расхода и т. д.

К *специальным* относятся сооружения, предназначенные для нужд одной из отраслей водного хозяйства. Специальные сооружения бывают: рыбохозяйственные (рыбоходы, рыбоподъемники, рыбоводные пруды и др.); для борьбы с наводнениями (защитные дамбы, ливне-стоки и др.); для использования грунтовых вод (подземные водозаборы и др.).

По условиям использования гидротехнические сооружения подразделяются на постоянные, используемые при постоянной эксплуатации, и временные. При этом к **временным** относятся сооружения, используемые только в период строительства, реконструкции или ремонта постоянных сооружений.

Постоянные гидротехнические сооружения делятся на основные и второстепенные. *Основными* сооружениями являются: плотины, дамбы, водосбросы, водоприемники, водозаборные сооружения, рыбо-защитные и рыбопропускные сооружения.

К второстепенным гидротехническим сооружениям относятся: ремонтные затворы, льдозащитные сооружения, берегоукрепляющие сооружения, служебные мостики.

Гидротехнические сооружения различают:

а) по основному материалу, используемому при их возведении (грунтовые, каменные, бетонные, стальные и т. д.);

б) по способу возведения (насыпные, намывные, построенные методом направленного взрыва, монолитные, сборные и т. д.).

2.2. Гидротехнические сооружения, применяемые в рыбоводстве

В каждом рыбоводном предприятии (прудовое хозяйство, озерное хозяйство, нерестово-выростное хозяйство, хозяйство на теплых водах и пр.) используется большое количество различных гидротехнических сооружений, которые обеспечивают его нормальную работу.

В рыбоводных хозяйствах различают 11 групп гидротехнических сооружений:

1) плотины, дамбы – сооружения, создающие водоемы того или иного назначения (головные пруды, или водохранилища, и рыбоводные пруды различных категорий);

2) водосбросные сооружения в теле плотины или в обход ее для

сброса излишка паводковых вод из верхнего бьефа в нижний (автоматические, управляемые и комбинированные);

3) сооружения для водоснабжения рыбоводных прудов:

- головные водозаборные сооружения или головные шлюзы-регуляторы, расположенные в начале (голове) магистрального канала;
- водоподающие каналы, лотки и трубопроводы;
- регулирующие сооружения на каналах (шлюзы-регуляторы, вододелители, перегораживающие сооружения);
- водовыпуски из канала в пруды;
- сопрягающие сооружения (перепады и быстротоки);
- переходные сооружения (акведуки и дюкеры);
- аэраторы – специальные устройства для аэрирования воды;
- отстойные бассейны – для осаждения наносов;
- фильтры – для предохранения от попадания рыбы в канал и пруды, очистки от взвесей;

4) сооружения для осушения прудов:

- рыбосборно-осушительные каналы на ложе водоема;
- донные водоспуски;
- рыбоуловители;
- сбросные каналы, идущие от рыбоуловителя к водоприемнику;

5) рыбозащитные сооружения, предотвращающие попадание рыбы в водозаборное сооружение:

- механические заграждения (фильтры, решетки, плоские сетки, сетчатые барабаны);
- гидравлические заграждения (запони, отбойные козырьки);
- физиологические заграждения (электрические поля, завесы из воздушных пузырьков);

б) рыбозаградительные сооружения: верховины, решетки;

7) сооружения для пропуска рыбы из нижнего бьефа в верхний: рыбоходы, рыбоподъемники;

8) комплекс гидротехнических сооружений с механической подачей воды: водозабор, здание насосной станции, трубопроводы;

9) специальные сооружения рыбоводных заводов: пруды и садки для выдерживания производителей, бассейны и пруды для выращивания молоди, дафниевые пруды или бассейны;

10) специальные сооружения в хозяйствах на теплых водах: бассейны, садки;

11) причалы.

Гидротехнические сооружения в рыбоводных хозяйствах располагают в зависимости от рельефа местности, характера и размещения источника водоснабжения и с учетом геологического строения грунтов.

2.3. Гидротехнический узел

При использовании реки в тех или иных целях иногда приходится создавать несколько сооружений разного назначения, расположенных недалеко друг от друга. Особенно большое число гидросооружений получается в том случае, когда река перекрывается плотиной и имеет комплексное водохозяйственное использование. Исходя из экономических и эксплуатационных условий отдельные сооружения целесообразно объединять в общий гидроузел.

Гидроузлом называют совокупность гидротехнических сооружений, объединенных условиями совместной работы и местоположением. Речные гидроузлы – комплексы сооружений, с помощью которых управляют водными ресурсами.

По назначению различают гидроузлы *водорегулирующие, водозаборные, воднотранспортные, комплексные*; **по виду вод источника** – *речные, озерные, на каналах*. **По напору** гидроузлы делятся на *низконапорные* – с напором воды в верхнем бьефе до 15 м, *средне-напорные* – 15–50 м, *высоконапорные* – более 50 м.

Речные низконапорные гидроузлы обычно включают: водоподпорное сооружение в виде грунтовой плотины, водосбросное сооружение, водоспуск (водозабор) и другие сооружения в зависимости от назначения гидроузла.

В состав гидроузла с водооборотной системой и системой с механическим забором и подъемом воды входит также насосная станция.

Состав и компоновка гидроузла зависят от назначения объекта, водоносности источника, величины напора, топографических, геологических и гидрогеологических условий, эксплуатационных требований.

Под компоновкой подразумевают взаимное расположение основных и второстепенных сооружений гидроузла (рис. 2.1). Она должна обеспечивать такие условия совместной работы этих сооружений, которые наиболее полно удовлетворяют народно-хозяйственным и техническим требованиям. Основа выбора рациональной компоновки – технико-экономическое сравнение возможных вариантов. Предпочтение должно отдаваться тому варианту компоновки, который при про-

чих равных условиях и наилучших технических и экономических показателях надежно обеспечивает удобство эксплуатации основных сооружений, монтажа и ремонта их оборудования, минимальное расходование дефицитных строительных материалов, а также отвечает требованиям охраны окружающей среды.

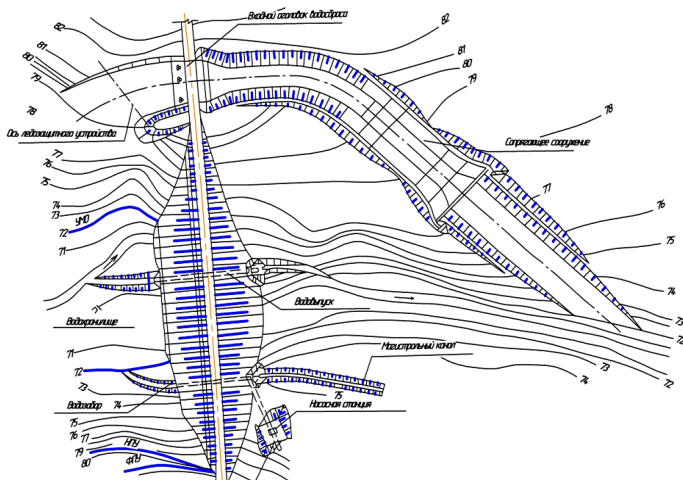


Рис. 2.1. Вариант компоновки водохранилищного гидроузла

Район предстоящего строительства гидроузла выбирают исходя из общей схемы использования реки. При этом предварительно устанавливают местоположение створа гидроузла. Окончательно створ выбирают после изучения всех условий и рассмотрения нескольких вариантов его местоположения.

По топографическим условиям различают узкие (коэффициент створа $V/H < 3$) и широкие ($V/H > 3 \dots 5$) створы (V и H – соответственно длина створа и напор).

В зависимости от назначения гидроузла в состав его компоновки входят водоподпорные, водобросные, водопроводящие, водозаборные, рыбопропускные и рыбозащитные и другие сооружения. На компоновку весьма существенное влияние оказывают топография и геологические условия участка створа, водность реки, напор, степень зарегулированности стока, климатические характеристики всех времен

года, условия пропуска строительных расходов, наличие природных запасов местных строительных материалов и т. д.

Компоновка гидроузлов включает выбор створа подпорных сооружений, рыбопропускных и водосбросных сооружений, площадки для строительства поселков, производственной базы и др. При этом сопоставляют наиболее целесообразные в данных природных условиях варианты с определением для каждого из них наиболее рационального состава, типов и размещения сооружений.

Компоновка гидроузла должна всесторонне учитывать природные, производственно-строительные, общехозяйственные условия района строительства, а также возможность использования существующих транспортных и других коммуникаций. При этом особое внимание необходимо уделять геологическому строению участка, а также изменению бытовых гидрологических и гидрогеологических условий при создании подпора. Кроме этого внимание уделяют также и изменению режима потока в верхнем и нижнем бьефах, заилению наносами водохранилища и переформированию русла реки и берегов в подходах к гидроузлу, подтоплению и заболачиванию территории, сохранению возможности разработки природных ресурсов в случае их затопления или подтопления, устойчивости береговых склонов в верхнем и нижнем бьефах. Необходимо также предусматривать сохранение природных условий (в том числе по возможности сохранять естественную растительность) и улучшение ландшафта в створе гидроузла.

2.4. Силы, действующие на водоподпорные гидротехнические сооружения

Гидротехнические сооружения постоянно подвергаются воздействию движущейся или находящейся в покое воды, причем водоподпорные гидросооружения испытывают наряду с вертикальными и большие горизонтальные нагрузки – от давления воды, отложившихся наносов и др. Вода оказывает на гидротехнические сооружения следующие виды воздействия: механическое, физико-химическое и биологическое. *Механическое воздействие* воды проявляется в виде статических и динамических нагрузок на сооружение и его основание. Так, *гидростатическое давление* воды со стороны верхнего бьефа на плотину является основной горизонтальной нагрузкой, которая может сдвинуть, разрушить сооружение, если не будут приняты меры к обеспечению его устойчивости (придана ему надлежащая масса и пр.).

При переливе через плотину (рис. 2.2, *a*) вода оказывает и на ее элементы гидродинамическое воздействие, которое необходимо учесть при назначении параметров крепления водобоя, рисбермы, часто требующихся и устраиваемых для предотвращения опасных размывов русла в нижнем бьефе. При этом возникает проблема эффективного гашения энергии сбрасываемого в нижний бьеф потока, причем в ряде случаев скорости потока воды до гасящих устройств достигают 25–30 м/с и более.

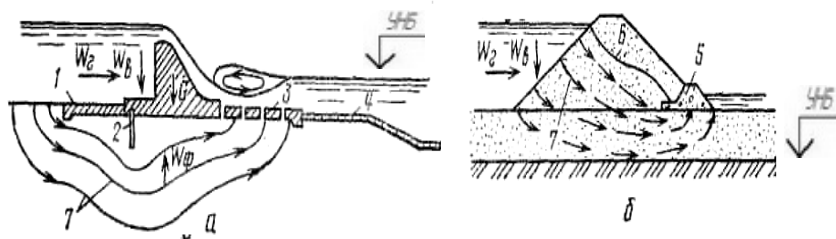


Рис. 2.2. Схемы воздействия воды на бетонную (*a*) и грунтовую (*б*) плотины и их основания: 1 – понур; 2 – шпунт; 3 – водобой; 4 – рисберма; 5 – дренажная призма; 6 – депрессионная кривая; 7 – линии тока фильтрующей воды

Динамическим воздействием является воздействие на гидротехнические сооружения образующихся в водохранилище ветровых волн. Оно также подлежит учету, например при назначении параметров крепления верхового откоса грунтовых плотин.

При фильтрации воды в основании водоподпорного сооружения возникает фильтрационное давление W_{ϕ} , направленное снизу вверх. Оно уменьшает сопротивление сооружения сдвигу и должно учитываться при проектировании.

Фильтрационный поток в основании и теле грунтовой плотины (рис. 2.2, *б*) может вызвать следующие фильтрационные деформации грунта: суффозию, фильтрационный выпор грунта при выходе в нижний бьеф, контактные размывы и выпор. Поэтому сооружение должно быть запроектировано так, чтобы не возникали эти фильтрационные деформации. При этом действие фильтрационных сил и положение депрессионной кривой следует учитывать и при расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин. Зимой на водоподпорные сооружения действуют следующие ледовые нагрузки, возникающие:

1) при термическом расширении сплошного ледяного покрова, на вале ледяных полей при течениях и ветре.

Следует отметить, что статическое давление льда не учитывается, для чего по контакту гидротехнического сооружения с водой поддерживают незамерзающую полынью;

2) при динамических ударах отдельных льдин при пропуске через гидроузел ледохода;

3) от примерзшего ледяного покрова при колебаниях уровня воды в водохранилище.

Вышеперечисленные нагрузки могут повредить крепления откосов грунтовых плотин и берегов.

Физико-химическое воздействие воды может вызвать коррозию металлических конструкций, химическую суффозию в грунтах, содержащих легкорастворимые вещества (гипс, каменную соль), кавитацию и кавитационную эрозию, возникающую при больших скоростях потока и образовании значительного вакуума.

Биологическое воздействие воды, связанное с жизнедеятельностью имеющихся в ней организмов, может привести к гниению деревянных элементов водоподпорных сооружений, зарастанию трубопроводов и пр.

2.5. Общая классификация водоемов

Искусственные водоемы различаются по следующим основным признакам: геометрическим размерам, местоположению, степени аккумуляции и регулированию стока, назначению.

По *геометрическим размерам* в соответствии с Водным кодексом Республики Беларусь (утв. в 2014 г.) выделяют:

– водохранилище – искусственный водоем с площадью поверхности воды более 100 га, созданный в целях накопления, хранения воды и регулирования стока;

– пруд – искусственный водоем с площадью поверхности воды не более 100 га, созданный в целях накопления и хранения воды;

– пруд-копань – искусственный водоем с площадью поверхности воды до 0,01 га и глубиной не более 2 м в специально созданном углублении земной поверхности, предназначенный для накопления и хранения воды.

По *местоположению* водоемы классифицируют:

– на долинные (русловые), устраиваемые путем затопления русла и долины рек, ручьев, балок;

- наливные, создаваемые затоплением естественных понижений, искусственных углублений или участков обвалования территории;
- озерные, образуемые путем подпора естественных озер и водоемов.

По степени аккумуляции и регулированию стока водоемы бывают:

- с годовым регулированием, обеспечивающим сезонное, суточное регулирование;
- с многолетним регулированием, если наполнение и сброс полезного объема происходят в течение нескольких лет.

По назначению выделяют водоемы: для рыборазведения, орошения, водоснабжения, благоустройства, судоходства и лесосплава, малой гидроэнергетики, спортивных целей, борьбы с наводнениями и паводками, а также для комплексных целей.

2.6. Характеристика водоемов

Часть водоема или водотока, примыкающую к водоподпорному сооружению или напорному фронту гидроузла, называют бьефом. Часть водотока выше створа плотины называют верхним бьефом гидроузла (ВБ), ниже створа – нижним бьефом (НБ). За счет подпора воды плотиной в верхнем бьефе образуется водохранилище (головной пруд).

В водохранилище (головном пруду) различают три расчетных уровня воды: форсированный подпорный уровень (ФПУ), нормальный подпорный уровень (НПУ) и уровень мертвого объема (УМО) (рис. 2.3).

Водоохранилище (головной пруд) имеет следующие характеристики:

нормальный подпорный уровень – расчетный уровень, устанавливаемый водохозяйственным расчетом;

форсированный подпорный уровень – уровень выше НПУ, до которого допускается временное затопление части территории;

уровень мертвого объема – наинизший уровень, до которого допускается опорожнение водоема;

полный объем водоема W – объем, заключенный между дном чаши пруда и зеркалом воды на отметке НПУ, равный сумме полезного объема $W_{по}$ и мертвого объема $W_{мо}$;

полезный объем водоема $W_{п}$ – объем, заключенный между отметками НПУ и УМО, сбрасывается для хозяйственных целей;

мертвый объем водоема $W_{мо}$ – объем, заключенный между дном чаши пруда и отметкой УМО, предназначен для осаждения в нем наносов;

неопорожняемый объем $W_{но}$ – часть мертвого объема, расположенная ниже отметки порога водосливных (водоспускных) отверстий и поэтому неопорожняемая самотеком;

противопаводковый объем $W_{пп}$ – часть полного объема, сработанная перед пропуском паводка и используемая для регулирования величины паводкового расхода;

объем форсировки $W_{ф}$ (резервный объем) – объем, заключенный между отметками НПУ и ФПУ;

коэффициент емкости водоема v – отношение полезного объема водоема $W_{п}$ к объему среднего многолетнего стока W_0 :

$$v = \frac{W_{п}}{W_0}.$$

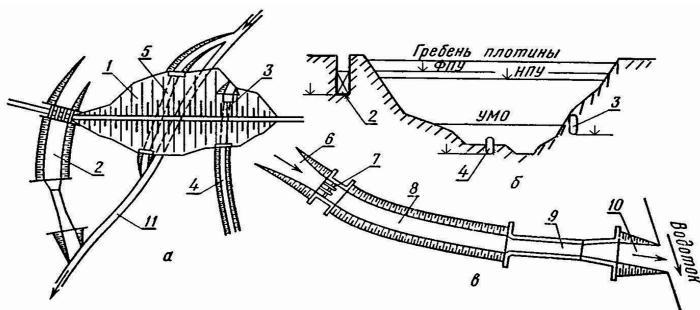


Рис. 2.3. Сооружения при плотине из местных материалов: *а* – план плотины; *б* – продольный разрез по оси плотины; *в* – план водосбросного тракта; 1 – плотина; 2 – водосбросной тракт; 3 – водозаборное сооружение (водозабор); 4 – магистральный канал; 5 – водоспуск; 6 – подводящий канал; 7 – шлюз-регулятор; 8 – сбросной канал; 9 – сопрягающее сооружение; 10 – отводящий канал; 11 – русло водотока

Определение данных для построения батиграфических (топографических) характеристик водоема показано на рис. 2.4, *а* и в табл. 2.1.

Основными показателями водоема являются его полезный объем $W_{п}$ и площадь F зеркала. Для определения этих показателей используют батиграфические (топографические) характеристики водоема $W = f_1(H)$ и $F = f_2(H)$, где H – отметка зеркала (глубина) водоема (рис. 2.4, *б*).

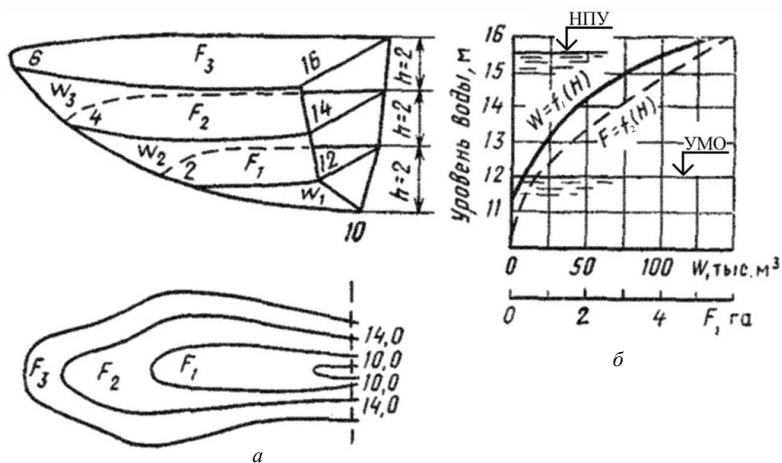


Рис. 2.4. Определение размеров водоема:
 а – схема для расчета объема водоема; б – топографические (батиметрические) характеристики водоема (размеры в метрах)

Таблица 2.1. Определение вместимости чаши водоема

Горизонталь	Площадь по горизонтали, м ²	Средняя площадь между горизонталями, м ²	Сечение горизонталей, м	Объем между соседними горизонталями, м ³	Объем по данной горизонтали, м ³

Кроме этого важными показателями водоема являются максимальная H_1 и средняя $H_{ср} = W / F$ глубина водоема, а также площадь мелководной зоны $F_{мел}$ глубиной $H < 0,5$ м. Из экологических условий площадь мелководной зоны $F_{мел}$ не должна превышать 10–15 % общей площади зеркала водоема.

Следует отметить, что чем больше значение $H_{ср}$, тем лучше характеристика водоема. Для равнинных водоемов это значение равно 2–3 м, а для горных – 8–15 м и более.

2.7. Типы и системы рыбоводных хозяйств

Прудовые рыбоводные хозяйства по своему назначению делятся на два основных типа: тепловодные и холодноводные. К тепловодным относятся карповые хозяйства, к холодноводным – форелевые.

По выпускаемой продукции прудовые рыбоводные хозяйства подразделяются на следующие системы: **рыбопитомники, полносистемные и нагульные хозяйства.**

Рыбопитомники – прудовые рыбоводные хозяйства для выращивания рыбопосадочного материала (мальков, сеголеток и годовиков).

Полносистемные прудовые рыбоводные хозяйства служат для выращивания как рыбопосадочного материала, так и товарной рыбы.

Нагульные прудовые рыбоводные хозяйства предназначены для выращивания товарной рыбы.

По срокам выращивания товарной рыбы хозяйства бывают с однолетним, двухлетним и трехлетним оборотом.

В Беларуси в основном все прудовые рыбоводные хозяйства имеют двухлетний оборот: в первый год выращивается рыбопосадочный материал, а во второй год – товарная рыба.

2.7.1. Карповые хозяйства

2.7.1.1. Рыбопитомники

В состав рыбопитомника входят следующие категории прудов: нерестовые, мальковые, выростные, зимовальные, маточные, карантинные и изоляторные (рис. 2.5).

Нерестовые пруды служат для нереста и выращивания мальков до пересадки их в выростные или мальковые пруды. Эти пруды следует располагать на плодородных почвах незаболоченных участков с мягкой растительностью, по возможности дальше от автомобильных и других проезжих дорог. Нерестовые пруды строят рядом с выростными, мальковыми и маточными прудами в местах, защищенных от ветров и прогреваемых солнцем. Участки с небольшим уклоном обвалывают земляными дамбами. Подача воды обычно осуществляется из головного пруда. Каждый пруд должен иметь независимые водоснабжение и сброс воды.

Необходимо, чтобы при спуске воды из прудов они полностью осушались с помощью осушительной системы каналов, расположенных по ложу прудов.

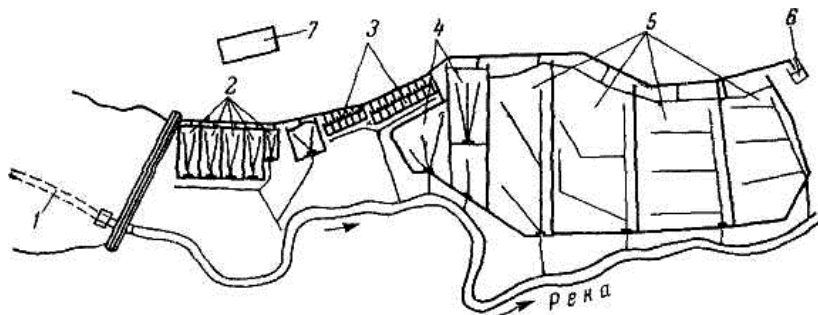


Рис. 2.5. Схема рыбопитомника с самотечным водоснабжением из головного пруда: 1 – головной пруд; 2 – зимовальные пруды; 3 – нерестовые пруды; 4 – маточные пруды; 5 – выростные пруды; 6 – карантинные пруды; 7 – хозцентр

Во избежание заболачивания нерестовых прудов (нерестовиков) их следует располагать так, чтобы исключить фильтрацию воды из других близко расположенных прудов и водоснабжающих каналов. Для этого следует оставлять расстояния между нерестовыми прудами и водоснабжающими каналами и другими категориями прудов, располагаемыми рядом с нерестовиками. Величина промежутков устанавливается расчетом в зависимости от водно-физических свойств грунтов, разности горизонтов воды в прудах и каналах и т. д.

Чтобы избежать заболачивания нерестовых прудов, следует также предусматривать противофильтрационные мероприятия, как в теле дамбы, так и в основании (заложение в дамбах прудов, экрана, ядра, замка, зуба и других устройств).

При создании противофильтрационных устройств расстояние между нерестовыми и другими категориями прудов и водоснабжающими каналами значительно сокращается, что дает возможность более эффективно использовать площадь рыбопитомника.

Если участок, отведенный под нерестовые пруды, заболочен или пруды заболачиваются в процессе эксплуатации, то для их осушения необходимо устраивать специальную осушительную сеть.

При размещении нерестовых прудов рядом со сбросными каналами для уменьшения фильтрации воды из прудов в каналы следует оставлять достаточный промежуток (по расчету) или предусматривать противофильтрационные мероприятия.

Все указанные рекомендации по расположению нерестовых прудов

относительно водоснабжающих и сбросных каналов относятся и к другим категориям прудов.

При строительстве нерестовых прудов на площадках без растительного покрова следует засеивать траву по ложу прудов и по откосам дамб.

При строительстве рыбхозов на выработанных торфяных месторождениях нерестовые пруды рекомендуется располагать на невыработанных участках. Следует отметить, что торфяные грунты также пригодны для устройства нерестовых прудов.

Площадь одного нерестового пруда принимают от 0,1 до 0,3 га, при наличии мальковых прудов в хозяйстве площадь каждого нерестового пруда может быть уменьшена. Глубина прудов постепенно увеличивается к водоспуску от 0,8 до 1,25 м (не считая глубины канавы).

Мелководные зоны с глубинами до 0,5 м должны составлять 50–70 % площади пруда. Продолжительность наполнения пруда составляет 0,2–0,3 сут, спуска – 0,1–0,2 сут, расход воды (после наполнения) – до 3–5 л/с на 1 га. Осушительные каналы имеют глубину до 0,4 м (в зависимости от рельефа местности) и ширину по дну не более 0,4 м. Необходимое количество и общая площадь нерестовых и других категорий прудов в хозяйстве определяются рыбоводными расчетами.

Мальковые пруды предназначены для выращивания мальков, пересаженных из нерестовых прудов.

Мальковые пруды обвалованы дамбами и связаны непосредственно с нерестовыми, поэтому их располагают рядом с ними, желательно ниже по склону долины. В отдельных случаях мальков из нерестовых прудов можно перепускать в мальковые пруды вместе с водой. Местоположение мальковых прудов выбирают в зависимости от рельефа, обычно они несколько вытянуты по склону.

Мальковые пруды располагаются, как и нерестовые, на незаболоченных участках с небольшим уклоном. Технические требования, предъявляемые к мальковым прудам, аналогичны требованиям к нерестовикам, но размеры и глубины их несколько большие. Площадь малькового пруда составляет 0,5–1,5 га, средняя глубина – 0,5–0,6 м.

Выростные пруды служат для выращивания сеголеток. Их располагают главным образом в поймах рек, обваловывают дамбами. Водоснабжение прудов осуществляется по каналу из головного пруда или другого источника.

Выростные пруды по возможности размещают ближе к нерестовым и зимовальным прудам для сокращения отходов при транспортировке мальков и сеголеток.

Под выростные пруды желательно также использовать наиболее плодородные, незаболоченные грунты. При необходимости эти пруды можно построить на любом участке, но при избыточном увлажнении участка необходимо провести мелиоративные работы.

Размеры и глубина выростных прудов в зависимости от рельефа участков могут быть различными. Площадь выростного пруда должна быть 10–15 га (максимальная – 20 га), средняя глубина – 1,0–1,2 м. По периметру пруда имеются участки с разной глубиной, площадь которых определяется по табл. 2.2.

Таблица 2.2. Распределение площади по глубинам в выростных прудах

Зоны с глубинами, м	В % к общей площади пруда
До 0,5	До 5
От 0,5 до 1,0	65–70
От 1,0 до 1,5	15–20
Свыше 1,5	До 15

Подача и сброс воды для каждого выростного пруда должны быть независимыми. В каждом пруду должен быть донный водоспуск, расположенный в самом низком месте водоема (у контурной дамбы), к которому вода поступает со всего ложа пруда по рыбосборно-осушительным каналам. Ниже донных водоспусков должны располагаться рыбоуловители.

Для полного спуска воды из прудов по их ложу устраивают осушительную сеть канав шириной 0,5 м, средней глубиной 0,5–0,6 м (в зависимости от рельефа местности). Продолжительность наполнения одного выростного пруда составляет 10–20 сут, спуска – 3–5 сут. Оптимальный расход воды на 1 га выростных прудов после их наполнения – до 1,5 л/с (с учетом потерь на фильтрацию и испарение).

Зимовальные пруды служат для зимнего содержания сеголеток и производителей. Пруды располагают вне русла реки, возможно ближе к источнику водоснабжения, что уменьшает длину водоподводящих каналов или трубопроводов. Их следует также размещать возможно ближе к выростным прудам для уменьшения затрат на транспортировку сеголеток при их пересадке из выростных в зимовальные пруды и для сокращения отходов сеголеток.

Заболачивание зимовальных прудов не допускается, поэтому на участке этих прудов уровень грунтовых вод должен быть не менее чем на 0,5 м ниже отметки дна прудов. При проектировании зимоваль-

ных прудов необходимо располагать их таким образом, чтобы исключить фильтрацию воды из других прудов и подтопление со стороны реки (особенно весной). Это можно осуществить за счет проведения противофильтрационных мероприятий.

Если площадка под строительство зимовальных прудов заболочена, то ее необходимо осушить путем устройства специальных глубоких канав. Лучшими грунтами для зимовальных прудов считаются суглинки. Пруды можно построить и на торфяных выработанных месторождениях. Для этого необходимо, чтобы торф был уплотнен путем осушения участка. Кроме того, ложе прудов должно быть подсыпано песком слоем не менее 0,3 м.

Зимовальные пруды лучше устраивать в полувыемке-полунасыпи. Их делают проточными, постоянный приток воды должен обеспечивать полный водообмен во всех прудах в течение 12–18 сут в зависимости от качества источника водоснабжения, климатических условий и плотности посадки рыбы. Форма прудов предпочтительна прямоугольная с соотношением ширины и длины 1:2–1:2,5.

Рекомендуемая площадь зимовального пруда составляет 0,5–1,0 га (максимальная – 1,5 га), средняя глубина непромерзающего слоя воды – 0,8–1,3 м (в зависимости от климатических условий). Пруды должны иметь хорошо спланированное дно с уклоном в сторону донного водоспуска. Водоснабжение и сброс воды каждого пруда делают независимыми. Для полного спуска воды из пруда по его ложу устраивают осушительную сеть с шириной канав по дну и глубиной 0,4 м. Продолжительность наполнения одного пруда составляет 0,5–1,0 сут, спуска – 1,0–1,5 сут.

При водоснабжении зимовальных прудов из артезианских скважин необходимо подавать воду по открытому каналу для обогащения артезианской воды кислородом воздуха, а также снижения температуры воды (исходя из расчета поддержания в прудах температуры 0,5–1,0 °С).

Кроме специальных зимовальных прудов сеголетки могут зимовать в зимовалах канавного типа, зимовальных домиках с бассейнами и садках.

В канавных зимовалах создается водообмен в течение 1–3 сут. Ширина канав по дну составляет 7–10 м, коэффициент заложения откосов – 1,5–2,0, глубина – 1,8–2,5 м.

Зимовальные домики представляют собой специальные бассейны, расположенные в закрытых отапливаемых помещениях с электриче-

ским освещением, где осуществляется повседневный контроль за зимующей рыбой с проведением необходимых мероприятий.

Зимовальные садки устанавливают в реках и озерах с устойчивым зимним кислородным режимом.

Маточные пруды служат для содержания производителей и ремонтного молодняка в летнее и зимнее время. Летние маточные пруды должны отвечать требованиям, предъявляемым к выростным, а зимние маточные – к зимовальным прудам.

Летние маточные пруды располагаются ближе к источнику водоснабжения в пойме реки, на наиболее плодородных почвах, вблизи зимовальных и нерестовых прудов.

Подачу и сброс воды из всех прудов устраивают независимыми. Количество маточных прудов должно быть не менее двух для производителей и двух для ремонта, а их площадь определяется рыбоводными расчетами. Продолжительность наполнения одного пруда – 1 сут, спуска – 0,5 сут. Расход воды на 1 га маточного (летнего) пруда, необходимый для компенсации потерь воды на фильтрацию и испарение, составляет до 1,5 л/с в зависимости от геологических и других условий.

Карантинные пруды предназначены для выдерживания рыбы, завезенной из другого хозяйства, для прохождения определенного срока карантина. Пруды должны иметь изолированное водоснабжение и сброс воды, поэтому их размещают в пойме на незаболоченном участке, ниже (по течению реки) всех прудов хозяйства. Расстояние от ближайшего пруда должно быть не менее чем 20 м.

Карантинные пруды должны быть полностью спускными. Фильтрация воды из карантинного в другие пруды недопустима. По своему устройству эти пруды сходны с выростными. Площадь одного пруда – 0,2–0,5 га. Продолжительность заполнения одного пруда составляет 0,3–0,5 сут, спуска – 0,2–0,3 сут. Расход воды (в летний период с учетом компенсации потерь на фильтрацию и испарение) – до 3 л/с на 1 га.

Изоляторные пруды служат для изоляции подозреваемых в заболевании или заболевших рыб. По устройству и расположению они должны отвечать тем же требованиям, что и карантинные пруды, а отличаются лишь тем, что 60 % площади изоляторного пруда должно иметь глубину не менее 1,5 м для возможности зимовки рыб.

2.7.1.2. Полносистемные хозяйства

Полносистемные хозяйства дополнительно ко всем категориям прудов рыбопитомника имеют нагульные пруды и садки (рис. 2.6).

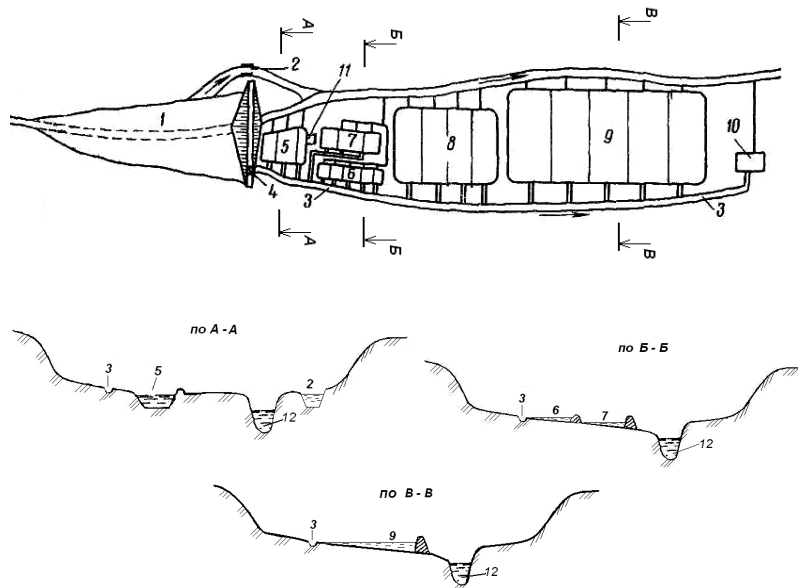


Рис. 2.6. Схема полносистемного рыбхоза с самотечным водоснабжением из головного пруда: 1 – головной пруд; 2 – паводковый водосброс; 3 – магистральный канал; 4 – водозабор магистрального канала; 5 – зимовальные пруды; 6 – нерестовые пруды; 7 – летние маточные пруды; 8 – выростные пруды; 9 – нагульные пруды; 10 – карантинный пруд; 11 – садки; 12 – река

В хозяйствах, в которых кроме карпа разводят растительноядных (белый амур и толстолобик) и других рыб, можно устраивать для них специальные маточные и нерестовые пруды, садки и инкубаторы.

Нагульные пруды служат для выращивания товарной рыбы. Они бывают русловыми и пойменными и могут располагаться на любых грунтах. Устройство пойменных прудов предпочтительнее, так как в них отсутствует хищная рыба, можно обеспечить независимое водоснабжение и сброс воды. Кроме того, по сравнению с русловыми прудами пойменные располагаются на более плодородных почвах и ложе

пруда более пологое. Нагульные пруды желательно снабжать водой из источников, обеспечивающих их наполнение и постоянное восполнение потерь на фильтрацию и испарение, или в крайнем случае из источников, запасы воды которых могут только наполнить пруды. Водоснабжение и сброс прудов желательно устраивать независимыми. Чтобы воду из прудов можно было полностью спускать, необходимо осуществлять планировку ложа пруда и устройство осушительной сети (глубиной и шириной по дну 0,5–1,0 м).

Русловые пруды устраивают в том случае, когда долина реки не имеет развитой поймы; их располагают в руслах рек, ручьев, в оврагах и балках. Для образования прудов речки и балки перегораживают плотинами, строят для каждого пруда паводковый водосброс и донный водоспуск. В этом случае пруды имеют ступенчатое (каскадное) расположение с зависимым водоснабжением и спуском.

В большинстве случаев русловые пруды, имеющие значительную глубину, используют как нагульные. Для русловых прудов целесообразно использовать реки с объемом паводка, обеспечивающим наполнение прудов до проектной отметки, и постоянным притоком воды, компенсирующим потери на фильтрацию и испарение.

Площадь руслового пруда определяется в соответствии с рыбоводными требованиями к глубинам. Рекомендуемая площадь – 50–100 га, максимальная – 200 га.

Пойменные пруды устраивают, когда долина реки имеет широкую пойму, где можно расположить рыбоводные пруды вне русла реки путем обвалования поймы дамбами.

Пруды могут снабжаться водой из головного пруда самотеком, а также при помощи насосной станции с наполнением прудов за счет паводковых вод. Водоснабжение прудов и сброс воды желательно иметь независимые.

Оптимальная глубина в пойменном пруду такая же, как и в русловом. Желательно, чтобы максимальные глубины составляли не более 2,5 м, не считая глубины рыбосборного канала. Оптимальная площадь пойменного пруда составляет 50–100 га, максимальная – 200 га. Продолжительность наполнения одного нагульного пруда в зависимости от площади колеблется от 25 до 40 сут, спуска – от 10 до 20 сут.

Преимущество схемы пойменных прудов состоит в независимых водоснабжении и сбросе воды и в пропуске паводка только через головной пруд.

В качестве нагульных прудов могут быть использованы хозяйственные пруды для обводнения и орошения земель, водоемы противопожарные и для водопоя скота, выработки залежей торфа и карьеров, а также пруды промышленного снабжения. Эти водоемы как нагульные пруды имеют ряд недостатков: невозможность их спуска осенью для вылова рыбы; наличие избыточных глубин, а также значительные колебания уровней воды. Рыбу из таких неспускных водоемов вылавливают неводами, сетями и другими орудиями лова.

В рыбоводных хозяйствах предусматривается определенный порядок размещения прудов. В полносистемном рыбоводном хозяйстве питомная часть прудов располагается в начале хозяйства (в верхней части по течению реки), ниже устраиваются нагульные пруды, в конце хозяйства (в нижней части по течению реки) – карантинные и изоляторные пруды (см. рис. 2.6).

Садки для товарной рыбы (живорыбные садки) служат для содержания товарного карпа с момента его вылова до весны. Садки располагают в пойме реки вблизи источника водоснабжения. Они представляют собой земляные удлиненные бассейны трапециевидного поперечного сечения с уклоном откосов 1:2, продольным уклоном дна $i = 0,005$ и поперечным уклоном дна к середине $i = 0,03$. Размеры таких садков равны 6×30 м. Дно укрепляют утрамбованным гравием или слоем бетона толщиной 10 см. Глубину садков принимают равной около 2,5 м, которая складывается из глубины непромерзающего слоя воды – около 1,5 м, воздушной прослойки – примерно 0,6 м, толщины ледяного покрытия – 0,2 м и сухого запаса дамб – 0,2 м. В типовом проекте таких садков предусматривается каркас ледяного покрытия (деревянный или из сборного железобетона), который устраивают на сваях, укладывая по ним прогоны, а затем жерди или арматурную сетку.

Садки следует располагать на участке поймы реки, где уровень залегания грунтовых вод составляет не менее 0,5 м.

В табл. 2.3 приводится характеристика прудов различных категорий.

Таблица 2.3. Характеристика прудов различных категорий

Категория прудов	Площадь отдельного пруда, га	Желательное отношение сторон	Наибольшая глубина, м	Средняя глубина, м	Продолжительность наполнения, сут			Продолжительность спуска, сут		
					одного пруда		всех прудов	одного пруда		всех прудов
					рекомендуемая	допустимая		рекомендуемая	допустимая	
Нерестовые	0,1	1:2–3	1,0–1,1	0,5–0,55	0,1	–	2	0,1	–	2
Мальковые	0,2	–	1,5	0,8–1,0	0,2–0,5	–	Обосновывается проектом	0,2–0,5	–	–
Выростные	10,0–15,0	–	1,5	1,0–1,2	10–15	До 20	30	3–5	10	20
Нагульные: обвалованные	До 50	По рельефу	2,0–2,5	1,3–1,5	До 15	–	–	До 5	–	–
	От 50 до 100	По рельефу	–	–	До 25	–	До 40	До 10	–	–
	Свыше 100	По рельефу	–	–	Не более 35	–	–	До 15	–	–
русловые	До 50	–	3,0–3,5	–	Определяется проектом	–	40	До 5	–	–
	От 50 до 100	–	–	–		–	До 10	–	–	
	Свыше 100	–	–	–		–	–	До 15	–	–
Зимовальные	0,5–1,0	1:3	1,8–2,0	1,8	0,5–1,0	1,5	До 10	1,0	1,5	–
Летние маточные	По расчету	1:3	1,6	1,3–1,5	1	–	–	0,5	–	–
Карантинные	0,2–0,4	1:3	1,3–1,5	1,0–1,3	0,3–0,5	–	–	0,2–0,3	–	–
Летние ремонтные	По расчету	1:3	1,5–1,6	1,3–1,5	1	–	–	0,5	–	–

2.7.1.3. Нагульные хозяйства

В состав нагульного хозяйства входят только нагульные пруды.

Нагульные пруды могут быть русловыми или пойменными. Пруды проектируют на водоисточниках, обеспечивающих как наполнение и постоянную подпитку, так и только их наполнение. Отметку НПУ нагульных прудов, водоснабжение которых осуществляется из источников, не обеспечивающих компенсацию потерь на фильтрацию и испарение, назначают с таким расчетом, чтобы во второй половине лета глубина прудов оставалась в пределах норм.

Подача воды в пруды и сброс воды из них должны быть независимыми.

Схема расположения прудов нагульного рыбоводного хозяйства приведена на рис. 2.7.

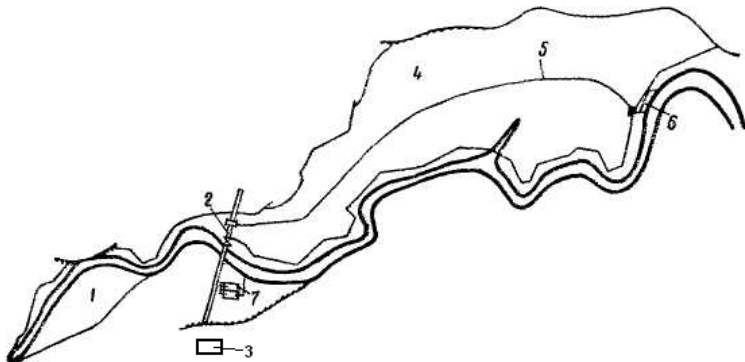


Рис. 2.7. Схема расположения нагульного рыбоводного хозяйства:
1 – головной пруд; 2 – головная плотина; 3 – садки; 4 – нагульный пруд;
5 – осушительная сеть пруда; 6 – рыбоуловитель; 7 – хозцентр

2.7.2. Форелевые хозяйства

Форелевое хозяйство является холодноводным типом рыбоводного прудового хозяйства.

Так же как и карповые, форелевые хозяйства подразделяются на полносистемные, рыбопитомники и нагульные. По сравнению с карповым для строительства форелевого хозяйства требуется значительно меньшая площадь, а по характеристике прудов оно существенно отличается от карпового.

Форелевое хозяйство имеет в основном двухлетний оборот и характеризуется небольшой площадью прудов.

Полносистемные форелевые хозяйства имеют инкубационный цех, мальковые бассейны, нагульные, выростные, маточные, ремонтные и карантинные пруды, живорыбные садки, холодильник, кормокухню, базу для выращивания живых кормов, производственные, жилые и подсобные помещения. В отличие от полносистемных карповых хозяйств в форелевых хозяйствах нет нерестовых и зимовальных прудов. Зимуют годовики форели в выростных или нагульных прудах, где температура воды не бывает ниже 3 °С.

Все пруды в форелевом хозяйстве имеют удлиненную форму с соотношением сторон 1:5, 1:10, до 1:20, что обеспечивает лучшую проточность. Все пруды обвалованные, с каменистым или бетонированным дном. Дно форелевых прудов делают с продольным уклоном в сторону донного водоспуска 1:50 или 1:100 и хорошо спланированным.

Выростные пруды подразделяют на лотки или бассейны и выростные пруды. Из инкубационных аппаратов личинки пересаживают в земляные или бетонные лотки или бассейны размером 1×4 м и глубиной 0,3–0,4 м, где выдерживают до 1,5-месячного возраста. По достижении молодью массы 1,5–2,0 г ее сортируют на размерные группы и пересаживают каждую группу в отдельный выростной пруд. Здесь молодь форели выращивают до стадии сеголетки или годовика. Площадь одного выростного пруда составляет от 100 до 500 м². Глубина пруда у донного водоспуска – 1,0–1,2 м.

Нагульные пруды, где выращивают форель от годовика до товарной массы, имеют площадь от 250 до 1000 м². Глубина воды в пруду у водопадающего лотка составляет 0,8–1,0 м, у донного водоспуска – 1,2–1,5 м.

Маточные пруды служат для содержания производителей. Площадь каждого пруда не превышает 500–700 м². Глубина пруда у донного водоспуска должна быть не менее 2 м, соотношение сторон – 1:5.

При строительстве форелевых прудов особое внимание уделяют водоснабжению, количеству и качеству воды. Для водоснабжения прудов используют родники, ручьи, реки и подземные воды, годовая температура которых изменяется от 3 (зимой) до 20 °С (летом). Водоснабжение прудов желательно независимое, но при недостатке воды в источнике водоснабжения оно может быть и зависимым. Для выращивания форели необходимо в прудах создать проточность.

Продолжительность наполнения водой прудов принята следующая (в часах): для выростных – 4, нагульных – 4–5, ремонтных – 4–5, маточных – 4–5, карантинных – 2, садков – 2. Продолжительность спуска воды из прудов должна быть следующая (в часах): для выростных – 3–4, нагульных – 4–5, маточных – 2–4, ремонтных – 2–4, карантинных – 1–2, садков – 1–2.

По ложу прудов устраивается осушительная сеть канав; для маточных прудов ширина канав составляет по дну 1,0–1,5 м, глубина – 0,5–0,7 м. Для выростных прудов каналы могут быть земляными или бетонными с шириной по дну 1 м, глубиной 0,3–0,5 м.

В состав рыбопитомников форелевых хозяйств входят те же цехи, бассейны, пруды и помещения, что и в полносистемных хозяйствах. Отсутствуют только нагульные пруды и живорыбные садки.

В состав нагульных форелевых хозяйств входят нагульные пруды, холодильник, кормокухня, жилые и подсобные помещения.

Гидротехнические сооружения форелевых прудов такие же, как и в карповых хозяйствах.

Схема расположения прудов в форелевом хозяйстве должна быть такой, при которой пруды располагались бы компактной группой с наименьшей длиной водоснабжающей системы для удобства эксплуатации в течение всего года. Схема полносистемного форелевого хозяйства показана на рис. 2.8.

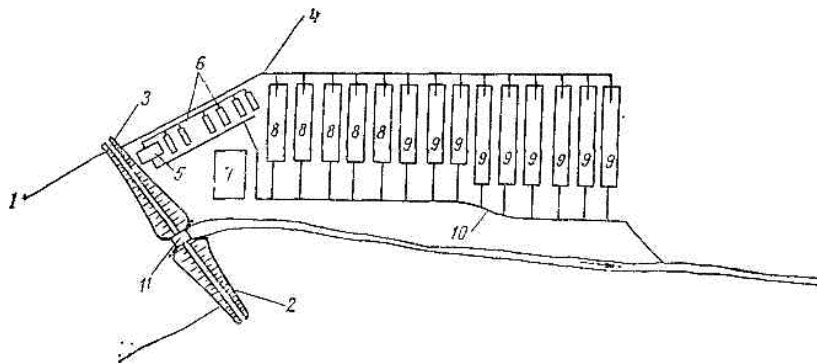


Рис. 2.8. Схема полносистемного форелевого хозяйства:
 1 – головной пруд; 2 – плотина; 3 – водозаборное сооружение;
 4 – водоснабжающий канал; 5 – инкубационный цех; 6 – мальковые бассейны;
 7 – холодильник и кормокухня; 8 – выростные пруды; 9 – нагульные пруды;
 10 – водосбросной канал; 11 – водосбросное сооружение

2.8. Компоновка и водоснабжение прудов

Компоновка прудов в различных рыбоводных хозяйствах производится в зависимости от рельефа местности, характера грунтов, расположения источников водоснабжения и других условий. Компоновка прудов состоит в плановом размещении всех прудов, каналов (водоснабжающих, осушительных и сбросных), гидротехнических сооружений и хозяйственного центра. Она должна обеспечить технологические требования ведения хозяйства и наиболее удобное управление им.

Расположение прудов в зависимости от рельефа речных пойм может быть русловым, пойменным и комбинированным.

Схема руслового, или ступенчатого, расположения прудов (рис. 2.9) (устройство выростных прудов в руслах ручьев или речек допускается при условии, что водотоки имеют небольшие водосборные площади без значительных паводковых или ливневых расходов) представляет собой каскад нагульных или выростных прудов, построенных на водотоках с узкой поймой и крутыми берегами. При таком расположении прудов подача и сброс воды зависимы, каждый пруд создается путем устройства плотины, в которой должны быть водосброс и донный водоспуск, что сильно удорожает стоимость сооружения как отдельного пруда, так и всего хозяйства.

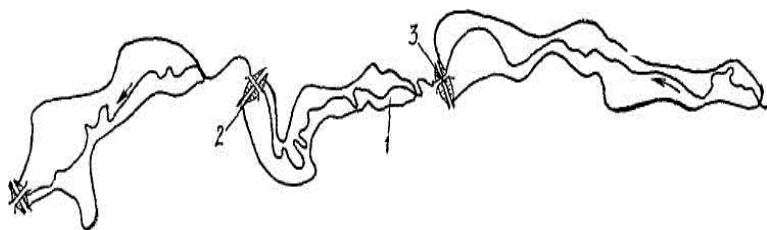


Рис. 2.9. Схема руслового расположения прудов:
1 – пруд; 2 – плотина; 3 – водосборное сооружение

Схема пойменного расположения прудов представляет собой систему прудов, размещенных по одну сторону или по двум сторонам поймы реки (рис. 2.10). В пойме с одним пологим берегом пруды располагаются только с одной стороны и водоснабжение производится по одному магистральному каналу независимо к каждому пруду. Если оба берега пологие, пруды можно располагать на двух берегах с водоснабжением по двум магистральным каналам, с самостоятельными

водозаборными сооружениями или с одним водозаборным сооружением и передачей воды на другой берег, которая должна быть решена с учетом бесперебойного обеспечения хозяйства водой, а также его экономической целесообразности. При такой схеме хозяйства создается головной пруд посредством устройства головной плотины, в которой располагаются паводковый водосброс и донный водоспуск (также независимо).

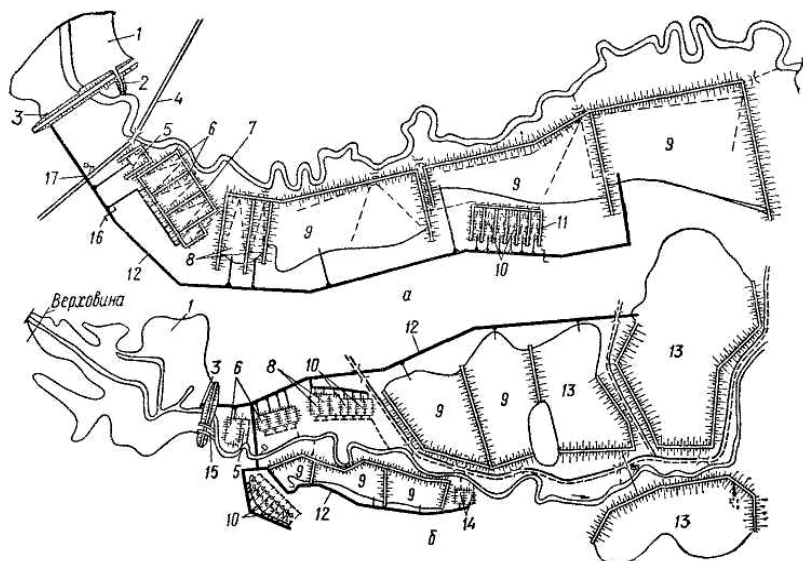


Рис. 2.10. Схема пойменного расположения прудов:

а – по одну сторону поймы реки; *б* – по двум сторонам поймы реки; 1 – головной пруд; 2 – водосброс; 3 – водозаборное сооружение; 4 – дорога; 5 – садок; 6 – зимовальные пруды; 7 – сбросной канал; 8 – маточные пруды; 9 – выростные пруды; 10 – нерестовые пруды; 11 – дамбы; 12 – водоснабжающий канал; 13 – нагульные пруды; 14 – карантинные пруды; 15 – водосброс; 16 – перепад; 17 – дюкер

При комбинированном расположении прудов в пойме реки и в русле по обеим сторонам реки строятся питомные пруды, а русло реки используется для нагульных прудов (рис. 2.11). Такая схема размещения хозяйства имеет большие недостатки, так как затрачиваются большие капиталовложения на строительство нескольких паводковых водосбросов. Преимущество этой схемы – независимые подача и

сброс воды питомных прудов. Установлено, что наилучшие экономические показатели имеют крупные полносистемные хозяйства, размещенные на широких поймах рек.

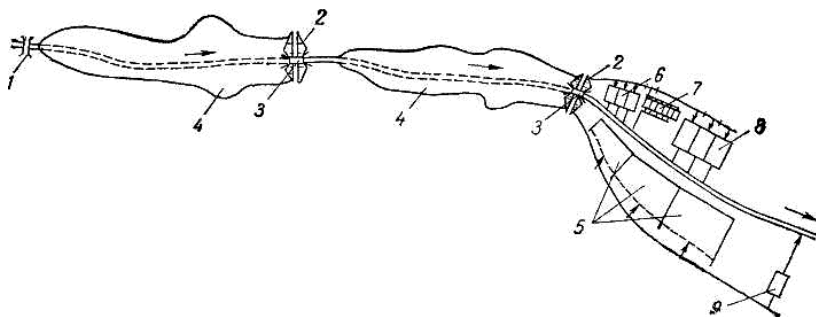


Рис. 2.11. Схема комбинированного расположения прудов:
1 – верховина; 2 – плотины; 3 – водосбросные сооружения; 4 – нагульные пруды;
5 – выростные пруды; 6 – зимовальные пруды; 7 – нерестовые пруды; 8 – летние
маточные пруды; 9 – карантинный пруд

Для водоснабжения прудов рыбопитомника, полносистемного и нагульного хозяйств могут быть использованы различные источники: реки, ручьи, каналы, озера, водохранилища, пруды, ключи и артезианские скважины. Расход воды источника водоснабжения должен обеспечивать потребности хозяйства в воде в необходимом количестве.

Водоснабжение прудовых рыбоводных хозяйств может быть самотечным, механическим или комбинированным. Желательно, чтобы водоснабжение прудов было самотечным, так как эксплуатация таких хозяйств проще, надежнее и дешевле, чем хозяйств с механическим водоснабжением, и это необходимо учитывать при выборе площадок под пруды.

Для самотечного водоснабжения прудов устраивается головной пруд или водозаборное сооружение на реке.

Головные пруды предназначены для водоснабжения рыбоводного хозяйства, в них создаются необходимые запасы воды в период весеннего паводка. Головной пруд строят выше всех прудов хозяйства, для чего русло реки или ручья перегораживают плотиной, образующей водоем, из которого по каналам или трубам осуществляется водоснабжение прудов.

Для сброса излишних паводковых вод в комплексе гидроузла головного пруда устраивают сбросное сооружение, для подачи воды в пруды – водозаборное сооружение, для полного спуска пруда – донный водоспуск. Желательно, чтобы отметка уровня воды в головном пруду обеспечивала самотечную подачу воды во все рыбоводные пруды, для этого уровень воды в головном пруду должен быть выше, чем в других прудах.

Если головной пруд используется и как нагульный для выращивания товарной рыбы, то ложе его очищают от леса, кустарника и пней и устраивают рыбосборно-осушительную систему каналов.

При использовании головного пруда для выращивания товарной рыбы предусматривают также устройство верховины или каких-либо других решетчатых заграждений, предотвращающих уход рыбы из пруда в верховья реки.

На рис. 2.6 показана схема полносистемного хозяйства с водоснабжением из головного пруда и расположением прудов на пойме реки с независимым водоснабжением и сбросом воды.

На рис. 2.12 показана схема самотечного водоснабжения полносистемного хозяйства с пойменным размещением прудов. Питомная часть: пруды зимовальные 3, нерестовые 4, летние маточные 5, выростные 2 расположены непосредственно ниже плотины головного пруда 6, пруды же нагульные 1 находятся ниже по течению реки, дальше от головной плотины. Кроме того, один нагульный пруд образован обвалованием дамбой части широкой поймы территории головного водохранилища. Все нагульные пруды вынесены на пойму, поэтому паводки проходят только через водосброс головной плотины.

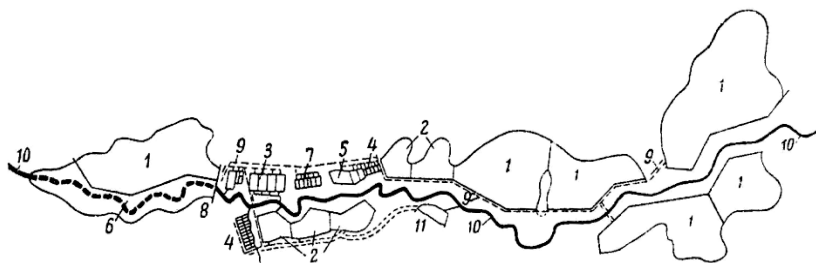


Рис. 2.12. Схема полносистемного хозяйства с самотечным водоснабжением из реки:
1 – нагульные пруды; 2 – выростные пруды; 3 – зимовальные пруды; 4 – нерестовые пруды; 5 – летние маточные пруды; 6 – головной пруд; 7 – опытные пруды;
8 – плотина; 9 – магистральный канал; 10 – река; 11 – карантинный пруд

Водоснабжение и сброс воды из прудов рыбхоза независимы, что дает возможность в любое время выключать из эксплуатации каждый пруд и мелиорировать его.

При механическом водоснабжении могут быть использованы реки, водохранилища и озера, на берегу которых устраивают насосную станцию с напорным трубопроводом (рис. 2.13).

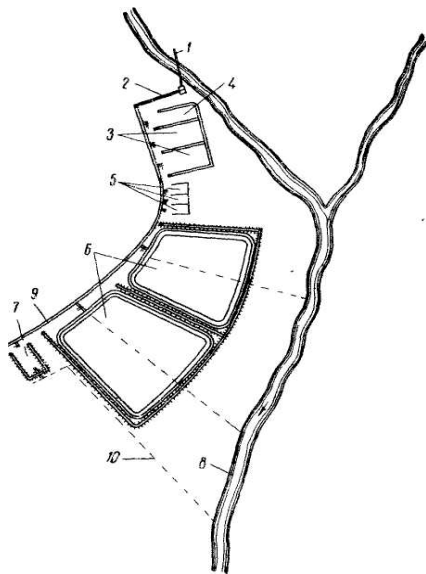


Рис. 2.13. Схема расположения рыбхоза с механическим водоснабжением:
1 – насосная станция; 2 – напорный трубопровод; 3 – зимовальные пруды;
4 – маточный пруд; 5 – нерестовые пруды; 6 – выростные пруды; 7 – карантинный пруд; 8 – река; 9 – водоснабжающий канал; 10 – сбросной канал

При механическом сбросе воды из прудов вода обычно откачивается насосами из рыбоуловителей в реку (водоприемник). Для этого применяют передвижную насосную станцию, которая может быть использована для откачки воды из нескольких прудов.

Водоснабжение прудов может осуществляться также из артезианских скважин, но в очень ограниченных размерах. Артезианские (напорные) воды залегают в различных водоносных пластах (песках, песчаниках, известняках), перекрытых сверху и снизу водонепроницаемыми породами.

Для водоснабжения рыбоводных прудов артезианской водой устраивается водозаборная скважина – вертикальная выработка, проходима буровым способом, стенки которой полностью или частично закреплены обсадными трубами. Глубина скважины зависит от глубины залегания водоносного пласта и его мощности.

Артезианские воды в рыбоводных хозяйствах обычно используются для водоснабжения зимовальных прудов (если нет другого источника). При водоснабжении из артезианских скважин необходимо установить дебит (поступление) воды, ее качество (химический состав) и температуру.

Водоснабжение прудов родниковой водой показано на рис. 2.14. Родники 1, которые ранее вливались в реку отдельными ручейками, каптируются, и их расходы, перехваченные собирающим каналом 3, направляются в согревательный пруд 4. Здесь, при замедленном течении, температура воды от нагревания солнцем и от соприкосновения с теплым воздухом повышается. Далее вода по магистральному каналу 5 поступает к рыбоводным прудам.

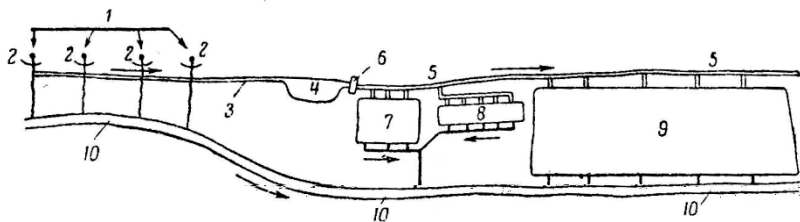


Рис. 2.14. Водоснабжение прудов из родников: 1 – зона родников; 2 – каптажи родников; 3 – собирающий канал; 4 – согревательный пруд; 5 – магистральный канал; 6 – головной водозабор; 7 – зимовальный пруд; 8 – нерестовый пруд; 9 – выростной пруд; 10 – река (водоприемник)

3. ГРУНТОВЫЕ ПЛОТИНЫ И ДАМБЫ

3.1. Общая характеристика плотин

Плотинами из грунтовых материалов называют водоподпорные сооружения, возводимые из естественных (глинистых, песчаных, крупнообломочных) или искусственных грунтов.

Следует отметить, что искусственными грунтами принято считать

грунты природного происхождения, закрепленные и уплотненные различными методами, насыпные и намывные грунты, смеси естественных грунтов, а также твердые отходы промышленной и хозяйственной деятельности, например отходы горно-обогатительных предприятий, шлаки металлургической промышленности и др.

Плотины из грунтовых материалов практически всегда бывают глухими, т. е. недопускают перелива воды через гребень. Пропускать паводки через недостроенную плотину или гребень допускается в исключительных случаях для некоторых типов плотин малой высоты.

Грунтовые плотины получили широкое распространение во всех областях гидротехнического строительства благодаря следующим преимуществам:

1) возведение их возможно в любых географических районах независимо от климатических и грунтовых условий. В сейсмических условиях грунтовые плотины надежнее прочих, так как не теряют прочности и устойчивости;

2) для возведения грунтовых плотин пригодны практически все местные грунты, находящиеся непосредственно на месте строительства;

3) затраты на материал сводятся только к его перемещению, укладке и уплотнению;

4) стоимость возведения грунтовых плотин, как правило, ниже стоимости возведения плотин из других материалов за счет механизации большинства видов работ;

5) грунтовые плотины могут быть любой высоты;

6) материал тела плотины не теряет своих свойств со временем, а общая устойчивость грунтового сооружения возрастает;

7) в процессе эксплуатации плотины не требуют затрат на текущий, а тем более капитальный ремонт, за исключением затрат на поддержание в рабочем состоянии покрытия откосов, гребня и др., что не зависит от состояния самой плотины;

8) грунтовые плотины можно неограниченно наращивать по высоте, причем без выключения из работы водоема при старом контуре плотины.

Наряду с достоинствами грунтовые плотины имеют и недостатки:

1) невозможность сброса максимальных расходов через гребень плотины;

2) наличие в теле плотины фильтрационного потока, потенциально создающего условия для фильтрационных деформаций;

- 3) возможность больших потерь воды на фильтрацию, если тело плотины выполнено из грунтов повышенной водопроницаемости;
- 4) трудность укладки насыпи при значительных и продолжительных минусовых температурах;
- 5) неравномерность осадок по поперечному профилю плотины;
- 6) ограничение в использовании некоторых видов грунтов для тела плотины и основания.

По высоте грунтовые плотины различают: высокие – с максимальным напором более 50 м; средние – 15–50 м; низкие – с напором менее 15 м.

По способу производства работ различают насыпные, намывные и полунамывные грунтовые плотины. Насыпные плотины бывают с искусственным уплотнением и без него: отсыпка в воду, отсыпка при помощи взрыва на выброс и др.

В намывных плотинах специальные гидромеханические устройства подают грунт из карьеров в тело плотины в разжиженном виде.

В полунамывных плотинах гидромеханический способ используют только для создания средней части плотины, а боковые участки укладывают сухим способом.

По способу пропуска воды в нижний бьеф плотины делятся на глухие, водосливные и смешанные. В глухих плотинах нет отверстий для пропуска воды и излишки паводковых вод сбрасываются через водосбросные каналы, устраиваемые в обход плотины. В смешанных плотинах имеется как глухая, так и водосливная часть. В водосливных плотинах вода переливается через гребень плотины.

Плотины строят из различных местных материалов: суглинка, суглинистого песка, песка. Каменно-набросные плотины строят из камня. Смешанные плотины строят из камня и грунта.

По водохозяйственному назначению плотины делят на водоподъемные и водохранилищные. Водоподъемные плотины создают подпор воды в верхнем бьефе, позволяющий подавать воду самотеком из него в нижний бьеф. Водохранилищные плотины служат для создания в верхнем бьефе определенных объемов воды, которые может использовать рыбхоз в нужное время.

Для водоснабжения рыбоводных хозяйств в большинстве случаев строят низконапорные насыпные грунтовые плотины высотой до 10 м, которые представляют собой насыпь из однородных или разнородных грунтов трапециoidalного сечения.

Необходимо отметить, что грунтовые плотины классифицируют

как по использованным материалам, так и по конструкциям противофильтрационных устройств в теле и основании плотины.

При проектировании и возведении грунтовых плотин необходимо учитывать следующие основные требования:

1) заложения откосов плотин должны обеспечивать устойчивость сооружения и его основания при всех возможных условиях строительства и эксплуатации;

2) откосы и гребень плотины должны иметь покрытия, защищающие их от волновых, ледовых и атмосферных воздействий;

3) дренажные устройства должны обеспечивать сбор и организованный отвод фильтрующейся воды, предотвращать фильтрационные деформации в теле и основании сооружений;

4) строительные и эксплуатационные деформации плотины, ее отдельных элементов и основания не должны вызывать нарушения нормальной работы сооружения.

На положение створа плотины оказывают влияние различные условия: топографические, инженерно-геологические, гидрологические, строительные, трассировка водосбросного тракта, хозяйственные и др. В процессе выбора створа плотины на плане намечается ряд возможных вариантов. Окончательный выбор створа плотины производится на основании технико-экономических сопоставлений вариантов, принимаются во внимание компоновочные решения и эксплуатационные затраты по узулу.

Руководствуясь только топографией, створ плотины наиболее целесообразно располагать в самом узком месте водотока, так как это дает минимальный объем земляных работ. Желательно, чтобы водохранилище (головной пруд) при выбранном створе имело минимальную площадь зеркала воды, что позволяет сокращать площади затопления и потери воды на испарение. При этом подразумевается, что по контуру водохранилища (головного пруда) не будет оградительных дамб, затраты на которые могут нейтрализовать преимущества короткого створа.

Геологические условия створа плотины в первую очередь требуют, чтобы грунты в основании плотины были прочными и были способны принять на себя дополнительную нагрузку от сооружений.

Гидрологические условия влияют на выбор створа плотины таким образом, чтобы при стоке заданной обеспеченности было возможно наполнение водохранилища до заданного объема. На выбор створа плотины большое влияние оказывают расположение водосбросного

тракта и размещение сооружений на нем. Это, в свою очередь, влияет как на стоимость всего узла, так и на его эксплуатацию. При прочих равных условиях (геологических, гидрологических и хозяйственных) выбор створа плотины нельзя подчинять только топографии исходя из минимума объема работ по насыпи. Необходимо еще учитывать наиболее удачное расположение водосбросного тракта, так как его стоимость часто превосходит стоимость самой плотины. Особое внимание необходимо уделять вопросу, связанному с пропуском паводковых вод, так как от этого зависит устойчивость самой грунтовой плотины.

На выбор створа плотины влияют хозяйственные условия и использование запасов воды в водохранилище, а также удаленность узла сооружений от потребителя.

3.2. Типы и конструкции грунтовых плотин

Для возведения грунтовых плотин можно применять практически все виды нескальных грунтов, за исключением:

а) содержащих водорастворимые включения хлоридных солей – более 5 % по массе, сульфатных или сульфатно-хлоридных – более 10 % по массе;

б) содержащих не полностью разложившиеся органические вещества (например, остатки растений) – более 5 % по массе – или полностью разложившиеся органические вещества, находящиеся в аморфном состоянии, – более 8 % по массе.

Эти грунты допускается применять при наличии соответствующего обоснования и при условии проведения необходимых защитных инженерных мероприятий, а также соблюдения правил охраны поверхностных вод от загрязнения.

Для низовых частей профиля грунтовых плотин всех типов допускается применять песчаные, гравийные и галечниковые грунты. При проектировании тип грунтовой плотины принимается в зависимости от наличия на месте строительства грунта.

Грунты, содержащие неразложившиеся растения и корни, а также ходы землеройных животных, как правило, удаляются из основания или прорезаются зубом. Наличие в основании галечниковых, гравелистых и крупнопесчаных грунтов требует устройства понура перед плотиной и пересечения этих грунтов зубом, инъекционной завесой, шпунтовой стенкой и др.

Грунтовые плотины можно строить из слабодопроницаемых и водопроницаемых грунтов на водопроницаемом и водонепроницаемом основаниях. На водонепроницаемом основании можно возводить следующие типы грунтовых плотин: однородные, с пластичным или жестким экраном, с ядром, с диафрагмой, из разнородных грунтов (с водонепроницаемой верховой призмой).

Однородные грунтовые плотины (рис. 3.1, *a*) строятся при наличии на месте строительства в достаточном количестве относительно водонепроницаемых грунтов: суглинков, лессов, а также тяжелых глин, насыщенных водой до нижнего предела пластичности, т. е. практически из всех относительно водонепроницаемых грунтов. Грунтовые плотины из легких и средних суглинков возводятся без защитного слоя. При возведении плотин из тяжелых суглинков и глин с содержанием глинистых частиц 20 % и более в районах с суровыми зимами целесообразно устраивать защитный слой из гравийно-песчаного или песчаного грунта по откосам и гребню плотины. Толщина защитного слоя должна быть не меньше глубины промерзания грунта. Для однородных плотин можно также использовать и песчаные грунты при значении фильтрационного расхода воды, допустимого по водохозяйственным расчетам.

В однородных грунтовых плотинах рекомендуется устраивать дренажи со стороны низового откоса.

Грунтовые плотины с пластичным экраном (рис. 3.1, *б*) устраиваются, если тело плотины возводится из водопроницаемых грунтов (песков, супесей). Экран уменьшает фильтрацию воды через тело плотины, понижает кривую депрессии. Его можно устраивать из суглинка, смеси глины (не более 54 %) и песка, глинобетона (смесь глины – 24 %, песка – 36, гравия – 40 % по объему) и торфа.

Для защиты от промерзания с верховой стороны экран покрывается защитным слоем из гравийно-песчаного грунта, песка, супеси, гравия или щебня. Толщина защитного слоя должна быть не менее 1,0–1,5 м у основания плотины. Толщина пластичного экрана должна быть не менее 0,8 м по верху и не менее 0,1Н (Н – напор) внизу. Более точно толщину экрана можно рассчитать из условия фильтрационной прочности по формуле

$$t_3 = \frac{\Delta h}{I_{кр}} K_n, \quad (3.1)$$

где t_3 – толщина экрана, м;

Δh – разность уровней воды до экрана и за ним, м;

$I_{кр}$ – критический средний градиент напора, принимаемый в соответствии с ТКП по табл. 3.1;

K_n – коэффициент надежности, учитывающий степень ответственности и значимости последствий при наступлении тех или иных предельных состояний, принимаемый в соответствии с ТКП (табл. 3.2).

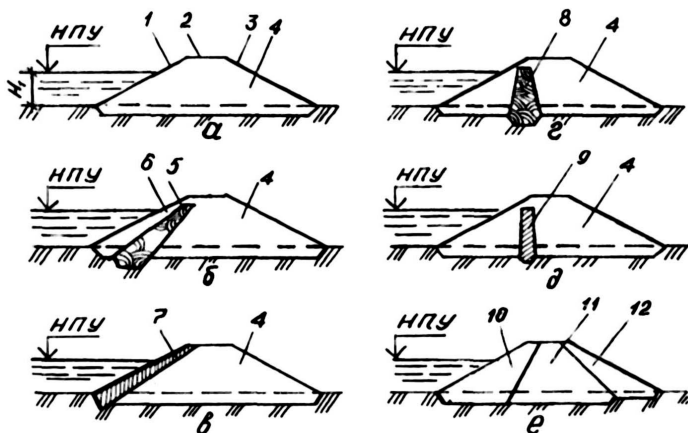


Рис. 3.1. Типы грунтовых плотин: а – однородная; б – с пластичным экраном; в – с жестким экраном; г – с ядром; д – с диафрагмой; е – из разнородных грунтов; 1 – верховой откос; 2 – гребень плотины; 3 – низовой откос; 4 – тело плотины; 5 – пластичный экран; 6 – защитный слой; 7 – жесткий экран; 8 – ядро; 9 – диафрагма; 10 – суглинок; 11 – супесь; 12 – песок

Таблица 3.1. Значения критических градиентов напора $I_{кр}$

Грунт	Значение критических средних градиентов напора $I_{кр}$		
	для понура	для экрана и ядра	для тела и призмы плотины
Глина, глинобетон	15	12	8–2
Суглинок	10	8	4,0–1,5
Супесь	3	2	2–1
Песок:			
средний	–	–	1
мелкий	–	–	0,75

Значения критического среднего градиента напора (табл. 3.2) принимают в зависимости от физико-механических свойств грунта и способа его укладки.

Превышение верха экрана или ядра над нормальным статическим уровнем воды принимают по табл. 3.2. При этом верх противотрационных устройств должен быть не выше форсированного статического уровня воды с учетом ветрового нагона.

Т а б л и ц а 3.2. Превышение верха противотрационных устройств над нормальным подпорным статическим уровнем воды

Противотрационное устройство	Класс сооружения	
	I, II	III, IV
Экран, м	0,7	0,5
Ядро и диафрагма, м	0,5	0,3

Для осмотра и ремонта экраны более удобны, чем ядро, и в плотинах с экраном вода насыщает значительно меньшую часть объема тела плотины. Однако для экрана требуется больше материала, и он более подвержен деформациям при осадке основания или тела плотины.

Грунтовые плотины с жестким экраном (рис. 3.1, в) возводят при отсутствии соответствующих грунтов для пластичного экрана. Жесткие экраны бывают бетонные или железобетонные. Такие экраны имеют сложную конструкцию, и стоимость их по сравнению со стоимостью пластичных экранов значительно больше. Кроме того, при осадке тела плотины в жестких экранах могут появляться трещины. Поэтому они применяются редко.

Грунтовые плотины с ядром (рис. 3.1, з), как и плотины с пластичным экраном, возводятся из водопроницаемых грунтов. Ядро уменьшает фильтрацию воды через тело плотины и устраивается из таких же материалов, как и пластичный экран. Толщина ядра принимается не менее 0,8 м вверху и не менее 0,1Н внизу. Затем после выполнения фильтрационного расчета толщина ядра уточняется по формуле (3.1). Превышение верха ядра над статическим уровнем воды принимается по табл. 3.2. Плотины с ядром, как и однородные, рекомендуется возводить и на сильнодеформируемых основаниях.

Грунтовые плотины с диафрагмой (рис. 3.1, д), как и плотины с жестким экраном, возводят при отсутствии соответствующих грунтов для ядра, а также и на скальном основании для лучшего сопряжения тела плотины с основанием. Диафрагмы выполняются из бетона, железобетона, металла и битумных материалов. Толщина диафрагмы вверху из бетона и железобетона должна быть не менее 0,3 м. Превышение верха диафрагмы над статическим уровнем воды принимается

по табл. 3.2. Диафрагма, как и ядро плотин, недоступна для осмотра и ремонта, поэтому располагать ее следует под верховой бровкой гребня плотины. Вследствие неравномерной осадки тела плотины и разности гидростатического давления на гранях жесткой диафрагмы в ней могут появляться трещины, поэтому при выборе типа плотины предпочтение следует отдавать либо пластичному экрану, либо ядру.

В настоящее время широкое применение находят экраны и диафрагмы из полимерных материалов. Они обладают рядом достоинств: гибкостью, очень малой материалоемкостью, водонепроницаемостью, химической стойкостью и морозостойкостью. Для их устройства используют полимерные пленки толщиной 0,1–0,3 мм, которые укладывают в один или два слоя.

В процессе возведения плотины с экраном из полимерных материалов пленку экрана укладывают на подстилающий слой песка толщиной 0,1–0,3 м и пригружают ее защитным слоем песка большей толщины, который предотвращает повреждение пленки. Подстилающий и защитный слой отсыпают из песка с окатанными частицами размером не более 5 мм.

Устройство диафрагмы из полимерного материала выполняют так же, как и экран, но диафрагма в виде вертикальной зигзагообразной конструкции располагается в центре плотины.

Грунтовые плотины из разнородных грунтов (рис. 3.1, *е*) возводят при отсутствии однородного грунта на месте строительства в необходимом количестве. В таких плотинах водонепроницаемый грунт (глина или суглинок) располагается на верховой напорной стороне плотины.

Под действием напора, создаваемого плотиной, происходит фильтрация воды из верхнего в нижний бьеф, как через тело плотины, так и через основание, особенно в местах сопряжения тела плотины с берегами и сооружениями, расположенными в теле плотины. Для предотвращения усиленной фильтрации в этих местах принимают меры, обеспечивающие плотное соединение тела грунтовой плотины с основанием, берегами и сооружениями. На площади основания плотины вырубают лес и кустарник, выкорчевывают пни и удаляют на глубину 0,3–1,0 м растительный слой с корневищами и ходами землеройных животных.

При сопряжении грунтовой плотины с основанием водонепроницаемая часть плотины соединяется с водонепроницаемым грунтом основания при помощи замка или зуба глубиной 0,5–0,7 м (рис. 3.2, *а*).

Однородные грунтовые плотины при толщине водопроницаемого слоя до 5 м выполняются с замком из водонепроницаемого грунта (рис. 3.2, б). Замок врежется в водонепроницаемый грунт на глубину не менее 0,5 м, ширина его нижнего основания составляет 2–3 м. Коэффициент откосов замка $m_3 = 0,5-1,0$.

Если толщина водопроницаемого слоя 5–7 м, то однородная плотина строится с противofильтрационной завесой (инъекционной или траншейной, выполняемой методом «стена в грунте») или шпунтовой стенкой, доходящими до водопроницаемого грунта (рис. 3.2, в).

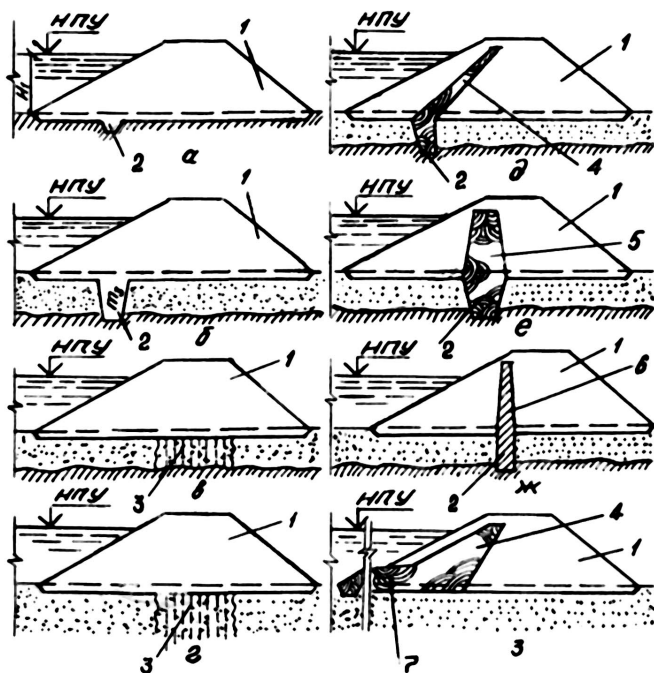


Рис. 3.2. Типы плотин и их сопряжение с основанием:

- a* – однородная плотина с замком; *б* – то же, с глубоким замком;
- в* – то же, с инъекционной завесой; *г* – то же, с «висячей» инъекционной завесой; *д* – то же, с экраном и замком; *е* – то же, с ядром и замком; *ж* – то же, с диафрагмой и замком; *з* – то же, с экраном и понуром;
- 1 – тело плотины; 2 – замок (зуб); 3 – противofильтрационная завеса;
- 4 – экран; 5 – ядро; 6 – диафрагма; 7 – понур

При толщине водопроницаемого слоя более 7 м плотина строится с «висячей» противофильтрационной завесой глубиной 0,5–0,1Н (рис. 3.2, з).

Грунтовые плотины с экраном, ядром или диафрагмой при толщине водопроницаемого слоя 2–3 м выполняются с замком (рис. 3.2, д, е, жс). Если толщина водопроницаемого грунта основания большая, то однородные плотины устраивают с понуром или с экраном и понуром (рис. 3.2, з). Понур является продолжением экрана и устраивается из того же материала, что и экран. Толщина его в верхней части должна быть не менее 0,5 м, а в месте соединения с экраном такой, чтобы градиенты напора фильтрационного потока удовлетворяли критерию фильтрационной прочности. Предварительно толщину верхней части понура принимают равной 1–2 м, а длина понура принимается равной 2–3Н.

Сверху понур, как и экран, покрывается защитным слоем толщиной 1,0–1,2 м.

Сопряжение тела грунтовой плотины с берегами следует выполнять в виде наклонных плоскостей с короткими уступами для удобства работ (рис. 3.3, а).

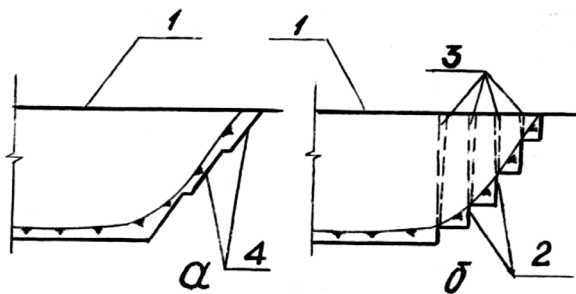


Рис. 3.3. Сопряжение тела плотины с берегами: а – с наклонными плоскостями; б – с вертикальными уступами (не рекомендуется); 1 – гребень плотины; 2 – вертикальные уступы; 3 – поперечные трещины; 4 – наклонные сопрягающие плоскости

3.3. Элементы плотин

Тело земляной плотины представляет собой трапецию, сверху ограниченную гребнем, с боков откосами, снизу подошвой (рис. 3.4).

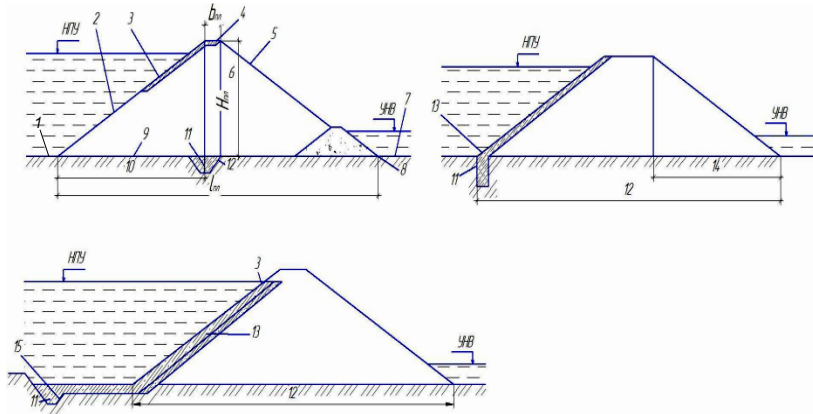


Рис. 3.4. Наименования и обозначения отдельных элементов плотины и прилегающих к ней участков водотока: 1 – верхний бьеф; 2 – верховой откос; 3 – крепление откосов; 4 – гребень; 5 – низовой откос; 6 – высота плотины; 7 – нижний бьеф; 8 – обратный фильтр; 9 – подошва; 10 – заложение верхового откоса; 11 – зуб; 12 – ширина плотины по низу; 13 – экран; 14 – заложение низового откоса; 15 – понур

Линии пересечения откосов с основанием и гребнем плотины называют **нижними и верхними бровками**. Слой грунта, на который опирается плотина своей подошвой, называется **основанием**. Высота плотины – расстояние между подошвой и гребнем.

При проектировании земляных плотин устанавливают размеры основных элементов насыпи: ширину гребня плотины, превышение гребня над нормальным подпорным уровнем, заложение и крепление откосов, тип дренажа.

Ширину гребня плотины принимают равной не менее 4,5 м в зависимости от условий производства работ и эксплуатации. Если по гребню плотины предусмотрена дорога, то ширина его зависит от категории дороги. Проезжая часть гребня плотины укрепляется одеждой в зависимости от категории дороги. Гребень плотин без дороги специально не укрепляется. Глинистые грунты тела плотины в зоне гребня защищают слоем из несвязных грунтов толщиной не менее расчетной глубины промерзания. В поперечном направлении проезжей части дороги придают уклон 1,5–4,0 ‰; уклон обочин выполняют на 1–3 ‰ больше, по краям их устраивают сигнальные столбики или низкие стенки. Ограждения ставят на расстоянии не более 0,5 м от бровки

гребня, а по длине плотины, если они выполнены в виде столбов, — через 4–6 м. Конструктивные схемы ограждений приведены на рис. 3.5.

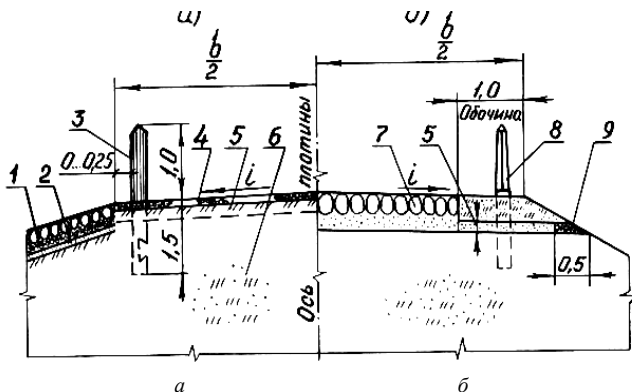


Рис. 3.5. Устройство и типы креплений гребня плотины:
a – покрытие гравием 10–15 см; *б* – покрытие мостовой из рваного камня; *1* – одиночная мостовая верхового откоса; *2* – гравийно-песчаный фильтр; *3* – деревянные надолбы диаметром 15–18 см; *4* – гравийное покрытие; *5* – дренажная канава; *6* – тело плотины; *7* – мостовая из рваного камня; *8* – железобетонные надолбы; *9* – обратный фильтр-призма из местных материалов (щебень, гравий, хворостяные фашины)

На прямолинейных участках дороги проезжую часть выполняют с двусторонним поперечным уклоном. На криволинейных участках гребня дорогу выполняют с виражом, придавая проезжей части односторонний уклон.

Одежда дороги состоит из покрытия и основания. В основании покрытия укладываются песчаные и гравийные грунты. Они необходимы для более равномерного распределения давлений от сосредоточенных нагрузок и быстрого отвода воды за пределы проезжей части. Пример конструкции гребня плотины с устройством на нем дороги с покрытием из булыжной мостовой и гравием приведен на рис. 3.6.

Возвышение гребня плотины d над соответствующим расчетным уровнем определяется по формуле

$$d = \Delta h + h_n + a, \quad (3.2)$$

где Δh – ветровой нагон воды в верхнем бьефе, м;

h_n – высота наката ветровых волн обеспеченностью 1 %, м;

a – запас возвышения гребня плотины, м.

При определении первых двух слагаемых в формуле (3.2) следует принимать обеспеченности скорости ветра для расчета элементов волн, наката и нагона при основном сочетании нагрузок и воздействий (при НПУ). При особом сочетании нагрузок и воздействий (при ФПУ) эти обеспеченности определяются в соответствии с нормативными требованиями. Запас a принимают не менее 0,5 м.

Откосы грунтовых плотин принимаются в зависимости от типа плотины, ее высоты и вида грунта, из которого она возводится, а также свойств основания. Верховой откос, который находится под воздействием волн и льда и насыщен водой почти на всю высоту, делают более пологим, низовой откос – более крутым. Откосы плотин высотой до 10–15 м принимаются с постоянным коэффициентом заложения. При большей высоте следует принимать ломаное очертание верхового и низового откосов, постепенно уменьшая уклон их от гребня к основанию. В местах переломов уклона откосов, особенно на низовом откосе, часто строятся горизонтальные площадки – бермы. Бермы располагаются через 10 м по высоте плотин, как на верховом, так и на низовом откосах. Устройство берм вызывается необходимостью:

- 1) облегчения производства работ по покрытию откосов;
- 2) создания более устойчивого упора для крепления откоса;
- 3) включения в тело плотины строительных перемычек;
- 4) осуществления перехода от одного заложения откоса к другому;
- 5) перехвата и отвода дождевых и талых вод, стекающих с выше-расположенной части откоса;
- 6) надзора и ремонта откоса в процессе эксплуатации;
- 7) прокладки дороги;
- 8) сопряжения откоса плотины с дренажем, выполненным в виде дренажной призмы.

Низовые откосы плотин средней высоты и тем более высоких, как правило, имеют бермы. В низких плотинах бермы обычно отсутствуют, хотя есть отдельные случаи, когда устраивают берму.

При интенсивных осадках (ливнях) наблюдаются значительные деформации откосов. Стекающая после дождей вода, образуя ручейки, постепенно размывает грунт откоса. Для предупреждения размыва требуется усиленное крепление, так как обычное крепление не в состоянии противостоять большим скоростям потока воды. Бермы на откосе сокращают путь струек, уменьшают их интенсивность и скорости, тем самым исключая применение усиленного крепления. На низовом откосе бермам придают односторонний поперечный уклон в пре-

делах 2–4 % в сторону верхнего бьефа. Для сбора воды, стекающей по откосу, на берме устраивают кюветы-канавки, располагая их на внутренней стороне. Собранный вода стекает по лоткам, проложенным по откосу под углом 45° к бровке. Конец лотка примыкает к канавке, идущей у подошвы откоса, сопрягаемого с поверхностью земли. По этой канавке в нижний бьеф стекает вода, просочившаяся через тело плотины, и дождевая вода, поступающая из лотков.

Ширину берм назначают в пределах 1,5–2,0 м, если по каким-либо причинам не требуется ее увеличения, например при устройстве проезда. Ширина бермы в этом случае должна отвечать габаритам транспортных средств. Для невысоких грунтовых плотин, если в основании грунты такие же, как в теле плотины, или более прочные, коэффициенты заложения откосов принимаются по табл. 3.3.

Т а б л и ц а 3.3. Коэффициенты заложения откосов для невысоких грунтовых плотин IV класса

Откос	При расчетной высоте плотины, м					
	До 5		5–10		10–15	
	При грунтах тела плотины					
	глинистых	песчаных	глинистых	песчаных	глинистых	песчаных
Верховой	2	2,0–2,5	2,5	2,5–3,0	3	3
Низовой с дренажем	1,5	2	1,75	2	1,75	2
Низовой без дренажа	1,75	2	2	2,25	2,25	2,25

Для предварительных расчетов плотин высотой 15–20 м коэффициент заложения верхового откоса принимают равным 3,0–3,5, низового – 2,25–2,5, для плотин высотой 20–30 м коэффициенты заложения соответственно равны 3,0–3,5 и 2,25–2,75.

3.4. Типы крепления откосов и гребня грунтовых плотин

Крепление откосов грунтовых плотин устраивают для защиты их от следующих воздействий:

- а) размыва течением или волнением воды в бьефе;
- б) разрушения льдом;
- в) размыва фильтрационным потоком воды, вытекающей из тела плотины (пор грунта), например при снижении уровня воды в бьефе или откате волн;
- г) размыва дождевыми и талыми водами, стекающими по откосу плотины (низовому), а также по откосу берега в нижнем бьефе;
- д) разрушения под воздействием ветра;

е) прорастания растений с сильно развитой корневой системой, так как при отмирании и гниении корней растений в теле плотины могут раскрыться сосредоточенные ходы фильтрации;

ж) проникновения землеройных животных;

з) пучения глинистого грунта в зимний период или усадки его летом, когда грунт надводной части откоса может пересыхать и давать трещины.

С учетом перечисленных факторов, а также интенсивности их воздействия и устанавливают тип покрытия откоса. В общем случае покрытие откоса состоит из следующих элементов (рис. 3.6):

1) **крепления**, защищающего откос от размыва его поверхности водой бьефа, от разрушения его льдом и т. п.;

2) **подготовки**, укладываемой под креплением;

3) **дренажа**, причем дренаж (вместе с обратным фильтром и защитным слоем) иногда может играть роль подготовки;

4) **обратных фильтров**, предотвращающих вынос мелкозернистых частиц грунта в дренаж или за пределы тела плотины;

5) **защитного слоя**, который совместно с креплением, подготовкой, дренажем и обратным фильтром защищает глинистый грунт откоса от промерзания и других воздействий, указанных выше.

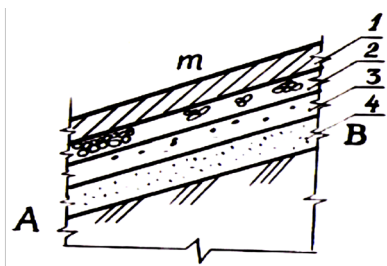


Рис. 3.6. Схема покрытия откоса АВ
(в общем случае): 1 – крепление; 2 – дренаж; 3 – обратный
фильтр; 4 – защитный слой (2, 3, 4 – подготовка)

В частных случаях покрытие откоса может состоять только из некоторых перечисленных выше элементов.

Для защиты верхового откоса, как правило, применяют следующие виды креплений:

а) каменные (насыпные);

б) бетонные монолитные, железобетонные сборные и монолитные с обычной и предварительно напряженной арматурой;

- в) асфальтобетонные;
- г) биологические.

Вид крепления устанавливают исходя из технико-экономической оценки вариантов с учетом максимального использования средств механизации и местных материалов, характера грунта тела плотины и основания, агрессивности воды, долговечности крепления в условиях эксплуатации, архитектурных требований.

Крепление верхового откоса плотины подразделяют на основное, расположенное в зоне максимальных волновых и ледовых воздействий, возникающих в эксплуатационный период, и облегченное, расположенное ниже или выше основного крепления.

Верхней границей основного крепления (ВГК) чаще считают отметку гребня плотины. В случае значительного возвышения гребня плотины над расчетным уровнем воды основное крепление следует заканчивать ниже гребня на отметке высоты наката Δh , далее до гребня доводят облегченное крепление.

Нижнюю границу основного крепления (НГК) назначают, считая от минимального уровня сработки водохранилища (головного пруда), на глубине $h = 2h_1$. При этом нижняя граница основного крепления должна быть ниже минимального уровня сработки водохранилища (головного пруда) не менее чем на $1,5t$, где t – расчетная толщина ледяного покрова.

Чаще для защиты верховых откосов применяют в основном сборные и монолитные железобетонные покрытия или каменную наброску, несколько реже – бетонные, асфальтобетонные и биологические крепления.

Сборные крепления выполняют с омоноличиванием стыков плит или с открытыми швами.

Омоноличенные покрытия (рис. 3.7) из унифицированных плит марки ПКП размерами 2×4 м и толщиной $t_{s1} = 0,12, 0,15$ и $0,20$ м являются основным типом крепления откосов низких и средней высоты водохранилищных плотин. Плиты объединяют в секции (карты) путем сварки выпусков арматуры (рис. 3.7, *з*) или шарнирным соединением (рис. 3.7, *д*). Швы заделывают бетоном, асфальтобетоном или раствором. Секции выполняют прямоугольными с соотношением сторон $1 \leq l_{s1}/b_{s1} \leq 2$, где b_{s1} – меньшая сторона, располагаемая нормально урезу воды. Размер b_{s1} при сварных соединениях арматуры принимают равным 10–14 м, а длину l_{s1} секции – 20–24 м. По периметру секций устраивают деформационные швы (рис. 3.7, *е*), воспринимающие температурные и осадочные деформации. При шарнирном соединении плит температурно-осадочные швы можно не делать.

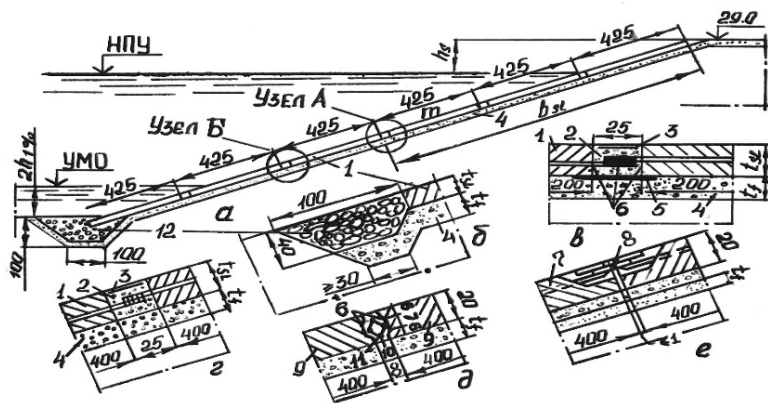


Рис. 3.7. Конструкция крепления откоса сборными железобетонными плитами: *а* – разрез крепления; *б* – вариант упора крепления откоса без берма; *в* – поперечный температурно-осадочный шов (продольные швы – узел *А* – выполняют аналогично); *г* – омоноличенный стык жесткосоединенных плит (узел *Б*); *д* – омоноличенный стык шарнирно соединенных плит; *е* – шарнирное соединение плит с открытыми швами; 1 – плиты ПКП-II; 2 – бетон; 3 – сетка из стержней диаметром 8 мм через 0,2 м; 4 – фильтровая подготовка; 5 – битумный мат $t = 1$ см; 6 – окраска битумом в два слоя; 7, 9 – плиты ПКП-III и ПКП-IV; 8 – хомут диаметром 18 мм; 10 – арматура диаметром 6 мм; 11 – бетон с мелким заполнителем; 12 – упорная призма из камня размером 12–15 см (размеры в сантиметрах)

На откосах плотин, сложенных из глинистых грунтов, способных к разжижению, необходимо под плитами предусматривать обратный фильтр из песчано-гравелистых, галечниковых или щебеночных грунтов, а также из искусственных волокнистых материалов. Толщина одного слоя фильтра при ручной укладке грунта должна быть не менее 0,1 м, при механической – 0,2 м.

Искусственные фильтры из волокнистых материалов применяют для защиты глинистых грунтов, мелкозернистых и средnezернистых песков.

Наиболее целесообразно использовать их для защиты связных грунтов, способных к разжижению в воде, в сочетании с песчаным слоем фильтра.

Сборные покрытия из плит с открытыми швами требуют надежной фильтровой подготовки. Их применяют редко: при значительной неравномерности осадки откоса, креплении подводных откосов или проведении работ в зимнее время.

Толщина однослойных фильтровых подготовок t_{ϕ} под покрытиями из плит с открытыми швами или сквозными отверстиями принимается в следующих пределах:

$$35 \text{ см} \leq t_{\phi} \leq 10D_{50}. \quad (3.3)$$

При многослойной подготовке, состоящей из двух или трех слоев, в зависимости от характеристик применяемых материалов для надежного контактирования с песчаным грунтом откоса нижний слой подготовки выполняют из материала со степенью неоднородности

$$\eta_{60/10} \leq 20 \quad (3.4)$$

и удовлетворяющего определенным пределам соотношений между размерами своих частиц D и размерами частиц d грунта откоса:

$$D_{10}/d_{10} \leq 10 \quad (3.5)$$

или

$$D_{50}/d_{50} \leq 10. \quad (3.6)$$

При этом материал последнего слоя должен удовлетворять следующим основным условиям:

по коэффициенту неоднородности

$$\eta_{60/10} = D_{60}/D_{10} \leq 2; \quad (3.7)$$

по коэффициенту межслойности с расположенным под ним слоем подготовки

$$D_{50}/d_{50} = 3...4. \quad (3.8)$$

Монолитные покрытия верховых откосов используют при высоте волны $h_n > 1,5-2,0$ м. Эти покрытия разрезают температурно-осадочными швами на секции размером 40×60 м. В пределах каждой секции предусматривают температурные закрытые швы, разделяющие секцию на плиты размером $b_{s1} = 0,4\lambda$, но не более 20 м; $l_{s1} = (1-2)b_{s1}$ (где λ – средняя длина волны). Крепление укладывают на однослойную подготовку из песчано-гравийной смеси или щебня толщиной 0,15–0,25 м.

Толщина однослойных подготовок под сплошными покрытиями типа монолитных и сборных железобетонных с уплотненными швами или омоноличенными плитами принимается в следующих пределах:

$$15 \text{ см} \leq t_f \leq 4D_{50}, \quad (3.9)$$

где D_{50} – диаметр частиц слоя подготовки по кривой зернового состава обеспеченностью 50 %, мм.

Неоднородность материала однослойной подготовки должна находиться в пределах

$$\eta_{60/10} = D_{60}/d_{10} = 5-20, \quad (3.10)$$

где D_{60} и d_{10} – диаметры обеспеченностью 60 и 10 % по кривым зернового состава соответственно для грунта подготовки и откоса.

Размеры частиц однослойной подготовки D_{10} выбираются с учетом размеров частиц грунта откоса d_{50} по соотношению

$$D_{10}/d_{50} \leq 30. \quad (3.11)$$

Под температурно-осадочными швами устраивается ленточная подготовка трапециевидального поперечного сечения по типу обратного фильтра из двух-трех слоев разнозернистого материала (рис. 3.8).

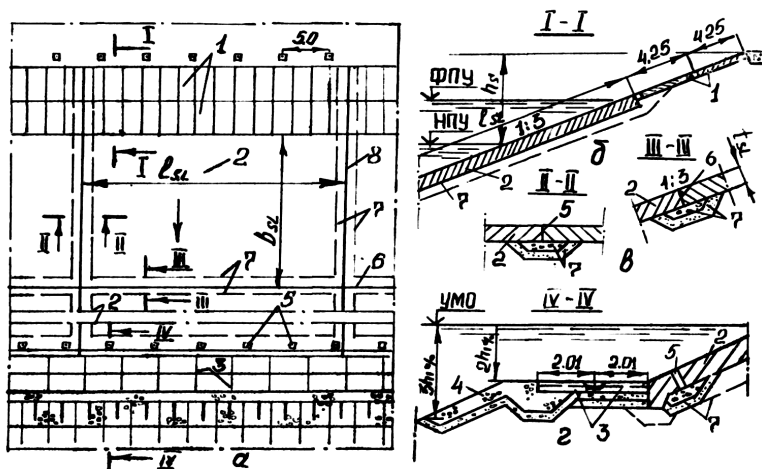


Рис. 3.8. Крепление откоса монолитными железобетонными плитами: а – план крепления; б, в – верхняя и нижняя части крепления; в – конструкция температурно-осадочных швов; 1, 4 – облегченное покрытие соответственно из сборных плит и камня; 2 – основное монолитное железобетонное покрытие; 3 – гибкий тюфяк из сборных плит; 5 – дренажные отверстия; 6, 8 – температурно-осадочные швы; 7 – ленточный дренаж

Крепление гравелисто-песчаных и песчаных откосов монолитными железобетонными плитами при надежном уплотнении закрытых швов можно устраивать без подготовки (см. рис. 3.8).

Покрытие откосов из каменной наброски выполняют, как правило, из несортированного камня (горной массы). Каменные материалы для крепления откосов обычно применяют из изверженных, осадочных и метаморфических пород, которые в зависимости от требуемой долговечности покрытия должны иметь плотность $\gamma_k > 2,4\text{--}2,9 \text{ т/м}^3$, предел прочности в водонасыщенном состоянии $R_c \geq 40\text{--}50 \text{ МПа}$ и марку по морозостойкости $F \geq 50\text{--}150$. Нормативные значения удельных сцеплений и углов внутреннего трения грунтов, служащих основанием для каменной наброски, приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4. Нормативные значения удельных сцеплений (c , кПа) и углов внутреннего трения (ϕ , град) пылевато-глинистых грунтов четвертичных отложений

Грунт	Показатель текучести	Характеристика	Значения c и ϕ при коэффициенте пористости ϵ						
			0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,05
Супесь	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	21	17	15	13	–	–	–
		ϕ	30	29	27	24	–	–	–
Суглинок	$0,25 < I_L \leq 0,75$	c	19	15	13	11	9	–	–
		ϕ	28	26	24	21	18	–	–
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	47	37	31	25	22	19	–
		ϕ	26	25	24	23	22	20	–
$0,25 < I_L \leq 0,5$	c	39	34	28	23	18	15	–	
	ϕ	24	23	22	21	19	17	–	
Глина	$0,5 < I_L \leq 0,75$	c	–	–	25	20	16	14	12
		ϕ	–	–	19	18	16	14	12
	$0 \leq I_L \leq 0,25$	c	–	81	68	54	47	41	36
		ϕ	–	21	20	19	18	16	14
$0,25 < I_L \leq 0,5$	c	–	–	57	50	43	37	32	
	ϕ	–	–	18	17	16	14	11	
$0,5 < I_L \leq 0,75$	c	–	–	45	41	36	33	29	
	ϕ	–	–	15	14	12	10	7	

Каменно-набросные покрытия обладают рядом достоинств. Их выполняют независимо от температуры воздуха. Разрушенные участки покрытия легко и быстро восстанавливаются, крепление обладает гибкостью и приспосабливается к деформациям откоса. Практически все трудоемкие строительные процессы могут быть механизированы и выполнены в любое время года, а также под водой.

Толщину каменной наброски следует принимать с учетом возможности частичного выноса мелких частиц из наброски при волновом

воздействии, подвижки крупных камней, уплотнения материала крепления, а также опыта эксплуатации аналогичных креплений. Крепление откосов плотин в виде каменной наброски выполняется преимущественно из несортированного камня, что связано с техническими трудностями сортирования камня, особенно при значительных его размерах. Наброска располагается на однослойной или многослойной подготовке при общей ее толщине, достигающей иногда 60 см.

Асфальтобетонные покрытия могут быть однослойными или двухслойными.

Однослойное покрытие (рис. 3.19, а, б) толщиной $t = 4-6$ см применяют при высоте волны $h_{1\%} \leq 1,0$ м и расчетной толщине льда не более 0,4 м. Покрытие толщиной $t = 8$ см можно предусматривать при $h_{1\%} = 1,0-1,5$ м и толщине льда 0,4-0,6 м.

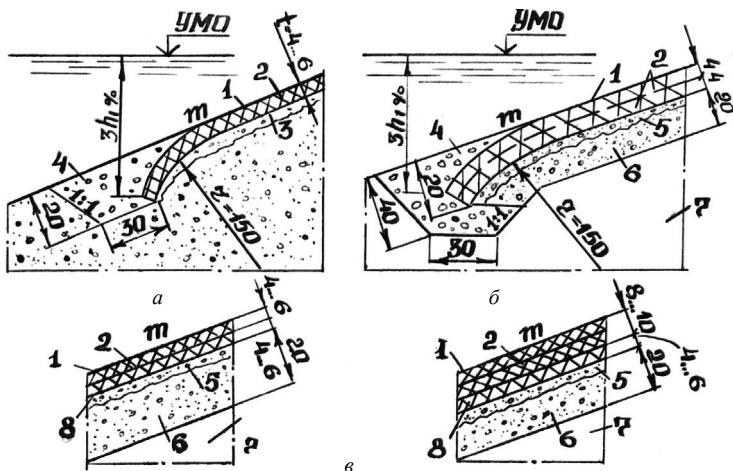


Рис. 3.9. Конструкция асфальтобетонного крепления откоса:

- а – однослойное на откосе из песчаных или гравелисто-песчаных грунтов;
- б – однослойное (укладываемое в два хода) на откосе из связных грунтов;
- в – двухслойное; 1 – асфальтовая мастика; 2 – асфальтобетон; 3 – грунт откоса, покрытый слоем битумной эмульсии; 4 – щебень или гравий; 5 – слой щебня или гравия, обработанный разжиженным битумом; 6 – фильтровая подготовка;
- 7 – супесчаное или суглинистое тело плотины; 8 – пористый асфальтобетон (размеры в сантиметрах)

Двухслойное покрытие (рис. 3.9, в) обычно состоит из выравнивающей щебеночной или гравийной и битуминизированной подготовки

толщиной 6–10 см, дренажного слоя из пористого асфальтобетона и слоя плотного асфальтобетона.

Если верховой клин тела плотины отсыпан из хорошо водопроницаемого песчаного или гравелистого грунта, то покрытие можно укладывать непосредственно на спланированный и хорошо уплотненный грунт откоса или на откос, покрытый слоем битумной эмульсии (см. рис. 3.9, *а*) или пропитанный разжиженным битумом (расход эмульсии – 1,5–2,0, разжиженного битума – 12–17 кг/м²).

Если же верховой клин плотины отсыпан из слабоводопроницаемых или пучинистых грунтов, то под всем креплением укладывают слой из песчаного или гравелистого грунта толщиной не менее глубины промерзания, обеспечивающей дренирование крепления и защиту откоса от морозного пучения и образования трещин.

Чтобы предотвратить старение асфальтобетона, его покрывают слоем битума, асфальтового раствора или мастики со стабилизирующими добавками (расход мастики – около 3 кг/м²).

Асфальтобетонные покрытия выполняют без температурно-осадочных швов.

Биологическое крепление верхового откоса применяют на плотинах с напором 5–7 м при высоте волн в водохранилище не более 0,7 м, т. е. для небольших плотин сельскохозяйственного назначения на местном стоке, где длина водохранилища невелика и волновые воздействия незначительны.

Принцип, положенный в основу биологического крепления, заключается в том, что молодая поросль ивовых пород, зарытая в землю, дает побеги. Образующаяся затем густая растительность и мощная корневая система скрепляют грунт, повышают устойчивость откоса против разрушающего волнового воздействия, а также предупреждают выдувание мелких частиц грунта из откоса.

Следует учесть одно существенное обстоятельство, которое может отразиться на устойчивости откосов. Откосы с биологическим креплением вступают в работу не ранее второго-третьего года, когда молодая поросль и корневая система достаточно хорошо разовьются, а до этого откосы должны быть предохранены от разрушения временным защитным покрытием. Таким временным креплением, не препятствующим развитию основного биологического крепления, могут служить хворостяная выстилка и солома, срок службы которых вполне достаточен до вступления в действие биологического крепления.

Особенность биологического крепления состоит в том, что с течением времени оно приобретает все большую прочность и, кроме

обычного ухода за растениями, не требуется каких-либо затрат на ремонт и восстановление крепления.

Биологическое крепление производится ивовыми черенками или хлыстами. При первом способе черенки ивняка (по 5–6 шт.) сажают в гнезда глубиной 0,5–0,7 м, заполненные растительным грунтом. Гнезда диаметром по дну около 30 см располагают в шахматном порядке с расстоянием между рядами и гнездами в ряду 1,0–1,5 м. Ряды гнезд располагают в линию под углом 45° к бровке гребня плотины (рис. 3.10). Черенки ивняка сажают глазками вверх с таким расчетом, чтобы над поверхностью спланированного откоса оставались головки черенка высотой 10–20 см. Затем гнезда засыпают растительным грунтом с легким трамбованием.

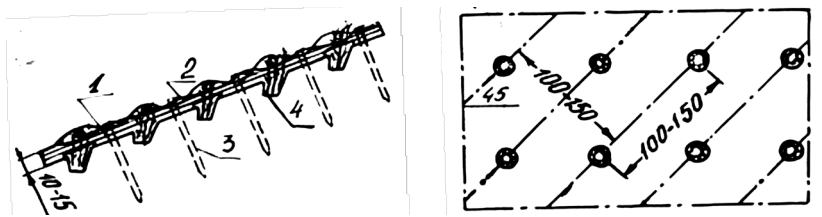


Рис. 3.10. Биологическое крепление откоса путем посадки ивовых черенков:
1 – солома; 2 – временное хворостяное покрытие; 3 – колья диаметром 5–6 см;
4 – лунки, засыпанные грунтом (размеры в сантиметрах)

Хлысты заготавливают из свежесрубленных 2–3-летних хворостин диаметром в комле 2,5–5,0 см и в вершине не менее 1,5 см. Посадка хлыстов осуществляется плашмя, для чего по откосу, нормально к урезу воды, через 1,5 м делают борозды глубиной 0,1–0,15 м. В эти борозды укладывают ивовые хлысты, очищенные от сучьев и ветвей, а затем засыпают растительным грунтом заподлицо с откосом (рис. 3.11).

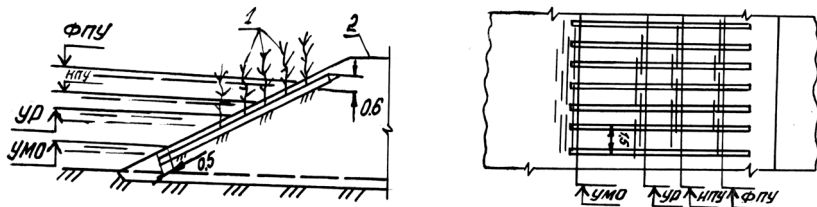


Рис. 3.11. Крепление откоса ивовыми хлыстами (временное покрытие не показано): УР – уровень растительности; 1 – поросль от ивовых хлыстов; 2 – гребень плотины (размеры в метрах)

При этом верхнюю часть хлыстов изгибают и выводят на поверхность откоса. Хлысты укладывают на откосе комлями к урезу воды. Такая посадка способствует развитию мощной корневой системы, которая быстро распространяется по всей высоте откоса. Наземная поросль крепления развивается на верхнем участке хлыста от вершины до уреза некоторого уровня воды – уровня растительности. Корневая система развивается выше и ниже этого уровня и распространяется вдоль всего уложенного хлыста.

Посадки хорошо приживаются при использовании свежесрубленного материала. Если производственные условия заставляют заготавливать посадочный материал заранее, то лучше всего срезать его поздней осенью, когда опадают листья, или зимой. Хранить в прохладных, сырых и затененных местах. Заготавливать ивовые черенки и хлысты, когда растение покрыто листвой, недопустимо, так как приживаемость таких посадок будет очень плохой. Посадки, которые не прижились, выкапывают и на их место сажают новые. В первые годы развития их нужно подрезать побеги, так как это способствует развитию большого количества новых побегов.

Посадки не должны затопляться водой более чем на 5–6 суток. Верхний ряд растительных насаждений располагают на отметке ФПУ + h , где h – высота волны (м), а нижний – на такой отметке, чтобы продолжительность непрерывного затопления взрослых посадок не превышала 2,0–2,5 месяца. При этом вершины посадок должны возвышаться над водой не менее чем на 0,5 м.

Крепление низовых откосов плотин выполняют с целью защиты их от атмосферных осадков и ветра. Наиболее распространенные виды крепления низовых откосов – это залужение, дерновое и гравийно-галечниковое покрытия.

Самым простым и дешевым способом крепления откосов является сплошное залужение, т. е. искусственно созданный дерновый покров за счет посева многолетних трав. В тех случаях, когда грунт откоса мало пригоден для произрастания трав (например, при глинистых или песчаных грунтовых плотинах), по плоскости откоса предварительно насыпают слой растительной земли толщиной 0,1–0,15 м, а по нему высевают семена многолетних трав.

На крутых откосах, особенно когда они сложены из глинистых грунтов, слой растительной земли может сползать. Во избежание этого устраивают углубления – борозды, нарезаемые параллельно бровке откоса (рис. 3.12).

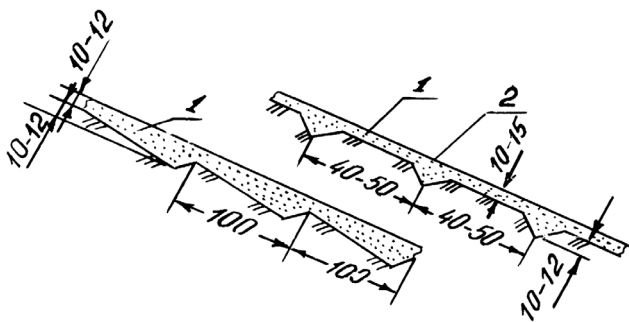


Рис. 3.12. Залужение низового откоса: 1 – слой растительного грунта; 2 – посев трав на откосе плотины (размеры в сантиметрах)

Способ крепления низовых откосов сплошным залужением, несмотря на его простоту и доступность, находит ограниченное применение и рекомендуется только для плотин небольшой высоты, так как для получения прочного дернового покрова, способного противостоять разрушающему действию атмосферных факторов, требуется продолжительное время. До появления в рыхлом защитном растительном слое прочной корневой системы, которая в основном и придает прочность покрытию, обильные дожди и ливни, следовательно, и ручейки, стекающие по откосу, могут не только смыть слой растительной земли, но и деформировать грунт откоса. В этом отношении лучшие результаты показывает дерновое покрытие.

Дерновое покрытие может быть сплошным и в клетку. Сплошная одерновка для лучшего прорастания дерна по откосу укладывается в следующем порядке: сначала слой растительного грунта толщиной 0,1–0,15 м, а затем дерн.

При одерновке откоса в клетку (рис. 3.13) клетки заполняют растительным грунтом, в который высевают семена трав. К откосу дерн прикрепляется деревянными колышками-спицами.

Залужение откосов и дерновое крепление применяют при благоприятных условиях произрастания трав.

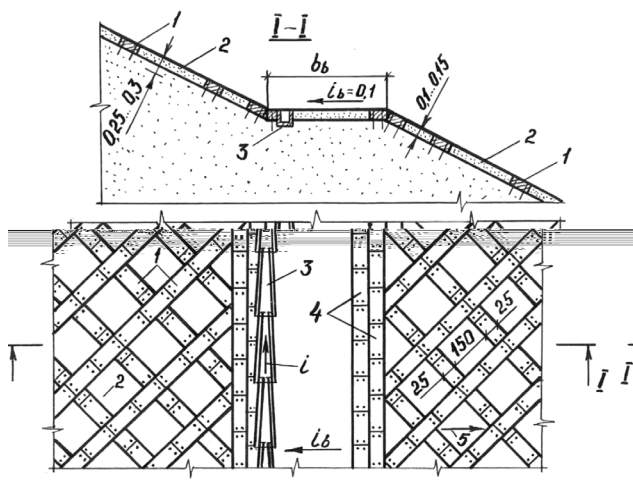


Рис. 3.13. Крепление низового откоса залужением в дерновых клетках:
 1 – дерновые ленты, прикрепленные к откосу деревянными спицами;
 2 – растительный грунт ($t = 10$ см) с засевом трав; 3 – сборный железобетонный лоток; 4 – дерновые ленты по бровке откоса (размеры в сантиметрах)

Низовой откос защищают слоем гравийно-галечниковых грунтов толщиной 0,1–0,2 м. Участки низовых откосов, омываемых водой, крепят так же, как и верховых, причем верхнюю границу крепления определяют из условия наката волны. Нижней границей крепления будет подошва откоса.

3.5. Дренажи грунтовых насыпных плотин

В грунтовых насыпных плотинах могут быть устроены два типа дренажа:

- 1) дренаж низового клина плотины;
- 2) дренаж основания плотины.

Дренирование тела и основания плотины предусматривают с целью приема и организованного отвода в нижний бьеф фильтрующейся воды, чтобы исключить фильтрационные деформации грунтов тела и основания плотины; уменьшить зону действия фильтрационного потока, что позволяет повысить устойчивость низового откоса; не допустить выход фильтрационного потока на низовой откос – заглужение

депрессивной кривой ниже зоны промерзания; ускорить консолидацию глинистых и илистых грунтов и уменьшить поровое давление в отдельных зонах плотины или основания.

Дренаж рекомендуется устраивать во всех типах плотин и при различной их высоте. При надлежащем обосновании допускается не устраивать дренаж в следующих случаях:

а) в плотинах на водопроницаемом основании и низком стоянии уровня грунтовых вод, когда депрессионная поверхность без устройства дренажа оказывается достаточно удаленной от поверхности низового откоса и не попадает в зону промерзания;

б) в плотинах, низовая часть которых выполнена из каменной наброски или из другого крупнообломочного материала (гравийного, галечникового и т. п.).

Дренаж состоит из двух основных частей:

1) **приемной** – в виде обратных фильтров из пористого песка, гравия или щебня, а также из пористого бетона или синтетических волокнистых материалов;

2) **отводящей (коллектора)** – для отвода воды в нижний бьеф. Выполняют из перфорированных труб или в виде лент из крупного щебня и камня.

Задача обратных фильтров – предотвращение фильтрационных деформаций грунта в зоне выхода фильтрационного потока в дренаж.

По конструкции и расположению в теле плотины различают следующие типы дренажа (рис. 3.14):

а) дренажный банкет;

б) наклонный;

в) трубчатый;

г) горизонтальный;

д) комбинированный.

Дренажный банкет (рис. 3.14, а) образуют наброской камня, диаметр которого при наличии волнения воды в нижнем бьефе определяют аналогично расчету покрытия каменной наброской верхового откоса. Гребень банкета должен возвышаться над самым высоким уровнем воды в нижнем бьефе на величину d_0 , определяемую с учетом нагона воды ветром и наката волн, но не менее 0,5 м. Ширину дренажного банкета b_0 по верху назначают по условиям производства работ, но не менее 1,0 м. По внутреннему откосу банкета укладывают обратный фильтр. Заложение внутреннего откоса m' банкета следует принимать равным углу естественного откоса материала, образующего обратный фильтр. При наличии в основании плотины несвязного мелкозерни-

стого грунта и больших выходных скоростей фильтрации под дренажным банкетом устраивают обратный фильтр (горизонтальный). Гребень банкета иногда покрывают слоем крупнообломочного грунта с целью защиты порового пространства банкета от заиливания его частицами грунта, смываемого с поверхности низового откоса дождевыми и тальными водами.

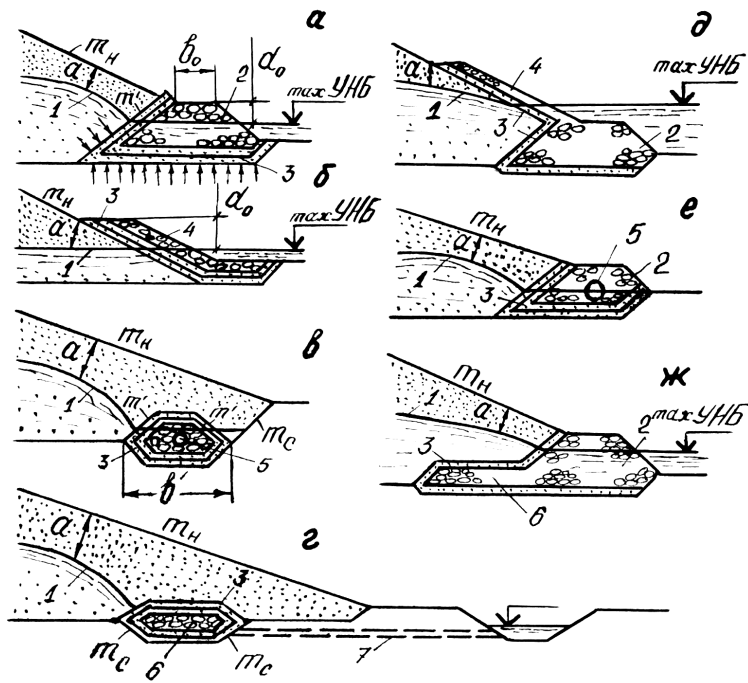


Рис. 3.14. Основные типы дренажа низового клина плотины:
 а – дренажный банкет; б – наклонный дренаж; в – трубчатый дренаж;
 г – горизонтальный дренаж; д, е, ж – комбинированный тип дренажа;
 1 – кривая депрессии; 2 – дренажный банкет; 3 – обратный фильтр;
 4 – наклонный дренаж; 5 – труба; 6 – горизонтальная продольная
 дренажная лента; 7 – отводящая труба

Банкет должен быть запроектирован так, чтобы кривая депрессии была заглублена под поверхность низового откоса на величину a , определяемую из условия

$$a \geq h_{\text{пр}}, \quad (3.12)$$

где $h_{пр}$ – наибольшая глубина промерзания в районе строительства, м.

Следует отметить, что дренажная призма (банкет) – довольно распространенный тип дренажа, оправдавший себя на практике и имеющий много положительных сторон:

- 1) допустимость выполнения простыми средствами;
- 2) повышение устойчивости низового откоса (упор для плотины);
- 3) защита низового откоса от волновых воздействий;
- 4) дренирование не только плотины, но и ее основания;
- 5) дренирование тела плотины при подъеме уровня воды в нижнем бьефе.

Недостаток дренажной призмы состоит в том, что поперечное сечение ее во много раз превышает требуемые размеры, необходимые для приема и отвода профильтрованной воды, в результате чего требуется очень большой объем камня и материалов для обратного фильтра. Устройство призмы трудоемко и требует применения ручного труда. Ориентировочно считают, что высота дренажной призмы составляет 0,15–0,2 высоты плотины.

Наслонный дренаж (рис. 3.14, б) применяют на участках плотины, перекрывающих затопливаемую пойму, при отсутствии на месте строительства достаточного количества камня, а также при значительных колебаниях уровней воды в нижнем бьефе.

Толщину наслонного дренажа назначают по условиям производства работ, но не менее $t + t_{обр.ф.}$, где t – толщина каменной наброски (определяется в соответствии с ТКП 4503.04-150–2009).

Наслонный дренаж не понижает депрессионную кривую, но, являясь пригрузкой, увеличивает устойчивость низового откоса против возможной суффозии, оплывания и размыва.

Трубчатый дренаж (рис. 3.14, в) применяют на тех участках плотины, где в период ее эксплуатации вода в нижнем бьефе отсутствует или присутствует кратковременно. Выполняют из гончарных, перфорированных бетонных или асбестоцементных труб, уложенных с уклоном параллельно подошве откоса и обсыпанных обратным фильтром. Трубчатый дренаж располагают примерно на расстоянии $\frac{1}{4}$ ширины плотины по основанию от подошвы низового откоса $L_{др}$ (рис. 3.15).

Фильтрационный поток в продольные дрены поступает через отверстия или прорези в трубе, а при коротких звеньях труб – через торцовые зазоры. Выход воды из продольных дрен происходит через поперечные дрены-выпуски, располагаемые примерно через 20–50 м (рис. 3.15).

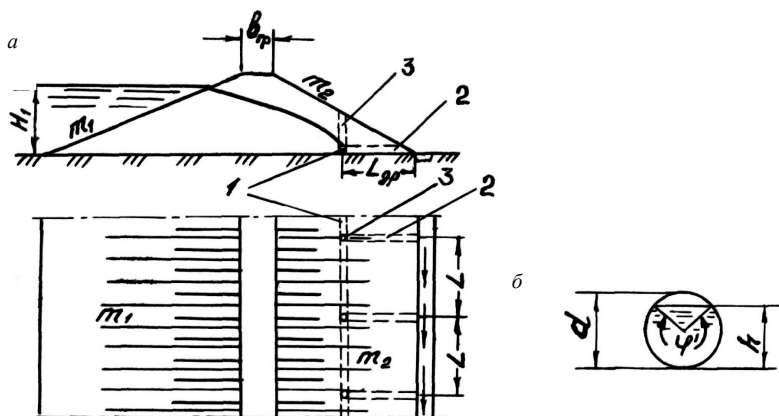


Рис. 3.15. Внутренний трубчатый дренаж: *a* – размещение смотровых колодцев; *б* – расчетная схема безнапорной трубы; 1 – продольные дрены; 2 – поперечные дрены; 3 – смотровые колодцы

При большой длине плотины и напоре, превосходящем 10 м, на дренажной линии иногда устраивают линейные смотровые колоды, и в этом случае поперечные дрены-выпуски приурочивают к ним. Смотровые колодцы ставят в местах изменения диаметра или уклона продольных дрен, а иногда они могут выполнять и роль перепадов. При прямолинейном расположении трубчатого дренажа смотровые колодцы располагают на расстоянии 50–100 м друг от друга (см. рис. 3.15).

Горизонтальный дренаж (рис. 3.14, *з*) в виде сплошного дренажного слоя или отдельных поперечных или продольных дренажных лент выполняют из крупнозернистого материала и защищают обратным фильтром только сверху или сверху и снизу.

Комбинированный тип дренажа – это одна из возможных комбинаций дренажей, рассмотренных выше (рис. 3.14, *д, е, ж*).

Выбор типа дренажа плотины осуществляют на основании технико-экономического сопоставления вариантов. При этом учитывают, что могут иметь место три участка грунтовой плотины, перегораживающей реку (рис. 3.16, *а*):

а) русловой – в пределах основного русла водотока, вмещающего меженные расходы;

б) пойменные – перекрывающие участки поймы, затопляемые в паводок;

в) береговые (склоновые) – расположенные выше максимальных уровней нижнего бьефа.

Руслу малых и временных водотоков обычно пойм не имеют. В таком случае плотина состоит из руслового и береговых участков (рис. 3.16, б). На каждом из этих участков характер фильтрационного потока будет различным, поэтому проектирование дренажных, а также и противофильтрационных устройств в теле и основании плотины требует индивидуального решения.

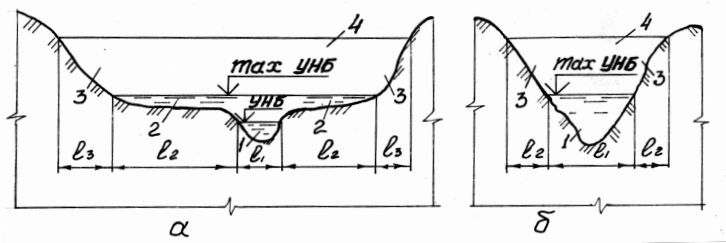


Рис. 3.16. Характерные участки грунтовой плотины по ее длине:
а, б – в створе с пойменными участками речной долины и без них;
 1, 2, 3 – соответственно русловой, пойменные и береговые участки
 плотины; 4 – гребень плотины

Дренаж в виде банкета применяют в пределах русловой и пойменной частей плотины. Если высота дренажного банкета получается большой и на месте строительства отсутствует достаточное количество крупнообломочных грунтов, пригодных для устройства банкета, тогда применяют комбинированный (см. рис. 3.14, д) или наклонный (см. рис. 3.14, б) дренаж.

Наслонный дренаж целесообразно применять на участках плотин, перекрывающих затопливаемую пойму. Наслонный дренаж имеет ряд положительных сторон:

- 1) для его строительства требуется сравнительно небольшое количество материала;
- 2) доступен для наблюдения, осмотра и ремонта в процессе эксплуатации;
- 3) чрезвычайно прост в исполнении;
- 4) допускает производство работ по очередям и устройство в процессе эксплуатации.

Трубчатый дренаж устраивают в пределах береговых частей реки, когда в нижнем бьефе, непосредственно за этим дренажем, воды нет. Выполняют трубчатый дренаж из перфорированных бетонных или асбестоцементных труб, уложенных с уклоном параллельно подошве откоса и обсыпанных обратным фильтром. Трубчатый дренаж располагают примерно на расстоянии $\frac{1}{4}$ ширины плотины по основанию от подошвы низового откоса $L_{др}$.

Одна из задач дренажа состоит в понижении кривой депрессии и таком ее расположении, чтобы она во всех точках находилась от плоскости низового откоса на определенном расстоянии. Таким образом, работа дренажа в зимний период определяется его заглублением. Положение дренажа можно определить расчетом или найти методом приближения. Удаление дренажа в сторону верхового откоса приводит к повышению градиентов при входе в дренаж, увеличению фильтрационных расходов и затруднению при ремонте дренажа, особенно приемной его части, в случае заиления.

При возведении грунтовой плотины на глинистом основании, насыщенном водой, вес строящейся плотины будет давить и выжимать из него воду. Скорейший отвод этой воды необходим для увеличения устойчивости откосов плотины. В этом случае иногда все основание низового клина плотины (или часть его) покрывают сетью горизонтальных дрен или сплошным дренажным слоем. Дополнительно в основании устраивают вертикальные песчаные дрены в виде буровых скважин, заполненных песком.

Если основание плотины покрыто сверху сравнительно тонким слоем глины, подстилаемой песком, то в глинистом слое возникает давление фильтрационного потока. Это может привести к фильтрационному выпору глинистого слоя в нижнем бьефе. В этом случае для снятия противодавления в нижнем бьефе устраивают вертикальные дренажные колодцы на глубину глинистого слоя. По этим колодцам из песчаного слоя будет происходить выход фильтрационных вод в нижний бьеф, что приведет к снятию противодавления.

В зоне подхода грунтового (фильтрационного) потока к дренажу градиенты напора возрастают, тем самым создаются условия для фильтрационных деформаций грунта основания и тела плотины. Для предупреждения деформаций приемную часть дренажа защищают обратными фильтрами. Последние представляют собой ряд последовательно уложенных слоев из песчано-гравелистых и щебенистых грунтов с увеличивающейся крупностью частиц при переходе от од-

ного слоя к другому в направлении фильтрационного потока.

Фракционный состав фильтров подбирают таким образом, чтобы через них свободно протекала вода, а частицы защищаемого грунта не выносились и обеспечивалась непроницаемость материала фильтра из одного слоя в другой.

3.6. Фильтрационный расчет грунтовых плотин

Под **фильтрацией** понимают движение жидкости в пористых и трещиноватых (скальных) породах. Пространство, занятое фильтрационным потоком, в таких грунтах называют областью фильтрации.

Движение фильтрационного потока обусловлено рядом причин – разностью давления, температурным перепадом, электрическим потенциалом и др. В водоподпорных сооружениях причиной фильтрации в грунтовом основании служит разность уровней воды между бьефами.

По характеру движения фильтрационный поток может быть *неустановившимся*, когда скорости и пьезометрические давления, а следовательно, и расходы изменяются во времени, и *установившимся*, когда эти величины постоянны.

При разности бьефов в сооружениях возможны два вида потоков воды – поверхностный и фильтрационный. Эти потоки могут протекать одновременно или раздельно. В глухих сооружениях (грунтовая плотина) будет только фильтрационный поток. При поднятых затворах водосбросных сооружений и незначительной разности уровней воды в бьефах (2–3 см) будет только поверхностный поток.

Если сооружение маловодопроницаемо (бетон, железобетон, камень), а грунт представляет собой легко проницаемую для воды среду, то грунтовый поток не имеет свободной поверхности и является напорным.

Если же сооружение само является фильтрующим (грунтовая плотина, дамба), то движение воды происходит через тело сооружения, при этом образуется свободная поверхность и движение будет безнапорным.

Под действием напора, создаваемого плотиной, происходит фильтрация воды из верхнего бьефа в нижний, как через тело плотины, так и через основание, если оно проницаемо. В результате этого часть тела плотины насыщается фильтрующейся водой, верхнюю свободную поверхность которой называют депрессионной поверхностью.

Линию пересечения этой поверхности с вертикальной плоскостью называют депрессионной кривой или кривой депрессии (рис. 3.17). Ниже депрессионной поверхности фильтрационный поток движется в порах грунта с некоторой скоростью, а грунт, насыщенный водой, находится во взвешенном состоянии, что снижает устойчивость откосов плотины. Выше депрессионной поверхности находится зона капиллярного поднятия воды, высота которой h_k составляет 0,1–0,4 м для песков и 0,5–3,0 м и более для глинистых грунтов. Выше капиллярной зоны грунт обладает естественной влажностью.

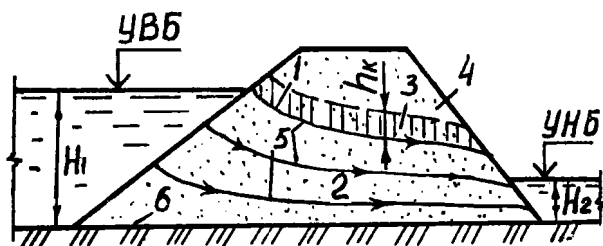


Рис. 3.17. Схема фильтрации воды через тело плотины на водонепроницаемом основании: 1 – кривая депрессии; 2 – зона полного насыщения грунта водой; 3 – зона частичного насыщения грунта водой за счет капиллярного поднятия; 4 – зона воздушно-сухого грунта; 5 – линии токов; 6 – водонепроницаемое основание – водоупор; h_k – высота капиллярного поднятия

Если высота капиллярного поднятия значительна, то необходимо понизить кривую депрессии с тем, чтобы не допустить переувлажнения грунтов в зоне промерзания на низовом откосе плотины и повысить устойчивость последнего. Понизить кривую депрессии можно с помощью дренажных и противofильтрационных устройств.

Задачей фильтрационного расчета является определение:

а) положения депрессионной кривой в теле плотины и при необходимости в береговых примыканиях;

б) градиентов фильтрационного потока в теле и основании плотины, а также в других наиболее опасных местах;

в) фильтрационного расхода через тело плотины, основание (если оно проницаемо) и при необходимости в обход через берега.

Параметры кривой депрессии в плотине и береговых примыканиях используют в расчетах устойчивости откосов и берегов, градиенты – для оценки фильтрационной прочности грунтов, расходы – для опре-

деления фильтрационных потерь воды из водохранилища при хозяйственных расчетах.

Параметры фильтрационного потока позволяют установить рациональные формы и размеры поперечного профиля плотины и ее противофильтрационных и дренажных устройств, а также уточнить общую схему дренирования тела и основания плотины.

При фильтрационных расчетах грунтовых плотин ввиду сложности учета всех факторов, оказывающих влияние на движение грунтового потока, рассматривается упрощенная модель, в которой приняты следующие допущения:

1) фильтрацию рассматривают в одной плоскости, составляющие скорости, перпендикулярные этой плоскости, принимают равными нулю;

2) грунт тела плотины считают однородно-изотропным, т. е. значение коэффициента фильтрации во всех направлениях и в любых точках области фильтрации принимают постоянным;

3) при наличии водоупора его считают теоретически водонепроницаемым;

4) положение депрессионной кривой в однородных плотинах не зависит от качества грунта, а определяется только геометрическими размерами профиля плотины.

Расчет положения депрессионной кривой и фильтрационного расхода

Однородная плотина без дренажа на водонепроницаемом основании.

Известны глубины воды в ВБ и НБ соответственно H_1 и H_2 , коэффициент фильтрации грунта тела плотины K_f .

Расчет ведется в следующей последовательности.

1. Определяется положение осей координат X и Y ; ось X располагается по линии подошвы плотины в сторону НБ, ось Y – на расстоянии λH_1 от точки уреза воды в верхнем бьефе (рис. 3.18), где λ – величина, зависящая от коэффициента верхового откоса m_1 и определяемая по формуле Г. М. Михайлова:

$$\lambda \frac{m_1}{1 + 2m_1}. \quad (3.13)$$

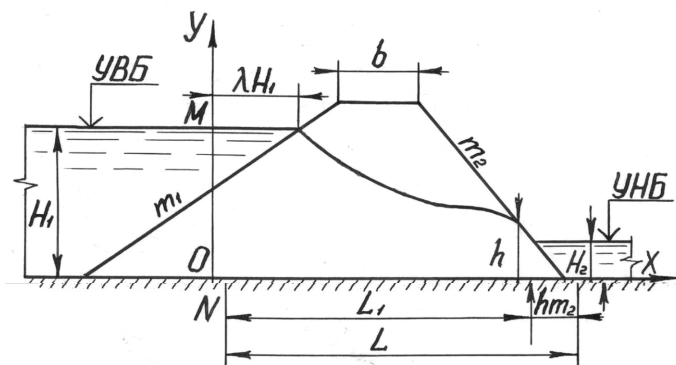


Рис. 3.18. Схема к фильтрационному расчету однородной плотины без дренажа

2. Устанавливается высота выхода депрессионной кривой на низовом откосе по следующей зависимости:

$$h = \frac{L}{m_2} - \sqrt{\frac{L}{m_2} - (H_1 - H_2)^2 + H_2}, \quad (3.14)$$

где L – расстояние от оси Y до конца низового откоса.

При больших значениях H_2 глубина h получается отрицательной, в таком случае ее можно принять примерно равной H_2 .

3. Ординаты депрессионной кривой подсчитываются по следующему уравнению:

$$Y^2 = H_1^2 - \frac{H_1^2 - h^2}{L_1}x, \quad (3.15)$$

где L_1 – расстояние от оси Y до выхода кривой депрессии на низовой откос (см. рис. 3.18).

Давая значение x от нуля до L_1 по формуле (3.15), строят кривую депрессии, начиная от оси Y , а участок ее примыкания к верховому откосу исправляют визуально так, чтобы он был перпендикулярен откосу и дальше плавно переходил в депрессионную кривую.

4. Удельный фильтрационный расход через тело плотины определяется по формуле

$$q = \frac{H_1^2 - h^2}{2L_1} K_{\phi}. \quad (3.16)$$

Однородная плотина с дренажем на водопроницаемом основании. Исходным материалом к расчету служит поперечный профиль плотины в расчетном сечении (рис. 3.19). Известны: уровень воды в верхнем бьефе H_1 , м, уровень воды в нижнем бьефе H_2 , м, заложение верхового откоса m_1 и заложение низового откоса m_2 , коэффициент фильтрации основания K_{ϕ} , м/сут.

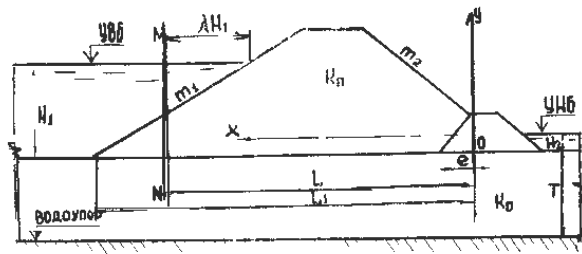


Рис. 3.19. Схема к фильтрационному расчету однородной плотины с дренажем на водопроницаемом основании

Расчет ведется в следующей последовательности:

1. Определяется положение раздельного сечения MN , находящегося на расстоянии λH_1 от точки уреза воды в ВБ (см. рис. 3.19).
2. Величина λ определяется по формуле (3.12). Вычисляется величина захода кривой депрессии в дренаж:

$$e \approx (0,05 \dots 0,06) H_1.$$

3. Устанавливается начало координат кривой депрессии в точке O , ось X направлена по уровню воды в НБ в сторону ВБ, ось Y проходит через начало координат O на расстоянии l от точки пересечения с осью X внутреннего откоса дренажа.

Таким образом устанавливается расчетное расстояние L от начала координат кривой депрессии до раздельного сечения MN .

4. Ординаты депрессионной кривой подсчитывают, задаваясь значениями X , по уравнению

$$Y^2 = \frac{(H_1 - H_2)^2}{L} X. \quad (3.17)$$

Задаем значениями X и определяем значение Y в табличной форме

X	5	10	15	20	25	30	35
Y							

5. Удельный фильтрационный расход в сечении определяется по формуле

$$q = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L} K_{\text{п}}. \quad (3.18)$$

Средний градиент потока определяется по формуле

$$I_{\text{ср}} = \frac{H_1 - H_2}{nL_1}, \quad (3.19)$$

где H_1, H_2 – глубины воды в ВБ и НБ соответственно, м;

L_1 – ширина плотины по подошве до оси Y , м;

n – поправочный коэффициент (табл. 3.5, где T – толщина проницаемого основания, м).

Таблица 3.5. Значения поправочного коэффициента

$\frac{L_1}{T}$	20	5	4	3	2	1
n	1,15	1,18	1,23	1,30	1,44	1,87

6. Удельный расход воды через основание плотины определяется по формуле

$$q_o = K_{\text{ф}}^{\text{ос}} \frac{T(H_1 - H_2)}{nL_1}. \quad (3.20)$$

7. Полный удельный расход фильтрации через рассматриваемое сечение плотины будет равен:

$$q = q_n + q_o. \quad (3.21)$$

3.7. Грунтовые дамбы водоемов

Дамбы необходимы при устройстве рыбоводных прудов различных категорий в разных типах прудовых хозяйств, а также при создании

нерестово-выростных хозяйств. Дамбы бывают контурными и разделительными.

Контурные дамбы проходят по внешним границам прудов, отделяют их от реки, водохранилища и поддерживают напор воды только со стороны пруда, поэтому откосы таких дамб выполняют с разными уклонами.

Разделительные дамбы устраивают между прудами, поэтому у них напор воды имеется с двух сторон, причем уровень воды в прудах может располагаться на различных отметках. Дамбы рыбоводных прудов, расположенных в мелководных зонах водохранилищ, по своему назначению являются контурными, а работают как разделительные, так как у них напор с двух сторон.

Дамбы устраивают при напорах воды от 1 до 4 м из глинистых и песчаных грунтов без примесей неразложившихся включений. Основанием дамб могут быть любые минеральные грунты и торф со степенью разложения не менее 50 %.

По конструкции дамба представляет собой насыпь трапецеидального сечения. Минимальную ширину гребня непроезжих дамб в зависимости от условий производства работ принимают равной 1–3 м. Если по дамбам предусматривается односторонний проезд автомобильного транспорта, ширина гребня назначается не менее 4,5 м.

При подготовке основания под дамбы грунт вспахивают, а при наличии неразложившихся включений растительный слой частично снимают.

Различают три типа дамб: нормального, уширенного и распластанного профилей (рис. 3.20).

Дамбы нормального профиля имеют наиболее крутые откосы. Верховой откос укрепляют капитально (камнем или железобетоном), а низовой – засевают травами.

У дамб уширенного профиля верховой откос делают несколько более пологим, укрепляют посадкой растительности в сочетании с временными волногасящими стенками из местных материалов, которые необходимы в первые годы эксплуатации.

Дамбы с распластанным профилем имеют очень пологие откосы, которые не укрепляют. Опыт применения дамб этого профиля показал необходимость подсыпки грунта деформированных откосов даже в первые годы эксплуатации.

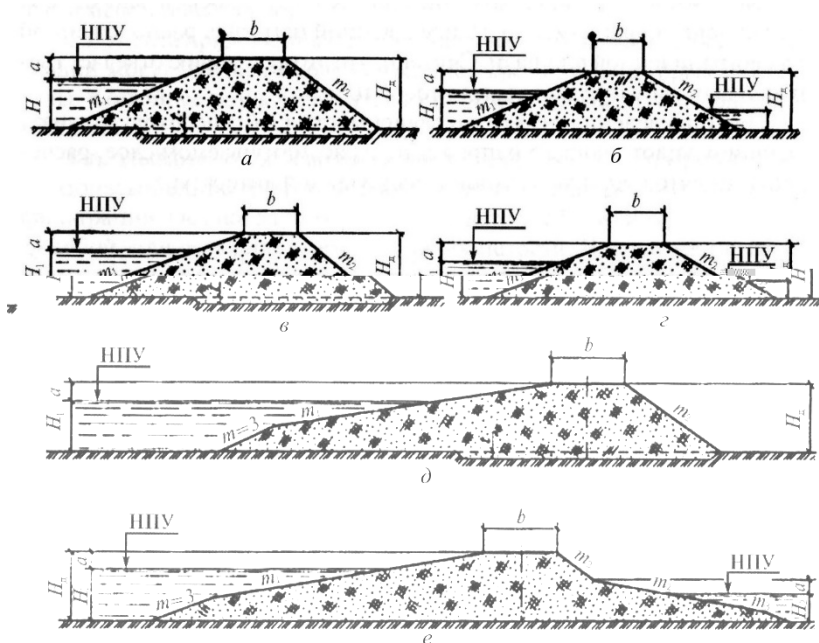


Рис. 3.20. Типы дамб: *а, б* – нормального профиля; *в, г* – уширенного профиля; *д, е* – распластанного профиля; *а – г* – разделительные; *д, е* – контурные

Превышение гребня дамбы над уровнем воды (сухой запас) определяют так же, как и для плотин, при этом нормативный запас a принимают равным 0,4 м. При проектировании дамб руководствуются требованиями ТКП.

4. ВОДОСБРОСНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

4.1. Типы водосбросов

Гидротехнические сооружения любого назначения, пропускающие через себя воду, принято называть **водопроечными**. Эти сооружения различны по своему назначению, местоположению в плане, высоте, а также имеют конструктивные особенности.

В состав гидроузла может входить одно или несколько водопроечных сооружений, в зависимости от его назначения. Так,

например, в состав гидроузла водохозяйственного назначения могут входить следующие водопропускные сооружения: водосбросные, водоспускные и водозаборные. Иногда устраивают сооружения комплексного назначения (водосбросы – водоспуски, водосбросы – водозаборы, а иногда и водосбросы – водозаборы – водоспуски).

В водохранилищных гидроузлах объем водохранилища (головного пруда) в большинстве случаев не вмещает поверхностный сток, поступающий с водосборной площади. После наполнения водохранилища (головного пруда) до отметки НПУ излишек воды пропускается или, как говорят, сбрасывается в нижний бьеф плотины, а возможно, и в гидрографическую сеть, если для этого есть благоприятные условия. Сброс воды чаще осуществляется при форсированном уровне воды в водохранилище, но в некоторых случаях он может происходить и при НПУ.

Под водосбросами при плотинах из местных материалов понимают комплекс сооружений, задача которых – обеспечить беспрепятственный пропуск расчетных максимальных расходов воды из верхнего в нижний бьеф. Путь, оборудованный сооружениями, по которому происходит сброс излишков воды из водохранилища в нижний бьеф плотины, называют водосбросным трактом.

Взаимное расположение сооружений на водосбросном тракте может быть самое различное, но при этом должно выполняться условие – не допускать подмыва водой плотины и других сооружений гидроузла.

В зависимости от высотного расположения сооружений на водосбросном тракте и их водных устройств относительно НПУ различают водосбросы поверхностные и глубинные. К поверхностным относятся

Щ и но5 С М рн Р н К одЩ

ная часть – шахта), траншейные (сливная часть выполнена в виде траншеи).

В управляемых водосбросах головными сооружениями чаще всего являются шлюз-регулятор и редко водосливная плотина, водосливные отверстия которых перекрываются затворами.

В водосбросном сооружении можно выделить четыре основные составные части: подводящая, водоприемная, или водосливная, сопрягающая и устройство нижнего бьефа. Каждая часть существенно отличается своим назначением, гидравлическим режимом и конструктивным решением.

Подводящая часть обеспечивает плавный подход воды к сливной (головной) части водосброса, создает благоприятные условия для нормальной эксплуатации всего сооружения.

Водосливная часть осуществляет прием паводковых вод из водоема и отвод их в сопрягающую часть сооружения. Водосливная часть является головной частью водосброса. На управляемых водосбросах через головную часть прокладывают служебный и проезжий мосты, на ней устанавливают затворы, другое механическое оборудование и т. д.

Сопрягающая часть соединяет водослив с устройством нижнего бьефа. По ней вода скатывается из верхнего в нижний бьеф.

В период возведения плотины расходы водотока пропускают через специальные временные сооружения, выполняемые в виде труб или тоннелей. Располагают их на низких отметках, близких к отметкам dna водотока, и прокладывают в основании плотины или в обход ее. В тех случаях, когда это возможно, эксплуатационные водопропускные сооружения следует использовать для пропуска строительных расходов.

При благоприятных топографических условиях строительные расходы пропускают по обводному каналу.

Низкое расположение сооружений для пропуска строительных расходов позволяет иметь перемычки небольшой высоты, ограждающие котлован плотины от затопления. Такие перемычки возводят в некотором удалении от подошвы плотины со стороны верхнего и нижнего бьефов или включают в состав тела плотины.

Считается рациональным совмещать водосбросы с другими сооружениями гидроузла, так как это дает экономию в затратах и облегчает их эксплуатацию. Так, целесообразно водосбросы совмещать с водовыпускными сооружениями, а также с сооружениями для пропуска строительных расходов.

Пропуск расчетного расхода воды для основного расчетного слу-

чая должен обеспечиваться, как правило, при нормальном подпорном уровне верхнего бьефа через эксплуатационные водосбросные устройства при полном их открытии.

Пропуск расчетного расхода воды для поверочного расчетного случая должен обеспечиваться при максимально допустимом (форсированном) подпорном уровне всеми водопропускными сооружениями гидроузла, включая эксплуатационные водосбросы, рыбопропускные сооружения и резервные водосбросы. В этом случае допускаются деформации русла и даже частичное разрушение отдельных частей вспомогательных сооружений без потери их общей устойчивости.

Для небольших водохранилищ при ограниченной водосборной площади расчет водосбросов обычно ведут на расход от дождевых паводков. Для водохранилищ с большими водосборными площадями расчетные расходы будут от половодья.

4.2. Открытые береговые регулируемые поверхностные водосбросы

Открытые береговые поверхностные водосбросные тракты располагают на берегах и склонах долины в обход плеча плотины. В связи с этим они получили название береговых водосбросов (рис. 4.1, *a*). Вода из водосбросных трактов поступает в нижний бьеф гидроузла, а при благоприятных топографических условиях может быть выпущена в соседний водоток или в пониженные участки местности. Особенность поверхностных водосбросов состоит в том, что входные участки их расположены на высоких отметках.

В состав водосбросных трактов в общем случае входят следующие сооружения: подводящий канал, регулирующее сооружение, сбросной (соединительный) канал, сопрягающее сооружение, отводящий канал и ледоудерживающие устройства. Однако не всегда в состав водосбросного тракта входят все перечисленные сооружения. Нередко отсутствует один из каналов, например подводящий или сбросной, но возможно отсутствие и двух каналов.

Через сооружения водосбросного тракта обычно сброс льда из водохранилища в нижний бьеф плотины не предусматривается. Ледяной покров не имеет подвижек и тает на месте. Но по длине подводящего канала, поскольку в нем имеются скорости, возможно движение льда. Отдельные льдины также могут подойти к водосбросным сооружениям в результате ветрового нагона. Для недопущения льда на водо-

сбросной тракт в начале подводящего канала или перед шлюзом-регулятором ставят леодоудерживающие устройства, через которые свободно проходит вода, но задерживаются лед и другие плавающие тела.

Под трассой понимают осевую линию сооружений, проложенную на местности с разбивкой на ней пикетажа.

При выборе трассы водосбросного тракта исходят из следующих соображений: выемки на верхнем участке трассы обычно большие и используются для насыпи плотины, поэтому их следует выполнять на верху тракта, а выемки нижнего участка трассы, значительно удаленные от плотины, выполняются в основном небольшими.

В целях лучшего использования выемки сбросного тракта как карьера для плотины, канал устраивают с большим наполнением, для этого отметка дна сбросного канала понижается против отметки дна канала порога шлюза на 2–4 м и паводковый уровень в канале назначают примерно на высоте $h_{кр}$ (или несколько ниже), устанавливаемой на пороге шлюза. В таких случаях шлюз пропускает воду в условиях свободного истечения, т. е. имеет наибольшую пропускную способность и, следовательно, наименьшие размеры

Если на водосбросном тракте трудно разместить все сооружения в одном месте, то можно их рассредоточить, например вместо одного сопрягающего сооружения выполнить два и больше. Пример такого рассредоточенного расположения сооружений на водосбросном тракте приведен на рис. 4.1.

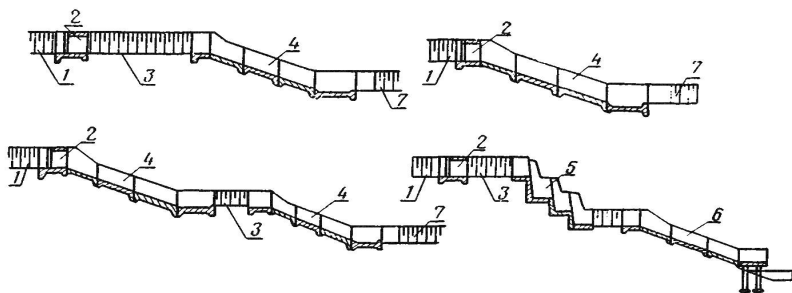


Рис. 4.1. Примеры размещения сооружений на поверхностном водосбросном тракте:
 1 – подводящий канал; 2 – шлюз-регулятор; 3 – сбросной канал; 4 – быстроток;
 5 – перепад; 6 – консольный сброс; 7 – отводящий канал

Перед водосливом и за ним подводящий и соединительный каналы должны иметь прямолинейные участки длиной не менее $1,5B$, где B – ширина канала по урезу воды.

Входную часть отводящего канала во избежание вдольбереговых течений следует удалять от плотины не менее чем на 20–40 м.

Выходная часть отводящего канала должна быть удалена от плотины не менее чем на 50–100 м, чтобы при пропуске паводка не возникла опасность подмыва низового откоса грунтовой плотины.

Поперечные сечения каналов назначаются с таким расчетом, чтобы при пропуске максимальных расходов воды скорость в них не превышала допустимой, а в подводящем канале имел место плавный вход. С этой целью его делают расширяющимся в плане вверх по течению и с обратным уклоном дна. При этом скорости течения оказываются настолько малыми, что потерями напора в подводящем канале пренебрегают и считают, что свободная поверхность в нем горизонтальная и соответствует расчетному уровню воды в верхнем бьефе.

Ширина соединительного и отводящего каналов постоянная, а уклон дна положительный. В нескальных грунтах поперечное сечение каналов обычно трапецеидальное.

Глубина воды в подводящем канале равна напору воды на водосливе H , если его гребень устраивается на уровне дна подводящего канала, и сумме напора на водосливе и высоты его порога P , если он возвышается над дном подводящего канала.

Уровень воды в соединительном канале чаще назначают так, чтобы обеспечить неподтопленный режим работы водослива и создать благоприятные условия для сопряжения бьефов за ним.

На рис. 4.2 и 4.3 представлены различные компоновочные схемы гидроузлов с открытыми береговыми управляемыми водосбросами.

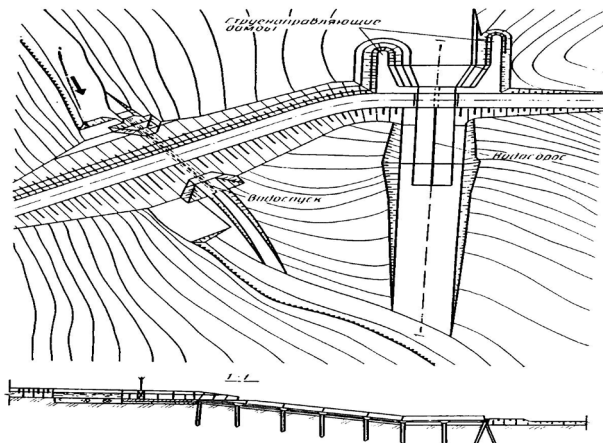


Рис. 4.2. Гидроузел с грунтовой плотиной, береговым открытым управляемым водосбором и водоспуском на одном берегу

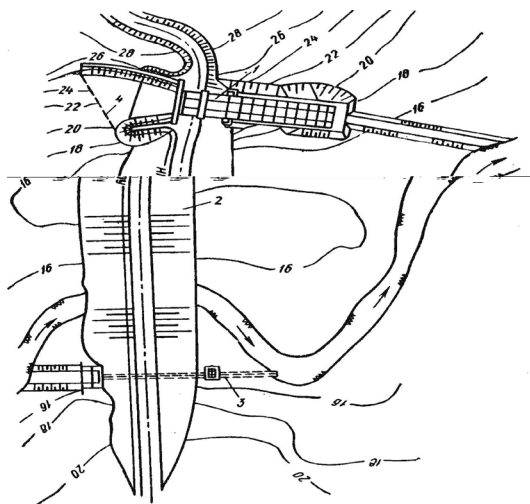


Рис. 4.3. Гидроузел с грунтовой плотиной, береговым открытым управляемым водосбором и водоспуском на разных берегах:
1 – водосбор; 2 – плотина; 3 – водоспуск; 4 – запань

4.3. Открытые нерегулируемые (автоматические) береговые водосбросы

Водосбросы с фиксирующим порогом. На нерегулируемом открытом поверхностном тракте отсутствует шлюз-регулятор. Такие водосбросы включаются в работу автоматически, как только уровни воды в водохранилище поднимаются выше НПУ. Автоматичность работы водосброса обеспечивается фиксирующим порогом, расположенным в подводящем канале на отметке НПУ. Конструктивно он выполняется как водослив с подтопленным или неподтопленным истечением. В последнем случае длина порога будет меньше и дно канала за порогом располагается на более низких отметках.

Необходимо отметить, что автоматические водосбросы имеют некоторые преимущества перед управляемыми: при эксплуатации они не требуют наблюдения за изменениями уровня воды в верхнем бьефе и регулирования величины сбрасываемого расхода, т. е. за счет того, что водосливной порог сбросного сооружения расположен на отметке нормального подпорного уровня ВБ, перелив воды происходит автоматически при превышении уровня в водохранилище – уровня порога.

Пропуск паводка сопровождается повышением уровня воды в верхнем бьефе обычно в пределах величины форсировки, равной 0,6–1,2 м. Величина форсировки принимается на основании технико-экономических расчетов (возможной дополнительной площади затопления в ВБ, длины сливного фронта, увеличения высоты грунтовой плотины, интенсивности паводка и др.).

Однако автоматические водосбросы имеют и недостатки – это временное дополнительное затопление прибрежной полосы водохранилища, а также некоторое увеличение высоты грунтовой плотины.

Автоматические водосбросы экономичны, просты в устройстве и эксплуатации, но требуют форсировки уровней в водохранилище. Для устранения указанного недостатка прибегают к созданию развитой водоприемной части, что в некоторых случаях трудно осуществимо или требует значительных затрат. Имеющиеся конструктивные решения таких водосбросов в основном различаются по конструкции водоприемной части или входного оголовка. Выделяют сооружения с боковым и фронтальным забором воды, с криволинейными, полигональными, ковшовыми и траншейными входными оголовками. Наиболее эффективно применение таких водосбросов в водохранилищах малой ширины.

4.4. Ковшовые (полигональные) открытые водосбросы

Ковшовые водосливные оголовки, у которых водосливной фронт выполнен в виде ломаной или криволинейной линии, иногда называют соответственно полигональными или криволинейными водосливами (рис. 4.4–4.6). Криволинейные или полигональные водосливы применяют с целью уменьшения высоты слоя форсировки в верхнем бьефе. Применение таких водосливов перспективно и экономически оправдано в широких водохранилищах с мелководной поймой. На рис. 4.5 представлен открытый береговой водосброс с полигональным водосливом конструкции Белгипроводхоза.

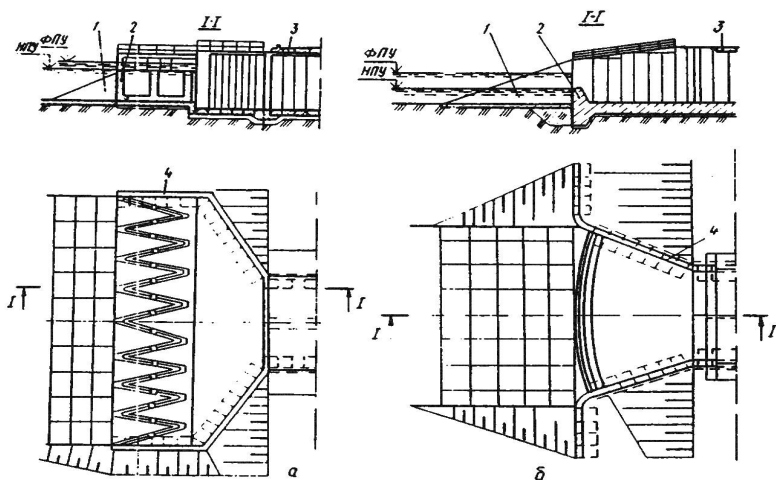


Рис. 4.4. Конструкции входной части открытых нерегулируемых водосбросов:
а – оголовок с полигональным водосливом; *б* – оголовок с криволинейным водосливом;
1 – входной оголовок; *2* – водосливной порог; *3* – проезд; *4* – ограждающие стенки водоприемника

Ковшовые оголовки с полигональными и криволинейными водосливами могут быть расположены в любой части плотины, но лучший эффект достигается на водосбросах с выдвинутыми в водохранилище оголовками.

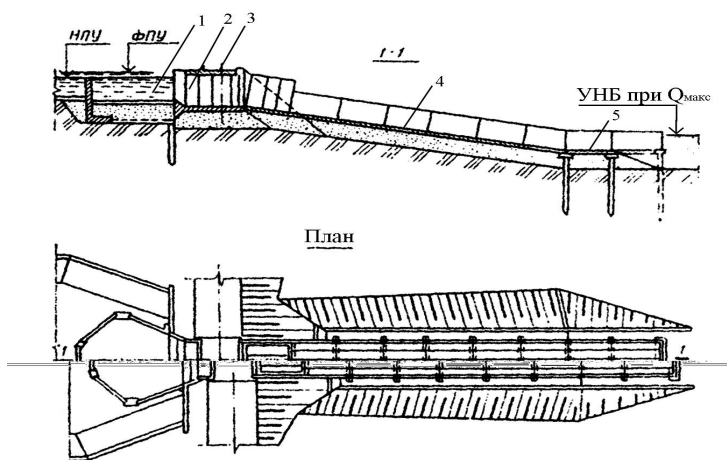


Рис. 4.5. Открытый береговой водосброс с полигональным водосливным оголовком конструкции Белгипровхоза: 1 – водоприемный ковш; 2 – переходный участок; 3 – переезд; 4 – быстроточная часть сооружения; 5 – концевая часть

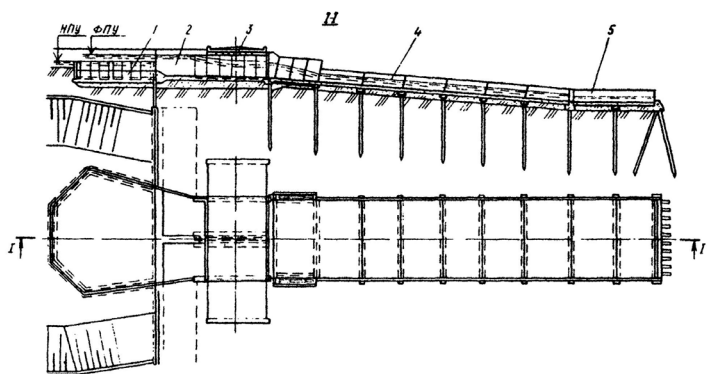


Рис. 4.6. Автоматический открытый водосброс конструкции Ленгипровхоза с ковшовым водоприемным оголовком на свайном основании: 1 – водоприемный ковш; 2 – переходный участок; 3 – переезд; 4 – быстроточная часть сооружения; 5 – концевая часть

Траншейный водосброс (рис. 4.7). Это разновидность открытого автоматического сбросного тракта, в состав которого входят: боковой

водослив (с широким порогом, практического профиля) с отметкой порога на НПУ; сборная траншея, к бровке которой примыкает водослив; сбросной канал; сопрягающее сооружение и отводящий канал. В плотинах с незначительной разностью уровней воды в бьефах возможно дно траншеи расположить на отметке русла водотока, и тогда сопрягающее сооружение исключается. При коротких водосбросных трактах сопрягающее сооружение примыкает к концу траншеи, и тогда отсутствует сбросной канал. Траншею размещают в верхнем бьефе гидроузла и располагают вдоль уреза воды нормально (или близко к этому) к продольной оси плотины на расстоянии 20–40 м от плотины.

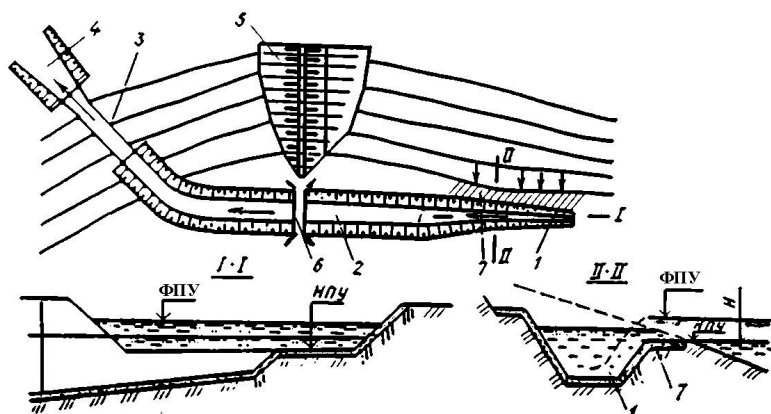


Рис. 4.7. Траншейный водосброс: 1 – траншея; 2 – сбросной канал; 3 – сопрягающее сооружение; 4 – отводящий канал; 5 – плотина; 6 – мост; 7 – водосливной порог

Траншейные водосбросы выгодно применять при небольших напорах на водосливе, крутых склонах долины и больших сбросных расходах. Они более экономичны в скальных породах, использовать их в нескальных грунтах возможно, но при этом стоимость сооружений возрастает из-за крепления водослива и траншеи; при крутых откосах в траншее приходится устраивать подпорные стенки.

Следует отметить, что ввиду малых удельных расходов на водосливе длина сливного фронта траншейного водосброса имеет значительную протяженность.

На рис. 4.8 представлен гидроузел с траншейным водосбросом.

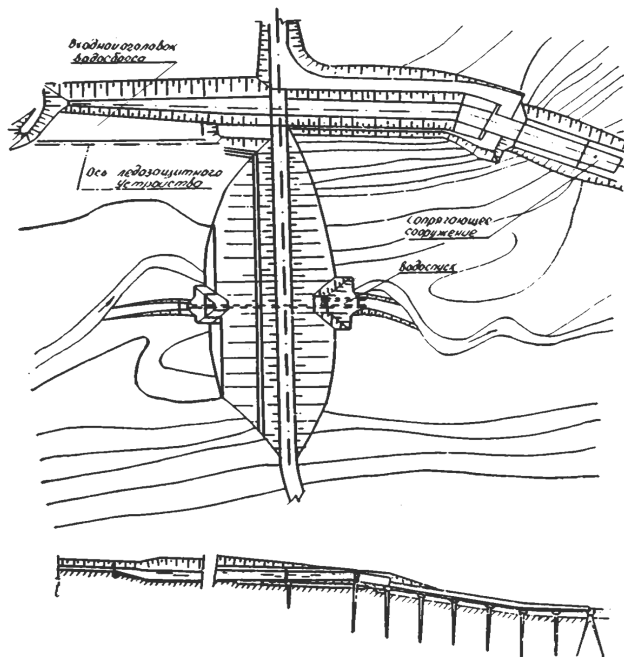


Рис. 4.8. Гидроузел с траншейным водосбросом

4.5. Закрытые автоматические водосбросы

Составными частями таких водосбросов являются входной оголовок и примыкающий к нему трубопровод, укладываемый в грунт ниже дневной поверхности. В месте выхода потока воды из трубы устраивают выходной оголовок, а за ним водобойный колодец, воронку размыва или другой тип гасителя для гашения кинетической энергии.

С гидравлической стороны входная часть этих водосбросов может быть как с неподтопленным, так и с подтопленным истечением, причем лучше иметь неподтопленное истечение, так как длина водосливного фронта в этом случае будет меньше.

К закрытым водосбросам автоматического действия относят ковшовые (рис. 4.9), трубчато-ковшовые, шахтные, сифонные, тоннельные. Из перечисленных в Республике Беларусь применяют трубчато-ковшовые и шахтные водосбросы конструкции Белгипроводхоза.

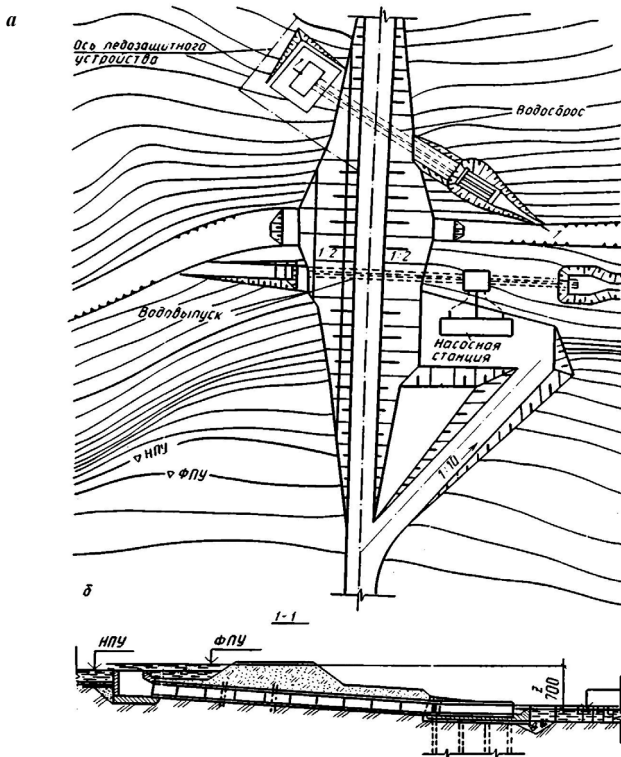


Рис. 4.9. Схема гидроузла с ковшевым водобросом:
 а – компоновка гидроузла; б – продольный разрез водоброса

Трубчато-ковшовый водоброс. Входной оголовок выполняют в виде ковша с забором воды по всему его периметру. Оголовок с трубой соединяют переходным участком, обеспечивающим плавный переход от прямоугольного сечения оголовка к круглому сечению трубы. Кромку ковша иногда удлиняют, выполняя ее ломаной, тем самым увеличивают водосливной фронт. Трубы применяют круглые заводского изготовления.

По длине трубы ставят противофильтрационные диафрагмы (рис. 4.10).

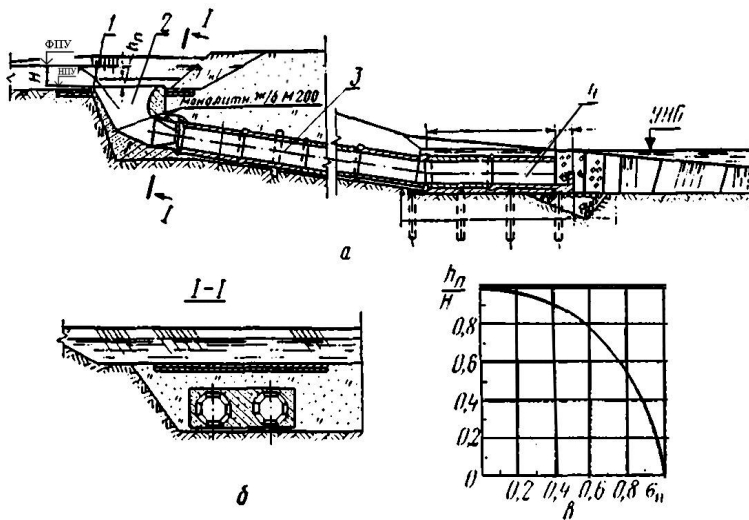


Рис. 4.10. Трубчато-ковшовый водосброс:
a – план; *б* – поперечное сечение труб по 1–1;
в – график для определения коэффициента подтопления σ_n ; 1 – входная часть водосброса; 2 – ковш; 3 – напорные трубы; 4 – гаситель

Гидравлический расчет трубчато-ковшового водосброса заключается в определении длины водослива, размеров поперечного сечения труб и расчете нижнего бьефа.

Шахтный (башенный) водосброс. Такой водосброс состоит из следующих основных частей: башни (шахты), водоотводящей трубы, устройства нижнего бьефа и, при необходимости, водоспуска. Если ствол шахты целиком выполнен (размещен) в грунте, то такой водосброс называют шахтным. Шахтные водосбросы целесообразно применять в скальных берегах, так как в этих случаях отпадает необходимость в строительстве железобетонной шахты. Башня обеспечивает автоматический сброс воды и поддерживает уровень в верхнем бьефе в установленных водохозяйственным расчетом пределах. При наличии водоспуска башня используется для установки затворов, размещения оборудования и служебного мостика, с которого осуществляется управление режимом работы водоспуска и отводящего водовода. Шахтные водосбросы бывают регулируемыми и нерегулируемыми автоматического действия. В регулируемых водосбросах гребень кольцевого водослива располагают ниже НПУ, а для поддержания

заданного уровня в водохранилищах применяют затворы. Управляют затворами со служебных мостиков, которые опирают на бычки, радиально расположенные по длине кольцевого шахтного водослива.

В нерегулируемых шахтных водосливах, работающих автоматически, кольцевые водосливы располагают на отметке НПУ.

Если ствол шахты расположен выше поверхности грунта, такой водосброс называют башенным.

Башенные водосбросы строятся как в берегах, так и в теле плотины. Башенный водосброс состоит из круглой или прямоугольной башни и горизонтальной трубы круглого или прямоугольного поперечного сечения. Вертикальная башня может быть каменной, бетонной и железобетонной. Отводящая труба устраивается из железобетонных труб, уложенных на бетонном основании. Верх башни должен быть на отметке нормального подпорного уровня воды (рис. 4.11). При повышении уровня вода переливается через стенки башни и отводится по отводящей трубе в нижний бьеф. В конце отводящей трубы устраивается сооружение для гашения энергии потока (водобойный колодец, водобойная стенка, консольное устройство с воронкой разлива (рис. 4.12) и др.), за которым расположен отводящий канал. Вверху по периметру башни устанавливается металлическая решетка, возвышающаяся над максимальным подпорным уровнем воды. Наличие крупноячеистой решетки предупреждает попадание в башню различных плавающих предметов, а на рыболовных прудах применяют рыбозаградительные мелкие съемные решетки. Чаще башенные (шахтные) водосбросы совмещают с водовыпусками (водоспусками), тогда в нижней передней части башни устраивают отверстие, перекрываемое щитом, управление которым осуществляется со служебного мостика.

В зависимости от расположения башни (у подошвы верхового откоса, примерно посередине откоса или в примыкании к бровке гребня подошвы) к водоспускному отверстию башни может подходить канал или водоспускная труба (рис. 4.11, 4.12).

Соединение трубы с башней осуществляют при помощи температурно-осадочного шва (ТОШ), который обеспечивает водонепроницаемость соединения и независимость деформации частей сооружения.

При наличии донного водоспуска подводную часть выполняют в виде канала с нулевым или прямым уклоном. Перед входным оголовком канал крепится железобетонными плитами от размыва большими придонными скоростями. Для защиты водоспуска от засорения на входе устраивают сорозащитный свайный ряд или устанавливают решетки. Установка металлической решетки также необходима, чтобы

при выпуске воды из водохранилища не выходила рыба. На участке водосборного сооружения верховой откос плотины крепят железобетонными плитами по слою песчаной подготовки толщиной $0,7-0,8h_{пр}$, где $h_{пр}$ – толщина возможного промерзания откоса. Такое техническое решение необходимо для устранения деформации крепления и образования трещин вблизи шахты при возведении насыпи из пучинистых грунтов.

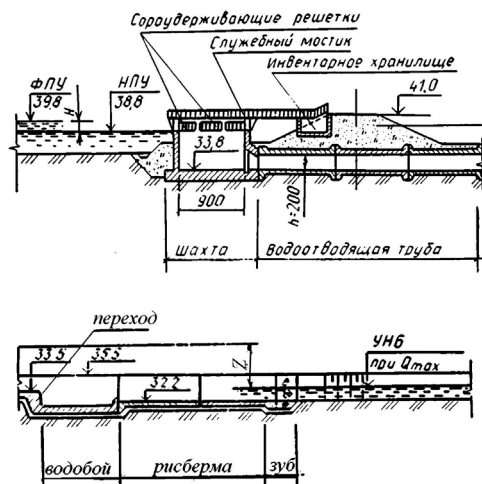


Рис. 4.11. Башенный (шахтный) водосбор с переходом

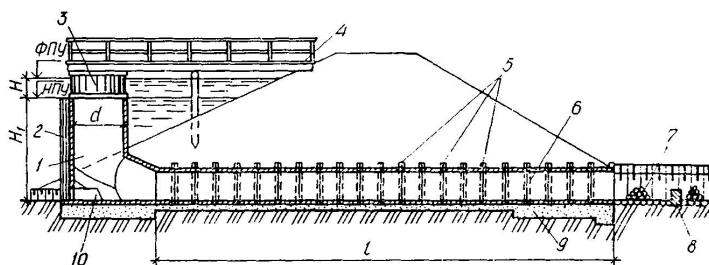


Рис. 4.12. Башенный водосбор: 1 – башня; 2 – пазы для щитов; 3 – металлическая решетка; 4 – служебный мостик; 5 – муфты; 6 – отводящая труба; 7 – отводящий канал; 8 – водобойная стенка; 9 – бетонное основание; 10 – донное отверстие

При расположении шахты в откосе насыпи желательно отсыпать вокруг шахты специальную берму, которая способствует выравниванию скоростей подхода сбрасываемого потока и улучшает режим работы и пропускную способность водослива башни или шахты (рис. 4.13).

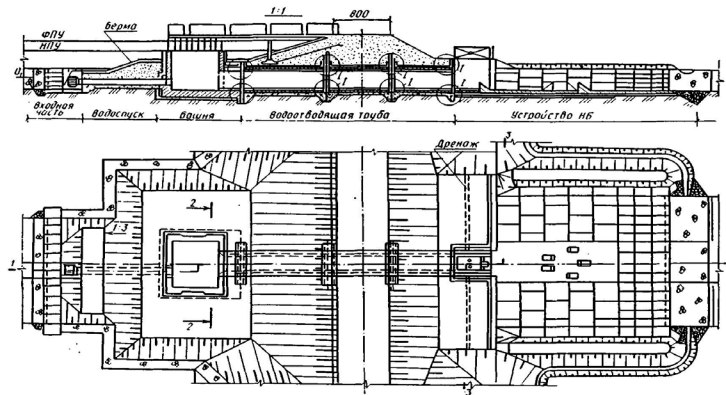


Рис. 4.13. Башенный водосброс (Белгипроводхоз)

Днище башни выполняют из монолитного железобетона. Его толщина, жесткость, плановые размеры и масса башни и пригрузки должны обеспечивать устойчивость конструкции к динамическому и взвешивающему воздействиям потока. Следует отметить, что условие устойчивости башни к взвешивающему воздействию потока является одним из основных, ограничивающих диапазон экономической эффективности автоматических башенных водосбросов.

Башню располагают в пределах верхнего откоса, чаще в средней части. При размещении башни у подошвы откоса улучшаются условия для ее осмотра, уменьшается внешнее давление на оболочку, но удлиняется эстакада и несколько ухудшаются условия ее работы против всплывтия.

В случае необходимости повышения прочности башни в ней устанавливают внутреннюю разделительную стенку-диафрагму (рис. 4.14). В нижней ее части устраивают перепускные отверстия. Наличие диафрагмы, перепускных отверстий и затворов позволяет уменьшить нагрузку на затвор и улучшить режим работы водоотводящей трубы и устройства нижнего бьефа.

Вода, поступившая в башню и донный водоспуск, вытекает в нижний бьеф через водоотводящие трубы. Количество ниток и поперечные размеры труб, так же как и водоспуска, принимаются на основании гидравлического расчета. В типовых сооружениях отводящие трубы устраивают из сборных унифицированных железобетонных изделий круглого или прямоугольного профиля. Наиболее широко применяют сборные трубы диаметром 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 м. Трубы прямоугольного сечения делают из унифицированных блоков $B \times h = 1,5 \times 2$ м, 2×2 м или панелей 3×2 м.

По длине водоотводящие трубы делят на секции температурно-осадочными швами. Количество швов и их местоположение принимают с учетом длины блоков, статической особенности водосброса и поперечного сечения земельной насыпи (плотины), т. е. с учетом неравномерности нагрузки на основание и величины деформации по длине водовода.

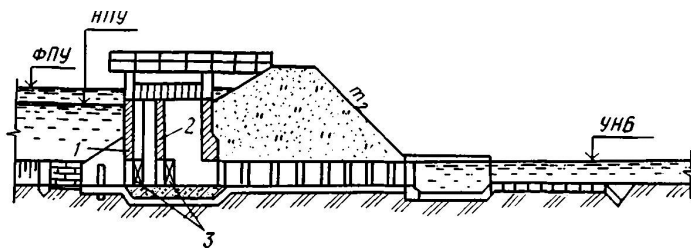


Рис. 4.14. Шахтный водосброс, совмещенный с водоспуском:
1 – водоспускное отверстие; 2 – диафрагма; 3 – затворы

Для снижения опасности развития контактной фильтрации по длине водовода устраивают диафрагмы через 4–6 м из железобетона или полимерной пленки. Размеры и местоположение диафрагм определяют фильтрационным расчетом.

Водоотводящие трубы укладывают на бетонную подготовку с нулевым уклоном оси или с уклоном $i < i_{кр}$.

Наружные поверхности башни и труб оклеивают асфальтовыми матами или другим видом клеочной гидроизоляции, которая повышает водонепроницаемость бетона и, следовательно, снижает воздействие касательных сил морозного пучения на конструкцию.

Перспективно совмещение в конструкциях трубчатых водосбросов сооружений с ковшовым и шахтным оголовками.

4.6. Общие положения проектирования водосбросных сооружений

Один из наиболее ответственных вопросов проектирования, вызывающих наибольшие затруднения, – выбор варианта из числа конкурирующих. Каждый из намечаемых вариантов должен основываться на учете природных, гидрологических и инженерно-геологических условий района строительства, а также эксплуатации проектируемых сооружений.

Оптимальный вариант может быть принят на основе технико-экономического сравнения различных вариантов. При технико-экономическом сопоставлении вариантов водосбросов необходимо учитывать стоимость не только собственно водосброса, но и примыкающей к нему части плотины. При выборе варианта регулируемого или нерегулируемого водосброса рекомендуется учитывать следующее:

- нерегулируемые открытые водосбросы чаще всего экономически целесообразны при расходах менее 100–200 м³/с, устройстве плотин малой протяженности и сравнительно больших объемах трансформации паводкового расхода между отметками НПУ и ФПУ;

- автоматические водосбросы не требуют постоянного дежурства обслуживающего персонала, обеспечивающего работу подъемного оборудования затворов, что особенно важно в районах с внезапными и значительными паводками;

- регулируемые водосбросы позволяют поддерживать расчетный подпорный уровень воды в водохранилище и могут обеспечивать сброс паводковых расходов без форсировки уровней, т. е. без дополнительного затопления прилегающей территории; такие водосбросы на 10–15 % дешевле нерегулируемых;

- нерегулируемые водосбросы требуют устройства более высоких плотин, могут иметь меньшие размеры в связи с уменьшением вследствие трансформации расчетных паводковых расходов.

При выборе типа водосброса: открытый или закрытый (трубчатый) – следует учитывать, что по сравнению с открытыми трубчатые сооружения имеют ряд преимуществ. Применяя трубчатые водоводы, можно сократить длину водосброса, проложив его трассу по наикратчайшему пути. Отпадает необходимость строительства специального сооружения – моста. Для проезда через створ трубчатого водосброса используется земляная насыпь. Создается возможность совместить

водосброс с другими водопропускными сооружениями, например с водоспуском.

К недостаткам трубчатых водоводов следует отнести неудобство технического осмотра и ремонта конструкций, сложность режима движения потока. В процессе эксплуатации водосброса водовод может работать в напорном, безнапорном или переходном режимах. При смене режимов снижается пропускная способность трубы, создается опасность развития пульсационных гидродинамических нагрузок, возможна вибрация сооружения.

Поэтому при выборе типа конструкции и размеров трубчатого сопрягающего водовода необходимо исходить из условия стабильного заданного режима движения потока. Учитывая это условие, наклонные водоводы (например, ковшовые водосбросы) проектируют чаще всего безнапорными, а горизонтальные (например, шахтные водосбросы) – напорными.

Тип, конструкция, а в итоге и стоимость водосброса зависят от положения трассы водосбросного тракта. При выборе трассы рекомендуется учитывать следующие соображения:

- ось водосбросного тракта целесообразно трассировать по берегам водотока и по возможности перпендикулярно горизонталям;
- трасса водосброса должна быть по возможности прямолинейной и иметь минимально возможную протяженность;
- в случае криволинейной трассы водосброса необходимо предусмотреть специальные конструктивные мероприятия, обеспечивающие устойчивость сооружения на поворотах;
- в случае недостаточной прочности грунтов, слагающих берега водотока, при соответствующем обосновании допускается трассировать водосбросы в пределах плеч или тела плотины;
- при трассировке водосбросного тракта предусматривают удаление его, а особенно входной части, от плотины во избежание нежелательного воздействия на нее потока; при этом необходимо обеспечить равномерный подход потока к отверстиям водосброса и безопасный для плотины отвод его в нижнем бьефе.

По выбранной трассе водосбросного тракта строят профиль местности, на который наносят элементы водосброса, включая подводящий и отводящий каналы, головное и сопрягающее сооружения. Размеры подводящего канала должны обеспечивать приемлемые гидравлические условия работы головного или сопрягающего сооружения. Канал необходимо устраивать в виде неглубокой выемки. Чаще всего

он проходит по косогорным участкам, поэтому следует предусмотреть мероприятия, обеспечивающие устойчивость его откосов. В зависимости от условий местности подводящие каналы могут быть короткими при размещении водосбросов в пределах тела или плеч плотины и достаточно протяженными при береговом их размещении.

Головное сооружение должно быть размещено в легкодоступном месте. Необходимо предусмотреть подходы и подъезды к нему на случай осмотра, обслуживания и ремонта. Сопрягающие сооружения должны быть по возможности короткими.

Отводящие каналы проектируют в выемке, и они должны сопрягаться с руслом реки в нижнем бьефе.

Нижние бьефы водосбросов проектируют в виде концевых консольных перепадов с гашением энергии в воронках размыва или предусматривают устройство водобойных колодцев или стенок.

5. ВОДОПОДАЮЩАЯ СИСТЕМА И СООРУЖЕНИЯ НА НЕЙ

5.1. Водоподающие каналы и их гидравлический расчет

Каналами называют водопропускные сооружения, предназначенные для транспортирования воды из одного пункта в другой и представляющие собой открытые искусственные русла правильных очертаний.

Поперечное (живое) сечение каналов выполняют прямоугольным, трапецеидальным, полигональным, полукруглым, параболическим (рис. 5.1) и др.

Уклон дна каналов может быть прямым, обратным и нулевым.

Основные геометрические характеристики канала: b – ширина по дну, м; $B_{ст}$ и $H_{ст}$ – строительная ширина и глубина канала соответственно, м; m – коэффициент заложения откоса; Δh – превышение гребня дамб каналов над наивысшим уровнем воды, м (рис. 5.1).

По пропускной способности ($\text{м}^3/\text{с}$) различают каналы: очень малые – менее 5; малые – 5–35; средние – 35–350; большие – 350–800; очень большие – более 800.

По назначению каналы подразделяют: на обводнительные; водопроводные; рыбоводные; судоходные и др.

Водоподающие каналы подают воду из источника водоснабжения (водохранилище, озеро, река) к рыбоводным прудам. Они делятся на магистральные (главные), проводящие воду из водохранилища в район расположения прудов; ветви и распределители, подводящие воду

непосредственно к прудам. Основным элементом водоподающей системы является магистральный канал. Он располагается выше отметок уровней воды в прудах. Если хозяйство устроено по схеме с двухсторонним расположением прудов, то предусматривается двухстороннее расположение магистральных каналов по двум сторонам поймы и в начале каждого магистрального канала строят водозаборное сооружение. Для подвода воды к отдельным прудам или группам прудов предусматривают ответвления.

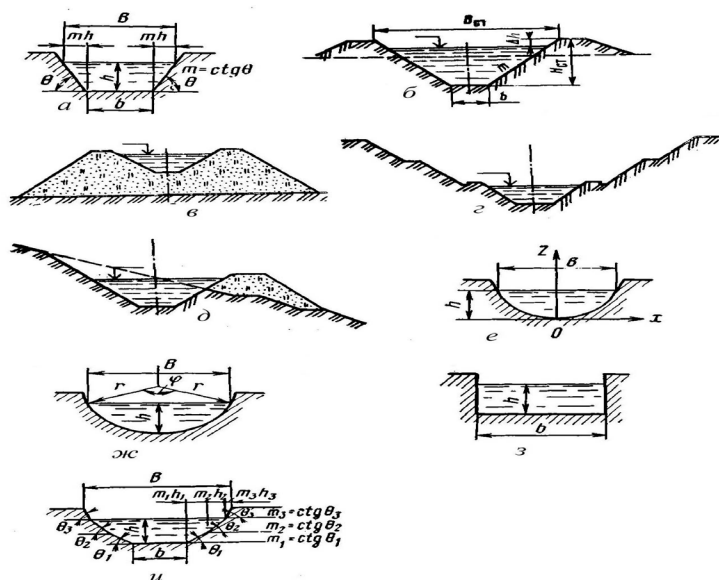


Рис. 5.1. Формы и размеры живого сечения каналов:
a – трапецидальная; *б* – то же, в выемке; *в* – то же, в насыпи; *г* – то же, в глубокой выемке; *д* – то же, на косогоре; *е* – параболическая; *ж* – круговая (сегментная); *з* – прямоугольная; *и* – полигональная

В рыбоводных хозяйствах применяют в основном самотечные каналы, в которых вода из источника водоснабжения движется под действием силы тяжести из-за наличия уклона дна. Водоподающие каналы представляют собой искусственное русло в основном трапецидального поперечного сечения. Канал по бокам ограничивается откосами с различными уклонами в зависимости от грунта, в котором он проложен (рис. 5.2).

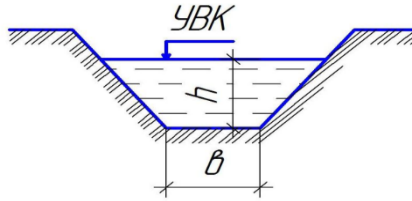


Рис. 5.2. Поперечное сечение канала

При проектировании каналов в земляном русле допускаются небольшие скорости (0,5–1,5 м/с), при которых не может быть размыва грунта, и каналам придаются малые уклоны. Уклоном называется отношение превышения Δh между двумя точками к заложению m , или тангенс угла наклона линии к ее заложению.

В каналах различают следующие основные виды движения потока:

- установившееся, при котором скорость в любой точке занятого водой пространства (сечения) не изменяется во времени;
- неустановившееся, при котором скорость во всех точках занятого водой пространства изменяется по значению и (или) направлению во времени.

При установившемся виде движения потока различают следующие режимы:

- равномерный, при котором средние скорости потока воды в живых сечениях по длине русла одинаковы по значению;
- неравномерный, при котором скорости потока воды в живых сечениях по длине русла неодинаковы.

Кроме того, при любом виде движения поток может находиться в спокойном или бурном состоянии.

Обычно при гидравлических расчетах каналов исходят из равномерности движения в нем потоков. Кроме того, выполняются проверочные расчеты на неравномерные режимы движения потоков в канале, возникающие при подпорах и спадах поверхности воды вследствие изменения по длине уклона, шероховатости, площади и формы поперечного сечения, а также возникновения волн перемещения, приводящих в движение большие массы воды (во время паводков, половодий, при пропусках, прорывах и т. д.).

Нижнее основание трапеции называется дном канала, ширина этого основания b – шириной по дну. Глубиной канала называется расстояние по вертикали от поверхности земли до дна канала, глубиной

воды в канале h – расстояние от поверхности воды до дна. Линия пересечения поверхности земли с плоскостью откоса канала называется верхней бровкой. Уровень воды в канале должен быть на 0,2–0,5 м ниже верхних бровок. Наиболее выгодной формой поперечного сечения открытого русла является такая, которая при одинаковой площади живого сечения и заданном уклоне обеспечивает наибольшую пропускную способность. Канал трапециевидальной формы одной и той же площади при определенном уклоне откосов можно запроектировать различно, назначая разные соотношения между глубиной воды в канале и шириной его по дну. Откосы канала имеют неодинаковые уклоны, величина которых зависит от рода грунта (рис. 5.3). Уклон дна канала – это синус угла наклона α откоса к горизонту.

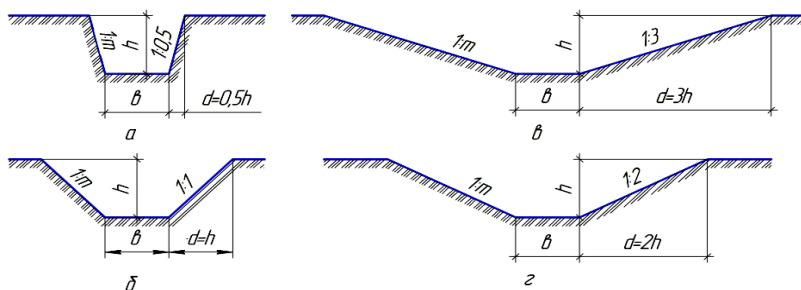


Рис. 5.3. Типы откосов:
 а – половинные; б – одиночные; в – тройные; г – двойные

Крутизна откоса обозначается отношением 1: m , где m – коэффициент заложения откоса.

Земляные каналы строят в выемке, полувыемке-полунасыпи и реже в насыпи (рис. 5.4).

Расположение канала зависит от рельефа местности и от соотношения отметок уровня воды в канале и поверхности земли того участка, где должен проходить канал. Если отметка уровня воды в канале ниже отметки поверхности земли, каналы делают в выемке, если выше – в насыпи. При расположении канала на крутом косогоре его делают в полувыемке-полунасыпи.

С точки зрения условий производства работ наиболее выгодно сооружать канал в полувыемке-полунасыпи с трапециевидальным или полигональным сечением. На участках его, проходящих в насыпи, при-

ходится предусматривать значительное число ливнеспусков для пропуска поверхностного стока с водосборов, примыкающих к насыпи, что увеличивает стоимость таких каналов.

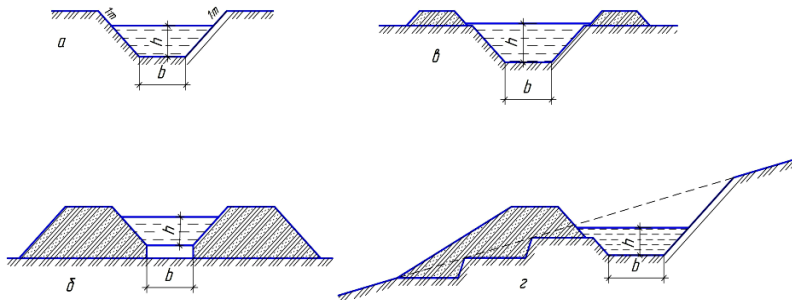


Рис. 5.4. Сечение канала:

a – в выемке; *б* – в насыпи; *в* – в полувыемке-полунасыпи;
г – при прохождении канала по крутому косогору

При прохождении в неустойчивых грунтах (просадочных, плавунных и т. п.) геометрические параметры сечений назначают с учетом мероприятий по стабилизации основания и откосов канала.

Основная задача гидравлического расчета канала – определение его основных размеров с заданным расходом. Для этого необходимо: принять форму и определить основные размеры поперечного сечения; установить режим движения потока; определить наиболее благоприятный скоростной режим и с учетом его (при необходимости) назначить тип крепления.

Для гидравлического расчета канала необходимо определить:

- 1) расчетные расходы;
- 2) уклон дна по продольному профилю канала в соответствии с топографическими и инженерно-геологическими условиями;
- 3) коэффициент заложения откосов;
- 4) коэффициент шероховатости;
- 5) физические и физико-механические характеристики грунтов.

Из условий равномерного движения потока в канале по заданному расходу (обычно максимальному) определяется глубина наполнения и ширина канала по дну. Проверяется условие обеспечения средних скоростей потока в пределах, не допускающих размыва русла.

В случае равномерного движения воды в канале для расчета используется формула Шези, которая имеет вид

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (5.1)$$

где Q – расчетный расход, м³/с;

ω – площадь живого сечения потока, м²;

C – коэффициент Шези, м^{0,5}/с;

R – гидравлический радиус, м, определяемый по формуле $R = \omega / \chi$ (χ – смоченный периметр, м);

i – уклон дна канала, равный $\sin \alpha$ (α – угол наклона дна канала).

Коэффициент C определяют следующим образом:

1) по формуле

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (5.2)$$

где n – коэффициент шероховатости, равный 0,001...0,04;

y – переменный показатель степени, вычисляемый по формуле

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1); \quad (5.3)$$

2) для приближенных расчетов Н. Н. Павловский рекомендовал упрощенные формулы:

при $R = 0,1 \dots 1,0$ $y = 1,5\sqrt{n}$;

при $R = 1 \dots 3$ $y = 1,3\sqrt{n}$;

3) ТКП 45-3.04-8-2005 допускает определять коэффициент Шези по формуле

$$C = \frac{1}{n} + (27,5 - 300n) \lg R; \quad (5.4)$$

4) полуэмпирическая формула И. И. Агроскина:

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R. \quad (5.5)$$

Форму и размер живого сечения канала выбирают с учетом целого ряда факторов: геологических условий; удобства производства работ при строительстве; благоприятного гидравлического режима (обеспечения заданной пропускной способности, глубины и допустимых скоростей течения); удобства и надежности эксплуатации и т. д.

Для каналов с трапецидальной формой поперечного сечения площадь живого сечения канала определяется по формуле

$$\omega = (b + mh)h. \quad (5.6)$$

Длина смоченного периметра определяется по формуле

$$\chi = b + 2h\sqrt{1 + m^2}, \quad (5.7)$$

где b – ширина канала по дну, м;

h – глубина воды в канале, м;

m – коэффициент заложения откоса, $m = \text{ctg } \theta$ (θ – угол наклона откоса, град).

5.2. Водоподающие лотки

Лотки применяют вместо каналов в тех случаях, когда трасса канала должна проходить в насыпи, а пригодных грунтов для создания насыпи нет, а также на участках канала со скальными грунтами, на косогорных участках с осыпными грунтами, на участках трассы с оползневыми или просадочными грунтами.

В настоящее время применяют раструбные железобетонные лотки различной глубины. Раструбные железобетонные лотки состоят из отдельных звеньев длиной 6 м. Один конец звена оканчивается раструбом, в который вставляется безраструбный конец другого звена. Для обеспечения водонепроницаемости в стыки звеньев укладывают прокладки из упругой резины или круто свитого пенькового жгута, пропитанного битумом.

Внутренняя поверхность лотков очерчена по параболе, толщина стенок лотка составляет 4,3–6,0 см.

Лотки такой конструкции в зависимости от геологических условий можно располагать на свайных опорах, на стойках рамного типа и укладывать на грунт с устройством гравийно-песчаной подготовки или с применением железобетонной плиты.

При расположении лотков на сваях длину их принимают равной 250–700 см. Лотки глубиной 40–80 см устанавливают на одну сваю, а глубиной 100 см – на две сваи в каждой опоре.

Опоры в виде стоек рамного типа устанавливают на фундамент стаканного типа с гравийно-песчаной подготовкой и закладывают в траншею трапецидального сечения с размерами по дну 500×1200 см и с уклоном откосов 1,0:0,5.

Для лотков глубиной 40–80 см высота опор составляет от 80 до

480 см и ширина – 40 см, для лотков глубиной 100 см высота опор – от 70 до 470 см и ширина – 94 см.

При укладке лотка на грунт гравийную подготовку выполняют под каждой опорой шириной 45–65 см, длиной 60–85 см и толщиной 10–20 см.

Внешняя поверхность лотка и внутренняя поверхность раструба на участке стыка, а также поверхности блоков лотков и опор, соприкасающихся с грунтом, покрывают двумя слоями битума, растворенного в бензине.

Для отвода воды из лотков такого типа применяют водовыпуски с вентильными задвижками. Водовыпуски делают двух вариантов: для лотков глубиной 60 и 80 см и с боковой закладной рамой.

К закладной раме (рис. 5.5) крепится вентиль диаметром 325 мм с отходящим патрубком. На вентиле имеется дисковый затвор для регулирования расхода воды. На патрубок с помощью банджа надевается гибкий трубопровод, по которому вода подается из лотка к нужному месту.

Для регулирования горизонтов воды в лотке ниже водовыпуска установлен клапанный затвор с ручным приводом. Водовыпуск с боковой закладной рамой наиболее применим в эксплуатации. Из закрытых трубопроводов воду можно отводить с помощью гидрантов-водовыпусков.

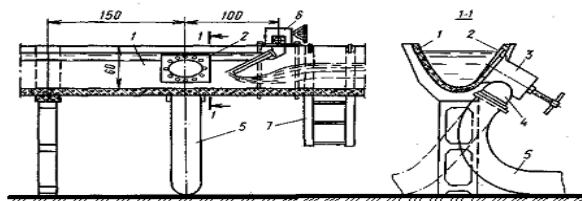


Рис. 5.5. Водовыпуск с вентильным затвором:
1 – лоток; 2 – закладная рама; 3 – вентиль; 4 – патрубок;
5 – гибкий трубопровод; 6 – клапанный затвор; 7 – лестница

5.3. Трубопроводы

Для транспортирования воды канал заменяют трубопроводом, чтобы предотвратить фильтрацию (если грунты неустойчивые, сильно фильтрующие), обойти препятствие при большой протяженности канала и в других случаях. Это особенно важно для снабжения водой

зимовальных прудов и садков в зимний период эксплуатации. Трубопроводы применяют для водоснабжения водой и летних прудов, когда это экономически целесообразно. Из труб монтируют различные гидротехнические сооружения – донные водоспуски, трубчатые водозаборы и водоспуски и т. д.

Выбор типа трубопровода и поперечного сечения, а также материала зависит от его назначения, общей компоновки сооружения, величины напора и расхода воды.

Расположение трубопровода проектируют исходя из минимальной протяженности трассы. Необходимо, чтобы средняя скорость в трубопроводах была не менее 0,8–1,0 м/с, чтобы наносы не оседали в трубах.

Трубопроводы бывают металлическими, бетонными, железобетонными, из полимерных и других материалов.

Железобетонные и бетонные безнапорные трубы. Применяются для отдельных частей гидротехнических сооружений. Работают неполным сечением и транспортируют воду самотеком.

Железобетонные трубы в зависимости от формы концов подразделяют: на раструбные (со ступенчатой и конической формой раструба), фальцовые и гладкие.

Железобетонные трубы делят по прочности на трубы нормальной и повышенной прочности и изготавливают с внутренним диаметром 300–1500 мм, со ступенчатым или коническим раструбом, длиной 5000–4000 мм и диаметром 1750–2500 мм.

Гладкие трубы соединяют при помощи железобетонных муфт.

Смонтированную из отдельных колец трубу укладывают на подготовленное основание из песка, гравия или щебня.

Пластмассовые трубы. Для производства пластмассовых труб наиболее широко используют следующие термопластики: поливинилхлорид (ПВХ), полиэтилен (ПЭ) и полипропилен (ПП). Трубы из поливинилхлорида более дешевые по сравнению с трубами из полиэтилена и полипропилена. Пластмассовые трубы выпускаются напорные и безнапорные, гладкие и гофрированные. Соединение пластмассовых труб бывает разъемным и неразъемным. Разъемное соединение осуществляется посредством муфт и фитингов всевозможных форм. Неразъемное соединение труб осуществляется сваркой (трубы ПВД, ПНД, ПП) и склейкой (трубы ПВХ). Если толщина стенок труб не менее 4 мм, сварку можно осуществлять встык, а если стенки труб меньше этой величины, сварку осуществляют враструб. Для напорных и самотечных трубопроводов большого диаметра применяют стекло-

волоконистый полистирол на основе термореактивных пластиков, лучше воспринимающих механические нагрузки. Из-за повышенной гладкости стенок и абсолютной инертности полимеров пропускная способность пластмассовых труб сохраняется неизменной в течение всего периода эксплуатации.

5.4. Трассирование магистральных каналов

Нанесение оси канала на план с заданным уклоном называется трассированием канала. В рыбоводных хозяйствах магистральные каналы проектируют с уклонами 0,001–0,003.

Трассирование магистрального канала на плане производится после того, как нанесены все пруды хозяйства и в них установлены отметки горизонта воды.

По магистральному каналу вода поступает от водохранилища к рыбоводным прудам. Поэтому желательно, чтобы он проходил на близком расстоянии от прудов, а водоводы, подающие воду от магистрального канала к прудам, не были чрезмерно длинными. Трасса магистрального канала должна проходить выше всех прудов с таким расчетом, чтобы на ней было меньше сопрягающих сооружений. Желательно, чтобы канал проходил в выемке или полувыемке-полунасыпи. Учитывая эти условия и рельеф, выбирают уклон канала.

Трассирование магистрального канала обычно производят от дальнего пруда в хозяйстве. Отметку начальной точки канала назначают следующим образом. К отметке горизонта воды в пруду прибавляют величину перепада в конце водоподающей системы, т. е. расстояние от дна лотка, подающего воду в этот пруд, до горизонта воды в данном пруду (эту величину для летних прудов принимают равной 0,2 м, а глубину воды в канале – около 0,5 м).

Трассирование обычно производят отдельными участками длиной 100 м (рис. 5.6). От первой точки в направлении предварительно намеченной трассы откладывают в масштабе плана отрезок длиной 100 м. Конец этого участка должен иметь отметку с учетом заданного уклона, которая должна соответствовать отметке плана.

Чтобы проверить правильность трассирования канала, следует сравнить последнюю отметку канала с отметкой горизонта воды в водохранилище (головном пруде), полученной аналитическим способом.

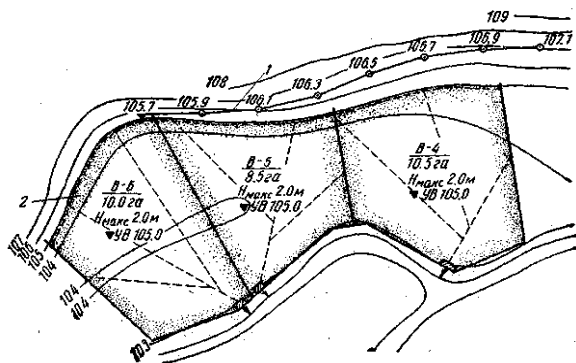


Рис. 5.6. Трассирование магистрального канала:
1 – канал; 2 – пруд

Расположение водоснабжающей системы зависит от рельефа участка, на котором строят хозяйство, и от размещения прудов на местности.

При любой схеме расположения водоснабжающей системы каналы, лотки и трубопроводы размещают выше всех прудов с таким расчетом, чтобы отметка горизонта воды в них была выше отметки горизонта воды в прудах.

Так как в рыбоводных хозяйствах осуществляется чаще всего самотечная подача воды в пруды, то отметка горизонта воды в головном пруду назначается выше отметки горизонта воды в магистральном канале и выше отметок горизонтов воды во всех прудах.

Отметку горизонта воды в головном пруду назначают в зависимости от условий его работы.

Так как рыбоводное хозяйство действует и летом, и зимой, то самотечная подача воды должна быть обеспечена все время. Поэтому отметка горизонта воды в головном пруду зависит от уровня воды в летних и зимних прудах. Окончательно выбирается большее значение отметки горизонта воды в головном пруду.

Для того чтобы установить отметку горизонта воды в головном пруду, необходимо знать разницу отметок горизонтов воды в нем и в летних прудах, и в зимних прудах.

Разность отметок горизонта воды дальнего летнего (нагульного) пруда и головного пруда H_n определяется по формуле

$$H_{\text{л}} = h_{\text{п}} + h_{\text{н}} + il + h_{\text{в}}, \quad (5.8)$$

где $h_{\text{п}}$ – перепад в конце водоподающей системы (расстояние от дна лотка, подающего воду в дальний пруд, до горизонта воды в этом пруду), принимается равным 0,2 м;

$h_{\text{н}}$ – глубина воды в канале во время прохода наибольших расходов, принимается равной 0,4 м;

il – падение дна канала вследствие уклона i на протяжении всей длины канала, м;

$h_{\text{в}}$ – потери напора в головном водозаборе магистрального канала, принимаются равными не менее 0,1–0,2 м.

Разность отметок горизонтов воды зимовальных и головного прудов H_3 можно получить из выражения

$$H_3 = h'_{\text{п}} + h'_{\text{н}} + i'l' + h'_{\text{в}}, \quad (5.9)$$

где $h'_{\text{п}}$ – перепад в конце водоподающей системы (расстояние от дна лотка, подающего воду в зимовальные пруды, до горизонта воды в них), принимается равным 0,4 м;

$h'_{\text{н}}$ – глубина воды в канале или лотке, подающем воду в зимовальные пруды, принимается равной 0,2–0,4 м;

$i'l'$ – падение дна канала или лотка, подающего воду в зимовальные пруды, на протяжении всей его длины, м;

$h'_{\text{в}}$ – потери напора в головном водозаборе магистрального канала, принимаются равными 0,1 м.

При определении H_3 необходимо знать отметку горизонта воды в зимовальных прудах, которая зависит от отметки их дна. Отметка дна зимовальных прудов назначается в зависимости от горизонта воды в водоприемнике.

Определив $H_{\text{л}}$ и H_3 , их прибавляют соответственно к отметке горизонта воды в крайнем летнем пруду и к отметке горизонта воды в зимовальном пруду. Наибольшая отметка и будет искомой отметкой горизонта воды в головном пруду.

5.5. Головные водозаборные сооружения

Для водоснабжения рыбоводных хозяйств могут быть использованы реки, ручьи, каналы, водохранилища, озера, артезианские скважины.

Сооружения, при помощи которых вода забирается из водохранилища (головного пруда) и подается в водоводы (чаще каналы) и даль-

ше транспортируется потребителю, называют водозаборными (водозаборами). Водоснабжение рыбоводных прудов может быть самотечным или с механической подачей воды. Самотечный способ наиболее желателен, так как является более дешевым и простым в эксплуатации по сравнению с механической подачей воды.

Головные водозаборные сооружения при самотечной подаче воды должны обеспечивать выполнение графика наполнения прудов водой, предотвращать попадание в магистральный канал сорной рыбы из источника водоснабжения, предохранять канал от попадания в него наносов, льда и шуги.

Водозаборы могут быть бесплотинными, плотинными с самотечной подачей воды и с механическим подъемом воды.

Плотинный водозабор устраивают на малых реках с нестабильными расходами воды и уровнями, значительно колеблющимися в зависимости от сезона и климатических условий. Это наиболее устойчивый и надежный тип водозабора, отличающийся, однако, более высокой стоимостью строительства, так как кроме плотины возводят еще водосброс, донный водоспуск и другие сооружения, т. е. создают головной пруд.

Бесплотинный водозабор применяют в том случае, если из реки забирается в одной точке не более 20–25 % расхода, проходящего по реке. Поэтому в случае необходимости забора большого расхода воды устраивают несколько бесплотинных водозаборов, подающих воду в один магистральный канал. Обязательными условиями для создания бесплотинного водозабора являются: надежная обеспеченность уровней и расходов реки для бесперебойного выполнения графика водопотребления, прочные устойчивые берега без оползней и подмывов, устойчивое русло реки (прямолинейный участок), отсутствие водоворотов и перекатов в русле в районе проектируемого сооружения.

Тип водозабора выбирают на основании технико-экономического сравнения вариантов.

Головные водозаборные сооружения на водоподающих каналах делятся на открытые шлюзы-регуляторы и закрытые трубчатые.

Поверхностный водозабор по типу шлюза-регулятора. В плотинах высотой до 5 м целесообразно устраивать поверхностные водозаборы, используя для них шлюзы-регуляторы. Такие водозаборы часто применяют в прудовом рыбном хозяйстве для выпуска воды из головного пруда в канал, питающий рыбоводные пруды различного назначения.

Открытый шлюз-регулятор представляет собой лоток прямоугольного сечения со стенками из Г-образных железобетонных блоков и монолитным днищем на бетонной подготовке (рис. 5.7). Входную и выходную части сооружения выполняют в виде ныряющих стенок, сопрягающихся с откосами плотины или канала с помощью крепления из железобетонных плит или каменной отмостки. Расход регулируют с помощью плоских металлических затворов с винтовыми подъемниками, рама которых замоноличена между деталями лотка и входного оголовка. При расходах от 8 до 10 м³/с вход разделяют бычком на два отверстия с установкой в каждом пролете щитового оборудования и подъемников.

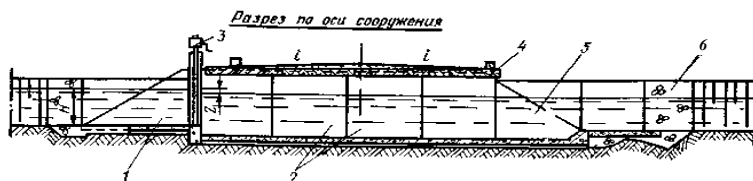


Рис. 5.7. Открытый шлюз-регулятор: 1 – входной оголовок; 2 – железобетонные Г-образные блоки; 3 – винтовой подъемник; 4 – проезжий мост; 5 – выходной оголовок; 6 – каменная отсыпка

Водозабор по типу напорных труб с затвором на выходе (рис. 5.8). Такой водозабор применяют на головном пруду при расходах не выше 0,3–0,5 м³/с.

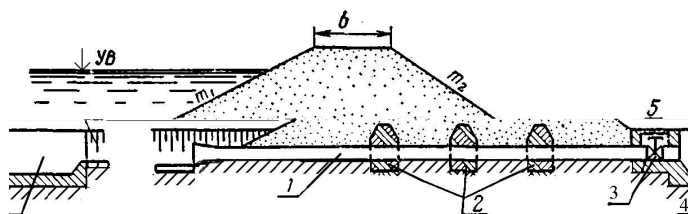


Рис. 5.8. Водозабор с затвором на выходе напорной трубы:
1 – труба; 2 – диафрагма; 3 – затвор; 4 – водобойный колодец;
5 – отводящий канал

Водозабор представляет собой трубу, уложенную под телом плотины на материковый грунт. Чаще применяют металлические, железобетонные

бетонные, а также асбестоцементные трубы заводского изготовления. Затвор типа задвижки размещают на выходном конце трубы.

Водозабор работает в напорном режиме, для гашения энергии за выходным сечением трубы устраивают водобойный колодец или гаситель другого типа. По длине трубы устраивают несколько диафрагм, препятствующих фильтрации воды по стыку грунта с трубой.

Водозабор по типу безнапорных труб с затворами на входе (рис. 5.9). Расходы воды регулируют затворами, которые размещают во входном оголовке водозабора. Установка затворов улучшает эксплуатацию водозабора. Управление затворами происходит со служебного мостика, поддерживаемого стойками, опирающимися на бетонный оголовок. Трубы водозабора укладывают на материковый грунт. При повышенных расходах водозабора применяют две-три нитки труб с общим входным и выходным оголовком. Гашение энергии происходит чаще в водобойном колодце, вплотную примыкающем к выходному оголовку.

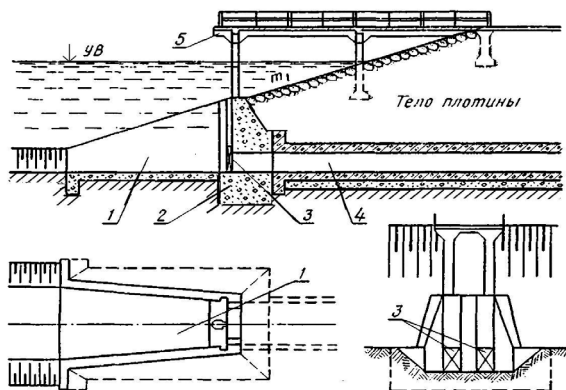


Рис. 5.9. Водозабор по типу безнапорных труб:
1 – подводящий участок; 2 – бетонный оголовок; 3 – затвор;
4 – безнапорная труба; 5 – служебный мостик

Башенные водозаборы (рис. 5.10). Это наиболее распространенные водозаборы в грунтовых плотинах IV и III классов. Основные части башенного водозабора – это подходный участок в виде напорного водовода (трубы) или открытого канала, башня, отводящий безнапорный водовод, гасители энергии, служебный мостик, надстройка над

башней (шатер). Башня может занимать три характерных положения (рис. 5.11): у подошвы верхового откоса, примерно посередине его и у бровки гребня плотины. Наряду с этим она может быть и в любом промежуточном положении по отношению к трем основным.

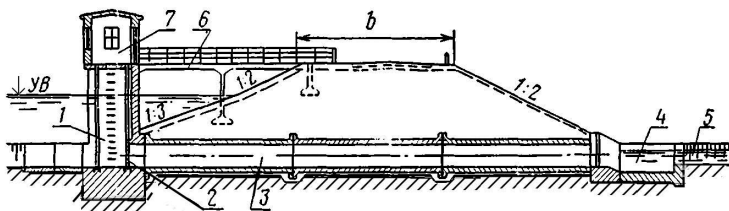


Рис. 5.10. Башенный водозабор:

1 – башня; 2 – затворы в башне; 3 – безнапорная труба; 4 – водобойный колодец; 5 – отводящий канал; 6 – служебный мостик; 7 – шатер (надстройка над башней)

При расположении башни у подошвы верхового откоса (рис. 5.11, а) отсутствует подходной участок, вода может забираться из верхних слоев водохранилища, менее насыщенных наносами. Для этого по лицевой стенке башни устраивают окна и перекрывают их затворами или стенку набирают из шандоров. Вместе с тем при таком расположении башни требуется длинный служебный мостик, башня будет менее устойчива, так как находится по всей высоте под силовым воздействием волн, льда и ветра.

При расположении башни у гребня плотины (рис. 5.11, в) отсутствует служебный мостик, устойчивость башни повышается, но появляется удлиненный напорный подходной участок, забор воды может происходить только из нижних слоев водохранилища, наиболее насыщенных взвешенными наносами.

Башня, установленная примерно на середине верхового откоса, занимает промежуточное положение между указанными двумя. Эта схема чаще всего и встречается в практике гидромелиоративного строительства (рис. 5.11, б).

Башня предназначена для управления затворами. В ней ставят два затвора: один перекрывает отверстие подходного участка и предназначен для отключения башни в случае ремонта и осмотра, а второй размещен на противоположной стенке башни и перекрывает отверстие отводящего водовода, он используется для регулирования расходов, подаваемых потребителю. В башенных водозаборах применяют плос-

кие затворы, пазы для них размещают в бетонных приливах, устраиваемых с внутренней стороны башни. Подвижная часть затвора шарнирно соединена с металлической штангой, обеспечивающей через лебедку подъем и опускание затвора. Штанга по высоте имеет направляющие, заанкеренные в стенку, благодаря им исключается продольный изгиб штанги. Сечение башни может быть круглым, квадратным и прямоугольным.

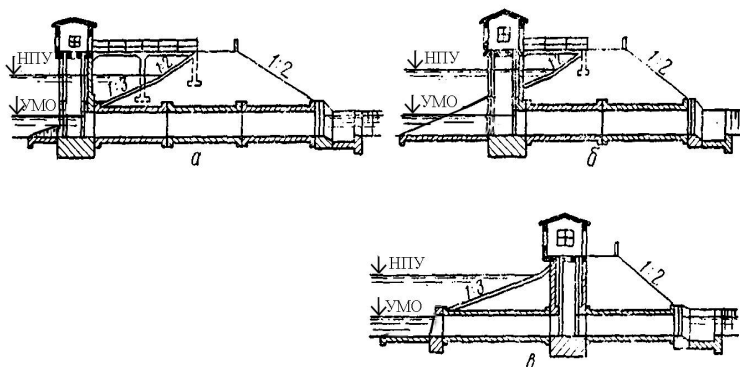


Рис. 5.11. Варианты расположения башни:
а – у подошвы верхнего откоса; *б* – примерно посредине откоса;
в – в примыкании к бровке гребня плотины

Башня на уровне гребня плотины перекрывается плитой, при плановых размерах башни более 3–4 м применяют ребристое перекрытие. Выше плиты над башней выполняют надстройку (шатер), используемую как служебное помещение, в котором расположены механизмы управления затворами. В плите перекрытия предусматривают люк, а по стенке башни ставят скобы для спуска к затворам. Служебное помещение связано с гребнем плотины или с берегом служебным мостиком.

Отводящий водовод от башни чаще выполняют в виде трубы прямоугольного сечения. При заборе из водохранилища больших расходов воды применяют многоочковые трубы, причем каждое отверстие перекрывают самостоятельным затвором, размещаемым в башне. Высоту трубы по эксплуатационным условиям задают не менее 1,4 м, а ширину – не менее 0,8 м, если даже по расчету для пропуска потока воды требуются меньшие размеры. За выходным сечением трубы

применяют устройства для гашения энергии, чаще – водобойный колодец.

Безбашенные водозаборы. С увеличением высоты плотин переходят к безбашенным водозаборам (рис. 5.12), так как выполнять и эксплуатировать башенные водозаборы становится трудно.

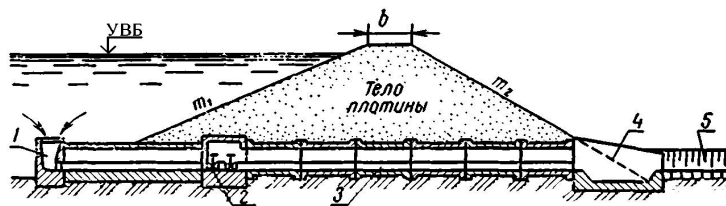


Рис. 5.12. Безбашенный водозабор:

1 – приемный колодец, покрытый решеткой; 2 – камера управления с размещенными в ней затворами; 3 – безнапорная труба; 4 – водобойный колодец; 5 – отводящий канал

Составными частями безбашенных водозаборов являются: приемный колодец, галерея, примыкающая к колодцу и отделенная от него диафрагмой, камера управления и напорные водоводы, проложенные в галерее.

Приемный колодец выполняют обычно прямоугольного сечения, верх его располагают ниже НПУ. Вода поступает в колодец через горизонтальные или вертикальные отверстия, защищенные грубой решеткой. Входные участки напорных труб пропускают через диафрагму – железобетонную водонепроницаемую стенку. Входные отверстия труб располагают в колодце ниже решеток не менее чем на 0,5 м.

Камеры управления, в которых размещаются затворы и подъемные механизмы, располагают обычно вблизи диафрагмы, но допускается размещать их в любом месте по длине галереи. Вода из напорных труб выпускается в водобойный колодец, где и происходит гашение энергии.

При расположении камеры управления вблизи диафрагмы текущее маневрирование затворами затруднительно, так как каждый раз приходится спускаться в камеру на значительную глубину. Исходя из эксплуатационных условий, целесообразно на выходном участке труб перед водобойным колодцем дополнительно установить затворы для текущего маневрирования.

Водозабор с механическим подъемом воды. Водоснабжение с механическим подъемом воды применяют, если строительство плотины

тинного или самотечного бесплотинного водозабора технически невозможно или экономически невыгодно.

При механическом подъеме воды из открытого источника в состав узла сооружений входят: водозаборное сооружение с рыбозащитным устройством; открытый канал или трубопровод для транспортировки воды от водозаборного сооружения до насосной станции; водоприемное устройство для подвода воды к всасывающим трубам насосов; здание насосной станции; напорный водовод; водовыпускное сооружение (напорный бассейн) из напорного водовода в открытый магистральный канал.

В зависимости от условий строительства указанные сооружения могут быть совмещены одно с другим, а некоторые из них исключены.

При заборе воды из водохранилищ (головных прудов) с помощью насосных станций применяют четыре схемы расположения основных сооружений (рис. 5.13):

А – с береговым водозабором: схемы (а, в) раздельного типа;

Б – с русловым водозабором: схемы (б, г) совмещенного типа.

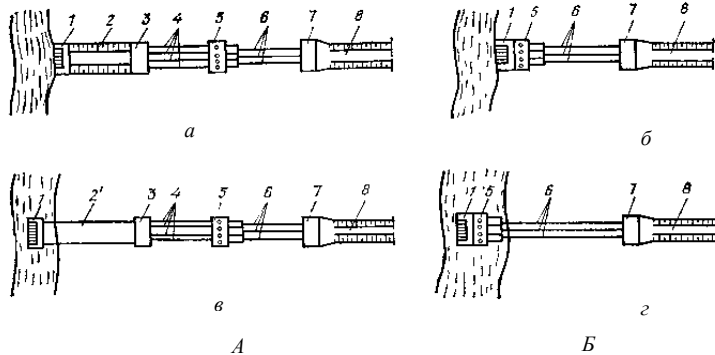


Рис. 5.13. Схемы компоновки сооружений для механического подвода воды при заборе из реки: А – с береговым водозабором; Б – с русловым водозабором; а, в – раздельного типа; б, г – совмещенного типа; 1 – водозаборное сооружение с рыбозаградителем; 2 – подводящий канал; 2' – самотечные водоводы; 3 – водоприемник; 4 – всасывающие трубопроводы; 5 – здание насосной станции; 6 – напорные трубопроводы; 7 – водовыпускное сооружение; 8 – магистральный канал

Подземные воды с глубины более 10 м забирают с помощью трубчатых колодцев путем бурения скважин, закрепляемых обсадными

трубами (рис. 5.14). В нижнюю часть скважины опускают фильтр в виде трубы с круглыми или щелевыми отверстиями из стали или пористой керамики.

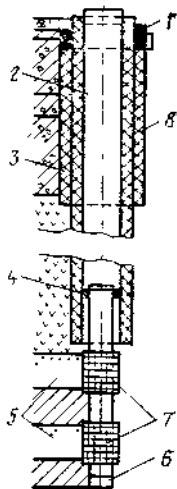


Рис. 5.14. Схема водозаборной скважины:
 1 – кондуктор; 2 – эксплуатационная колонна;
 3 – конструктивная колонна; 4 – сальник;
 5 – водоносный горизонт; 6 – пробка;
 7 – фильтр; 8 – затрубная цементация

При залегании уровня подземных вод на глубине более 20 м трубчатые колодцы оборудуют глубинными (погружными) насосами, расположенными в верхней, наиболее широкой части эксплуатационной колонны, а аппаратура управления находится в заглубленной камере устья колодца или в специальном наземном павильоне.

В плотинах высотой до 5 м целесообразно устраивать поверхностные водозаборы, используя для них шлюзы-регуляторы. Такие водозаборы часто применяют в прудовом рыбном хозяйстве для выпуска воды из головного пруда в канал, питающий рыбоводные пруды различного назначения.

Водозабор по типу шлюза-регулятора врезают в пределах плотины, располагая подошву его на коренных породах. Особенность шлюзов-регуляторов здесь заключается в подводящих и отводящих участках, стенки которых выполняют ныряющими с заложением, соответствующим заложению откосов плотины. Водозабор можно расположить и вне плотины, на берегу.

5.6. Регулирующие сооружения

Регулирующие сооружения предназначены для распределения воды по каналам, регулирования расходов, поддержания заданных уровней, регулирования величины сбрасываемого расхода из водохранилища, забора и подачи воды в рыбоводные пруды.

Регулирующие сооружения принято классифицировать по определенным признакам.

По назначению регулирующие сооружения могут быть головными, располагаемыми в месте забора воды из источника водоснабжения, водовыпусками, сбросными (аварийными), перегораживающими, вододелителями.

По конструктивным признакам различают шлюзы-регуляторы открытые (с разомкнутым сводом над уровнем воды в пределах сооружения) и закрытые трубчатые.

По основному строительному материалу различают сооружения бетонные, железобетонные, из полимерных и из местных материалов.

По способу производства работ бетонные и железобетонные сооружения подразделяются на сборные, монолитные и сборно-монолитные.

Открытый регулятор (шлюз-регулятор) представляет собой сооружение, состоящее из флютбета, продольных стен и переходных участков от канала к сооружению и обратно, оборудованное затвором с подъемным механизмом и служебным мостиком. Регулирующие сооружения используются для самых различных целей: на водосбросных трактах водохранилищных плотин в качестве головных сооружений; в рыбоводном хозяйстве в качестве водопропускных сооружений; как водозаборные сооружения (регуляторы-водовыпуски) при бесплотинном и плотинном водозаборе из источников с незначительными перепадами уровней и в случае незначительных колебаний уровня перед регулятором; на каналах их используют как подпорные или перегораживающие сооружения – для создания необходимого командования (необходимых глубин при водозаборе); как вододелители – для распределения воды между отдельными потребителями; в качестве водовыпусков в каналы младшего порядка; для пропуска плавающих тел, льда, шуги и т. д. Открытые регуляторы удобны в эксплуатации, что особенно важно для каналов, работающих круглый год, в условиях шуговых, ледовых явлений.

Высотное расположение на канале определяется назначением сооружений: подпорный регулятор, располагаемый поперек канала, не должен препятствовать полному опорожнению канала и создавать дополнительных больших подпоров при пропуске форсированных расходов; регулятор-водовыпуск, размещаемый в откосе канала, должен обеспечивать подачу расчетного расхода в младший канал при минимальном уровне в старшем.

В конструктивном отношении в шлюз-регуляторе условно можно выделить три составные части, отделяемые друг от друга деформационными швами: верховой сопрягающий участок, среднюю часть и низовой сопрягающий участок (рис. 5.15).

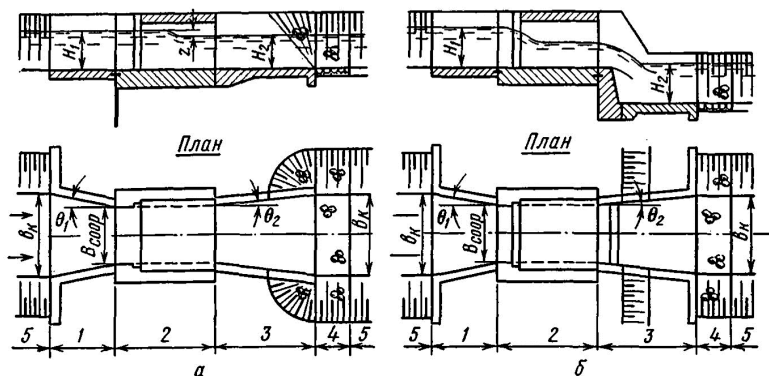


Рис. 5.15. Открытый шлюз-регулятор и его составные части:

а – с подтопленным истечением; *б* – с неподтопленным истечением;
 1 – верховой сопрягающий участок; 2 – средняя часть (лоток); 3 – низовой сопрягающий участок; 4 – рисберма; 5 – подводящий и отводящий каналы

Верховой сопрягающий участок (участок 1, рис. 5.15) включает в себя продольные береговые стенки и плиту понура. Этот участок служит для сопряжения с каналом и используется обычно при переходе от большей ширины канала к меньшей в сооружении.

Средняя, основная часть сооружения (участок 2, рис. 5.15), представляет собой лоток прямоугольного, редко трапецидального сечения. В пределах лотка размещаются бычки, пазовые конструкции, затворы, служебные мостики и проезжие мосты. Низовой сопрягающий участок (участок 3, рис. 5.15) служит продолжением средней части сооружения и используется для сопряжения с отводящим каналом и

размещения на флютбете гасителей энергии. За низовым сопрягающим участком следует рисберма – водопроницаемая часть флютбета.

Примыкание отдельных частей шлюза-регулятора друг к другу, а также к каналам должно взаимно увязываться с целью обеспечения благоприятных гидравлических условий для протекания потока.

Для сопряжения каналов с сооружениями используют обратные стенки, ныряющие стенки, косые плоскости и комбинацию их. Каждый из перечисленных типов сопряжений применим на входном и выходном участках шлюза-регулятора.

Конструктивная схема сопряжения по типу обратных стенок приведена на рис. 5.16, *а*. Обратные стенки очень широко применяют в гидротехнических сооружениях из-за простоты выполнения. К недостаткам их можно отнести большой расход материала и неблагоприятные гидравлические условия вследствие появления вихрей и отжима потока от продольных стенок на подходе, а также образование водоворотных зон за обратными стенками.

Ныряющей стенкой принято называть такое сопрягающее устройство, плоскость гребня которого наклонена под уровень воды. Ныряющие стенки размещают на части длины сопрягающих участков. Конструктивная схема сопряжения по типу ныряющей стенки приведена на рис. 5.16, *б*. Переход от откоса канала к откосу ныряющей стенки выполняют по криволинейной поверхности или пересекающимся плоскостям, которые покрывают одеждой. Длина ныряющей стенки определяется заложением ее откоса и глубиной канала. По условиям производства работ необходимо иметь хотя бы небольшой участок с горизонтальной плоскостью на уровне верха берегового устоя в месте примыкания к нему, поэтому длина сопрягающего участка должна быть больше.

Стенка типа косой плоскости отличается от других типов стенок сложной формой (рис. 5.16, *в*). Ее размещают по всей длине сопрягающего участка и выполняют обычно из бетона. Косая плоскость представляет собой гравитационную стенку, устойчивость которой обеспечивается собственным весом. Лицевая сторона косой плоскости имеет переменное заложение, равное заложению откоса канала в месте примыкания к нему, и вертикальное заложение у устоя, если средняя часть регулятора имеет прямоугольное сечение. Тыловая поверхность стенки (со стороны обратной засыпки) имеет отрицательное заложение в месте примыкания к каналу и положительное в месте примыкания к устою.

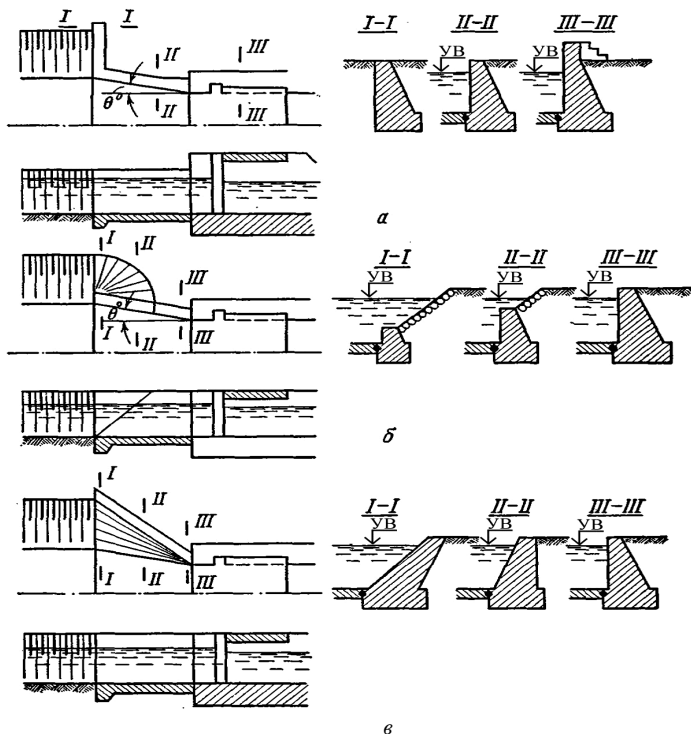


Рис. 5.16. Типы сопряжений каналов с сооружениями:
 а – обратная стенка; б – ныряющая стенка; в – косяк плоскость

Средняя часть шлюза-регулятора. Составные элементы средней части шлюза-регулятора – это устои, бычки (быки), служебные и проезжие мосты, водобойная плита и гасители на ней. Основными из них, определяющими конструкцию регулирующего сооружения, являются устои и бычки, которые по внешнему очертанию могут быть представлены несколькими типами (рис. 5.17), с переходом от простых к более сложным. Тип контура устоев и бычков определяется расположением пазов для плоских затворов, служебными и проезжими мостами.

Устои – это береговые стенки, которые служат ограждающими конструкциями, воспринимающими силу давления грунта обратной засыпки, и одновременно используются для размещения пазовых конструкций и опирания пролетного строения мостов – служебных и про-

езжих. Тип и толщина быков и устоев среднего участка шлюза-регулятора зависят от типа используемого затвора. Из-за необходимости расположения затворов в пазах при маневрировании часть быка со служебным мостиком выполняют более высокой, чем требуют условия расположения максимальных уровней воды. Верх устоев обычно выполняют горизонтальным.

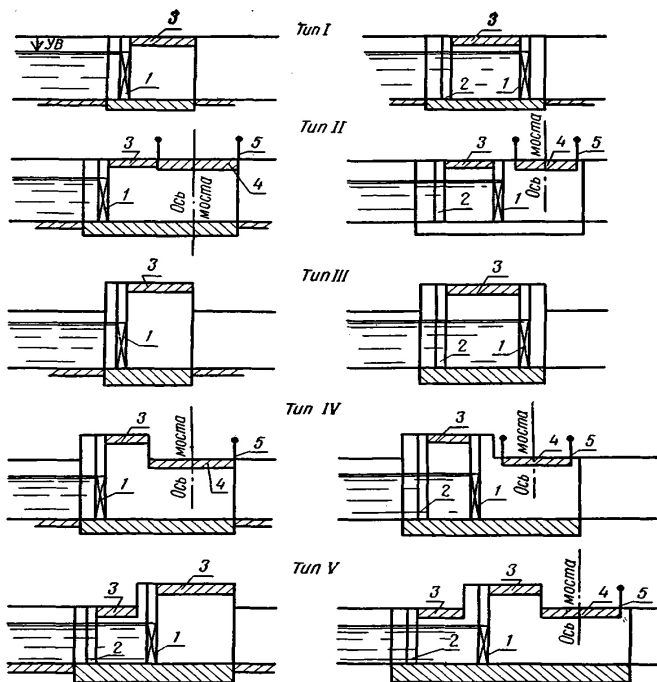


Рис. 5.17. Типы контуров устоев и быков в водоподпорных сооружениях: тип I – с низко расположенным служебным мостиком; тип II – то же, но с проезжим мостом; тип III – с повышенным расположением служебного мостика; тип IV – то же, но с проезжим мостом; тип V – с двумя служебными мостиками, с низко расположенными для маневрирования шандорами и высоко расположенными для маневрирования основными затворами, с проезжим мостом и без него; 1 – основной затвор; 2 – паз для ремонтных затворов; 3 – служебный мостик; 4 – проезжий мост; 5 – ограждение

Бычками (быками) называют вертикальные стенки, разделяющие водосливной фронт на пролеты. Бычки, как и устои, используют для

размещения пазовых конструкций, они служат также опорами для пролетного строения мостов. Однако необходимо заметить, что бычки не являются обязательным элементом всех регулирующих сооружений.

Открытый шлюз-регулятор из сборного железобетона (рис. 5.18) представляет собой укрепленную железобетонными блоками часть канала.

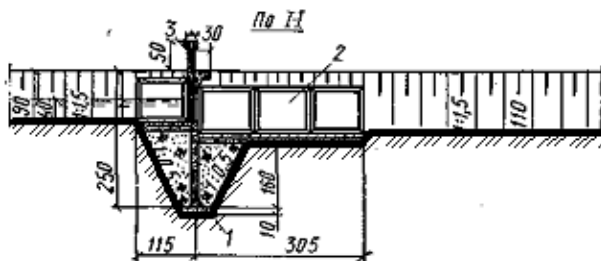


Рис. 5.18. Открытый шлюз-регулятор из сборного железобетона:
1 – железобетонная вертикальная стенка; 2 – крепление железобетонными блоками; 3 – щит

На расстоянии 1,15 м от начала сооружения поперек канала располагают железобетонную вертикальную стенку с отверстием для пропуска воды. Стенку устанавливают в подготовленную траншею, затем траншею заполняют плотно утрамбованным суглинком. Впереди устанавливают металлическую раму, в которую вставляют деревянный щит, поднимаемый и опускаемый при помощи специального подъемника. За щитовым устройством русло канала на длину 3 м укрепляют железобетонными блоками. Все железобетонные блоки сооружения укладывают на подготовку из гравия толщиной 5 см.

Перегораживающее бетонное устройство (рис. 5.19) представляет собой сооружение, в котором основным элементом является бетонная стенка толщиной 0,5 м, расположенная поперек канала. В стенке имеется отверстие для пропуска воды, перекрываемое шандорами. Шандоры вставляют в пазы бетонной стенки, выполненные из швеллеров. Перед бетонной стенкой русло канала укрепляют одиночной мостовой на длину 1,5 м, ниже сооружения на 3,0 м.

Открытые шлюзы-регуляторы обычно работают по схеме водосливов с широким порогом, имеющих затворы. Схему работы открытых шлюзов-регуляторов выбирают в зависимости от особенностей их конструкций.

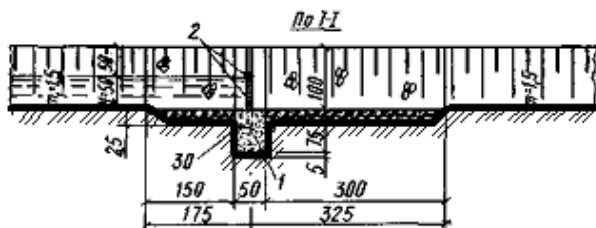


Рис. 5.19. Перегораживающее бетонное сооружение:
1 – бетонная стенка; 2 – шандоры

Регуляторы работают, как правило, со стеснением вытекающего потока: боковым или вертикальным или боковым и вертикальным. Размеры регулятора определяют из условия пропуска через него максимального расчетного расхода при полностью поднятых затворах.

5.7. Сопрягающие сооружения

Сопрягающие сооружения предназначены для сопряжения участков каналов, расположенных на различных отметках в местах падения рельефа местности, а также участков трассы открытых береговых водосборов гидроузлов с глухими плотинами.

По условиям движения потока эти сооружения делят на две основные группы:

- без отрыва от жестких границ (быстротоки, трубчатые быстротоки и перепады);
- с отрывом от жестких границ сооружения на отдельных его участках (ступенчатые и консольные перепады).

Тип сопрягающих сооружений выбирают на основании технико-экономических расчетов, сравнений вариантов с учетом обстоятельств, связанных с производством работ и эксплуатацией.

Главным критерием, оказывающим влияние на выбор типа сооружения, является характер рельефа местности, на которой предполагается устройство сопрягающего сооружения. На пологих склонах, при падении уклонов от 0,08 до 0,20, а по рекомендации некоторых авторов и до 0,25, можно проектировать быстротоки – они будут при всех других равных условиях более экономичны. На крутых склонах (при $i = 0,2-0,3$) экономически целесообразнее устраивать перепады, так как в этом случае быстротоки могут оказаться дороже вследствие не-

допустимых скоростей. Если же рельеф местности обрывистый и уклоны равны единице и круче, то рекомендуется применять консоли.

Второй немаловажный критерий – уровень стояния грунтовых вод. При близком их залегании от дневной поверхности лучше выбирать быстротоки или консоли, как менее массивные сооружения.

Качество грунтов основания также влияет на выбор типа сопрягающих сооружений. Наиболее требовательны к грунтам консоли по двум причинам: во-первых, для опоры нужно твердое основание, а во-вторых, размеры воронки размыва при слабых грунтах получаются иногда неприемлемо большими.

На втором месте после консолей по требовательности к качеству грунтов основания стоят перепады, а потом уже идут быстротоки, как наиболее легкие сооружения.

Для выбора типа сопрягающего сооружения важное значение имеют также и условия эксплуатации, особенно консолей, так как необходимо постоянно наблюдать за состоянием опоры и глубиной воронки размыва.

За быстротоками необходимо следить особенно зимой, когда во время морозов на бортах лотков трапецидального сечения намерзает вода, стесняя живое сечение и уменьшая пропускную способность быстротока. Сопрягающие сооружения, в особенности быстротоки, обычно проектируют на удельный расход 4–12 м³/с.

Повороты быстротоков вызывают набегание потока на один борт и выплескивание воды, что также нельзя считать благоприятным во время эксплуатации.

Из всех типов сопрягающих сооружений наиболее надежны в эксплуатации перепады, а наиболее экономичным типом сопрягающего сооружения считается консоль, потом быстроток.

Сопрягающие сооружения должны отвечать основным требованиям:

1) создавать безопасные гидравлические условия движения воды как в самом сооружении, так и на примыкающих к нему участках водотоков. Это значит, что при расчетном гидравлическом режиме не должно быть ни подпора, ни спада в верхнем (подводящем) канале, а в нижнем (отводящем) – размыва. В пределах сооружения скорости должны быть не выше допустимых;

2) быть прочными и устойчивыми;

3) иметь наиболее рациональные и по возможности простые формы;

4) обеспечивать пропуск в нижний бьеф плавающих тел и шуги.

5.7.1. Перепады

Перепады имеют входную (понурную), транзитную (ступени) и выходную части. Транзитная часть между входом и выходом у одноступенчатого и многоступенчатого (рис. 5.20) перепадов представляет собой соответственно ступень или ряд ступеней, каждая из которых образована вертикальной стенкой падения, боковыми стенками и водобойной плитой обычно по типу водобойного колодца.

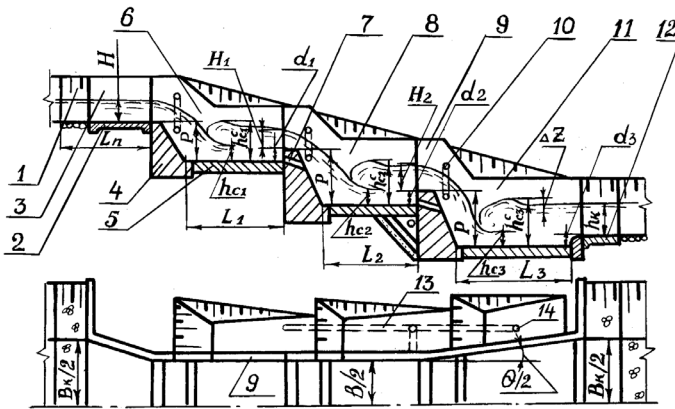


Рис. 5.20. Многоступенчатый перепад:

- 1 – подводящий канал; 2 – понур; 3 – входная часть; 4 – стенка падения; 5 – водобойная плита; 6 – первая ступень; 7 – сливные отверстия; 8 – вторая ступень; 9 – боковая стенка; 10 – воздушные отверстия; 11 – последняя ступень; 12 – рисберма; 13 – застенный дренаж; 14 – смотровой колодец

В водосливной стенке (над стенкой падения) устраивают отверстия размерами от 10×10 см до 20×20 см для опорожнения колодцев во время выключения перепада из работы.

Длину входной (понурной) $l_{п}$ части в небольших перепадах с удельным расходом $q \leq 2$ м³/с принимают не менее $2H$ (H – глубина воды у входа в перепад), а в более крупных перепадах с $q > 2$ м³/с – не менее $3H$. Длина предпонурного крепления $l_{пп} = (2-3)H$, а толщина плит понура – 0,1–0,2 м.

Работа последней ступени и выходного участка перепада наиболее ответственна для сооружения, так как размывы в нижнем бьефе из-за неудовлетворительной работы указанных частей могут создать угро-

жающее состояние для всего сооружения. Поэтому выходная часть должна обеспечивать безопасный выход потока в канал.

Плавный и спокойный выход потока в канал за перепадом можно обеспечить в виде раструба с обратными стенками или косых плоскостей. Очень часто водобойный колодец последней ступени получается расширяющимся в плане, так как канал почти всегда шире перепада. Прилежащий к водобойной части перепада участок канала должен быть закреплен. Длину участка крепления принимают равной удвоенной длине водобойного колодца для небольших перепадов и $(6-8)H$ для больших перепадов.

Число ступеней, их длину и высоту стенок падения выбирают на основании технико-экономического сравнения нескольких вариантов. При этом стремятся к тому, чтобы сооружение вписывалось в рельеф склона наиболее просто, без больших выемок. Высоту стенки падения p принимают до 3–5 м. Толщину днища водобойных колодцев бетонных и каменных перепадов рекомендуется принимать: 0,35–0,4 м при удельном расходе $q < 2 \text{ м}^3/\text{с}$; 0,5 м при $q = 2 \text{ м}^3/\text{с}$ и высоте стенки падения $p < 2 \text{ м}$; 0,6–0,7 м при $p = 2,5 \text{ м}$; 0,8–1,0 м при $q > 5 \text{ м}^3/\text{с}$ и $p = 2,5 \text{ м}$. В железобетонных перепадах толщина плит днища принимается: 0,12–0,15 м при $q < 2 \text{ м}^3/\text{с}$ и $p = 1,5 \text{ м}$; 0,15–0,3 м при больших q и p .

5.7.2. Быстротоки

Быстротоками называются такие сооружения, которые с большими скоростями переводят воду из верхнего канала в нижний по лотку без отделения струи воды от лотка. Состоят из входного участка, лотка (транзитная часть) и выходного участка – гасителя (рис. 5.21).

В конструктивном отношении входная и выходная части быстротока выполняются аналогично перепадам.

По конструкции транзитной части быстротоки бывают открытые и закрытые, или трубчатые, криволинейные в плане, с искусственной шероховатостью, струйные (с лотком, разделенным продольными стенками на несколько лотков), переменной ширины. Поперечное сечение лотка быстротока может быть прямоугольным, трапециевидным, треугольным и полигональным. По гидравлическим условиям работы оптимальным считается прямоугольное поперечное сечение, так как в других сечениях происходит концентрация струи на осевой части, что приводит к неустойчивости потока.

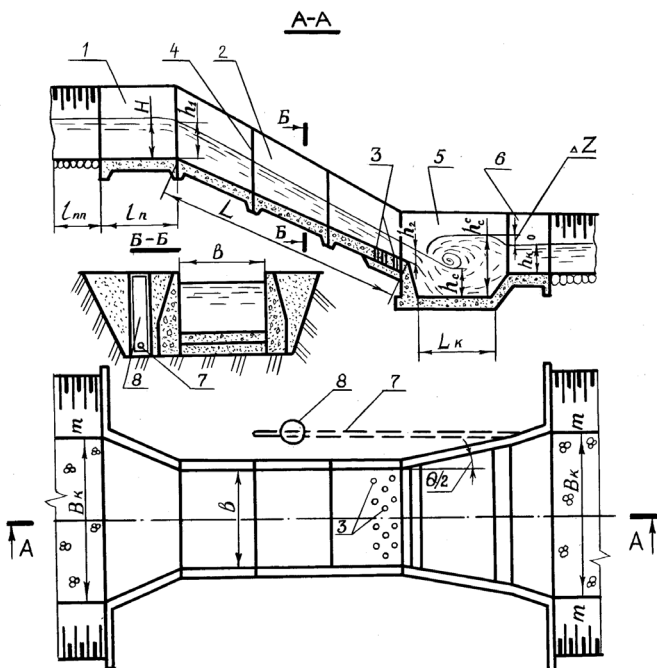


Рис. 5.21. Бетонный быстроток:

1 – вход; 2 – лоток; 3 – отверстия в плитах; 4 – шов; 5 – водобойный колодец; 6 – выход; 7 – застенный дренаж; 8 – смотровой колодец

При прямоугольном поперечном сечении быстротока боковые стенки устраиваются в виде подпорных стенок, поперечные размеры которых определяются на основании статического расчета.

Днище – флютбет быстротока, обычно выполняют постоянной толщины, составляющей 0,2–0,5 м. Иногда толщину флютбета в лотке назначают переменной: меньшую в начале и большую в конце. Такой переход делают участками, относя изменения их к деформационным швам. Различная толщина флютбета лотка вызывается действующими на него силами.

Из условия пропуска поверхностного потока толщину флютбета можно определить по формуле В. М. Домбровского:

$$t = (0,03...0,035)av\sqrt{h}, \quad (5.10)$$

где a – коэффициент, характеризующий грунт основания (для глин и плотных суглинков он равен 1, для супесей – 1,5, для песков – 2);

v – средняя скорость потока воды в лотке, м/с;

h – глубина воды в рассматриваемом сечении, м.

Деформационные швы могут быть водопроницаемыми и водонепроницаемыми. Под водопроницаемыми швами обязательно устраивают обратные фильтры. Вода через шов должна проходить нормально к плоскости дна лотка, поэтому обратные фильтры ограждают боковыми водонепроницаемыми стенками. Это уменьшает вероятность возникновения контактной суффозии в зоне шва.

Водонепроницаемые швы герметизируют уплотнениями в виде профилированной резины, металлических пластин, просмоленных досок, полимерных профилей и т. п.

5.7.3. Консольные перепады

Консольный перепад получил свое название из-за гасительного устройства, представляющего собой струенаправляющий лоток, расположенный на опоре, доходящей до материкового грунта или выполненной в виде висячих свай.

В состав консольного перепада входят: вход, быстроток, струенаправляющий лоток на опоре, крепление грунта в зоне предполагаемого размыва, т. е. в пределах будущей воронки размыва (рис. 5.22).

Входная часть и быстроток у перепада в конструктивном отношении выполнены так же, как и в быстроточках.

Лоток проектируют таким образом, чтобы в конце его скорости потока достигали предельной расчетной величины. Длину консоли принимают равной 2–4

м. Дальность отлета струи определяется скоростью, высотой падения и особенностью конструкции концевой части консоли.

При постоянном или близком к нему расходе воды можно устраивать консоль с обратным (отрицательным) уклоном. Обратный уклон создает условия для большего отлета струи от опор, поэтому от них удаляется воронка размыва. Если расходы воды на консоли непостоянны, то устраивать обратный уклон не рекомендуется, так как при малых расходах может происходить подмыв опор. Чтобы вода не затекала под дно лотка консоли, особенно при малых расходах, в конце его устраивается слив (рис. 5.23).

и создала воронку таких размеров, при которых происходит успокоение потока.

Для предохранения откосов воронки от размыва их крепят со стороны консоли и с боков. В верхней части осуществляют довольно мощное крепление (габионы, фашины, фашинные тюфяки), а в нижней части – мощение камнем или каменную наброску из крупного камня. Заложение укрепленного откоса воронки принимают $1:(1,25-1,5)$ для плотного суглинка; $1:(1,5-2,0)$ для суглинка средней плотности; $1:(2,5-3,0)$ для супеси.

6. СООРУЖЕНИЯ РЫБОСБОРНО-ОСУШИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

6.1. Рыбосборно-осушительные каналы карповых и форелевых хозяйств

Рыбоводные пруды бывают залиты водой определенный отрезок времени. По окончании периода работы вода из рыбоводного пруда должна быть полностью спущена, а ложе его очищено. Для сбора воды с ложа и подвода ее к донному водоспуску, а также для полного ската рыбы на ложе пруда нарезают рыбосборно-осушительную сеть каналов. Расположение сети рыбосборно-осушительных каналов на ложе прудов зависит от рельефа ложа пруда. Чем спокойнее рельеф, тем проще схема расположения рыбосборно-осушительной системы каналов. При спокойном рельефе осушительную систему проектируют по схемам, показанным на рис. 6.1.

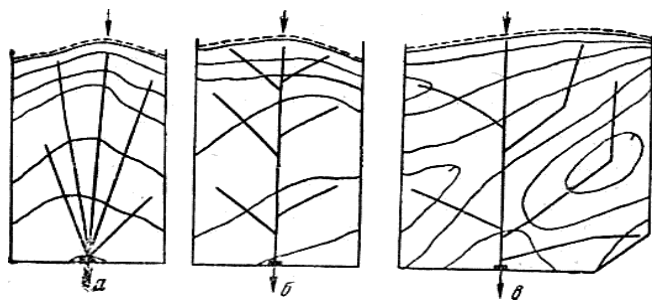


Рис. 6.1. Схема расположения сети рыбосборно-осушительных каналов на ложе пруда: *a* – лучевое; *б* – елочное; *в* – при сложном рельефе

В схемах лучевого и елочного расположения каналов по середине пруда проходит центральный канал, расположенный почти перпендикулярно горизонталям; к центральному каналу со всех пониженных мест подводят воду боковые каналы – ответвления. Центральному каналу обычно придают уклон 0,002–0,003.

При елочном расположении каналов боковые каналы подводят к центральному под углом 45–60° и делают их на расстоянии примерно 50 м один от другого.

При сложном рельефе схема расположения осушительных каналов может быть усложнена (рис. 6.1, в).

Размеры поперечного сечения рыбоворбно-осушительной сети различны и зависят от категории пруда.

Так, для головных и нагульных прудов глубину каналов назначают 1,0 м, ширину по дну – 0,5–1,0 м, коэффициент заложения откосов – 1,0–1,5; для выростных прудов – 0,7 м, 0,4–0,6 м, 1,0–1,5 соответственно; для зимовальных, нерестовых, мальковых и маточных прудов – 0,5 м, 0,3–0,4 м, 1,0–1,5.

6.2. Сбросные каналы

Сбросные каналы служат для отвода воды из прудов. Они отходят от донного водоспуска или рыбоуловителя, если он предусмотрен проектом, и продолжают до водоприемника.

Сбросные каналы должны пропускать расчетный расход воды при сбросе его из прудов. Обычно сбросным каналам придают уклон порядка 0,002 с таким расчетом, чтобы они не размывались. Если уклон получается значительно больше допустимого, на трассе сбросного канала устраивают сопрягающие сооружения-перепады или быстротки.

Размеры поперечного сечения сбросного канала определяют гидравлическими расчетами, используя формулы, применяемые при расчете водоподводящих каналов.

Сбросные каналы часто имеют значительные размеры, поэтому при необходимости переезда через них предусматривают устройство различных сооружений (труб-переездов, акведуков, мостов).

6.3. Донные водоспуски

Донные водоспуски предназначены для полного опорожнения прудов, перемещения рыбы из прудов в рыбоуловители, регулирования

уровней воды в прудах и обеспечения водообмена в прудах, особенно зимовальных.

Донные водоспуски представляют собой гидротехнические сооружения, активно определяющие гидравлический режим рыбоводного водоема. Их размещают в плотине или дамбе, в точке наибольшей глубины воды перед плотиной или дамбой. Донные водоспуски ставят необходимо на надежные грунты, тщательно следя за качеством строительных работ.

На русловых прудах донные водоспуски можно использовать как для полного спуска воды из прудов, так и для сброса паводковых вод.

Донные водоспуски располагают в самых низких местах водоема с таким расчетом, чтобы был обеспечен полный сброс воды как из пруда, так и из осушительной системы.

Основными конструктивными элементами этих сооружений являются следующие:

1) уложенная под насыпью труба – круглая или прямоугольная (собственно водоспуск), называемая лежаком;

2) установленный вертикальный желоб (иногда труба); его назначение – служить башней управления затворами, которые регулируют действие лежака, пропуская в него то или иное количество воды. Эту часть называют стояком;

3) затворы, которые могут быть размещены как в любом месте на лежаке (тогда отпадает надобность в стояке), так и в стояке.

Обычно затворы устанавливают в виде шандоров, позволяющих образовать автоматический водослив, порогом которого определяется уровень воды в водоеме. Реже устанавливают щитовой или клапанный затвор, перекрывающий входное отверстие трубы лежака.

Лежак является самой существенной частью донного водоспуска. Он должен иметь круглое сечение и при всех прочих равных условиях лучше обеспечивать простоту и надежность сопряжений. Лежак должен быть выполнен из стандартных труб: асбестоцементных, железобетонных, металлических, керамических. Диаметр труб лежака определяется из расчета работы трубы полным сечением в период спуска пруда в заданное время. Длина лежака должна соответствовать ширине основания плотины и дамбы в том сечении, где лежак укладывают.

Отметка дна трубы в голове лежака должна соответствовать отметке дна сбросной канавы (коллектора) ложа пруда у дамбы. Трубу укладывают в водонепроницаемый, хорошо уплотненный грунт при оптимальном увлажнении. Головную и выходную части лежака в пре-

делах зоны промерзания окружают песчаным грунтом, чтобы предупредить пучение глинистого грунта при замораживании и оттаивании.

Стыки звеньев трубы должны быть уплотнены смоленой паклей, гудроном или цементным раствором. Снаружи, в зоне глинистой рубашки, стыки труб должны быть окружены кольцом из разнозернистого песка толщиной до 15–30 см во избежание вымывания грунта из глиняной рубашки в трубу и образования в этих местах каверн. Диафрагмы на лежаке при соблюдении перечисленных условий исключаются, потому что они допустимы лишь в пределах верхового откоса.

Основание лежака не должно быть жестким, т. е. свайным или в виде ленточного фундамента. Трубы следует укладывать непосредственно на надежный грунт без какой-либо подготовки (бетон, щебень и пр.). Если в основании водоспуска лежат ненадежные грунты, подверженные выносу, выдавливанию или значительным просадкам, их необходимо вынуть и заменить надежными, а если это почему-либо невыполнимо, то следует перенести водоспуск в другое место с надежными грунтами. В этом случае в зависимости от условий рельефа следует устраивать подводящий и отводящий каналы. Наилучшее сопряжение наружных поверхностей труб лежака с грунтом достигается при сплошном двукратном покрытии их снаружи горячим, не ниже 180 °С, битумом, так как этим обеспечивается достаточно плотное соединение грунта с трубой.

Стояк – башня управления затворами. Сечение стояков предпочтительно прямоугольное, так как оно облегчает устройство двух рядов пазов для щитков. Внутренние габариты прямоугольных стояков должны в направлении длины щитков соответствовать длине последних с учетом глубины пазов, которые должны быть не меньше внутреннего диаметра лежака, а в другом направлении (перпендикулярном) соответствовать условию свободного оперирования щитками, чтобы пространство между стенками щитков и щитками и задней стенкой стояка было не менее 20–25 см. В деревянных донных водоспусках внешние размеры стояков (в направлении длины щитков) определяются внутренними размерами лежаков, в которые стояки вставляют.

Внутренний диаметр круглых стояков определяется длиной щитков с учетом глубины паза для них; диаметр должен быть не меньше внутреннего диаметра лежака.

Верх стояка должен возвышаться над НПУ не менее чем на 0,3 м у водоспусков нерестовых, мальковых, маточных, зимовальных и ка-

рантинных прудов и не менее чем на 0,4 м у выростных и нагульных прудов.

Основание стояка, где удельное давление на грунт больше по сравнению с лежаком, должно быть вполне надежным и не давать значительных осадок. Пластичные грунты могут быть выдавлены стояком, а потому их заменяют песчаными подушками в пределах подошвы стояка на глубину до 0,5–0,8 м. Осадка стояка может быть больше, чем лежака, поэтому стояк необходимо строить до укладки лежака и уже к готовому стояку присоединять трубы лежака.

Затворы в стояках предусмотрены для длительного сохранения и поддержания постоянного уровня воды в пруду. Донные водоспуски рыбоводных водоемов снабжают водосливом в виде стенки из щитков, располагая порог водослива (верх стенки) на высоте требуемого уровня воды в пруду (рис. 6.2). Для этого в стенках стояков должны быть сделаны соответствующие пазы. Щитки должны входить в пазы свободно (иметь люфт), чтобы при набухании не заклинить и не затруднить оперирование ими.

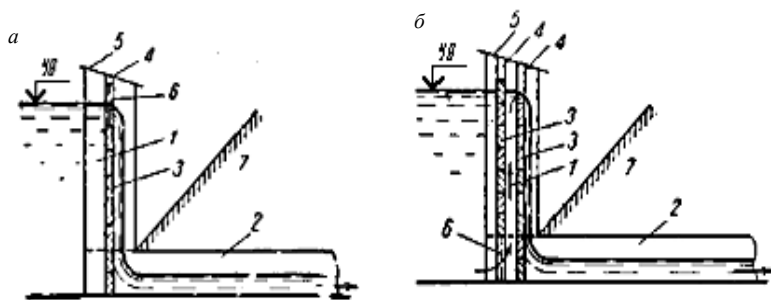


Рис. 6.2. Схематические разрезы стояков с одним (а) и двумя (б) рядами щитков: 1 – стояк; 2 – лежак; 3 – щитки; 4 – пазы для щитков; 5 – крышка; 6 – рамка с сеткой; 7 – дамба

Уплотняют затворы мелким влажным торфом или шлаком, частицы которых вовлекаются водой во все щели и наглухо их закупоривают.

Затворы шандорного типа позволяют иметь водослив с переменной высотой порога. На каждой боковой стенке стояка должно быть по паре пазов. У водоспусков одинарного действия, которые могут сбрасывать последовательно только верхние слои воды (в летних водоемах), щитки вставляют в заднюю пару пазов.

Чтобы предотвратить уход рыбы вместе с водой, в переднюю пару пазов вставляют рамку с сеткой. У водоспусков двойного действия, которые могут сбрасывать и верхние, и нижние слои воды (в зимовальных прудах), щитки затворов вставляют в обе пары пазов, при этом задняя стенка щитков образует порог водослива. Переднюю стенку щитков ставят на раму с сеткой. Нижние слои воды, пройдя сквозь сетку, поднимаются по пространству между обеими стенками до верха задней стенки, переливаются через нее и уходят по лежаку.

Стояк может быть установлен на трех участках: 1) в пруду (вне дамбы); 2) в пределах верхового откоса; 3) в пределах гребня дамбы (рис. 6.3).

Положительными моментами выдвинутого стояка являются: доступность со всех сторон для осмотра и ремонта; сохранение тела дамбы неприкосновенным во время ремонта стояка; наиболее длинный путь фильтрации вдоль трубы.

Отрицательными сторонами такого размещения стояка являются: несколько меньший срок службы стояка вследствие воздействия на него атмосферных явлений и волнобоя; некоторое усложнение конструкции, требующей устройства более длинного служебного мостика и дополнительного крепления стояка (например, двумя боковыми сваями у деревянных стояков).

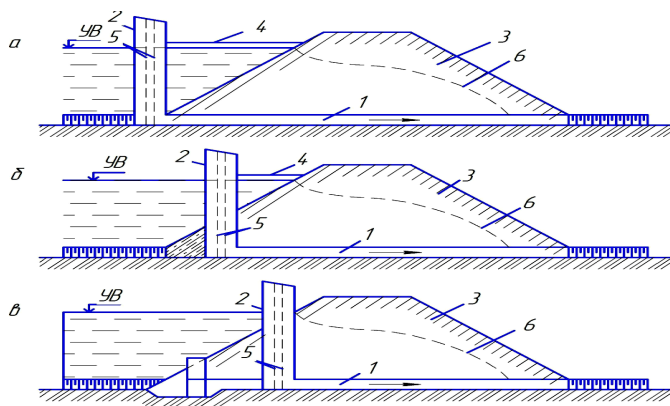


Рис. 6.3. Схематические продольные разрезы различного расположения стояков донных водоспусков:

а – стояк вне дамбы; *б* – стояк вдвинут в дамбу на $\frac{1}{3}$ верхового откоса;

в – стояк вдвинут в дамбу до береговой линии водоема;

1 – лежак; 2 – стояк; 3 – дамба; 4 – мостик; 5 – щитки (затворы);

6 – линия депрессии фильтрационного потока

При большом заглублении стояка, выдвинутого в откос, его входная часть с открылками отпадает. Стояк имеет все четыре стенки, и забор воды возможен только донный. Впереди стояка находится подводящий участок трубы лежака.

Положительными сторонами такого размещения являются: защищенность стояка от внешних воздействий и, следовательно, несколько удлиненный срок службы; легкость подхода к нему без служебного мостика.

К отрицательным моментам относятся: недоступность стояка с внешней стороны для осмотра на всю высоту и трудные условия ремонта; необходимость разрывания всей насыпи дамбы при ремонте стояка; невозможность сброса из пруда верхних горизонтов воды; наличие участка подводящей трубы и решетки перед ней может вызвать остановку действия сооружения вследствие закупорки рыбой.

Стояк может быть вдвинут в откосы (не более чем на $\frac{1}{3}$ длины откоса). Это целесообразно, так как устраняет необходимость в напорной трубе лежака, где может скапливаться и погибать рыба, откуда ее трудно извлекать. По этим соображениям стояк вдвигают лишь настолько, чтобы к нему можно было подойти со стороны задней стенки по короткому мостику, причем сохраняют входную часть водоспуска с открылками, потому что такой стояк не имеет передней стенки. Уменьшение пути фильтрации при таком положении стояка и сохранение входной части с открылками не имеют решающего значения и вполне допустимы.

Стояк, вдвинутый в пределы гребня дамбы, нецелесообразен, так как требует нежелательного увеличения напорной части лежака.

Сопряжения стояка с лежаком могут быть подвижными и неподвижными. Эти сопряжения наиболее ответственные у стояков, выдвинутых из дамбы в водоем, вследствие возможных боковых воздействий на стояк и расшатывания соединения. Поэтому свободно стоящий стояк должен быть дополнительно укреплен, например двумя дополнительными сваями и др.

Стояки, вдвинутые в дамбу, соединяются с лежаками следующими способами: кирпичные стояки с такими же лежаками – увязкой отдельных штук кирпича в самой кладке; у железобетонных водоспусков – непосредственным продолжением кладки с перевязкой арматуры стояка с лежаком; у керамических водоспусков – стандартными фасонными частями; у металлических водоспусков – приваркой или на фланцах. Конец бетонной, железобетонной, металлической трубы лежака запускают в стояк и заделывают цементным мягким раствором и

битумом. Трубы лежачков с металлическими стояками или из железобетона соединяют с помощью металлических патрубков, привариваемых к низу металлического стояка, и заделкой трубы в заднюю стенку железобетонного стояка с уплотнением смоляной паклей, битумом или цементным мягким раствором.

Конструкция подвижного соединения показана на рис. 6.4.

Входная часть у водоспусков с выдвинутыми в пруд стояками отсутствует. Она сохраняется у водоспусков, стояки которых несколько вдвинуты в откосы дамб, но зато у них отсутствует напорная часть лежака. Открытую входную часть выполняют из дерева, бетона или железобетона, т. е. из того же материала, что и стояк.

Стенки (открылки) выводят лишь по габариту откоса дамбы и высотой не более 1,5 м.

Если всю рыбу вылавливают в пруду впереди водоспуска, входную часть устраивают в виде водобойного колодца при условии, что он необходим для гашения энергии воды, выходящей из лежака.

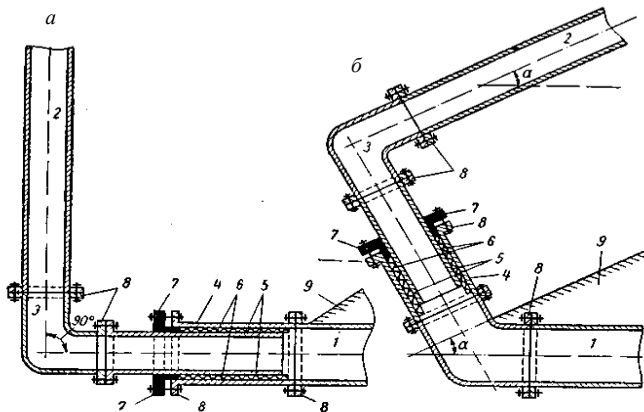


Рис. 6.4. Схема подвижного соединения стояка с лежаком донного водоспуска:
a – под углом 90° ; *б* – под углом, равным углу наклона верхового откоса дамбы;
 1 – лежак; 2 – стояк; 3 – угольник; 4 – внешний цилиндр; 5 – внутренний цилиндр;
 6 – набивка из асбестового шнура с графитом; 7 – затяжное кольцо сальника;
 8 – фланцы; 9 – откос дамбы

Если рыбу или часть ее вылавливают в нижнем бьефе водоспуска, за пределами водоема, то его выходная часть выполняет функции водобойного колодца и рыбоуловителя, садка (рис. 6.5). Поскольку раз-

мер садка всегда больше размера водобойного колодца, величину и конструкцию выходной части назначают применительно к условиям садка. Соотношение рыбы к воде, находящейся в садке, должно быть равно 1:5. В месте выхода воды из водобойного колодца и из рыбоуловителя ставят решетки для предупреждения ухода рыбы в водоприемник.

Следует отметить, что водоспуски, обычно в нижнем бьефе, сопрягают с рыбоуловителем. В башне водоспусков рыбоводных прудов устраивают решетки, препятствующие уходу рыбы из пруда при сбросе воды через сооружение. Для размещения решеток и шандоров в башне водоспуска закладывают два ряда пазов. Высота башни сооружения зависит от напора, а ширина – от диаметра водопроводящей трубы.

Башня водоспуска обычно не имеет передней стенки, передний конец трубопровода заделывают в заднюю стенку.

Трубу водоспуска при напорах до 3 м укладывают на подготовку из суглинка или мятую глину, а при напорах более 3 м – на бетонную подготовку с уклоном в сторону рыбоуловителя.

Выходная часть представляет собой комплекс сооружений: водобойный колодец, рыбоуловитель (при необходимости) и укрепленную часть сбросного канала.

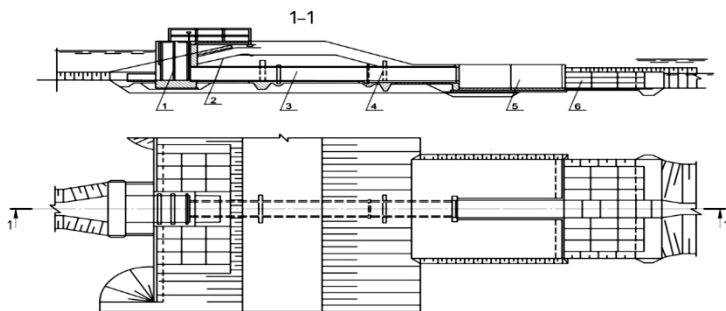


Рис. 6.5. Водоспуск (ОАО «Полесьгипроводхоз»): 1 – башня для размещения решеток и шандоров; 2 – экран из полиэтиленовой пленки; 3 – труба; 4 – железобетонная диафрагма; 5 – рыбоуловитель; 6 – канал

Водобойный колодец делают из монолитного или сборного железобетона, рыбоуловитель – той или иной конструкции, предусмотренной проектом.

От рыбоуловителя идет сбросной канал, который укрепляют одиночным мощением на гравийно-песчаной подготовке.

Донные водоспуски делают из бетона, монолитного или сборного железобетона с применением для водопроводящей части металлических, железобетонных, полимерных и других видов труб.

Размеры отдельных частей сооружения назначают в зависимости от того, какой расход воды должен быть пропущен через сооружение, в какое время и при каком напоре. Так как каждый пруд определенной категории отличается площадью, глубиной, сроками наполнения и сброса воды, то размеры донного водоспуска зависят от категории пруда, на котором его устанавливают. Так, донные водоспуски в нерестовых прудах должны быть рассчитаны на напор 1,0–1,5 м, в выростных, зимовальных, маточных, неглубоких и небольших пойменных нагульных прудах – на напор 1,5–3,0 м, в нагульных русловых и головных – на напор 3–5 м.

На рыбоводных прудах наиболее широкое распространение получили трубчатые водоспуски.

Трубчатые водоспуски. В плотинах небольшой высоты распространены трубчатые водоспуски, по конструкции аналогичные водозаборным сооружениям. Особенность водоспусков состоит в том, что при расположении затворов с вязовой стороны площадку для управления затворами (задвижками) поднимают выше максимального уровня воды в нижнем бьефе.

Они предназначены для полного или частичного опорожнения водохранилища (головного пруда) при ремонте со стороны верхнего бьефа, для промывки донных наносов, а также для освежения воды в рыбоводных прудах.

Трубчатые водоспуски предназначаются для пропуска небольших расходов. Устраиваются они из сварных стальных и железобетонных труб. Трубы водоспуска работают в напорном режиме. Входная часть трубы водоспуска делается уширенной и перекрывается металлической решеткой. В выходной части устанавливается задвижка. Выходная часть водоспуска заканчивается в отводящем канале, где строится водобойный колодец или другие устройства для гашения энергии воды, выходящей из труб.

В зависимости от пропускаемого расхода могут быть уложены одна или несколько труб. Если укладывается несколько труб, расстояние между ними принимается не меньше диаметра трубы.

Трубы водоспуска располагают непосредственно в основании плотины в наиболее пониженной части тальвега или вблизи него.

Чтобы обеспечить прочность труб при осадке плотины и избежать фильтрации вдоль труб, устраивают железобетонные диафрагмы (на стальных трубах – стальные диафрагмы), располагая их в местах стыков отдельных звеньев труб. Вокруг труб укладывают слои глины или глинобетона (рис. 6.6).

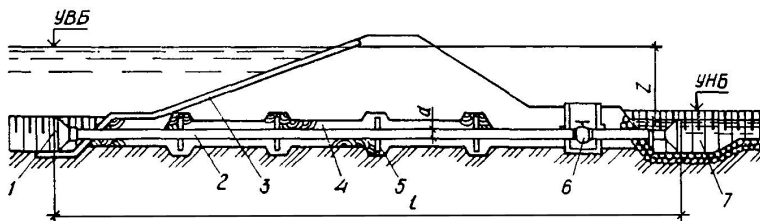


Рис. 6.6. Трубчатый водопуск:

1 – металлическая решетка; 2 – стальная или чугунная труба; 3 – крепление верхового откоса; 4 – слой глины; 5 – диафрагма; 6 – задвижка; 7 – вододобный колодец

6.4. Рыбоуловители

Рыбоуловитель предназначен для концентрации, кратковременно хранения и вылова выращенной рыбы из пруда, его располагают в нижнем бьефе за выходной частью водопуска.

Рыбоуловитель для вылова рыбы из нагульных и выростных прудов показан на рис. 6.7, из нерестовых – на рис. 6.8, мальков – на рис. 6.9.

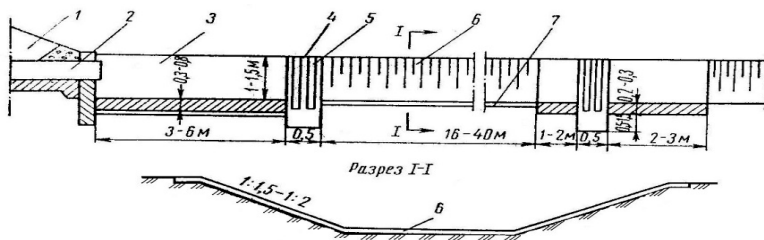


Рис. 6.7. Железобетонный рыбоуловитель для нагульных и выростных прудов:

1 – плотина; 2 – труба для донного водопуска; 3 – вододобный колодец; 4 – щитовая стенка; 5 – пазы для щитов и решеток; 6 – канал-рыбоуловитель; 7 – крепление дерном или бетонными плитами

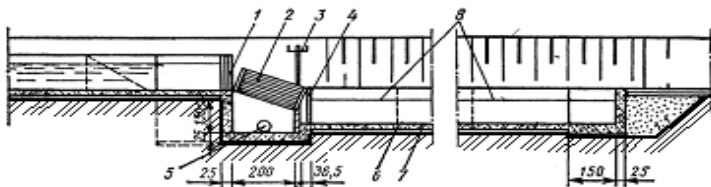


Рис. 6.8. Незаиляемый рыбоуловитель с водоотделительной решеткой:
 1 – паз для шандоров; 2 – решетка для перепуска рыбы; 3 – подъемник; 4 – паз для решетки; 5 – стальная труба; 6 – монолитное железобетонное днище; 7 – подготовка из гравия; 8 – блоки

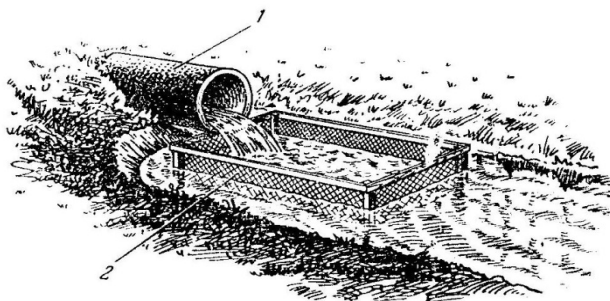


Рис. 6.9. Рыбоуловитель для мальков:
 1 – труба водоспуска; 2 – рыбоуловитель

В связи с внедрением веерной схемы компоновки прудов с единым узлом облова получила распространение конструкция незаиляемого рыбоуловителя с водоотделительной решеткой на входе в камеру (рис. 6.8). При сбросе воды из прудов в такой рыбоуловитель попадает лишь рыба, которая соскальзывает в камеру по наклонным стержням водоотделительной решетки, тогда как вода «проваливается» через решетку и уходит по каналу в водоприемник.

Рыбоуловитель представляет собой ряд гидротехнических сооружений и устройств, к которым относятся перегораживающее сооружение на сбросном канале с рыбозаградительными решетками, водовыпуск в рыбоуловитель, бассейн (камера) рыбоуловителя, водоспуск из рыбоуловителя, подъемные механизмы, подъездные пути и др. Его строят ниже донного водоспуска выростных и нагульных прудов. Вблизи рыбоуловителя располагают площадку для механизмов и обслуживания по облову, сортировке, взвешиванию и погрузке рыбы.

Кроме того, предусматривают устройство и оборудование для обеспечения водообмена и аэрации. Камеру рыбоуловителя обычно делают прямоугольной формы (в плане) и трапецеидального поперечного сечения. Дно рыбоуловителя рекомендуется располагать на 0,8–1,2 м ниже донного водоспуска.

Его бетонируют или укрепляют железобетонными плитами, откосы засевают травой, одерновывают или крепят бетонными плитами. Материал для крепления дна и откосов канала выбирают на основании геологических условий, наличия местного строительного материала и размеров рыбоуловителя. В начале и конце рыбоуловителя располагают бетонные стенки с пазами для решеток и шандоров, стенки могут устанавливаться на шпунтовые ряды или зубья.

Рыбоуловитель предназначен для приема всей рыбы, имеющейся в пруду, или ее части. В зависимости от этого устанавливают его размеры. Кроме того, необходимо также знать, сколько времени будет находиться рыба в рыбоуловителе.

При нахождении рыбы в рыбоуловителе менее месяца отношение массы рыбы к объему воды должно составлять 1:4, более месяца – до 1:7–1:10. Ориентировочные размеры камеры рыбоуловителя в зависимости от массы рыбы приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Размеры камер рыбоуловителей для нагульных прудов

Площадь пруда, га	Общий вылов рыбы, ц	Полезный объем рыбоуловителя, м ³	Размер, м		
			Ширина по дну	Длина	Глубина
50	600	300	7	35	1
100	1200	600	8	50	1
250	2500	1200	10	110	1
500	4000	2000	14	130	1

В рыбоуловителе постоянно должна быть расчетная глубина воды, равная 1 м. Схему водоснабжения рыбоуловителей назначают в зависимости от того, на каких прудах расположен рыбоуловитель (на русловых или пойменных), каков расход в источнике водоснабжения и как рыбоуловитель расположен по отношению к источнику водоснабжения. Если рыбоуловитель построен для облова руслового пруда, воду в него можно подавать только через донный водоспуск самотеком. При расположении прудов в пойме воду в рыбоуловители можно подавать тремя путями: 1) самотеком из водоснабжающего канала через пруд; 2) непосредственно из магистрального канала в рыбо-

уловитель через специальный водовыпуск, если позволяет схема водоснабжения; 3) из водоприемника путем создания в нем подпора с помощью перемычки или механического подъема воды.

Первый и второй способы водоснабжения рыбоуловителя могут быть применены, если в источнике водоснабжения имеется нужный расход воды.

Рыбоуловители могут располагаться: параллельно дамбе пруда (рис. 6.10, *а*), на водоотводящем канале (рис. 6.10, *б*) и параллельно водоотводящему каналу (рис. 6.10, *в*). Выбор той или иной схемы размещения рыбоуловителя зависит от рельефа участка, расположенного ниже водопроводящей части донного водоспуска, расположения дамбы пруда, водосбросного канала и водоприемника. Из трех указанных схем наиболее удачными будут схемы, по которым рыбоуловитель отнесен в сторону от водосбросного канала, т. е. когда рыбоуловитель расположен параллельно дамбе пруда или сбросному каналу. При таком расположении рыбоуловителя основная масса наносов пройдет по водосбросному каналу и лишь часть попадет в рыбоуловитель, что очень важно для правильной его эксплуатации, так как при попадании наносов объем рыбоуловителя уменьшается, что мешает его нормальной работе.

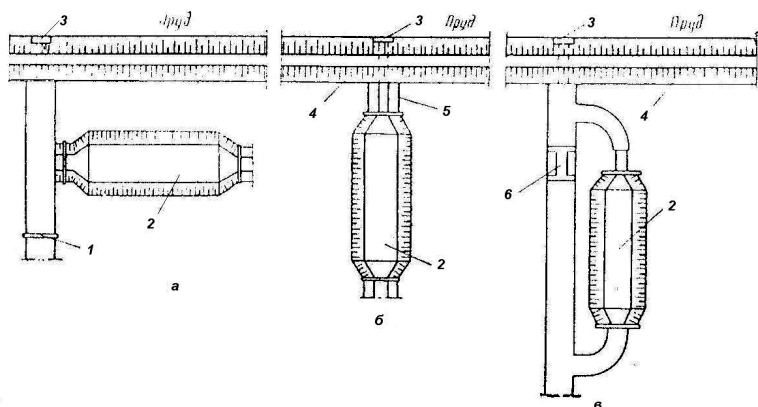


Рис. 6.10. Схема размещения рыбоуловителя:
а – параллельно дамбе пруда; *б* – на водоотводящем канале; *в* – параллельно сбросному каналу; 1 – перегораживающее сооружение; 2 – рыбоуловитель; 3 – донный водоспуск; 4 – дамба; 5 – сбросной канал; 6 – перегораживающее сооружение с перепадом

На рис. 6.11 представлена схема контейнерного способа облова нагульных прудов. В камеру облова, расположенную ниже донного водоспуска, помещают два контейнера. При спуске пруда вместе с потоком воды в контейнер заходит рыба. Во время подъема и выгрузки одного контейнера производится наполнение второго. Спуск и подъем контейнеров осуществляются с помощью электротельфера. Вход рыбы в камеру облова регулируется поворотом направляющих ворот. Контейнер выполнен из перфорированного железа или сетки длиной 4,0 м, шириной 0,8 м, высотой 1,3 м. Вместимость контейнера – 500 кг живой рыбы.

Рыбоуловители иногда используют сразу для нескольких прудов.

В настоящее время разработаны и успешно применяются различные конструкции рыбоуловителей.

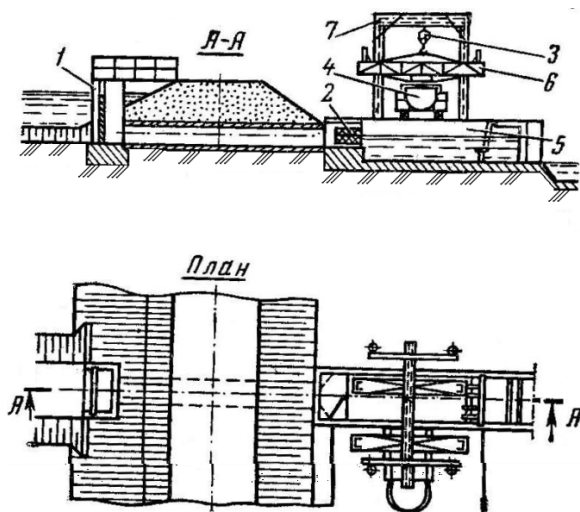


Рис. 6.11. Схема контейнерного способа облова прудов:
 1 – донный водоспуск; 2 – направляющие ворота; 3 – электротельфер;
 4 – живорыбная машина; 5 – камера облова; 6 – контейнер;
 7 – монорельсовый путь

Для эффективного отлова рыбы необходимо обеспечить следующие условия работы рыбоуловителя:

- планировать дно пруда с уклоном в сторону донного водоспуска;
- не допускать заиления рыбоуловителей путем устройства рыбоуловителя с водоотделителем;

- проводить специальные мероприятия против заиления рыбоуловителей – располагать их в стороне от водосбросного канала;
- производить частичную очистку пруда от ила;
- принимать меры против размыва склонов водосбросных площадей;
- применять аэрирование воды при недостатке кислорода в рыбоуловителях в период сравнительно длительного содержания в них рыбы путем установки специальных аэрирующих приспособлений (систем труб по периметру рыбоуловителя с дождевальными насадками и др.).

7. РЫБОЗАГРАДИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И РЫБОЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА

7.1. Рыбозаградительные сооружения

Рыбозаградительные сооружения предотвращают уход рыбы из прудов во впадающие в них речки и ручьи, а также уход молоди и товарной рыбы из прудов в начальный период спуска прудов.

К рыбозаградительным сооружениям относятся верховина и заградительные решетки.

7.1.1. Верховина

Верховину устанавливают в верховьях русловых нагульных прудов, а также в головных прудах, используемых для нагула рыбы (при наличии постоянного притока воды), и на всех речках и ручьях, впадающих в пруд и имеющих постоянный расход воды.

Верховина не только предотвращает уход рыбы из прудов вверх по течению реки или ручья, но и предохраняет пруды от захода хищной и сорной рыбы из реки.

Верховина – специальное гидротехническое сооружение, которое представляет собой решетчатое заграждение постоянной или разборной конструкции, устроенное на шпунтовом ряду и бетонном или железобетонном основании, перекрывающее русло и часть поймы. У коренных берегов или при сопряжении с земляной перемычкой шпунт запускают в берега или откосы на 2–3 м.

Деревянная верховина представляет собой свайную конструкцию, несущей частью которой являются маячные сваи $d = 22$ см, расположенные на расстоянии 2 м одна от другой (рис. 7.1).

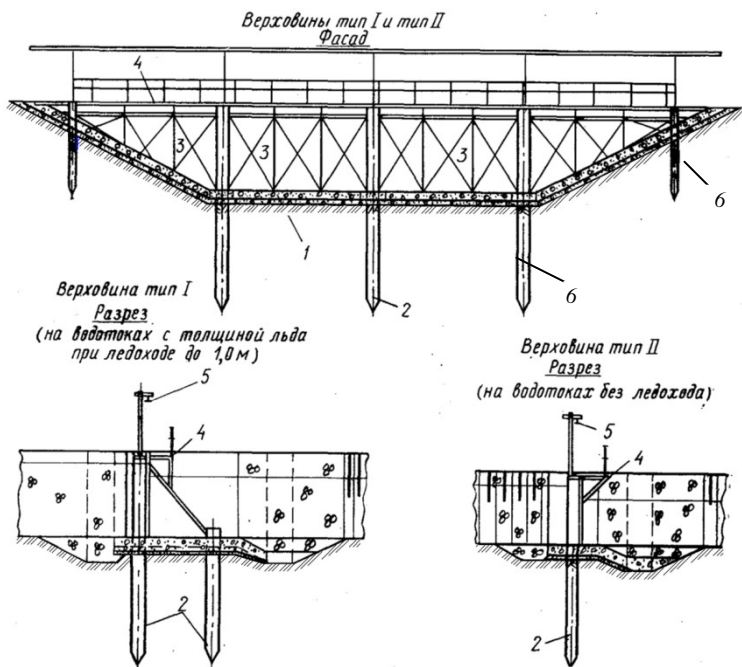


Рис. 7.1. Верховина деревянная: 1 – металлическая сетка; 2 – настил из досок; 3 – насадка; 4 – направляющие бревна; 5 – дощатый шпунт; 6 – маячные сваи

На сваи укладывают насадки толщиной 15 см, а по насадкам – настил из досок толщиной 5 см. Ниже поверхности земли по всей длине верховины между сваями забивают дощатый шпунт толщиной 7 см и глубиной 1,5–2,0 м. В пазы маячных свай вкладывают деревянные или металлические решетки. Целесообразно в сваях делать два ряда пазов для решеток, которые можно менять по мере загрязнения; в передний паз вставляют чистую решетку, а из заднего вынимают решетку для очистки.

Решетки можно делать деревянными из брусьев толщиной 3–4 см с расстоянием между ними 2–3 см или металлическими из прутьев диаметром 5 мм с расстоянием между ними 1,5 см. Отверстия решетчатых заграждений рассчитывают на пропуск летних паводковых расходов. После облова прудов решетки верховины снимают и устанавливают их снова после прохода весеннего паводка перед зарыблением прудов.

Общий вид деревянной верховины для малых прудов показан на рис. 7.2.

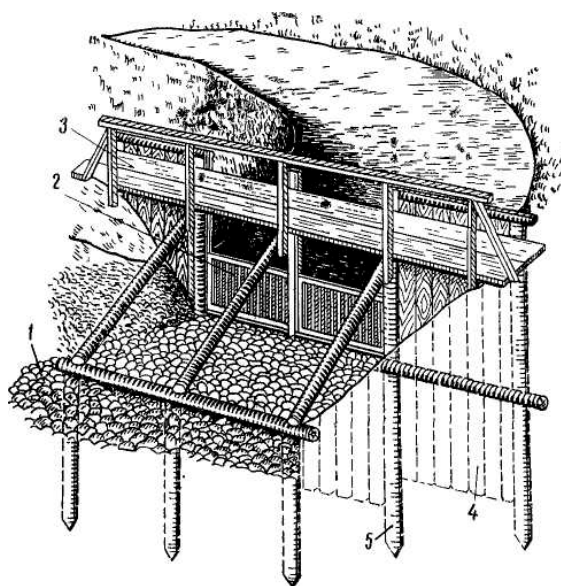


Рис. 7.2. Верховина деревянная: 1 – крепление камнем; 2 – решетчатое ограждение; 3 – служебный мостик; 4 – шпунтовая стенка; 5 – маячные сваи

Верховины из железобетона рекомендуется применять при глубине воды перед сооружением до 3 м. Железобетонная верховина (рис. 7.3) состоит: из двух поворотных железобетонных ферм на чугунных подшипниках, заделанных анкерами в бетонный фундамент толщиной 0,8 м; стоек, опирающихся на нижний упор и прикрепленных к верхнему упору; решеток (прямоугольных и трапециевидальных), имеющих рамки из уголков, а прутья из круглой стали, устанавливаемых в пазы стоек; служебного мостика из прогонов и настила. В период эксплуатации решетки для очистки поднимают вручную багром, а перед наступлением ледохода верховину разбирают, причем подъем поворотных железобетонных ферм и их укладку осуществляют лебедкой грузоподъемностью 0,5 т или талью. По верховине прокладывают служебный мостик и тельферный путь.

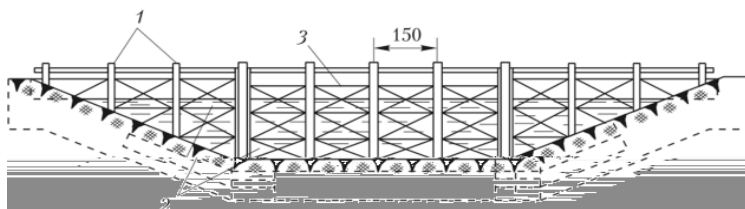


Рис. 7.3. Железобетонная верховина: 1 – стойки; 2 – щиты; 3 – решетки

7.1.2. Рыбозаградители

Рыбозаградители, подобные верховинам сооружения, строят на основном канале рыбосборно-осушительной сети нагульных прудов при значительной протяженности канала и постоянном токе воды в период облова. Их располагают поперек основного канала для концентрации рыбы на отдельных его участках. Они являются затопляемыми сооружениями со съемными решетками.

В донных водоспусках, кроме шандоров и затворов предусматривается устройство решеток, которые преграждают путь рыбе из пруда во время спуска воды из него, для создания проточности при сбросе объема воды летних паводков.

Решетка донных водоспусков представляет собой деревянную или металлическую рамку высотой 30–50 см. Рамку обтягивают сеткой или делают в ней вертикальную или горизонтальную решетку из обручного железа. Величина просветов в сетке зависит от категории пруда, в котором устанавливают донный водоспуск. Так, в нерестовых прудах отверстия в сетке равны 1 мм, а в нагульных прудах просветы между полосами железа – 1 см.

7.1.3. Сетчатые заграждения

Сетчатое заграждение используют для защиты молоди рыб от выноса ее в донный водоспуск при спуске воды и облове молоди, если облов производится без рыбоуловителя, а также при частичном сбросе воды из пруда (рис. 7.4). Сетчатые заграждения можно применять во всех летних прудах.

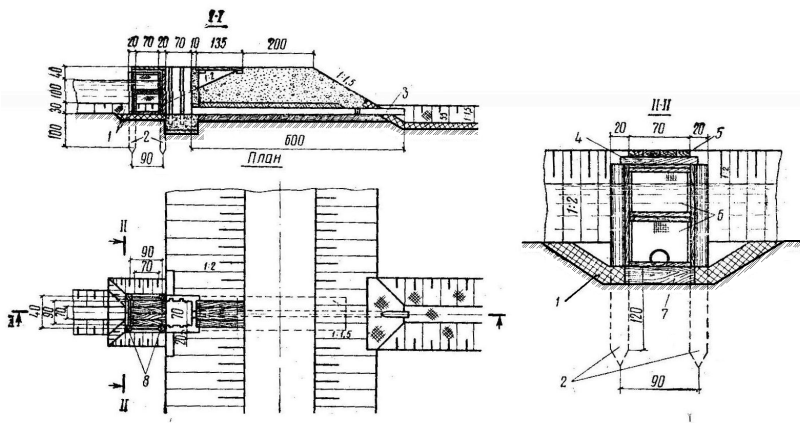


Рис. 7.4. Донный водоспуск с сетчатым ограждением:
 1 – крепление; 2 – сваи; 3 – асбестоцементная труба; 4 – прогон; 5 – настил из досок; 6 – сетка на деревянной раме; 7 – шандор; 8 – пазовые рейки

Сетчатое ограждение состоит из свай, служебного мостика, сетчатых съемных рамок и уплотняющих досок основания сооружения. Сваи забивают по углам сооружения. Для напора воды 1,0 и 1,5 м сооружение в плане имеет вид четырехугольника, а для напоров 2,0–2,5 м – шестигранника.

Сооружение устанавливают перед стояком донного водоспуска вплотную к торцовым стенкам его. Несущей конструкцией являются сваи. Сетчатые рамки вставляют в пазы стоек до начала спуска пруда. В рамки вставляют штампованные металлические сетки с отверстиями от 1 до 10 мм. Размер сеток с рамкой для четырехугольной схемы – 76×60 мм, для шестигранной – 106×60 мм.

7.2. Рыбозащитные устройства

Рыбозащитное устройство входит в состав водозаборного сооружения, расположенного на водотоках (реках и каналах) и на рыбохозяйственных водоемах (прудах, озерах, водохранилищах, морях).

Рыбозащитные устройства – это устройства, предотвращающие попадание рыбы из водоема в технологические системы водоснабжения. Такие сооружения должны устанавливаться на всех водозаборах, расположенных на водоемах, имеющих рыбопромысловое значение.

Рыбозащитные сооружения должны защищать от попадания в системы водоснабжения как крупную рыбу, так и рыбную молодь. Существуют рыбозащитные сооружения, предотвращающие попадание в водозаборы рыбной икры.

Состав и конструкция рыбозащитного устройства зависят от расположения и устройства водозаборного сооружения. При этом водозаборные сооружения классифицируются по следующим основным признакам: по виду источника водоснабжения: из водотока (рек и каналов); из водоемов (озер, прудов, водохранилищ, морей); по расположению водозаборных оголовков относительно берега (рис. 7.5–7.7).

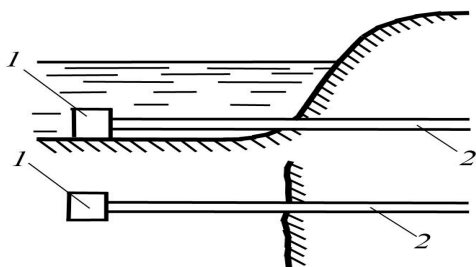


Рис. 7.5. Водозаборное сооружение вдали от берега:
1 – оголовок; 2 – линия всасывания или самотечная линия

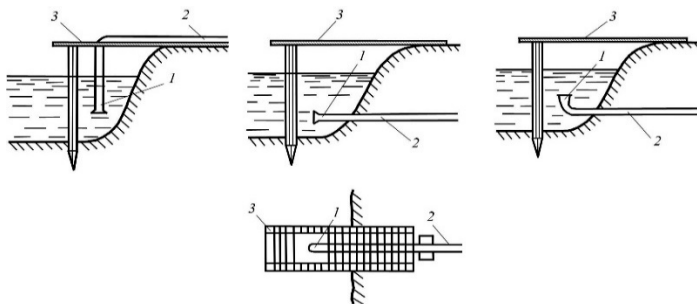


Рис. 7.6. Водозаборное сооружение недалеко от берега с мостками:
1 – оголовок; 2 – линия всасывания или самотечная линия;
3 – эстакады или мостки

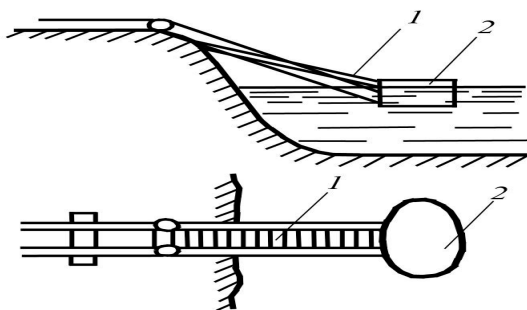


Рис. 7.7. Водозаборное сооружение с понтоном:
1 – мостки; 2 – понтон (оголовок расположен на берегу или в теле плотины)

Перед водозаборным оголовком устроен ковш или подводящий канал (рис. 7.8).

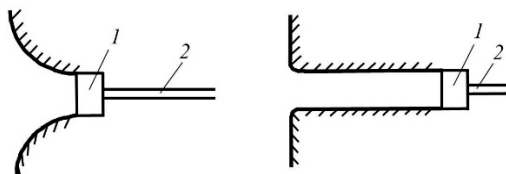


Рис. 7.8. Водозаборное сооружение в ковше или в подводящем канале:
1 – оголовок; 2 – линия всасывания или самотечная линия

По способу задержания рыбы рыбозащитные устройства делят:

- на механические заграждения – механические препятствия на пути рыбы (сетки, жалюзи, решетки, плетни, различные фильтры);
- гидравлические заграждения – струенаправляющие устройства, уводящие рыбу от водозабора (запони, отбойные козырьки);
- физиологические заграждения – системы задержания и отпугивания рыбы (электрические, световые, звуковые, пневматические (в виде воздушных пузырьков)).

Перед проектированием и выбором типа и формы рыбозащитного устройства должны быть определены: вид и примерный размер защищаемых рыб с указанием минимального размера, подлежащего защите; период прохода и миграции рыб; где в основном обитает рыба – в верхних или нижних слоях воды; сносящая скорость для молоди рыбы.

7.2.1. Рыбозащитные устройства на водотоках

Для водозаборных сооружений с далеко выдвинутыми оголовками обычно применяются плоские сетки, иногда со специальными каналами – рыбоотводами (рис. 7.9), и сетчатые барабаны.

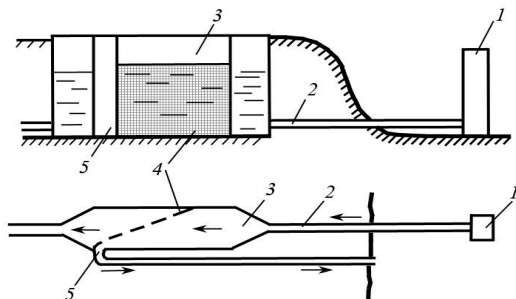


Рис. 7.9. Плоская сетка с рыбоотводом:
1 – оголовок; 2 – линия всасывания или самотечная линия;
3 – сеточная камера; 4 – сетка; 5 – рыбоотвод

Плоские сетки с рыбоотводами устанавливаются на водоподводящих линиях после водоприемников.

Сетчатые барабаны устанавливаются непосредственно на входе в водозаборные отверстия оголовков (рис. 7.10).

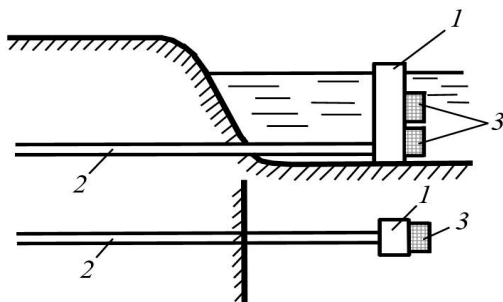


Рис. 7.10. Установка сетчатых барабанов на водозаборе:
1 – оголовок; 2 – линия всасывания; 3 – сетчатые барабаны

Для водозаборов, расположенных недалеко от берега, плоские сетки и барабаны иногда дополняются струенаправляющими щитами (отбойными козырьками). При этом плоские сетки устанавливаются непосредственно на входе в водозаборные сооружения. Плоские сетки рекомендуется использовать и на понтонных водозаборах (рис. 7.11).

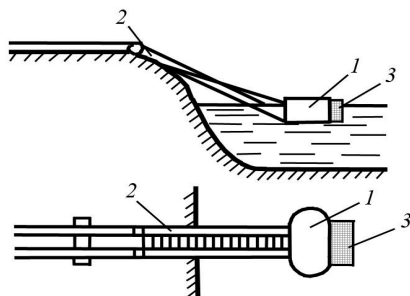


Рис. 7.11. Защита водозабора на понтоне:
1 – понтон; 2 – напорная линия; 3 – плоская сетка

Сетчатые барабаны устанавливаются непосредственно на входе в водозаборные отверстия (рис. 7.12).

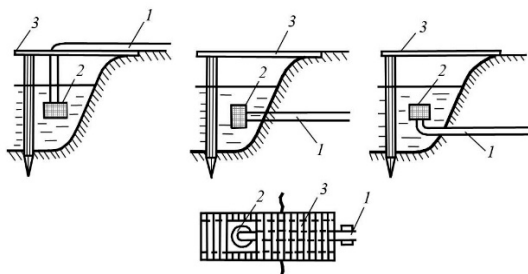


Рис. 7.12. Сетчатые барабаны на водозаборах:
1 – линия всасывания; 2 – сетчатый барабан;
3 – эстакада или мостки

Отбойные козырьки устанавливаются непосредственно в водотоках, перед понтонами и вертикально расположенными всасывающими трубами (рис. 7.13).

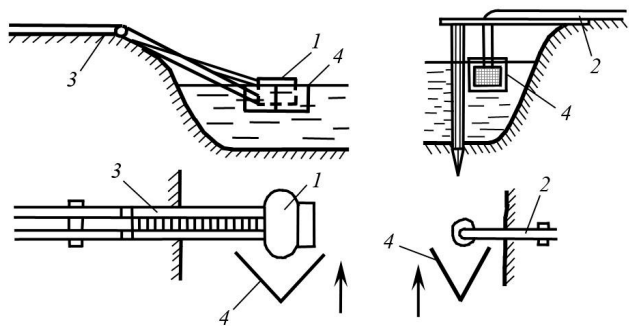


Рис. 7.13. Расположение отбойных козырьков на водозаборах:
 1 – понтон; 2 – линия всасывания; 3 – напорная линия;
 4 – отбойный козырек

Для водозаборных сооружений, расположенных на берегу или в теле плотины, рекомендуются: плоские сетки, плоские сетки с рыбоотводами (см. выше), сетчатые барабаны (рис. 7.14) и запони – плавучие заграждения.

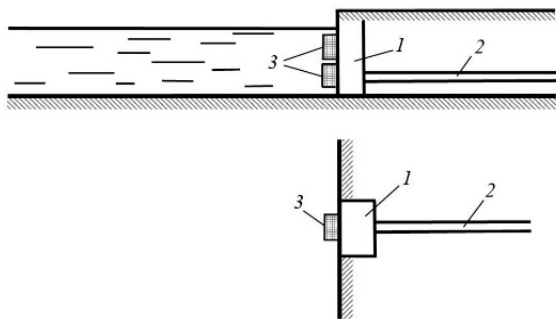


Рис. 7.14. Сетчатые барабаны на береговом водозаборе:
 1 – оголовок; 2 – линия всасывания или самотечная линия;
 3 – сетчатые барабаны

Запони устраиваются непосредственно в водотоках перед оголовками (рис. 7.15).

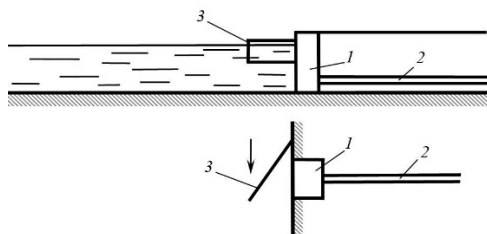


Рис. 7.15. Запость на водозаборе:
 1 – оголовок; 2 – линия всасывания или самотечная линия;
 3 – запость

Для водозаборных сооружений с оголовками, расположенными в ковшах, рекомендуются плоские сетки (рис. 7.16), иногда с рыбоотводами (рис. 7.17), запони и электрические заградители.

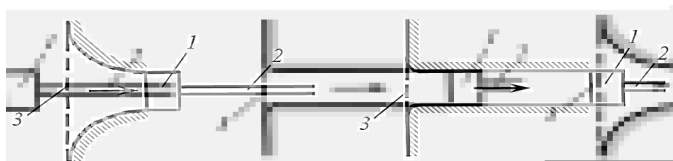


Рис. 7.16. Водозабор в ковше или подводящем канале:
 1 – оголовок; 2 – линия всасывания или самотечная линия;
 3 – плоская сетка

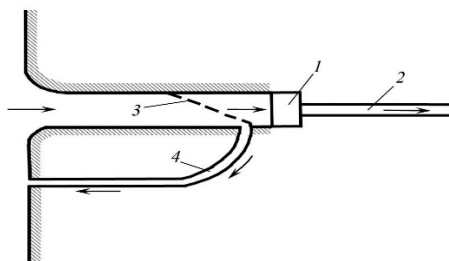


Рис. 7.17. Использование плоской сетки с рыбоотводом:
 1 – оголовок; 2 – линия всасывания или самотечная линия;
 3 – сетка; 4 – рыбоотвод

7.2.2. Рыбозащитные устройства на непроточных водоемах

Для водозаборных сооружений, расположенных в нетекущих водоемах, рекомендуется применять плоские сетки, можно с рыбоотводами, сетчатые барабаны и электрические заградители. Вертикальные сетчатые, перфорированные, фильтрующие или жалюзийные экраны, как правило, оборудуются промывными устройствами. Пример вертикального экрана с промывкой приведен на рис. 7.18, 7.19.

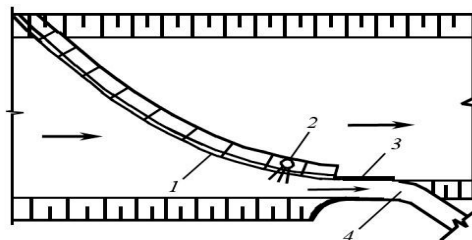


Рис. 7.18. Вертикальный сетчатый, перфорированный или фильтрующий экран:
1 – вертикальный экран; 2 – промывное устройство; 3 – глухая часть экрана;
4 – рыбоотвод

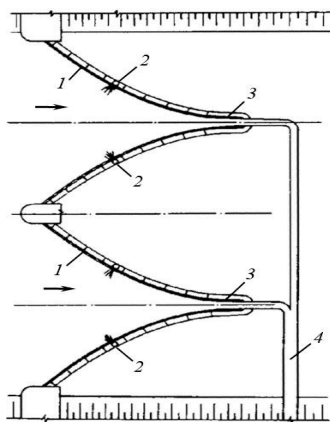


Рис. 7.19. Вертикальный W-образный сетчатый или перфорированный экран:
1 – вертикальный экран; 2 – промывное устройство; 3 – глухая часть экрана;
4 – рыбоотвод

В непроточных водоемах для рыбы, которая держится в верхних слоях воды, эффективным устройством является зонтичный оголовок водозабора, при котором входное отверстие трубы водозабора прикрыто конусным экраном (рис. 7.20).

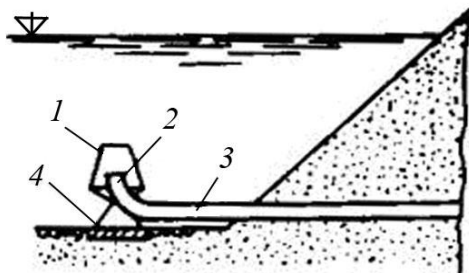


Рис. 7.20. Зонтичный оголовок водозабора:
1 – зонтичный оголовок; 2 – оголовок водозаборной трубы;
3 – водозаборная труба; 4 – опорная конструкция

Другим защитным устройством для рыбы-верховодки может быть рыбозащитный концентратор с вертикальной сепарацией рыб (рис. 7.21).

Здесь водозаборные окна расположены в нижней части лотка-концентратора и прикрыты наклонными экранами, которые исключают попадание рыбы в водозабор и направляют ее в рыбоотвод.

Для отпугивания рыбы от оголовка водозабора используют специальные потокообразователи. Перфорированная труба водозабора, снабженная конической сеткой, прикрыта в торце экраном – потокообразователем (рис. 7.22). Вода, подаваемая по трубе насосом, создает защитный валец по поверхности сетки, который не пропускает рыбу.

Рыбозащитное сооружение в Астрахани состоит из двойной рамы для рыбозащитных сеток. Рама имеет два паза – для рабочей сетки и ремонтной. Для подъема сеток и их транспортировки на берег предусмотрена ручная передвижная таль.

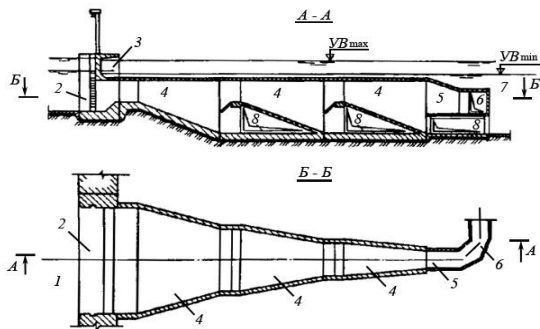


Рис. 7.21. Рыбозащитный концентратор с вертикальной сепарацией рыб (ПКВС): 1 – водозаборный водоем; 2 – оголовок рыбозащитного концентрирующего сооружения; 3 – забральная стенка; 4 – лотки-концентраторы; 5 – оголовок рыбоотвода; 6 – рыбоотвод; 7 – водоприемник; 8 – водозаборные окна

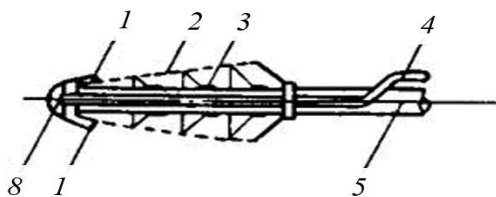


Рис. 7.22. Оголовок с потокообразователем (РОП): 1 – потокообразователь; 2 – сетка; 3 – перфорированная всасывающая труба; 4 – водоподводящий тракт; 5 – водоприемная труба; 6 – оголовок

Различные типы рыбозащитных устройств представлены на рис. 7.23–7.25.



Рис. 7.23. Рыбозащитное устройство с конусообразной защитной сеткой на водозаборе Приволжской оросительной системы



Рис. 7.24. Рыбозащитное устройство типа «униполярный электрорыбозаградитель» для береговой насосной станции Сормовской ТЭЦ



Рис. 7.25. Рыбозащитные сооружения насосной станции Костромской низины

7.2.3. Механические рыбозащитные устройства

Для предотвращения попадания из водохранилища в магистральные каналы сорной рыбы и ее икры в голове магистрального канала сооружают специальные фильтры (гравийные, гравийно-галечные, стеклянно-гравийные, каменно-щебеночные и фильтры из поропласта, состоящие из крупного наполнителя (гравия, керамзита и др.) и связующего – полиэтилена.

Участок канала в месте устройства фильтров для бесперебойного водоснабжения расширяют в 2–3 раза.

Гравийный фильтр. Поперек расширенного участка канала забивают два ряда кольев (на глубину не менее 0,5 м); колья каждого ряда заплетают плетнем. Промежуток между плетнями засыпают гравием с размером частиц 1–2 см.

Гравийно-галечный фильтр. Поперек расширенной части канала ставят три ряда плетневых стенок. Промежутки между первой и второй стенками по течению воды заполняют галькой с размером частиц

3–5 см, а между второй и третьей стенкой – гравием. Стенки ставят на расстоянии 0,5 м одна от другой. Иногда между второй и третьей стенками засыпают крупнозернистый песок, тогда такой фильтр называют песчано-галечным.

Стекло-гравийный фильтр. В промежутки между плетневыми стенками (на полную высоту фильтра) насыпают гравий с мелко битым стеклом с таким расчетом, чтобы стекло заполняло все промежутки между гравием. Попадая в такой фильтр, мальки хищной и сорной рыбы травмируются стеклом и погибают. Этот фильтр задерживает также личинки и икру рыб.

Для увеличения поверхности фильтра его располагают под некоторым углом к оси канала (не менее чем на 45°).

По мере заилиenia и загрязнения фильтров их необходимо очищать и промывать.

Для устройства фильтров участок канала расширяют, перегородив двумя стенками, расположенными на расстоянии 1,5 м одна от другой. Образованный отсек в зависимости от рода материала заполняют целиком или наполовину. Например, если строится каменно-щебеночный фильтр, то устраивают два отсека, первый (считая по течению воды) заполняют камнем, второй – щебнем (рис. 7.26). Для задержания личинок и икры рыб к слоям гравия через каждые 5 см добавляют мелко битое стекло.

Для увеличения поверхности фильтра его располагают в канале дугообразно или под углом не менее 45° . Перед фильтром необходимо установить заграждение для грубой очистки от мусора и других крупных включений, это позволит удлинить срок работы фильтра. Заграждение для грубой очистки может быть выполнено из плетней. Фильтры по мере их засорения очищают и промывают. Размеры фильтров определяют путем гидравлических расчетов.

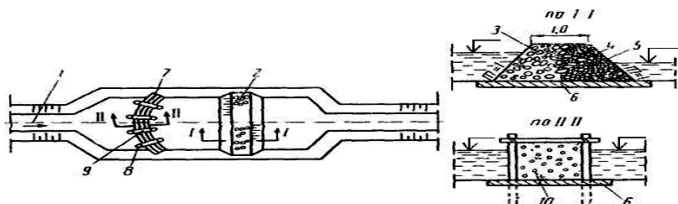


Рис. 7.26. Каменно-щебеночный фильтр: 1 – водоснабжающий канал; 2 – каменно-щебеночный фильтр; 3 – камень; 4 – щебень; 5 – битое стекло; 6 – крепление под основанием фильтра; 7 – хворостяной фильтр; 8 – колья; 9 – прижимы (жерди); 10 – хворост

Фильтры из полимерных материалов имеют весьма простую конструкцию и удобны в эксплуатации, они изготавливаются в виде небольших блоков (шандоров), установленных в пазы со стойками, расположенными на водоподающем канале. В стойках устанавливают двойные пазы для удобства промывки засоренных фильтров.

7.2.4. Физиологические заграждения

К ним относят электрозаградители и воздушно-пузырьковые завесы.

Электрозаграждения. Применение их основано на том, что, попадая в электрическое поле, рыбы стремятся выйти из него. Примером может служить ЭРЗУ-1 (рис. 7.27).

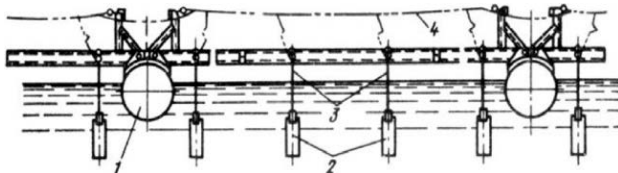


Рис. 7.27. Рыбозаградитель ЭРЗУ-1:

1 – поплавок; 2 – система электродов; 3 – трос; 4 – провода

Электроды из металлических стержней или труб диаметром 90–100 мм опускают в воду перед насосными устройствами или водосбросами. Расстояние между электродами – 0,5–5,0 м. Их крепят на специальной тросовой системе.

Воздушно-пузырьковая завеса. Создается путем укладки на дно водоема перфорированных труб перед водозабором. Наиболее эффективна воздушно-пузырьковая завеса из нескольких рядов перфорированных труб. Подаваемый в трубы воздух создает плотную пузырьковую завесу, отпугивающую рыбу.

8. ПРИМЕНЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

8.1. Общие сведения о строительных материалах и их свойствах

Строительные материалы – это природные и искусственные материалы, используемые при строительстве, ремонте и реконструкции инженерных сооружений.

Различия в назначении и условиях эксплуатации сооружений определяют разнообразные требования, предъявляемые к строительным материалам.

Свойства строительных материалов всецело обусловлены их составом, внутренним строением и физико-химическим состоянием. Для правильного понимания и представления о свойствах строительных материалов необходимо знать их химический, минералогический и фазовый состав.

Химический состав характеризует процентное содержание в материале химических элементов или оксидов, позволяет судить о некоторых свойствах материалов – механической прочности, биостойкости и т. д.

Минералогический состав показывает, какие минералы и в каком количестве содержатся в каменном материале или в вяжущем веществе.

Фазовый состав указывает на содержание в материале фаз, т. е. частей, однородных по химическому составу и физическим свойствам и отделенных друг от друга поверхностями раздела. Фазовый состав материала и фазовые переходы воды в нем оказывают влияние на все свойства и поведение материала при эксплуатации.

По физическому состоянию строительные материалы подразделяют на твердые и жидкие.

Твердым называют всякое вещество, имеющее определенную форму. К твердым материалам относятся металлы, камни и др.

Жидкое состояние – это агрегатное состояние вещества, сочетающее черты твердого состояния.

8.2. Виды грунтов

Грунты – горные породы, являющиеся объектом инженерно-строительной деятельности человека и используемые как основание, среда или материал для возведения сооружений.

Грунты являются трехфазными системами и состоят из твердых частиц, поры между которыми заполнены водой и газом. Строительные свойства грунтов определяются минералогическим и гранулометрическим составом, структурой, текстурой и состоянием в природном залегании.

По происхождению (генезису) горные породы делятся: на магматические, осадочные и метаморфические. Магматические (изверженные) породы, образовавшиеся в результате застывания магмы, имеют

кристаллическую структуру и классифицируются как скальные грунты. Осадочные породы, образовавшиеся в результате разрушения (выветривания) горных пород и осаждения продуктов выветривания из воды или воздуха, могут быть скальными и нескальными. Метаморфические породы – это претерпевшие изменения под влиянием высоких температур и больших давлений магматические и осадочные породы; характеризуются наличием жестких, преимущественно кристаллизационных связей и классифицируются как скальные грунты.

Осадочные грунты по своему происхождению делятся на континентальные и морские отложения. При этом к морским относятся отложения современных и древних морей. Древние морские отложения – это мелы, песчаники, известняки, доломиты, мергели, юрские и девонские глины и др.

При изучении состава грунтов выделяют следующие группы образований: первичные минералы – кварц, полевые шпаты, слюды и др.; глинистые (вторичные) минералы, образовавшиеся в процессе выветривания магматических и метаморфических пород; соли – сульфаты (гипс, ангидрит и др.); карбонаты (кальцит, доломит и др.); галоиды; органические вещества.

В зависимости от возраста грунты относят к различным геологическим системам. Самыми молодыми осадочными грунтами являются отложения четвертичной системы (Q). Более древние группы относятся к следующим системам: неоген (N), палеоген (P), меловая (K), юрская (J), триасовая (T), пермская (P), каменноугольная (C), девонская (D), силурийская (S), ордовикская (O), кембрийская (Є).

В инженерной деятельности чаще используются четвертичные осадочные грунты, которые подразделяются на генетические типы, приведенные в табл. 8.1.

Под структурой грунта понимают размер, форму и количественное соотношение слагающих его частиц, а также характер связи между ними. Размер частиц и их количественное соотношение в грунте определяют на основе гранулометрического (зернового) анализа. Содержание каждой фракции выражается в процентах от массы высушенной пробы грунта. По характеру структурных связей выделяют грунты с жесткими (кристаллизационными) связями и грунты с водно-коллоидными связями. Кристаллизационные связи развиты в магматических, метаморфических и осадочных сцементированных породах, т. е. в скальных грунтах. Водно-коллоидные связи характерны для глинистых грунтов.

Таблица 8.1. Генетические типы грунтов четвертичного возраста

Типы грунтов	Обозначение
Аллювиальные (речные отложения)	a
Озерные	l
Озерно-аллювиальные	la
Делювиальные (отложения дождевых и талых вод на склонах и у подножия возвышенностей)	d
Аллювиально-делювиальные	ad
Эоловые (осаждения из воздуха): эоловые пески, лессовые грунты	L
Гляциальные (ледниковые отложения)	g
Флювиогляциальные (отложения ледниковых потоков)	f
Озерно-ледниковые	lg
Элювиальные (продукты выветривания горных пород, оставшиеся на месте образования)	e
Элювиально-делювиальные	ed
Пролувиальные (отложения бурных дождевых потоков в горных областях)	p
Аллювиально-пролувиальные	ap
Морские	m

Под текстурой грунтов понимают пространственное расположение элементов грунта с разным составом и свойствами. Текстура характеризует неоднородность строения грунта в пласте (например, слоистые текстуры песчано-глинистых грунтов). Текстурные особенности грунтов определяют пути фильтрации воды, интенсивность и направление деформаций сдвига массива грунта.

8.2.1. Физические свойства грунтов

Одной из основных характеристик грунта является **плотность**. Для грунтов различают: *плотность частиц грунта* γ_s – отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к объему твердой части этого грунта; *плотность грунта* γ – отношение массы грунта (включая массу воды в порах) к занимаемому этим грунтом объему; *плотность сухого грунта* γ_d – отношение массы сухого грунта (исключая массу воды в его порах) к занимаемому им объему (включая имеющиеся в этом грунте поры).

Плотность грунта определяется путем отбора проб грунта ненарушенного сложения и последующего анализа в лабораторных условиях.

В полевых условиях она определяется зондированием и радиоизотопным методом, а для крупнообломочных грунтов – методом «шурфалунки».

Пористость n – важнейшее исходное свойство как сыпучего, так и связного грунта. Это объем пор в единице объема грунта в относительных единицах. Пористость грунта очень часто характеризуется **коэффициентом пористости ε** – отношением объема пор к объему твердых частиц в единице объема грунта.

Плотность сложения грунта (степень уплотненности) характеризуется пористостью n или коэффициентом пористости ε и плотностью сухого грунта. Так, например, при $\varepsilon \leq 0,5$ грунт плотный, а при $\varepsilon \geq 1$ – очень рыхлый.

Плотность сложения песчаных грунтов определяется также в полевых условиях с помощью статического и динамического зондирования.

Влажность грунтов W определяют высушиванием пробы грунта при температуре 105 °С до постоянной массы. Отношение разности масс пробы до и после высушивания к массе абсолютно сухого грунта дает значение влажности, выражаемое в процентах или долях единицы. Доля заполнения пор грунта водой является **степенью влажности, или коэффициентом водонасыщения**, грунта. Влажность песчаных грунтов (за исключением пылеватых) изменяется в небольших пределах и практически не влияет на прочность и деформационные свойства этих грунтов.

Для пылевато-глинистых грунтов влажность характеризует их пластичность. Характеристики пластичности пылевато-глинистых грунтов – это влажности на границах текучести W_L и раскатывания W_p , определяемые в лабораторных условиях, а также число пластичности I_p и показатель текучести (консистенции) I_L . Характеристики W_L , W_p и I_p , I_L являются косвенными показателями состава (гранулометрического и минералогического) пылевато-глинистых грунтов. Следует отметить, что число пластичности I_p характеризует тип глинистого грунта, а показатель текучести I_L – разновидность. Так, например, при $1 \leq I_p \leq 7$ грунт относится к супеси, а если показатель консистенции I_L больше единицы, то супесь будет текучая. В табл. 8.2 приведены расчетные зависимости основных физических характеристик грунтов.

Таблица 8.2. Расчетные зависимости основных физических характеристик грунтов

Характеристика	Формула
Плотность сухого грунта, г/см ³ (т/м ³)	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1+W}$
Пористость, %	$n = \left(1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}\right) 100$
Коэффициент пористости	$\varepsilon = \frac{n}{100-n}$, или $\varepsilon = \frac{\gamma_s - \gamma_d}{\gamma_s}$
Полная влагоемкость	$W_o = \varepsilon \frac{\gamma_w}{\gamma_s}$
Степень влажности	$S_r = \frac{W\gamma_s}{\varepsilon\gamma_w}$
Плотность взвешенного в воде грунта	$\gamma_{взв} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + \varepsilon}$
Плотность полностью насыщенного водой грунта	$\gamma_{нас} = \gamma_d + n\gamma_w$
Число пластичности	$I_p = W_L - W_p$
Показатель текучести	$I_L = \frac{W - W_p}{W_L - W_p}$

Примечание. γ_w – плотность воды, равная 9,81 кН/м³.

8.2.2. Классификация грунтов

Грунты сооружений подразделяются на два класса: скальные (грунты с жесткими связями) и нескальные (грунты без жестких связей).

В классе скальных грунтов выделяют магматические, метаморфические и осадочные породы, которые подразделяются по прочности, размягчаемости и растворимости. К скальным грунтам, прочность которых в водонасыщенном состоянии менее 5 МПа (полускальные), относятся глинистые сланцы, песчаники с глинистым цементом, алевролиты, аргиллиты, мергели, мелы. При водонасыщении прочность этих грунтов может снижаться в 2–3 раза.

Нескальные грунты подразделяют на крупнообломочные, песчаные, пылевато-глинистые, биогенные и почвы. К крупнообломочным относятся несцементированные грунты, в которых масса обломков крупнее 2 мм составляет 50 % и более. Песчаные – это грунты, содер-

жащие менее 50 % частиц крупнее 2 мм и не обладающие свойством пластичности (число пластичности $I_p < 1$ %). Крупнообломочные и песчаные грунты классифицируются по гранулометрическому составу (табл. 8.3) и по степени влажности (табл. 8.4).

Таблица 8.3. Классификация крупнообломочных и песчаных грунтов по гранулометрическому составу

Грунт	Размер частиц, мм	Масса частиц, % от массы воздушно-сухого грунта
Крупнообломочный:		
валунный (глыбовый)	>200	>50
галечниковый (щебенистый)	>10	>50
гравийный (древяный)	>2	>50
Песок:		
гравелистый	>2	>25
крупный	>0,5	>50
средний	>0,25	>50
мелкий	>0,1	≥75
пылеватый	>0,1	<75

Свойства крупнообломочного грунта при содержании песчаного заполнителя более 40 % и пылевато-глинистого – более 30 % определяются качеством заполнителя и могут устанавливаться по испытанию заполнителя. При меньшем содержании заполнителя свойства крупнообломочного грунта устанавливают испытанием грунта в целом. При определении свойств песчаного заполнителя учитывают следующие его характеристики: влажность, плотность, коэффициент пористости, а пылевато-глинистого – дополнительно число пластичности и консистенцию.

Таблица 8.4. Подразделение крупнообломочных и песчаных грунтов по степени влажности S_r

Грунт	Степень влажности
Маловлажный	$0 < S_r \leq 0,5$
Влажный	$0,5 < S_r \leq 0,8$
Насыщенный водой	$0,8 < S_r \leq 1,0$

Основным показателем песчаных грунтов, определяющим их прочностные и деформационные свойства, является плотность сложения. По плотности сложения пески подразделяются по коэффициенту пористости e , удельному сопротивлению грунта при статическом зон-

дировании q_c и условному сопротивлению грунта при динамическом зондировании q_d (табл. 8.5).

Таблица 8.5. Подразделение песчаных грунтов по плотности сложения

Песок	По плотности сложения		
	плотный	средней плотности	рыхлый
По коэффициенту пористости			
Гравелистый, крупный и средней крупности	$\varepsilon < 0,55$	$0,55 \leq \varepsilon \leq 0,7$	$\varepsilon > 0,7$
Мелкий	$\varepsilon < 0,6$	$0,6 \leq \varepsilon \leq 0,75$	$\varepsilon > 0,75$
Пылеватый	$\varepsilon < 0,6$	$0,6 \leq \varepsilon \leq 0,8$	$\varepsilon > 0,8$
По удельному сопротивлению грунта, МПа, под наконечником (конусом) зонда при статическом зондировании			
Крупный и средней крупности независимо от влажности	$q_c > 15$	$15 \geq q_c \geq 5$	$q_c < 5$
Мелкий независимо от влажности	$q_c > 12$	$12 \geq q_c \geq 4$	$q_c < 4$
Пылеватый:			
маловлажный и влажный	$q_c > 10$	$10 \geq q_c \geq 3$	$q_c < 3$
водонасыщенный	$q_c > 7$	$7 \geq q_c \geq 2$	$q_c < 2$
По условному динамическому сопротивлению грунта, МПа, погружению зонда при динамическом зондировании			
Крупный и средней крупности независимо от влажности	$q_d > 12,5$	$12,5 \geq q_d \geq 3,5$	$q_d < 3,5$
Мелкий:			
маловлажный и влажный	$q_d > 11$	$11 \geq q_d \geq 3$	$q_d < 3$
водонасыщенный	$q_d > 8,5$	$8,5 \geq q_d \geq 2$	$q_d < 2$
Пылеватый маловлажный и влажный	$q_d > 8,5$	$8,5 \geq q_d \geq 2$	$q_d < 2$

Пылевато-глинистые грунты подразделяют по числу пластичности I_p (табл. 8.6) и по консистенции, характеризуемой показателем текучести I_L (табл. 8.7). Среди пылевато-глинистых грунтов необходимо выделять лессовые грунты и илы. Лессовые грунты – это макропористые грунты, содержащие карбонаты кальция и способные при замачивании водой давать под нагрузкой просадку, легко размокать и размываться. Ил – водонасыщенный современный осадок водоемов, образовавшийся в результате протекания микробиологических процессов и имеющий влажность, превышающую влажность на границе текучести, и коэффициент пористости, значения которого приведены в табл. 8.8. Пылевато-глинистые грунты (супеси, суглинки и глины) называют грунтами с примесью органических веществ при относительном содержании этих веществ $0,05 < I_{от} \leq 0,1$.

Таблица 8.6. Подразделение пылевато-глинистых грунтов по числу пластичности

Грунт	Число пластичности, %
Супесь	$1 \leq I_p \leq 7$
Суглинок	$7 < I_p \leq 17$
Глина	$I_p > 17$

Таблица 8.7. Подразделение пылевато-глинистых грунтов по показателю текучести

Грунт	Показатель текучести
Супесь:	
твердая	$I_L < 0$
пластичная	$0 \leq I_L \leq 1$
текучая	$I_L > 1$
Суглинок и глина:	
твердые	$I_L < 0$
полутвердые	$0 < I_L \leq 0,25$
тугопластичные	$0,25 < I_L \leq 0,5$
мягкопластичные	$0,5 < I_L \leq 0,75$
текучепластичные	$0,75 < I_L \leq 1$
текучие	$I_L > 1$

Таблица 8.8. Подразделение илов по коэффициенту пористости

Ил	Коэффициент пористости
Супесчаный	$e \geq 0,9$
Суглинистый	$e \geq 1$
Глинистый	$e \geq 1,5$

Среди пылевато-глинистых грунтов необходимо выделять грунты, проявляющие специфические неблагоприятные свойства при замачивании: просадочные и набухающие. К просадочным относятся грунты, которые под действием внешней нагрузки или собственного веса при замачивании водой дают осадку (просадку), и при этом относительная просадочность $\varepsilon_{sl} \geq 0,01$. К набухающим относятся грунты, которые при замачивании водой или химическими растворами увеличиваются в объеме, и при этом относительное набухание без нагрузки $\varepsilon_{sw} \geq 0,04$.

Почвы – это природные образования, слагающие поверхностный слой земной коры и обладающие плодородием. Подразделяют почвы по гранулометрическому составу так же, как крупнообломочные и

песчаные грунты, а по числу пластичности – как пылевато-глинистые грунты.

К нескальным искусственным грунтам относятся грунты, уплотненные в природном залегании различными методами (трамбованием, укаткой, виброуплотнением и др.), насыпные и намывные. Они подразделяются в зависимости от состава и характеристик состояния так же, как и природные нескальные грунты.

8.2.3. Водопроницаемость грунтов

Водопроницаемость грунтов, выражаемая *коэффициентом фильтрации* – одно из важнейших свойств, определяющих их пригодность для тела плотины, противофильтрационных устройств, дренажей и других конструктивных элементов.

Фильтрация воды возможна через любой конструктивный элемент грунтовой плотины, а также в ее основании и берегах. Как известно, скорость фильтрации жидкости через грунт, являющийся пористой средой, в общем случае определяется уравнением Смрекера:

$$V = k_{\phi} \frac{I}{m}, \quad (8.1)$$

где k_{ϕ} – коэффициент фильтрации;

I – градиент напора;

m – определяет режим фильтрационного потока и может изменяться в диапазоне $1 \leq m \leq 2$ в зависимости от типа грунта.

При $m \approx 1,0-1,1$ фильтрационный поток можно считать ламинарным, а уравнение (8.1) переходит в уравнение Дарси:

$$V = k_{\phi} I. \quad (8.2)$$

Такой режим фильтрации имеет место в мелкозернистых (глинистых и песчаных), а также в некоторых крупнообломочных грунтах (гравийно-песчаных и даже плотных гравийно-галечниковых).

8.3. Бетонные и железобетонные работы в гидротехническом строительстве

Бетонные и железобетонные работы при строительстве гидротехнических сооружений в рыбоводных хозяйствах составляют значительный объем работ по их возведению. Бетонные гидротехнические сооружения полностью или частично находятся в воде. В результате

этого бетон подвергается выщелачиванию, химическому воздействию пресных и агрессивных вод, а также механическому истиранию наносами. Кроме того, бетонные сооружения попеременно промерзают и оттаивают, что может привести к их разрушению. Для того чтобы избежать нарушений работы бетонных и железобетонных сооружений в сложных условиях эксплуатации, бетон для таких сооружений должен быть водонепроницаемым, морозостойким, водостойким, с пониженным тепловыделением. Таким требованиям отвечает гидротехнический бетон различных марок: 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600.

Бетон – искусственный строительный материал, состоящий из вяжущего вещества (цемент, шлаковые вяжущие), воды и заполнителей.

Железобетон – искусственный строительный материал, полученный в результате соединения бетона со стальной арматурой. Основными достоинствами железобетона являются его долговечность и способность легко принимать любую форму

При строительстве рыбоводных объектов для различных гидротехнических сооружений применяют сборный бетон и железобетон. Чаще применяют сборные железобетонные конструкции в сочетании с монолитным бетоном. Применение сборного железобетона целесообразно при большом количестве однотипных гидротехнических сооружений.

Железобетонные конструкции классифицируются по следующим признакам:

1) по способу армирования – предварительно напряженные и с обычным армированием;

2) по массе – крупноразмерные массой более 5 т и небольшой массы;

3) по строению – сплошные или пустотелые.

Конструкции подразделяются: на коробчатые блоки, сваи, трубы, плиты-оболочки плотин, дамб и каналов и другие детали.

При возведении гидротехнических сооружений рыбоводных хозяйств каменная кладка применяется при небольшом объеме работ или в том случае, если камень является местным строительным материалом.

Из естественных каменных материалов используют бутовый камень, щебень, гравий и штучный камень, из искусственных каменных материалов – кирпич и бетонные камни.

Естественные камни, используемые для строительства гидротехнических сооружений рыбоводных хозяйств, должны обладать достаточной прочностью и морозостойкостью. При насыщении водой прочность камня не должна значительно уменьшаться. Такими свойствами

обладают базальты, диориты, диабазы с временным сопротивлением сжатию 300–400 МПа, а также граниты, гнейсы и порфиры с временным сопротивлением сжатию 140–250 МПа. У известняков и некоторых видов песчаников прочность при насыщении водой значительно уменьшается. Строительные свойства применяемых камней испытываются в лаборатории.

Из искусственных камней в основном используют: обыкновенный, дырчатый, дорожный (клинкер) и огнеупорный кирпич, который изготавливают из глин путем формирования и последующего обжига. Силикатный кирпич изготавливают из смеси кварцевого песка и извести, формируют на прессах и пропаривают в автоклавах для получения необходимой прочности. Шлакобетонные, гипсобетонные камни и грунтоблоки изготавливают на основе вяжущих веществ с последующим твердением на воздухе.

Из искусственных камней при строительстве рыбхозов наиболее часто применяют кирпич.

Обыкновенный красный кирпич размером 250×120×65 мм в зависимости от предела прочности на сжатие изготавливают пяти марок: 75, 100, 125, 150 и 200.

Силикатный кирпич (белый) изготавливают трех марок: 75, 100 и 150. Для подземной кладки и для элементов, подверженных систематическому увлажнению и замораживанию, силикатный кирпич не используют.

8.4. Каменные работы при креплении откосов плотин, укладке фильтров и дренажей, подготовке под бетонные и железобетонные крепления

Для крепления откосов плотин обычно применяют каменные материалы из изверженных, осадочных и метаморфических пород, которые в зависимости от требуемой долговечности покрытия должны обладать плотностью $\gamma_k > 2,4\text{--}2,9 \text{ т/м}^3$, пределом прочности в водонасыщенном состоянии $R_c \geq 40\text{--}50 \text{ МПа}$ и маркой по морозостойкости $F \geq 50\text{--}150$. Крепление откосов плотин в виде каменной наброски выполняется из несортированного камня. Наброска располагается на однослойной или многослойной подготовке при толщине, иногда достигающей 60 см. На нижней границе каменно-набросного покрытия предусматривают каменный упор в виде банкета, железобетонный упор в виде массива либо надежный упор иной конструкции, сопряга-

емый в необходимых случаях с облегченным покрытием дна или нижней части откоса для защиты их от размыва и нарушения устойчивости основания самого покрытия.

Дренажи выполняются из грунтового материала с повышенным коэффициентом фильтрации по отношению к контактирующему с ним грунту: гравию, гальке, гравийно-галечниковой смеси, – а также крупных песков. В крупнопористом дренаже (камень или гравийно-галечниковая смесь) частицы грунта могут попасть в поры дренажа под воздействием фильтрационного потока. Для предупреждения такого перемещения по линии контакта грунта с дренажем укладывают обратные фильтры, располагая их в один или несколько слоев.

В многослойных обратных фильтрах частицы грунта последующего слоя будут больше частиц предыдущего слоя. Этим обеспечивается непроникновение мелких частиц в более крупные поры последующего слоя под воздействием фильтрационного потока.

Обратный фильтр выполняет функцию прослойки, сопрягающей крупнообломочный (щебеночный) или гравийный материал дренажа с защищаемым грунтом основания. Он также предохраняет грунт основания от опасного развития суффозии, устраняет возможность его разрушения деформациями контактного выпора и вместе с дренажем и водопроницаемыми плитами крепления рисбермы является пригрузкой, обеспечивающей местную устойчивость грунта основания в нижнем бьефе против выпора.

В зависимости от способа производства работ минимальную толщину слоя фильтра принимают:

- 1) при ручной укладке, разравнивании и уплотнении – 10 см;
- 2) механической укладке, разравнивании и уплотнении – 20 см;
- 3) отсыпке фильтра в текущую воду – не менее 75 см (для однослойного фильтра) и не менее 50 см (для каждого последующего слоя двухслойного и с большим количеством слоев фильтра).

Для крепления верхних откосов плотин головных и нагульных прудов используют в основном монолитные и сборные железобетонные плиты. Для предотвращения вымыва грунта под некоторыми видами покрытий откосов плотин устраивают специальную подготовку. Плиты укладывают на подготовку из гравия или щебня толщиной не менее 10 см. После укладки на откос отдельные плиты замоноличивают в карты. Плиты в картах соединяют между собой путем сварки выпусков рабочей арматуры, а отверстия в местах соединений заполняют бетоном.

Для крепления откосов иногда применяют конструкции из сборных сквозных плит с отверстиями различной формы и открытыми швами. Покрытия из таких плит со сквозными отверстиями укладывают на сплошном обратном фильтре, фракции которого не должны допускать выноса частиц через отверстия и швы.

Укрепляют откосы монолитными железобетонными плитами только после полной стабилизации откоса плотины.

8.5. Полимерные материалы

В настоящее время все большее распространение находят полимерные материалы (полимерные трубы, полимерные пленки, битумно-полимерные мастики, полимерцементные бетоны, элементы и детали гидротехнических сооружений из пластмасс).

Из полиэтилена и поливинилхлорида изготавливают трубы, пленки и листы.

Полиэтиленовые трубы устойчивы к коррозии, удобны в монтаже, характеризуются небольшими потерями на шероховатость. Вследствие высокой пластичности их можно наматывать на барабаны и транспортировать в таком виде.

Полиэтиленовые трубы изготавливают трех типов: легкого (с давлением 0,25 МПа), среднего (с давлением 0,6 МПа) и тяжелого (с давлением 1,0 МПа).

Винилпластовые (полихлорвиниловые) трубы, в отличие от полиэтиленовых, могут прочно склеиваться, причем прочность склеенных соединений выше, чем сварных.

Полиэтиленовая пленка – прекрасный материал для гидроизоляции, так как не пропускает влагу, не подвергается гниению и не разрушается бактериями.

Битумно-полимерные мастики, применяемые для гидроизоляционных работ, представляют собой сочетание битума и полимерных материалов, придающих мастике эластичность и трещиностойкость.

Полимерные бетоны, применяемые для гидроизоляционных работ, готовят из цемента с добавками полимеров, придающих бетону повышенную водонепроницаемость, прочность, трещиностойкость и износостойкость. В качестве добавок используют полистирол, кремнийорганические жидкости и др.

8.6. Конструкции гидротехнических сооружений из полимерных материалов

В настоящее время полимерные материалы получили широкое распространение в гидростроительстве.

Полимерные пленки широко применяют для устройства экранов против фильтрации воды из водоподающих каналов. Противофильтрационные пленочные экраны устраивают также в земляных плотинах, участках ложа водохранилищ, расположенных на водопроницаемых грунтах.

В рыбоводстве применяют полимерные материалы при строительстве различных гидротехнических сооружений. Разработаны конструкции донных водоспусков, дюкеров, акведуков и других сооружений из полиэтиленовых листов и труб, а также конструкции этих сооружений, выполненные из сочетания элементов из полимерных материалов с элементами из железобетона или асбоцемента.

Соединение элементов из полимерных материалов осуществляют преимущественно сваркой. Полихлорвиниловые трубы можно склеивать, применяя специальный клей.

Для соединения полихлорвиниловых пленок применяют сварку токами высокой частоты.

Для соединения полиэтиленовых пленок применяют различные методы сварки: термоимпульсивную, тепловую контактную, тепловую горячим газом или воздухом, ультразвуками и токами высокой частоты.

9. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРУДОВЫХ РЫБОВОДНЫХ ХОЗЯЙСТВ

9.1. Организация службы эксплуатации, наблюдение и уход за гидротехническими сооружениями

Техническую эксплуатацию прудов (водохранилищ) и гидротехнических сооружений осуществляют рыбоводные предприятия, а также предприятия районных территориальных мелиоративных систем, у которых указанные сооружения находятся на балансе. Служба эксплуатации осуществляет свою деятельность в контакте с государственными и местными органами управления в области охраны окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

Основными направлениями деятельности службы эксплуатации являются:

1) обеспечение заданного режима наполнения и сработки водохранилищ и подачи требуемого количества воды водопотребителям в соответствии с графиком потребления;

2) обеспечение безаварийного пропуска паводкового расхода;

3) систематический надзор за состоянием сооружений;

4) своевременное выявление повреждений и наступления аварийного состояния сооружений, определение объемов и сроков проведения необходимых ремонтных работ;

5) проведение мероприятий по подготовке сооружений к зимней эксплуатации;

6) регулярное измерение уровней воды в бьефах, расхода воды, подаваемой потребителям, и пропуска в нижний бьеф;

7) выполнение периодических инструментальных измерений на сооружениях, оборудованных контрольно-измерительной аппаратурой (КИА);

8) текущий ремонт сооружений;

9) ведение журналов состояния сооружений, оборудования и ремонтных работ;

10) ведение паспорта пруда (водохранилища);

11) определение необходимости проведения специальных наблюдений и исследований за состоянием сооружений;

12) поддержание надлежащего санитарного состояния, предотвращения загрязнения воды химическими, ядовитыми веществами, животноводческими и бытовыми стоками.

Эксплуатационные организации несут полную ответственность за сохранность, техническое и санитарное состояние прудов и сооружений на них в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

Количество обслуживающего персонала прудов назначается специальным решением водопользователя (директора рыбхоза). Этим решением утверждаются также производственные и должностные инструкции, определяющие права, обязанности и ответственность каждого работника службы эксплуатации.

Началом постоянной эксплуатации прудов является дата утверждения акта государственной комиссии по приемке сооружений в постоянную эксплуатацию. Приемка в эксплуатацию прудов производится после наполнения их до отметки НПУ и пропуска первого паводка через сооружения.

Государственный надзор за выполнением требований по эксплуатации прудов осуществляется в соответствии с Положением о государственном надзоре за выполнением технических требований по экс-

плуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений.

Организация, осуществляющая эксплуатацию прудов, должна иметь следующую документацию: архитектурный и строительный проекты; исполнительные чертежи по всем сооружениям; акты приемки скрытых работ; акты приемки пусковых испытаний отдельных сооружений, оборудования и КИА; акты приемки сооружений в постоянную эксплуатацию; генплан пруда (водохранилища); данные испытаний контрольных образцов бетона, арматуры, грунтов; ведомость постоянных реперов, акты геодезической разбивки сооружений; паспорта прудов (водохранилищ), отдельных сооружений.

Паспорт водохранилища (пруда) составляется проектной организацией и включает все сведения, определяющие назначение, параметры, рабочий режим водохранилища, и входящие в его состав сооружения. К паспорту прилагается генплан водохранилища.

При сдаче водохранилища в постоянную эксплуатацию паспорт приводится в соответствие с исполнительными чертежами, дополняется копиями актов на скрытые работы и записями авторского надзора. В паспорт вносятся также сведения о всех отступлениях от проекта, допущенных при строительстве, с привязкой к пикетажу, осям, отметкам сооружений. Все данные, вносимые в паспорт, должны проверяться и подтверждаться соответствующими документами.

Ответственность за правильное ведение паспортов и приложенных к ним документов возлагается на главного инженера службы эксплуатации.

Эксплуатационные организации должны иметь следующую техническую документацию:

- 1) должностные инструкции по эксплуатации сооружений и устройств;
- 2) правила техники безопасности и производственной санитарии;
- 3) правила технической эксплуатации сооружений и оборудования;
- 4) журналы регистрации ознакомления эксплуатационного персонала с правилами технической эксплуатации сооружений, должностными и техническими инструкциями и правилами техники безопасности и производственной санитарии.

Эксплуатационный персонал должен быть ознакомлен с основами водного и земельного законодательства Республики Беларусь.

Служба эксплуатации должна вести следующую текущую документацию (журналы):

- 1) наблюдений за уровнем воды в пьезометрах;

- 2) наблюдений за состоянием сооружений;
- 3) наблюдений за состоянием акватории водоохраной зоны;
- 4) учета работ по ремонту сооружений;
- 5) манипуляции затворами сооружений;
- 6) измерения расходов фильтрации.

Регулярное наблюдение за состоянием гидротехнических сооружений позволяет своевременно выявлять нарушения их работы. Нарушения нормальной работы сооружений могут быть различными:

1) совсем незначительные – неглубокие трещины в бетоне, небольшая фильтрация, повреждение креплений откосов плотин, дамб и каналов, которые легко исправить;

2) значительные – разрушение флютбета вследствие размыва рисбермы, большой вымыв грунта из плотины в местах сопряжения ее с сооружениями и пр., которые могут привести к аварии сооружения и всего рыбоводного хозяйства.

Любые нарушения работы сооружения должны быть вовремя обнаружены и устранены, так как и мелкое повреждение может превратиться в значительное.

При обнаружении какого-либо дефекта необходимо осуществлять срочный ремонт сооружения. Во избежание повреждений следует проводить предупредительные мероприятия, которые задержат появление и развитие того или иного повреждения.

Регулярные наблюдения проводят:

1) за уровнями воды в верхнем и нижнем бьефах, в залитых прудах и в водоснабжающей системе;

2) расходами воды через водосбросные, водозаборные и водо-выпускные сооружения;

3) фильтрацией через тело плотины, дамб, в местах сопряжения плотин и дамб с другими сооружениями и в основании плотин и дамб;

4) размывом русла в верхнем и нижнем бьефах;

5) разрушением креплений откосов плотин, дамб, каналов;

6) появлением трещин в бетонных частях сооружения;

7) деформациями сооружений или отдельных их частей.

Наблюдения и измерения уровней проводят ежедневно. Остальные наблюдения проводят через определенные промежутки времени. Следует обязательно осматривать сооружения весной перед паводком и после него для выявления повреждений, нанесенных им, давать оценку этих повреждений и определять объем ремонтных работ. В осенний период при подготовке сооружений к зимнему периоду эксплуатации необходимо снова осматривать сооружения.

Все данные об осмотре сооружений заносят в паспорт сооружения. В летний период, когда все пруды в определенное для них время заполнены водой, проводятся мелиоративные мероприятия: выкашивание жесткой растительности, при появлении славин удаление их из водоема. В зимний период, когда эксплуатируются одни зимовальные пруды, необходимо уделять внимание элементам водоподводящей системы (водоподводящим каналам, лоткам, трубопроводам); не допускать промерзания воды на полную глубину в транспортирующих воду сооружениях, для чего в особо суровые зимы их покрывают щитами из досок с присыпкой снегом, а также не допускать течи труб водовыпусков в зимовальные пруды во избежание образования наледей, очищать аэрационные столики ото льда для сохранения необходимой величины перепада.

У сооружений (водосбросные и водозаборные сооружения, донные водоспуски) откалывают лед во избежание нарушения их работы. В зимний период производят очистку прудов от ила.

На прудах и водохранилищах проводят наблюдения за уровнями воды, температурой, химическим составом, фильтрацией, ледовым и ветровым режимами, переформированием берегов, зарастанием чаши, санитарным состоянием водоохраных зон и прибрежных полос и др.

Наблюдения за уровнями воды производят по водомерным рейкам, установленным в верхнем и нижнем бьефах сооружений. Абсолютные отметки уровня воды определяют с точностью до 1 см. Результаты замеров заносят в журнал. По данным наблюдений строят графики колебаний уровней воды по всей площади водной поверхности пруда. Пункты и частота отбора проб воды для определения химического состава устанавливаются в зависимости от местных условий и назначения пруда. Отбор проб производится на расстоянии 20–30 м от уреза воды в слоях: поверхностном и природном. Требования к качеству воды и охране прудов регламентируются ОСТ 15-282–83.

Для определения возможных последствий навалов ледяных полей на откосы земляной плотины и на сооружения проводят наблюдения за состоянием и толщиной льда на водохранилище и по результатам наблюдений строят график измерения толщины ледяного покрова.

Наблюдения за высотой ветровых волн и наката проводят по рейкам, укладываемым на верховом откосе плотины. Данные заносят в журнал.

Журналы наблюдений за переработкой берегов, оползневыми явлениями составляются в произвольной форме – указывается дата, вре-

мя наблюдений, глубина воды в местах измерения, продолжительность наблюдений.

Визуальные наблюдения за состоянием гидротехнических сооружений следует проводить путем регулярных обходов и осмотров сооружений. Все нарушения в режиме их работы фиксируются на месте, наносятся на планах, разрезах с описанием, зарисовками, обмерами, фотографированием. В журналах указывается дата обнаружения деформаций: местонахождение, номер пикета, размеры и т. д. Организация наблюдений возлагается на работника, ответственного за эксплуатацию пруда (водохранилища). Проведение осмотра возлагается на наблюдателей (обходчиков-ремонтёров). Во время обходов наблюдатель осматривает все сооружения и замеченные дефекты наносит на схемы сооружений, кроме этого он оконтуривает участки деформаций и повреждений. При обнаружении повреждений он обязан сообщить ответственному за эксплуатацию водохранилища. Если во время наблюдений за сооружениями не обнаружено дефектов в их состоянии, об этом также делается запись в журнале наблюдений.

В процессе наблюдений за грунтовой плотинной необходимо следить:

- за общим состоянием гребня, берм, откосов, просадками, оползнями и другими деформациями на откосах;
- состоянием крепления верховых и низовых откосов плотины;
- выходами фильтрационных вод на откосах сооружений и в зонах примыкания плотины к берегам;
- состоянием и работой дренажных устройств.

К деформациям облицовок креплений откосов относятся:

- а) смещение бетонных плит или крепления:
 - от волновых воздействий;
 - от давления грунтовой воды;
 - от подвижек льда, разрушения каменной наброски;
- б) вымыв фильтрационных материалов из-под плит;
- в) разрушения от навала крупных плавающих предметов (бревен, коряг).

Фильтрация через тело плотины, основание и в обход ее определяется мокрыми пятнами, просачиванием, протечками, грифонами, свищами, ключами в пределах низового откоса плотины, в местах примыкания его к берегам и сооружениям. При обнаружении выноса фильтрационным потоком грунта следует выяснить причину этого или привлечь специалистов НИИ для выяснения причин. В случае интен-

сивной фильтрации в сопряжениях земляной плотины с бетонными сооружениями или через трещины в теле плотины, при угрозе прорыва земляной плотины принимаются срочные меры по мобилизации людских и материальных ресурсов.

9.2. Особенности эксплуатации прудов

При эксплуатации рыбоводных прудов и сооружений необходимо соблюдать общие требования, установленные Правилами эксплуатации прудов и малых водохранилищ и другими нормативными документами.

Особенностями эксплуатации рыбоводных прудов являются: выполнение дополнительных мероприятий, направленных на профилактику инфекционных и инвазионных болезней рыб; проведение комплекса общих рыбоводно-мелиоративных и ветеринарно-санитарных мероприятий, а также выполнение ветеринарно-санитарных требований и соблюдение всех пунктов требований, изложенных в документе «Правила эксплуатации прудов и малых водохранилищ».

Сооружения для выпуска воды следует оснащать устройствами, препятствующими проникновению в пруды при их заполнении сорной рыбы и организмов – переносчиков болезней рыб. Сооружения всех прудов должны обеспечивать независимое водоснабжение, а также быстрый сброс воды из каждого пруда для проведения оздоровительных мероприятий в случае возникновения инфекционных и инвазионных болезней рыб.

Для поддержания необходимого газового режима требуется обеспечивать водообмен в прудах, интенсивность которого зависит от вида выращиваемой рыбы, климатических факторов и содержания кислорода в воде.

Нерестовые, летне-маточные, карантинные, выростные и нагульные пруды следует оставлять на зиму без воды для промораживания ложа. После осеннего опорожнения и вылова рыбы на заболоченных и неосушаемых участках ложа нагульных и выростных прудов следует проводить ежегодную дезинфекцию и дезинвазию негашеной или хлорной известью.

На повышенных участках ложа выростных и нагульных прудов при достаточном осушении и возможности прохода по ним техники следует предусматривать неглубокую вспашку или культивацию весной и посев вико-овсяной смеси с уборкой ее до пересадки мальков из нерестовых прудов.

Зимовальные и нерестовые пруды оставляют на лето без воды для просушивания. Для предупреждения их зарастания следует предусматривать двух-трехкратное выкашивание водной растительности и ее уборку, а также культивацию ложа.

При выводе из использования выростных прудов на весь сезон в них производят обработку известковым раствором. При дезинфекции прудов хлорной известью после обработки проводят рыхление почвы железной бороной или граблями. На протяжении всего лета пруды содержат сухими, растительность выкашивают, а ложе боронуют.

Все виды дезинфекции, дезинвазии, лечебно-профилактической обработки рыб и других ветеринарно-санитарных мероприятий оформляют актом.

9.3. Повреждения грунтовых гидротехнических сооружений и их устранение

В грунтовых плотинах и дамбах наиболее часто встречаются следующие повреждения:

1) избыточная фильтрация, которая возникает в плоскости основания плотины или дамбы вследствие плохой подготовки основания при строительстве.

Уменьшить фильтрацию можно путем устройства глиняного экрана, замка и понура с напорной стороны сооружения и устройства дренажа с низовой стороны;

2) оползание откосов – происходит при их большом уклоне, не соответствующем характеру грунта, или при выходе на низовой откос фильтрационной воды, сопровождающемся суффозией.

Для уменьшения этого дефекта поверхность оползающего откоса очищают от дерна, разрыхляют и досыпают с утрамбовкой так, чтобы уклон откоса соответствовал характеру грунта. При большой величине подсыпки поверхность откоса необходимо предварительно обработать в виде зубцов. В том случае, когда оползни вызваны фильтрацией, до подсыпки необходимо заложить продольный дренаж с отводом воды поперечными дренами за пределы откоса. Для устранения выхода фильтрационной воды на откос можно произвести досыпку откоса с устройством бермы. После досыпки откоса производят его укрепление;

3) трещины в грунтовых плотинах и дамбах – образуются вследствие их неравномерной осадки.

Сквозные трещины прорезают траншеями, которые заполняют слоями увлажненного и уплотненного грунта. Несквозные трещины

заливают жирным суглинком или заполняют влажным суглинком с утрамбовкой. Обнаруженные ходы землероев заделывают раствором глины с цементом;

4) недостаточный сухой запас высоты гребня плотины или дамбы над уровнем воды в пруду – наблюдается вследствие плохой утрамбовки грунта насыпи или недостаточного запаса на осадку.

В этом случае гребень плотины или дамбы досыпают грунтом с утрамбовкой до необходимой отметки;

5) разрушения и деформации откосов волнобоем – наблюдаются вследствие недостаточного крепления.

На разрушенные места откосов необходимо подсыпать грунт с уплотнением и планировкой, а затем устроить надежное крепление;

б) нарушение нормальной работы дренажа в грунтовых плотинах – происходит вследствие засорения дренажных труб, заилиения фильтрующей обсыпки и пр. Наблюдается просадка грунта, заилиение смотровых колодцев и застой воды в них.

В этом случае необходимо прочистить дренажные трубы и промыть фильтрующую обсыпку. Если дренаж расположен глубоко в теле сооружения и невозможна его прочистка, то устраивают новую, более надежную дренажную систему.

К повреждениям водоснабжающих и сбросных систем в основном относятся: размыв откосов и дна каналов, оползни откосов, заилиение и зарастание каналов;

7) размыв откосов каналов – происходит вследствие увеличения скоростей течения в канале и несоответствия крепления каналов этим скоростям.

При размыве канала на всем его протяжении вследствие большого продольного уклона для ликвидации размыва устраивают более прочную облицовку или делают перепады.

Размыв откосов каналов наблюдается на закруглениях трассы канала вследствие увеличения скоростей у вогнутого берега. Для предотвращения разрушения откос канала в этих местах покрывают соответствующим креплением.

Если откос канала размывается стекающими на него поверхностными водами, их задерживают путем устройства нагорных каналов или кавальеров.

Оползание откосов каналов устраняют подчисткой откоса до уклона, допустимого для данного вида грунта.

Заилиение каналов устраняют путем регулярной подчистки, а зарастание – путем периодического выкашивания растительности.

При значительной фильтрации воды из каналов применяют глинизацию, кольматаж и устройство экранов из полимерных пленок.

9.4. Повреждения бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений и их устранение

В бетонных и железобетонных гидротехнических сооружениях по мере увеличения сроков их службы наблюдается образование трещин, увеличение пористости, а также выщелачивание свободной извести, что может привести к фильтрации и потере прочности этих сооружений.

Трещины в бетонных сооружениях появляются в результате неравномерной осадки сооружений, неравномерного твердения бетона, неодинакового температурного режима отдельных частей сооружения и пр.

Для прекращения фильтрации воды по трещинам их необходимо зацементировать под давлением. Цементацию производят через скважины, пробуренные в направлении, пересекающем трещины.

При наличии пористого бетона фильтрацию воды устраняют путем устройства экранов.

Трещины в бетонных конструкциях, образовавшиеся в результате неравномерного температурного режима отдельных частей, можно заделывать битумом или каким-либо другим эластичным материалом.

При большом количестве трещин, расположенных близко одна от другой, на поверхность сооружения накладывают маски в виде железобетонных плит, стальных листов, защищенных от коррозии бетоном или асфальтобитумными покрытиями.

При устранении дефектов бетонных поверхностей могут быть использованы полимеры для заполнения трещин и укладки изоляции на поврежденной поверхности между старым и новым бетоном.

Для заделки трещин целесообразно применять полимеры, которые склеиваются с бетоном.

При ремонте бетонных сооружений можно использовать полимерцементные бетоны, которые наносят слоем в несколько миллиметров на поврежденную бетонную поверхность.

После пропуска паводка и ледохода через водосбросные сооружения на устоях и опорах могут появиться выбоины, которые необходимо очистить, произвести насечку поверхности и забетонировать. После бетонирования выбоины ее следует полить водой и покрыть влажными опилками.

Нарушение швов в бетонных сооружениях может привести к сильной фильтрации воды, поэтому необходимо сразу же восстановить водонепроницаемость нарушенного шва.

Иногда вследствие неисправности отдельных частей может быть повреждена вся бетонная конструкция. Так, при отсутствии противofильтрационного покрытия водопроводящей части донного водоспуска происходит фильтрация вдоль нее, что приводит к просадке дамбы и выходу из строя всего сооружения. В таких случаях приходится вскрывать дамбу и восстанавливать все сооружение.

На водоснабжающей системе нарушения стыков между звеньями железобетонных и асбестоцементных труб могут возникнуть вследствие подвижности отдельных звеньев, поэтому необходимо следить за устойчивостью опор трубопроводов.

9.5. Уход за металлическими конструкциями и оборудованием

Гидротехнические водопропускные сооружения имеют в своем составе следующие основные виды металлоконструкций и оборудования:

- сороудерживающие решетки;
- рабочие и ремонтные затворы различной конструкции;
- закладные части и направляющие решеток и затворов;
- металлические трубопроводы, сифоны, металлические облицовки;
- служебные мостики, площадки, лестницы, перильные ограждения и др.

Все металлические конструкции и механическое оборудование гидротехнических сооружений в процессе эксплуатации должны находиться под постоянным надзором, подвергаться периодическим ревизиям, профилактическим плановым ремонтам. Обнаруженные в процессе эксплуатации дефекты, повреждения или отклонения в работе механического оборудования устраняются силами обслуживающего персонала при текущем ремонте или включаются в план капитального ремонта.

Затворы рабочие и ремонтные считаются исправными, когда они при работе под напором не имеют перекосов и заметных деформаций, когда их движения совершаются плавно, а прилегание и посадка на порог исключают утечку воды. Периодически проверяется работа ходовых частей, соединений, передач, проводящих частей затворов и других механизмов.

Затворы, пазы, опорные и ходовые части должны регулярно очищаться от грязи, случайных предметов, а в зимнее время ото льда и снега.

Перед каждым рабочим подъемом или опусканием затворов необходимо осматривать механизмы, пазы и уплотнения.

При осмотрах и ремонтах затворов необходимо:

- 1) проверять сварные соединения;
- 2) проверять надежность затяжки болтовых соединений;
- 3) производить разбор и промывку деталей;
- 4) наносить новую смазку на трущиеся поверхности;
- 5) проверять состояние резины и металла в уплотняющих устройствах;
- 6) заменять износившиеся элементы новыми;
- 7) проверять состояние закладных частей, очищать их от грязи, продуктов коррозии, заваривать при необходимости раковины.

Участки с местными коррозионными повреждениями глубиной до 10 % толщины металла зачищаются и покрываются грунтовкой для защиты от коррозии.

Металлические части должны быть покрыты консервированной смазкой, а деревянные – антисептиком.

Металлические конструкции служебных мостиков, площадок, решетки, лестницы, перильные ограждения, металлические трубопроводы подлежат текущему надзору и профилактическому ремонту, при этом устраняются деформации металлоконструкций, вырубаются и завариваются вновь дефектные сварные швы.

Металлоконструкции периодически покрывают грунтовками для защиты от коррозии.

9.6. Техника безопасности

При эксплуатации гидротехнических сооружений, производственных прудов и водохранилищ должны соблюдаться правила техники безопасности, установленные для каждого вида работ действующими нормативными документами по технике безопасности и производственной санитарии.

Общее руководство по соблюдению правил техники безопасности осуществляет руководитель службы эксплуатации. Каждый работник службы эксплуатации обязан знать и выполнять правила техники безопасности на своем рабочем месте.

Основным нормативным документом, который регламентирует работу специалистов в рыбоводстве, являются Межотраслевые правила по охране труда при производстве товарной рыбы от 30 декабря 2008 г. (Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2009. – № 8/20595), которые действуют с 2009 г. При производстве товарной рыбы также должны соблюдаться требования Кодекса внутреннего водного транспорта Республики Беларусь от 24 июня 2002 г. (Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2002. – № 76. – 2/867), Водного кодекса Республики Беларусь от 15 июня 1998 г. (Ведамасці Нацыянальнага сходу Рэспублікі Беларусь. – 1998. – № 33. – Ст. 473), Межотраслевых общих правил по охране труда, утвержденных постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 3 июня 2003 г. № 70 (Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2003. – № 87. – 8/9818), других нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов, содержащих требования по охране труда.

При производстве товарной рыбы работодателем (директором рыбхоза) должны быть предусмотрены меры по предупреждению возможного воздействия на работников различных категорий следующих вредных и (или) опасных производственных факторов:

а) физические факторы:

- движущиеся транспортные средства (машины, механизмы);
- внешние метеорологические факторы (ветер, осадки и др.);
- подвижные части производственного оборудования;
- повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека;

б) биологические факторы:

- органические вещества растительного и животного происхождения;
- биологически активные кормовые добавки;

в) психофизические факторы:

- физические перегрузки;
- нервные психические перегрузки (монотонность труда).

Производственные участки и транспортные средства рыбоводного хозяйства должны быть обеспечены аптечками первой помощи, укомплектованными в соответствии с постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 15 января 2007 г. № 4 «Об утверждении перечней вложений, входящих в аптечки первой медицинской помощи, и порядке их комплектации» (Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2007. – № 68. – 8/15904).

В целях обеспечения здоровых и безопасных условий труда работников в рыбхозе для каждого производственного участка разработаны паспорта санитарно-технического состояния условий и охраны труда в соответствии с Инструкцией по проведению паспортизации санитарно-технического состояния условий и охраны труда, утвержденной постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь от 4 февраля 2004 г. № 11 (Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2004. – № 36. – 8/10592).

Наибольшую опасность при эксплуатации плотин, дамб и других гидротехнических сооружений представляют разрушение их и последующий неконтролируемый выход большого количества воды из водохранилищ (головного пруда) и производственных прудов, что приводит к несчастным случаям, авариям, подтоплениям территории, зданий и сооружений, потерям выращиваемой рыбы. Эффективную эксплуатацию указанных сооружений обеспечивают организацией их постоянного осмотра. С этой целью приказом директора рыбхоза назначаются ответственные лица за проведение и периодичность осмотров.

К обслуживанию и ремонту гидротехнических сооружений могут допускаться только лица, знающие устройства и правила эксплуатации этих сооружений, прошедшие инструктаж по охране труда. При проведении обходов и технических осмотров гидротехнических сооружений контролируют:

- общее состояние поверхности крепления, появление на ней трещин, деформаций или других нарушений прочности;
- появление подмыва дамб течением или волнением;
- возникновение фильтрации и выноса грунтов из основания крепления;
- просадки и выпучивания откосов гребня дамбы;
- появление отдельных сосредоточенных очагов фильтрации на поверхности внешнего откоса или в местах сопряжения земляного тела дамбы с другими сооружениями;
- появление нор землеройных животных;
- состояние растительности на откосах и гребне дамбы.

При обнаружении промоин, оползней, просадки, выпучивания и вымыва грунта, разрушения крепления откосов устраняют причины их появления и своевременно ликвидируют. Обнаруженные в теле земляного сооружения ходы землеройных животных должны ликвидироваться. При работе механизмов на откосах плотины или дамбы принимаются меры против их сползания и опрокидывания.

В случае застоя воды на гребнях земляных сооружений необходимо организовать отвод ее.

Не допускается рытье шурфов и котлованов в теле земляных сооружений или в непосредственной близости от них.

При необходимости опорожнения и наполнения прудов их производят такими расходами воды, которые не вызовут опасных деформаций в теле плотины и обеспечат устойчивость откосов и целостность крепления и сооружений, поэтому во время опорожнения и наполнения прудов необходимо вести постоянный надзор за состоянием всех элементов гидротехнических сооружений. До окончания наполнения водоема перемещение работников на плавательных средствах по нему не допускается.

Во время работ в чаше производственных и головного прудов, по берегам и напорному откосу плотины работников обеспечивают спасательными средствами, а в местах повышенной опасности необходимо устанавливать защитные ограждения.

При эксплуатации гидротехнических сооружений (водосбросов, шлюза-регулятора, рыбоуловителя), когда по условиям работы требуется маневрирование затворами, поднятие щитов, шандоров, необходимо обеспечить без перекосов и заклиниваний их свободное движение в пазах. Для увеличения усилия при подъеме или опускании затворов не допускается применение дополнительных устройств (ключей, рычагов, труб), а при установке секции ремонтных шандоров в пазы запрещается направлять их руками. Применяемые для этого рычажно-реечные подъемники должны иметь устройства, которые исключают самопроизвольное опускание щитов или затворов при снятии усилия с рычага или рукояток подъемника. Если опускание или подъем затворов осуществляются с помощью лебедки с ручным приводом, то для этого следует использовать приводной механизм, который исключает возможность произвольного опускания затвора при движении в ту или иную сторону. При подъеме или опускании затворов нахождение под ними работников категорически воспрещается. После окончания маневрирования уровнями воды с помощью рукоятки управления механизмами подъемников или лебедок последние снимают и сдают на хранение ответственному лицу по приказу руководителя организации.

У входа в дюкеры во время их опорожнения или наполнения устанавливают посты наблюдения за состоянием затворов на входе в сооружение.

Служебные мостики плотин и переездные сооружения оборудуются перильными ограждениями, на которых в легкодоступных местах должны быть подвешены багры и спасательные круги, а на всех гидротехнических сооружениях должна быть надпись о запрете купания.

Не допускается совершение каких-либо работ на воде в непосредственной близости от открытого затвора (в зоне кривой спада).

Осмотр, ремонт и очистка сороудерживающих решеток на всасывающих линиях водоприемных оголовков водозаборных сооружений должны проводиться под руководством руководителя работ. При малой глубине (до 2 м) и слабом течении (до 0,6 м/с) эти виды работ должны осуществляться с плавающих средств или со служебных мостиков при остановленных насосах и с помощью машин по очистке решеток. Механизированная очистка сороудерживающих решеток может производиться и при работающих насосах. При больших глубинах ремонтные работы выполняют водолазы. Если на решетках задержан крупногабаритный сор (коряги или бревна), то его отводят от сороудерживающих решеток при помощи багров с прочными рукоятками со служебных мостиков. С временных и недостаточно укрепленных и огражденных рабочих мест запрещается очищать сороудерживающие решетки. При промывке решеток от мусора и отложений обратным током воды работники должны быть удалены на безопасное расстояние.

Очистку и ремонт водоприемных камер производят только после отключения канала, предварительно убедившись в том, что вода в камеру не поступает. При спуске в опорожненные камеры работники используют металлические стремянки (скобы) или специальные лестницы, с которых по мере спуска очищают стенки от наносов и водорослей.

При очистке канала или камеры отстойного бассейна необходимо убедиться в их полном опорожнении и принять меры, предупреждающие появление воды во время работы в них.

В период сброса льда и шуги через холостые водосбросы запрещено нахождение людей на льду водохранилища (головного пруда). Во время ледоходов и паводков на гидротехнических сооружениях организуют круглосуточное дежурство, дежурных обеспечивают средствами связи и спасательными средствами, а рабочее место должно быть освещено прожекторами. При работе на льду обязательно устройство настила из досок, работа должна выполняться группой людей, которые должны страховаться привязанными веревками. Все

работники и служащие службы эксплуатации обязаны уметь пользоваться весельными лодками, уметь плавать, знать правила спасения утопающих и уметь оказать первую помощь пострадавшим.

Допускаются к исполнению своих обязанностей работники после инструктажа по технике безопасности. При выполнении работ по ликвидации аварии ночью выделяются специальные лица, которые следят за выполнением правил техники безопасности.

10. ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ

Название «гидравлика» произошло от сочетания двух греческих слов: *hydor* – вода, и *aulos* – труба, желоб. Первоначально оно означало учение о движении воды по трубам, каналам. Со временем слово потеряло свой первородный смысл; гидравлика в настоящее время рассматривает законы равновесия и движения любых жидкостей и решает гораздо более широкий круг проблем. Это прикладная инженерная наука, опирающаяся на законы физики и теоретической механики, широко использующая математический аппарат и экспериментальные данные. В свою очередь, она сама служит теоретической основой для расчетов в гидросооружениях, водоснабжении, водоотведении, гидротранспорте, в промышленном рыбоводстве, мелиорации, водном транспорте.

10.1. Жидкость и ее основные физические свойства

Жидкость – это физическое тело, обладающее легкой подвижностью частиц, текучестью и способное изменять свою форму под воздействием внешней силы. Она занимает промежуточное фазовое состояние между газами и твердыми телами. Жидкости малосжимаемы, они не способны сохранять свою форму, а приобретают форму сосуда, в котором находятся. В отличие от газов жидкость не распространяется по всему объему, а имеет уровень свободной поверхности.

Значит, если говорить далее только о жидкости (например, воде), то она характеризуется двумя свойствами: малой сжимаемостью и текучестью. Жидкости бывают **капельные** и **аномальные**.

К **капельным** относятся те жидкости, которые при дроблении образуют капли и обладают свойством текучести, характеризуются большим сопротивлением сжатию, малым сопротивлением растягивающим и касательным усилиям и незначительной температурной расширяе-

мостью. К ним относятся: вода, нефть, жидкие нефтепродукты, расплавленный металл, молоко, спирт и др.

Аномальные жидкости – это жидкости, которые при дроблении образуют массы: суспензии, строительные растворы, краски, растворы для кормления сельскохозяйственных животных.

Жидкости, встречающиеся в природе, со всеми характерными для них физическими свойствами, это – *реальные жидкости*. *Идеальной жидкостью* называют воображаемую жидкость (модель), которая характеризуется абсолютной неизменяемостью объема и полным отсутствием вязкости, т. е. сил трения при ее движении.

Основными физическими (объемными) характеристиками жидкости являются плотность, удельный вес, коэффициенты объемного сжатия и температурного расширения, вязкость.

Плотностью ρ (кг/м³) называется масса жидкости m , заключенная в единице объема V :

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (10.1)$$

Плотность ρ во всех точках однородной жидкости одинакова.

Удельный вес γ (Н/м³) – это вес жидкости, заключенной в единице объема:

$$\gamma = \frac{G}{V}. \quad (10.2)$$

Согласно закону Ньютона $G = mg$. Тогда с учетом формулы (10.1) $m = \rho V$. Получим

$$\gamma = \rho g. \quad (10.3)$$

При небольших колебаниях температуры и давления объемы капельных жидкостей изменяются незначительно, поэтому в практических расчетах плотность принимают постоянной (табл. 10.1).

Таблица 10.1. Плотность некоторых жидкостей при температуре 20 °С и атмосферном давлении 0,1 МПа

Жидкость	ρ , кг/м ³	Жидкость	ρ , кг/м ³
Бензин	860–930	Масло минеральное	712–780
Спирт этиловый	998,2	Вода пресная	789
Керосин	1020–1030	Вода морская	790–860
Нефть	1260	Глицерин безводный	760–900
Топливо дизельное	13546	Ртуть	831–861

Плотность жидкостей уменьшается с повышением температуры. При этом вода представляет собой исключение: плотность ее в интервале температур от 0 до 4 °С возрастает, а далее при повышении температуры падает (табл. 10.2).

Таблица 10.2. Зависимость плотности пресной воды от ее температуры

$t, ^\circ\text{C}$	0	2	4	6	10	20	30	40
$\rho, \text{кг/м}^3$	999,87	999,97	1000	999,97	999,7	998,2	995,7	992,2

Это свойство обеспечивает **конвекцию** в водоемах, т. е. вертикальное перемещение частиц воды из-за их различной плотности, что является основной причиной неравномерного распределения температуры воды по глубине.

Плотность жидкостей возрастает с увеличением давления. Так, например, плотность воды при давлении 100 МПа равна 1046, а при 200 МПа – 1084 кг/м³.

Относительной плотностью ε_p называется отношение плотности рассматриваемой жидкости $\rho_{\text{ж}}$ к плотности пресной воды $\rho_{\text{в}}$ при температуре 4 °С:

$$\varepsilon_p = \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{в}}}. \quad (10.4)$$

Плотность пресной воды $\rho_{4^\circ\text{C}} = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Сжимаемость $E_{\text{ж}}$ – свойство жидкостей изменять объем при изменении давления – характеризуется **модулем упругости** (Па).

$$E_{\text{ж}} = \frac{\Delta p}{\Delta V / V}, \quad (10.5)$$

где Δp – изменение давления МПа;

ΔV – соответствующее ему изменение объема, м³;

V – объем жидкости при начальном давлении.

Константа $E_{\text{ж}}$ называется изотермическим модулем упругости, потому что определяется при постоянной температуре.

Сжимаемость жидкости характеризует ее упругие свойства и определяется также коэффициентом объемного сжатия β_c .

Коэффициент объемного сжатия β_c (м²/Н) является величиной, обратной модулю $E_{\text{ж}}$. Это число, выражающее относительное уменьшение объема жидкости при повышении давления на 1 атм.

$$\beta_c = \frac{1}{E_{\text{ж}}} = - \frac{1}{V} \frac{\Delta V}{\Delta p}. \quad (10.6)$$

Коэффициент температурного расширения $\beta_{\text{т}}$ – число, выражающее относительное увеличение объема жидкости при повышении температуры на 1 °С.

Вязкость – это свойство жидкости оказывать сопротивление относительному сдвигу ее слоев. При движении жидкости возникают силы взаимодействия между ее смежными слоями, называемые силами внутреннего трения или силами вязкости.

Вязкость жидкости обусловлена возникновением сил трения. Эти силы уравнивают внутренние касательные напряжения при ее движении.

$$\tau = \pm \mu \frac{du}{dn}, \quad (10.7)$$

где μ – абсолютная или динамическая вязкость жидкости;

du – разность скоростей между движущимися слоями жидкости;

dn – расстояние между слоями по нормали;

du / dn – градиент скорости в направлении, перпендикулярном течению.

$$\tau = \tau_0 \pm \mu \frac{du}{dn}. \quad (10.8)$$

Интенсивность изменения скорости по высоте потока характеризуется отношением du / dn и называется градиентом скорости.

Коэффициент пропорциональности μ зависит от свойств жидкости и называется динамической вязкостью. Измеряется μ в пуазах (П) или паскаль-секундах (Па · с).

$$1 \text{ П} = 0,1 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Значение динамической вязкости зависит от рода жидкости и ее температуры.

Отношение динамической вязкости жидкости к ее плотности называется относительной или кинематической вязкостью, которая определяется по формуле

$$V = \frac{\mu}{\rho}.$$

Она измеряется в стоксах (Ст) или квадратных метрах на секунду ($\text{м}^2/\text{с}$).

$$1 \text{ Ст} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}.$$

10.2. Силы, действующие в жидкости

Вследствие текучести (подвижности частиц) в жидкости действуют силы не сосредоточенные, а непрерывно распределенные по ее объему (массе) или поверхности. В связи с этим силы разделяются на массовые (объемные) и поверхностные.

Массовые силы, в соответствии со вторым законом Ньютона, пропорциональны массе жидкости или, если жидкость однородна, – ее объему. К ним относятся силы тяжести и силы инерции переносного движения, действующие на жидкость при относительном покое ее в сосудах, движущихся с ускорением.

Поверхностные силы непрерывно распределены по поверхности жидкости и при равномерном их распределении пропорциональны площади этой поверхности. Поверхностные силы обусловлены непосредственным воздействием соседних объемов жидкости на данный объем или же воздействием других тел (твердых или газообразных), соприкасающихся с этой жидкостью.

Пусть в общем случае (рис. 10.1) поверхностная сила F , действующая на площади ϕ , направлена под некоторым углом к ней. Ее можно разложить на две составляющие: нормальную F_σ и касательную F_τ . Первая называется *силой давления*, а вторая – *силой трения*.

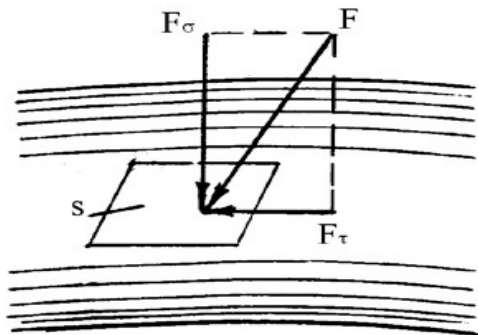


Рис. 10.1. Схема действия поверхностных сил в жидкости

Массовые и поверхностные силы могут быть внешними и внутренними. Внешние силы действуют на рассматриваемую массу и поверхность жидкости извне и приложены соответственно к каждой частице жидкости, составляющей массу, и к каждому элементу поверхности, ограничивающей жидкость. Внутренние силы представляют собой силы взаимодействия частиц жидкости. Они являются парными, сумма их в данном объеме жидкости всегда равна 0.

Ввиду непрерывности и неограниченности жидкой среды в гидравлике удобно применять *единичные силы* – массовые и поверхностные.

Единичные массовые силы:

$$g = \frac{G}{m} \text{ и } a = \frac{F_u}{m}; \quad (10.9)$$

$$F = G + F_u = mg + ma; \quad (10.10)$$

$$F_{\text{ед}} = \frac{F}{m} = g + a. \quad (10.11)$$

Единичные поверхностные силы:

$$F_\sigma = \rho \Delta \omega; \quad (10.12)$$

$$F_\tau = \tau \Delta \omega; \quad (10.13)$$

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{F_\sigma}{\omega}. \quad (10.14)$$

Давление называется абсолютным ($\rho_{\text{абс}}$), если оно отсчитывается от абсолютного нуля, и избыточным ($\rho_{\text{и}}$), если оно отсчитывается от атмосферного давления ($\rho_{\text{атм}}$). Следовательно, абсолютное давление равно:

$$\rho_{\text{абс}} = \rho_{\text{атм}} + \rho_{\text{и}}. \quad (10.15)$$

В Международной системе единиц (СИ) за единицу измерения давления принят паскаль (Па) – давление, создаваемое силой 1 Н, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м². Поскольку это сравнительно малая величина, то наряду с ней применяют укрупненные кратные единицы: килопаскаль (кПа) и мегапаскаль (МПа):

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2 = 10^{-3} \text{ кПа} = 10^{-6} \text{ МПа}.$$

В некоторых случаях в настоящее время еще применяются приборы, которыми давление измеряется в системе единиц МКГСС (метр, килограмм-сила, секунда) в килограмм-силах на квадратный сантиметр или технических атмосферах:

$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10^4 \text{ кгс/м}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Касательное напряжение в жидкости, т. е. напряжение трения, обозначается буквой τ . Среднее касательное напряжение на площадке S определяется по формуле

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F_{\tau}}{S}. \quad (10.16)$$

В пределе, при стягивании площадки S в точку, получаем касательное напряжение τ в точке. Единица измерения его та же, что и для давления, т. е. паскаль.

10.3. Основное уравнение гидростатики и его физический смысл

Гидростатическое давление – это давление в покоящейся жидкости. Оно обладает следующими свойствами:

1. Гидростатическое давление всегда направлено перпендикулярно к поверхности, на которую оно действует, и создает в жидкости только сжимающие напряжения.

Докажем это свойство методом от противного. Предположим, что гидростатическое давление направлено не по нормали к рассматриваемой площадке (рис. 10.2, *a*), а под некоторым углом α (вектор p_{α}).

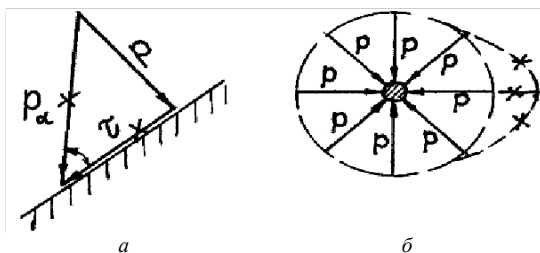


Рис. 10.2. Схемы к доказательству свойств гидростатического давления:
a – гидростатическое давление, направленное под углом α ;
б – эпюра давления в точке покоящейся жидкости

Тогда p_a можно разложить на две составляющие: нормальную p и касательную τ . Однако в этом случае касательное напряжение τ вследствие текучести жидкости вызовет движение ее, что противоречит условиям гидростатики. Следовательно, чтобы частицы жидкости были неподвижны, единственным направлением гидростатического давления должна быть нормаль. Так как жидкость не сопротивляется растягивающим усилиям, то напряжение p должно быть только сжимающим и направленным всегда по внутренней нормали к площадке действия.

2. Гидростатическое давление в любой точке жидкости действует одинаково по всем направлениям.

Используем логическое доказательство (рис. 10.2, б). Если хотя бы в одном из всех многочисленных направлений (например, справа) гидростатическое давление было бы несколько большим, это привело бы к неравновесному состоянию частиц жидкости и, следовательно, движению их, что противоречит условиям гидростатики. Таким образом, эпюра давления в точке покоящейся жидкости имеет форму шара.

3. Гидростатическое давление в точке зависит только от ее координат в пространстве, занятом жидкостью, т. е.

$$P = f(x, y, z).$$

Это свойство не требует специального доказательства, так как и при абсолютном, и при относительном покое жидкости в сосуде давление зависит от заглубления точки под свободную поверхность (координаты z). При относительном покое свободная поверхность не является горизонтальной плоскостью, поэтому давление изменяется и в направлении координат x, y .

Основное уравнение гидростатики устанавливает связь между гидростатическим давлением в различных точках покоящейся жидкости и их месторасположением для случая, когда из массовых сил в ней действуют только силы тяжести.

Для вывода основного уравнения гидростатики выделим в покоящейся жидкости некоторый объем в форме цилиндра с основанием малой площади $\Delta\omega$ и высотой h , равной глубине погружения основания под уровнем жидкости (рис. 10.3). Будем считать, что давление на поверхности жидкости в сосуде отличается от атмосферного и равно p_0 .

Выделенный объем жидкости находится в равновесии под действием силы давления на верхнее основание $F_0 = p_0\Delta\omega$, нижнее основание $F = p\Delta\omega$ и собственного веса $G = \rho g\Delta\omega h$. Силы гидростатиче-

ского давления на боковую поверхность цилиндра можно не рассматривать, так как они взаимно уравновешиваются.

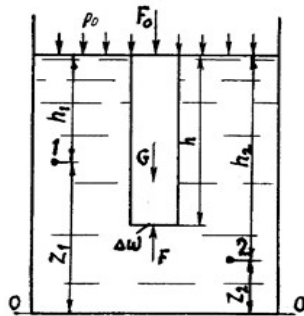


Рис. 10.3. Схема к выводу основного уравнения гидростатики

Выразим условие равновесия рассматриваемого объема жидкости, приравняв к нулю сумму проекций на вертикальную ось всех действующих сил:

$$p\Delta\omega - p_0\Delta\omega - \rho g\Delta\omega h = 0. \quad (10.17)$$

Разделив все члены уравнения на $\Delta\omega$, получим

$$p = p_0 + \rho gh. \quad (10.18)$$

Полученное выражение (10.18) называется **основным уравнением гидростатики**. Оно справедливо для однородной жидкости и показывает, что во всех точках жидкости, расположенных на одинаковой глубине h , давления одинаковы. Следовательно, поверхность одинаковых давлений – это горизонтальная плоскость. Кроме этого из уравнения (10.18) следует, что внешнее давление p_0 , действующее на свободную поверхность жидкости, находящейся в равновесии, передается во все точки объема ее без изменения. В этом заключается закон Паскаля, открытый им на основе опытов в 1653 г.

Установим соотношение давлений в точках 1 и 2 (рис. 10.3), расположенных на разных уровнях однородной жидкости, используя уравнение

$$p_0 = p_1 - \rho g h_1 = p_2 - \rho g h_2. \quad (10.19)$$

В этом случае плоскостью сравнения является свободная поверхность. Если же за плоскость сравнения принять другую горизонтальную плоскость, например 0-0, то на основании уравнения (10.18) и закона Паскаля можно записать

$$p_1 + \rho g z_1 = p_2 + \rho g z_2 = \dots = p + \rho g z = \text{const.} \quad (10.20)$$

Разделив все члены уравнения на ρg , получим

$$\frac{p_1}{\rho g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho g} + z_2 = \frac{p}{\rho g} + z = \text{const.} \quad (10.21)$$

Полученные зависимости (10.20) и (10.21) представляют собой разновидности записи основного уравнения гидростатики. При этом в первой все члены уравнения выражены в паскалях, а во второй – в метрах столба рассматриваемой жидкости. Величины z и $p / (\rho g)$ в гидравлике часто называют геометрической и пьезометрической высотами или геометрическим и пьезометрическим напорами. Высоту $H_{\text{ст}}$ называют гидростатическим напором. Итак, для данного объема жидкости гидростатический напор относительно выбранной плоскости сравнения – величина постоянная.

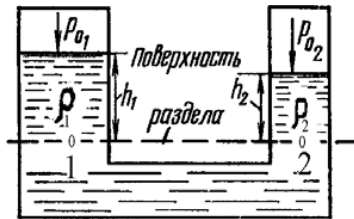


Рис. 10.4. Схема к равновесию двух неоднородных жидкостей

С энергетической точки зрения уравнения (10.20) и (10.21) представляют собой постоянную величину суммы удельной потенциальной энергии давления и удельной потенциальной энергии положения во всех точках покоящейся жидкости относительно плоскости сравнения. В первом случае это энергия, содержащаяся в единице объема жидкости ($\text{Н} \cdot \text{м} / \text{м}^3 = \text{Н} / \text{м}^2 = \text{Па}$), во втором – в единице веса жидкости ($\text{Н} \cdot \text{м} / \text{Н} = \text{м}$).

Рассмотрим равновесие двух неоднородных жидкостей ($\rho_1 \neq \rho_2$), расположенных в сообщающихся сосудах (рис. 10.4):

$$\rho_{o1} + \rho g h_1 = \rho_{o2} + \rho g h_2. \quad (10.22)$$

Если $\rho_{o1} = \rho_{o2} = \rho_o$, то $\rho h_1 = \rho h_2$ или $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$, т. е. в этом случае уровни жидкости обратно пропорциональны их плотностям. Для однородных жидкостей ($\rho_1 = \rho_2$) свободная поверхность устанавливается на одном уровне ($h_1 = h_2$).

10.4. Абсолютное, избыточное (манометрическое) и вакуумметрическое давление

В настоящее время существует большое разнообразие методов измерения давлений и приборов, предназначенных для этого.

Приборы для измерения давления носят общее название манометров. Однако по назначению они подразделяются на *барометры* ($p_{ат}$), предназначенные для измерения атмосферного давления, *манометры*, измеряющие давления выше атмосферного, и *вакуумметры*, измеряющие давления ниже атмосферного.

По принципу действия манометры подразделяются на жидкостные (водяные, спиртовые, ртутные), механические (пружинные, мембранные, сильфонные), электрические. Простейшим жидкостным прибором является *пьезометр* (рис. 10.5).

Пьезометр состоит из стеклянной трубки внутренним диаметром 5–12 мм, помещенной на доске измерительной шкалы, градуированной обычно в миллиметрах. Верхний конец трубки сообщается с атмосферой, а нижний соединен с сосудом (резервуаром), в котором находится жидкость под давлением $p_o > p_{ат}$. Под действием этого давления жидкость поднимается по трубке на высоту h_p , называемую пьезометрической.

Составим уравнение равновесия жидкости относительно плоскости, проходящей через центр отверстия (точку A), к которому присоединена трубка пьезометра:

$$p_o + \rho g h_1 = p_{ат} - \rho g h_{ат},$$

откуда

$$h_p = \frac{P_o - P_{ат}}{\rho g} + h. \quad (10.23)$$

Таким образом, пьезометрическая высота определяет величину избыточного напора в точке, где установлен пьезометр. Если он установлен в открытом сосуде, то $h_p = h$, т. е. пьезометрическая высота будет равна глубине погружения точки A в жидкость.

Пьезометр является достаточно точным прибором. Однако он может использоваться лишь в тех случаях, когда давления сравнительно невелики.

Для измерения более высоких давлений применяют **ртутные манометры**. Поскольку плотность ртути в 13,6 раза больше плотности воды, то и трубки в этих манометрах значительно короче. Простейший ртутный U -образный манометр представлен на рис. 10.5, б. Под действием давления со стороны сосуда ртуть в трубке устанавливается на разных уровнях. Так как жидкость находится в равновесии, то можно составить уравнение, например, для уровня $A - A$, доказать аналогично предыдущему случаю, что разность уровней ртути в манометре пропорциональна избыточному давлению:

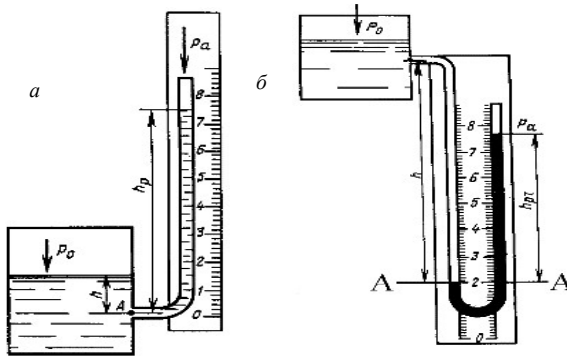


Рис. 10.5. Манометры жидкостные: a – пьезометр; $б$ – манометр ртутный

Для измерения больших давлений, например в гидросистемах и насосных установках, используют пружинные манометры (рис. 10.6).

Основной частью таких манометров является полая металлическая трубка l , имеющая эллиптическое поперечное сечение. Один конец ее

запаян и соединен с механизмом 2, перемещающим стрелку; другой конец посредством ниппеля 3 сообщается с исследуемым объектом. Под действием давления поступившей жидкости трубка, стремясь выпрямиться, через механизм 2 приводит в движение стрелку, которая, поворачиваясь на шкале, указывает величину давления.

Если стрелка приводится в действие через передаточный механизм от мембраны, то такой манометр называется *мембранным*.

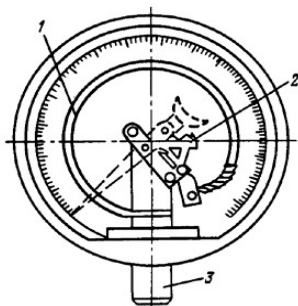


Рис. 10.6. Манометр пружинный:
1 – металлическая трубка; 2 – механизм; 3 – ниппель

Для измерения давлений ниже атмосферного (разрежений) применяются жидкостные, пружинные, мембранные вакуумметры, принцип действия которых аналогичен манометрам.

Имеется ряд конструкций манометров, в которых давление, воспринимаемое специальным датчиком, преобразуется в электрический сигнал, который передается по проводной или беспроводной связи вторичному (показывающему или записывающему) прибору.

Все механические и электрические манометры подлежат периодической поверке и тарировке на специальных стендах, так как остаточные деформации их рабочих органов (пружин, мембран и пр.) в некоторой мере искажают их показания.

10.5. Равновесие тел, погруженных в жидкость

Рассмотрим силы давления жидкости на тело, погруженное в эту жидкость (рис. 10.7, а).

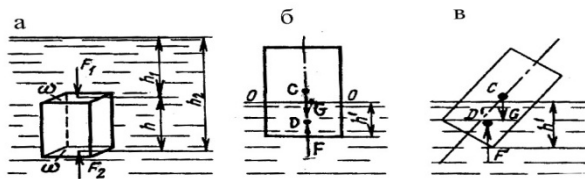


Рис. 10.7. Схемы действия сил на тело, погруженное в жидкость и плавающее в ней

Тело призматической формы имеет высоту h и площадь верхнего и нижнего оснований ω . Верхнее основание погружено в жидкость на глубину h_1 , нижнее – на глубину h_2 . При этом на тело действуют:

– сила гидростатического давления жидкости на верхнее основание

$$F_1 = \rho g h_1 \omega;$$

– сила гидростатического давления жидкости на нижнее основание

$$F_2 = \rho g h_2 \omega.$$

Силы давления жидкости на боковые поверхности (границы призмы) не учитываются, так как они взаимно уравновешены.

Равнодействующая сил гидростатического давления равна разности сил F_2 и F_1 и направлена вверх (в сторону большей силы):

$$F = F_2 - F_1 = \rho g \omega (h_2 - h_1).$$

Так как

$$h_2 - h_1 = h, \text{ а } \omega h = V,$$

то

$$F = \rho g V. \quad (10.24)$$

Таким образом, на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости, вытесненной телом. Это закон Архимеда, открытый им в 250 г. до н. э.

Закон Архимеда справедлив для тел любой формы, так как тело другой, отличающейся от призматической и более сложной формы можно представить состоящим из бесконечного множества элементарных вертикальных призм.

Объем $V_{\text{вн}}$ жидкости, вытесненной телом, называют объемом водоизмещения, а массу этого объема – водоизмещением.

На тело, погруженное в жидкость полностью или частично (рис. 10.7, б), действуют две силы:

– вес тела G , приложенный в центре его тяжести C , направленный вниз;

– выталкивающая (подъемная) сила E , приложенная в центре давления (центре водоизмещения) D , направленная вверх.

Центром водоизмещения является центр тяжести вытесненного объема жидкости.

В зависимости от соотношения сил G и F возможны три состояния тела, погруженного в жидкость:

– если $G > F$, то тело тонет;

– если $G = F$, то тело плавает в погруженном состоянии;

– если $G < F$, то тело всплывает до тех пор, пока вес вытесненной жидкости (т. е. выталкивающая, или подъемная сила F) не станет равен весу тела G .

Для однородного тела плотностью ρ_m при его надводном плавании глубина погружения в жидкость (осадка) равна:

$$h = \frac{\rho_m h}{\rho}. \quad (10.25)$$

Линия пересечения боковой поверхности погруженного тела с поверхностью воды называется *ватерлинией*, а плоскость $O - O$, ограниченная ватерлинией, – *плоскостью плавания*. *Ось плавания* $O' - O'$ – ось симметрии тела, перпендикулярная плоскости плавания.

Для равновесного положения тела в надводном плавании необходимо, чтобы центр тяжести C и центр давления (водоизмещения) D лежали на одной вертикали (рис. 10.7, б). Способность плавающего тела возвращаться к первоначальному положению после исчезновения силы, вызвавшей его боковой наклон или, как говорят, крен, называется *остойчивостью*. При крене форма объема водоизмещения изменится и центр его займет новое положение D' (рис. 10.7, в). При этом если момент пары сил F и G действует в сторону крена, то положение тела будет неустойчивым и, следовательно, оно опрокинется. Для устойчивого положения необходимо, чтобы этот момент противодействовал крену, т. е. линия действия веса G должна проходить в данном случае левее линии действия подъемной силы F . Точка пересечения линии действия силы F с осью плавания $O' - O'$ называется

метацентром (лат. *meta* – предел). Расстояние $MD = MD' = R_M$ – метацентрический радиус, расстояние $CM = h_M$ – метацентрическая высота, $CD = e$ – эксцентриситет. Положение плавающего тела будет устойчивым, если $R_M > e$, или $h_M > 0$.

Метацентрический радиус определяется по формуле

$$R_M = \frac{I_0}{V_{\text{ВИ}}}. \quad (10.26)$$

10.6. Режимы движения жидкости

В природе существуют два режима движения жидкости: *ламинарный (слоистый)* и *турбулентный (беспорядочный)*.

При ламинарном режиме частицы движутся в виде отдельных, не перемешивающихся между собой, плоских или криволинейных слоев или струй жидкости. При турбулентном режиме движение частиц беспорядочное, струйчатость потока нарушается и траектории частиц приобретают сложную форму, пересекаясь между собой.

Впервые существование двух режимов движения жидкости было обнаружено Г. Хагеном (1839), затем обосновано Д. И. Менделеевым (1880), а в 1883 г. английский физик О. Рейнольдс создал специальную установку (рис. 10.8, *a*), на которой провел большое количество опытов и показал, что при определенных условиях возможен переход от одного режима движения к другому и обратно.

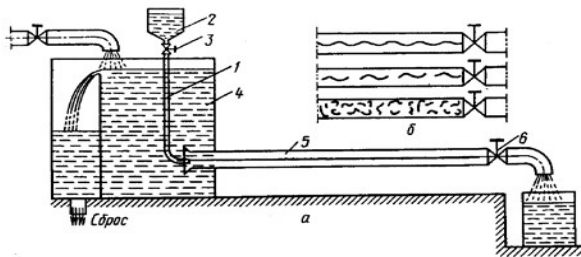


Рис. 10.8. Схема установки для исследования режимов движения жидкости

К баку 4, в котором поддерживается постоянный уровень воды, присоединена стеклянная труба 5 с краном 6 в конце для регулирования расхода потока. Из сосуда 2 по трубке 1 меньшего диаметра к

входному участку трубы 5 подается раствор красителя плотностью, близкой к плотности жидкости в потоке. Расход красителя регулируется краном 3. При открытии крана 6 в трубе 5 установится некоторая скорость потока. При малой скорости потока в трубе 5 краситель образует прямолинейную, не смешивающуюся с окружающей жидкостью струйку. Такое движение называется *ламинарным*.

При дальнейшем открытии крана 6 характер протекания жидкости в трубе 5 может измениться. При некоторой скорости струйка красителя становится волнообразной, а затем с увеличением скорости потока в струйке намечаются разрывы и она полностью разрушается, т. е. происходит перемешивание окрашенной струйки с массой текущей жидкости в трубе 5 (рис. 10.8, б). Движение становится турбулентным.

10.7. Уравнения Бернулли для элементарной струйки жидкости

Сначала рассмотрим установившееся течение идеальной жидкости, находящейся под действием лишь одной массовой силы – силы тяжести, и выведем для этого случая основные уравнения, связывающие между собой давление в жидкости и скорость ее движения.

Возьмем в любом месте элементарной струйки бесконечно малый (элементарный) объем жидкости (V'), построенный на ее живом сечении $\Delta\omega$, и применим к нему известные положения механики. Относительно произвольно выбранной плоскости отсчета (сравнения) он обладает потенциальной энергией тела, поднятого на высоту z :

$$E_{\text{п}} = mgz = \rho V'gz.$$

Кроме того, этот объем находится под давлением p , поэтому в нем содержится потенциальная энергия давления

$$E_{\text{д}} = pV'.$$

Так как элементарный объем V' движется со скоростью u , то его кинетическая энергия будет равна:

$$E_{\text{к}} = \frac{1}{2}mu^2 = \frac{1}{2}\rho V'u^2.$$

На основании изложенного полная механическая энергия элементарного объема V' составит:

$$E = \rho V'gz + pV' + \frac{1}{2}\rho V'u^2. \quad (10.27)$$

Пользоваться в гидравлике выражением (10.27), связанным с конкретным значением объема или массы, весьма неудобно, поэтому на основании его исчисляют *удельную энергию*, т. е. *энергию, приходящуюся на единицу количества жидкости* – веса или объема. В первом случае необходимо разделить все члены уравнения (10.27) на вес элементарного объема $\rho V'g$:

$$\frac{E}{\rho V'g} = z + \frac{p}{\rho g} + \frac{u^2}{2g}. \quad (10.28)$$

Полученное уравнение выражает полный напор H_n в точке потока; все составляющие его измеряются в метрах столба рассматриваемой жидкости и имеют следующий физический смысл:

z – удельная потенциальная энергия положения точки над плоскостью сравнения (геометрической напор);

$p / (\rho g)$ – удельная потенциальная энергия давления жидкости в точке (пьезометрический напор);

$u / (2g)$ – удельная кинетическая энергия (скоростной напор).

Во втором случае необходимо разделить все члены уравнения (10.27) на элементарный объем V' :

$$\frac{E}{V'} = \rho gz + p + \frac{1}{2}\rho u^2. \quad (10.29)$$

Уравнение (10.29) выражает полное давление p_n в точке потока, все составляющие его измеряются в паскалях; ρgz называют весовым, p – поверхностным, $\rho u^2 / 2$ – динамическим давлением.

Для двух сечений элементарной струйки, используя закон сохранения энергии, на основе формул (10.28) и (10.29) можно записать:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g}, \quad (10.30)$$

или

$$\rho gz_1 + p_1 + \rho u_1^2 / 2 = \rho gz_2 + p_2 + \rho u_2^2 / 2. \quad (10.31)$$

Зависимости (10.30), (10.31) являются *уравнениями Д. Бернулли для элементарной струйки идеальной (невязкой) жидкости*.

Наиболее широкое применение в гидравлике имеет уравнение Бернулли в записи (10.30). Как известно из гидростатики, выражение $z + p / (\rho g) = H_{\text{ст}}$ представляет собой *гидростатический напор*. Следовательно, полный напор состоит из гидростатического и скоростного напоров и является постоянной величиной:

$$H_{\text{п}} = H_{\text{ст}} + u^2 / (2g) = z + p / (\rho g) + u^2 / (2g) = \text{const.} \quad (10.32)$$

При равенстве отметок z в разных сечениях из уравнения Бернулли вытекает важное свойство: с увеличением скорости давление уменьшается, а с уменьшением скорости давление увеличивается.

В реальной (вязкой) жидкости равенство (10.32) нарушается, так как часть энергии из-за действия сил трения в элементарной струйке на пути от первого сечения ко второму теряется. В связи с этим уравнения Бернулли принимают следующий вид:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + h_{1-2}, \quad (10.33)$$

или

$$\rho g z_1 + p_1 + \rho u_1^2 / 2 = \rho g z_2 + p_2 + \rho u_2^2 / 2 + p_{1-2}, \quad (10.34)$$

где h_{1-2} , p_{1-2} – соответственно потери напора, давления между сечениями 1–1 и 2–2.

Представить наглядно все составляющие уравнения (10.33) в сечении элементарной струйки можно с помощью пьезометра и трубки Пито (рис. 10.9).

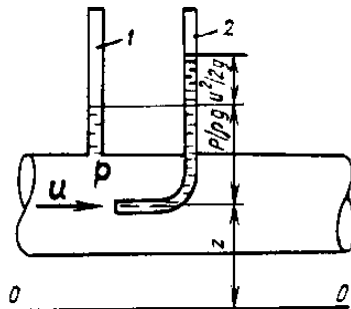


Рис. 10.9. Схема прибора с трубкой Пито

В 1732 г. французский инженер и исследователь Анри Пито установил, что если изогнутую под прямым углом трубку установить нижним концом навстречу потоку, то в ней создается дополнительно, кроме пьезометрического, скоростной напор h_c , по величине которого можно вычислить скорость u в точке потока:

$$u = \sqrt{2gh_c}. \quad (10.35)$$

Представим в элементарной струйке два сечения 1-1 и 2-2, к которым подключены вышеуказанные приборы (см. рис. 10.9). Если бы жидкость была идеальной, то уровни в трубках Пито расположились бы на горизонтальной линии $E-E$. В реальной жидкости полный напор H_n устанавливается по линии $F-F$, которая является наклонной, нисходящей (рис. 10.10).

Измерив положение уровней в трубках Пито, можно вычислить потери напора между сечениями 1-1 и 2-2:

$$h_{1-2} = H_{n1} - H_{n2}.$$

Уровни в пьезометрах располагаются на линии пьезометрического напора $N-N$.

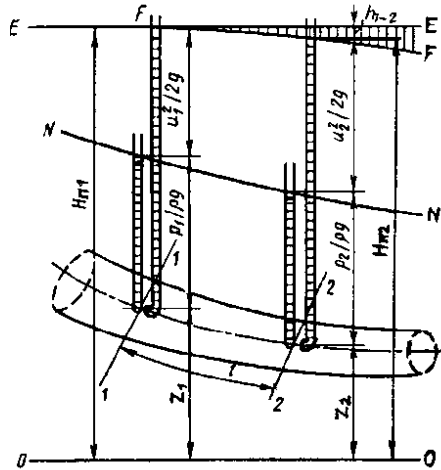


Рис. 10.10. Геометрическая интерпретация уравнения Бернулли для элементарной струйки жидкости

Разность показаний трубки Пито и пьезометра представляет собой скоростной напор в сечении. При уменьшении площади сечения скоростной напор возрастает, а пьезометрический соответственно падает.

10.8. Уравнения Бернулли для потока жидкости

Учитывая, что поток жидкости представляет собой совокупность множества элементарных струек, и принимая движение жидкости установившимся и плавноизменяющимся, можно на основе уравнений (10.30) и (10.31) получить уравнения Бернулли для потока конечных размеров. При этом необходимо иметь в виду следующее. Опытами установлено, что гидростатический напор $z + p / \rho g = \text{const}$ в любой точке сечения потока практически остается постоянной величиной. Скоростной напор в сечении потока удобнее всего исчислять по величине средней скорости V , однако вследствие неравномерности распределения точечных местных скоростей u по сечению при этом допускается ошибка. Для ликвидации ее вводится поправочный коэффициент α , который называется *коэффициентом кинетической энергии* или *коэффициентом Кориолиса*. С учетом этого уравнения Бернулли для потока реальной (вязкой) жидкости принимают следующий вид:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_{1-2}, \quad (10.36)$$

или

$$\rho g z_1 + p_1 + \alpha \rho u_1^2 / 2 = \rho g z_2 + p_2 + \alpha \rho u_2^2 / 2 + p_{1-2}, \quad (10.37)$$

где h_{1-2} , p_{1-2} – соответственно потери напора, давления между сечениями 1–1 и 2–2.

Коэффициент α определяется опытным путем, а в расчетах с достаточной точностью может приниматься при ламинарном режиме $\alpha = 2,0$; при турбулентном режиме α зависит от числа Рейнольдса – при возрастании Re от 4 000 до $3 \cdot 10^6$ α уменьшается от 1,13 до 1,03 и далее в пределе стремится к 1,0.

Геометрическая интерпретация уравнения Бернулли для потока в записи (10.31) представлена на рис. 10.11. Обозначения линий удельных энергий те же, что и для элементарной струйки (см. рис. 10.10).

Так как общий запас полной удельной энергии вдоль потока непрерывно уменьшается, то линия $F - F$ ее всегда нисходящая.

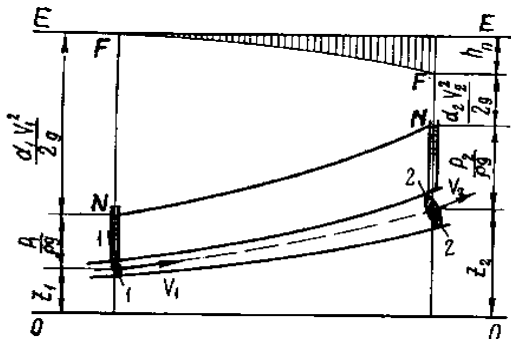


Рис. 10.11. Геометрическая интерпретация уравнения Бернулли для потока жидкости

Отношение потерь напора на участке между сечениями 1–1 и 2–2 к расстоянию между ними называется *гидравлическим уклоном*, величина которого определяется по формуле

$$I = \frac{h_{1-2}}{l}. \quad (10.38)$$

Пьезометрическая линия $N - N$ может быть и нисходящей, и восходящей, поэтому пьезометрический уклон (I_p) может быть и положительным, и отрицательным.

10.9. Потери энергии в потоке жидкости

Потери удельной энергии (напора) жидкости, или, как их часто называют, гидравлические потери, при движении ее в канале обусловлены внутренним трением в жидкости и зависят от формы, размеров и шероховатости канала, а также от скорости течения и вязкости жидкости. Последняя, хотя и является первопричиной всех гидравлических потерь, но далеко не всегда оказывает существенное влияние на них.

Гидравлические потери h_n (см. уравнение (10.37)) подразделяют на местные потери напора h_m и потери напора по длине потока h_l .

Местные потери напора обусловлены так называемыми местными сопротивлениями, т. е. техническими устройствами, устанавливаемыми в трубопроводах или каналах и вызывающими деформирование потока (рис. 10.12). При движении жидкости через местные сопротивления изменяется ее скорость и обычно возникают вихри.

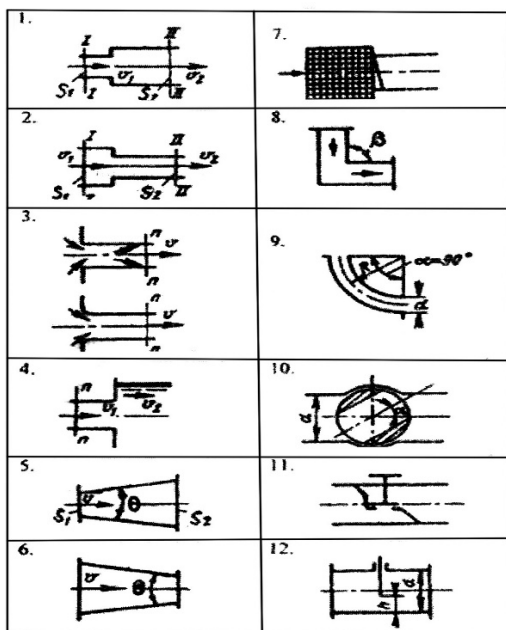


Рис. 10.12. Виды местных сопротивлений

Потери напора на любом местном сопротивлении определяются по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \xi \frac{V^2}{2g}, \quad (10.39)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления;

V^2 – средняя скорость в выходном сечении местного сопротивления, м/с.

Коэффициент ξ – безразмерная и во многих случаях постоянная величина для данного местного сопротивления. Значения и влияющие на него факторы для различных местных сопротивлений представлены в табл. 10.3.

Таблица 10.3. Значения коэффициентов местных сопротивлений

Позиция на рис. 10.12	Наименование местного сопротивления	Значение коэффициента
1	Внезапное расширение потока	$\xi = (\omega_2 / \omega_1 - 1)^2$
2	Внезапное сужение	$\xi = 0,5(1 - \omega_2 / \omega_1)$
3	Вход в трубу: с острой кромкой с закругленной кромкой	0,5 0,2–0,25
4	Выход из трубы в резервуар больших размеров	1,0
5	Расширяющийся конус (диффузор): θ : 5 10 15 20 30 к: 0,1 0,25 0,35 0,45 0,65	$\xi = \kappa(\omega_2 / \omega_1 - 1)^2$
6	Сужающийся конус (конфузор) при $\theta = 7-30^\circ$ $\theta = 35-80^\circ$	0,16–0,24 0,26–0,35
7	Обратный клапан с сеткой на трубе диаметром, мм: 40–100 100–200 200–500	12–7 7–5,2 5,2–2,5
8	Резкий поворот трубы на угол β : 30–60 60–90	0,2–0,55 0,55–1,1
9	Плавный поворот трубы на угол 90° при R/d : 2–4 4–10	0,15–0,11 0,11–0,07
10	Кран конусный при угле поворота α : 10–20 20–40	0,29–1,56 1,56–17,3
11	Вентиль с прямым затвором при полном открытии	3,0–5,5
12	Задвижка на круглой трубе при отношении h/d : 1,0 0,75 0,5	0,05 0,26 2,06

Потери напора по длине потока представляют собой потери на преодоление трения жидкости о стенки канала, а также трения между слоями жидкости, движущимися относительно друг друга. Поэтому внутреннее трение существенно зависит от размеров и состояния поверхности трубы или канала, распределения скоростей в потоке, а следовательно, и от режима течения жидкости.

В XVIII–XIX вв. для определения силы трения при движении твердого тела в жидкости или, наоборот, жидкости около твердого тела применялась следующая формула, которая считалась универсальной:

$$T = \psi \rho \frac{V^2}{2} S, \quad (10.40)$$

где ψ – коэффициент сопротивления;

S – площадь, определяющая величину сопротивления при движении тела в жидкости, m^2 .

Если боковую поверхность покрыть равномерно кубиками, расположенными друг от друга на расстоянии длины ребра кубика, то площадь S контакта жидкости с такой поверхностью возрастет в 3 раза, а если всю поверхность покрыть полушариями, то S возрастет в 1,79 раза, что, согласно формуле (10.40), приведет к значительному увеличению силы трения. Отсюда следует, что состояние внутренней поверхности трубопровода или канала, в частности, так называемая шероховатость ее, играет существенную роль в сопротивлении движению жидкости.

При вычислении потерь напора по длине в прямой трубе более удобной, чем формула (10.40), оказалась формула Дарси – Вейсбаха (1857).

$$h_t = \lambda \frac{l}{d} \frac{V^2}{2g}, \quad (10.41)$$

где λ – гидравлический коэффициент трения (коэффициент Дарси).

Точность определения h_t зависит в основном от правильности вычисления коэффициента λ . Многочисленными исследованиями установлено, что он является функцией двух безразмерных параметров: числа Рейнольдса и относительной шероховатости внутренней поверхности трубы $\varepsilon = \Delta_s / d$, где Δ_s – эквивалентная высота выступов шероховатости, мм.

Поверхности стенок труб, каналов, лотков, рек имеют ту или иную естественную шероховатость (рис. 10.13). В трубах она может быть обусловлена технологией изготовления, назначением (например, гофрированные трубы), коррозией при длительной эксплуатации. В водотоках, проходящих в песчаных несвязанных грунтах, на дне (иногда и на откосах) образуются различные формы рельефа (рифели, гряды и т. д.). Обильная растительность в реках, каналах также создает значительное сопротивление движению воды.

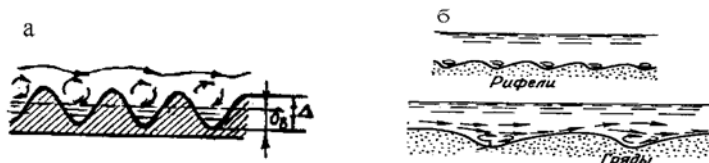


Рис. 10.13. Абсолютная шероховатость внутренней поверхности:
a – трубы; *б* – естественного водотока

Высоты выступов шероховатости Δ (обычно в мм) называют абсолютной шероховатостью. Под эквивалентной шероховатостью Δ_3 понимают такую условно равномерную шероховатость, при которой потери напора в трубе или канале (см. рис. 10.13) такие же, как и при естественной шероховатости. Величина Δ_3 определяется в результате опытов. Параметры шероховатости поверхности стальных и чугунных труб изменяются во время эксплуатации вследствие коррозии металла, а асбестоцементных труб – вследствие механического разрушения. Значения эквивалентной шероховатости приведены в табл. 10.4.

Таблица 10.4. Значения эквивалентной шероховатости поверхности труб и каналов из различных материалов

Разновидность труб и каналов	Эквивалентная шероховатость Δ_3 , мм
Медные, латунные, стеклянные трубы	0,0015–0,01
Рукава и шланги резиновые	0,01–0,03
Пластмассовые трубы	0,06–0,075
Стальные бесшовные трубы:	
новые	0,02–0,07
после длительной эксплуатации	0,2–0,50
Стальные сварные трубы:	
новые	0,04–0,10
после длительной эксплуатации	0,3–0,7
Бетонные трубы и каналы:	
со средней шероховатостью	1,5
с грубой шероховатостью	3,0
Железобетонные трубы и каналы	0,5

Влияние числа Рейнольдса и относительной шероховатости на величину коэффициента λ в различных условиях движения жидкости проявляется по-разному.

Ламинарный режим. Как режим слоистого, вязкого течения жидкости он достаточно хорошо поддается математическому описанию.

Из-за определенной ограниченности учебной программы остановимся только на основных результатах теории ламинарного потока.

Распределение касательных напряжений τ в сечении потока ньютоновской жидкости подчиняется линейному закону (рис. 10.14).

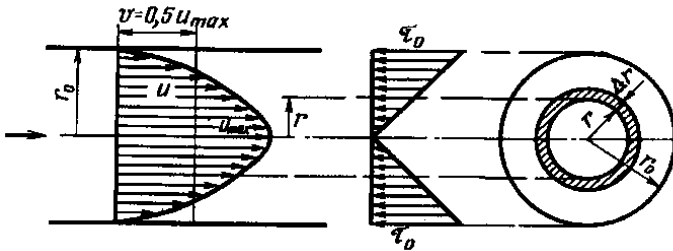


Рис. 10.14. Распределение касательных напряжений τ и местных скоростей в сечении ламинарного потока

При этом в центре трубы касательное напряжение равно нулю, а максимальное значение его действует у стенки трубы:

$$\tau_0 = 0,5\rho g r_0 I, \quad (10.42)$$

где r_0 – радиус внутренней поверхности трубы, мм;

I – гидравлический уклон.

Так как гидравлический радиус сечения потока в данном случае $R_r = 0,5r_0$, то, подставив его в формулу (10.42), получим известное в гидравлике *основное уравнение равномерного движения*, которое пригодно для канала любого профиля:

$$\tau_0 = \rho g R_r I. \quad (10.43)$$

Эпюра скоростей в любом сечении трубы представляет собой параболоид вращения (см. рис. 10.14). Местная скорость u элементарного слоя Δr , расположенного на удалении r от центра потока, определяется по формуле

$$u = u_{\max} \left(1 - r^2 / r_0^2\right). \quad (10.44)$$

Максимальное значение скорость имеет на оси трубы, т. е. при $r = 0$, а при $r = r_0$, т. е. у стенки, $u = 0$.

Средняя скорость в сечении трубы $V = 0,5u_{\max}$, при этом элементарный слой ее расположен на радиусе $r_v = 0,71r_0$ или на удалении $y_v = 0,29r_0$ от стенки трубы. Это обстоятельство используют в некоторых приборах для измерения расхода жидкости.

Гидравлический коэффициент трения определяется по формуле Д. Стокса (1845):

$$\lambda = 64 / Re. \quad (10.45)$$

Теоретически получается, что при ламинарном режиме шероховатость поверхности не влияет на коэффициент λ и, следовательно, на гидравлическое сопротивление трубы. По исследованиям М. А. Жарского, при $Re \leq 4\,000$ достаточно точно соответствует опытным данным следующая функция:

$$\lambda = 56 / Re + 0,68\varepsilon + 0,025.$$

Она охватывает не только ламинарный, но и неустойчивый режим движения жидкости.

Зная коэффициент λ , касательное напряжение у стенки трубы можно вычислить по сравнительно простой формуле:

$$\tau_0 = \lambda \rho V^2 / 8. \quad (10.46)$$

Следовательно, сила сопротивления движению жидкости

$$T = \tau_0 S = \lambda \rho V^2 S / 8. \quad (10.47)$$

Коэффициент кинетической энергии при ламинарном режиме $\alpha = 2,0$, а коэффициент сопротивления $\tau = \frac{\lambda}{L}$.

Турбулентный режим. При турбулентном движении частицы жидкости беспорядочно перемешиваются между собой, а скорости в любой точке потока непрерывно изменяются по величине и направлению около некоторого осредненного значения \bar{u} (рис. 10.15, *a*). Это явление называется пульсацией скорости, которое приводит к соответствующей пульсации давления. Пульсация скоростей оказывает влияние на значение касательных напряжений в турбулентном потоке. На основании опытных данных по осредненным скоростям можно построить эпюру скоростей в сечении турбулентного потока.

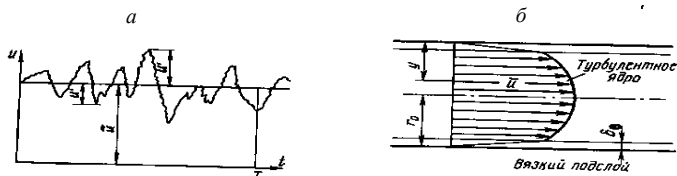


Рис. 10.15. Модель турбулентного потока жидкости в круглой трубе:
 а – пульсация скоростей; б – распределение осредненных скоростей

При теоретическом исследовании турбулентный поток представляется в виде приближенной двухслойной модели (рис. 10.15, б). Непосредственно у стенки находится тонкий слой толщиной δ_B , в котором наибольшее влияние имеют вязкостные касательные напряжения. В пределах его жидкость подчиняется ламинарному закону течения. Поэтому данный слой называется вязким или ламинарным подслоем. Остальная часть поперечного сечения трубы занята турбулентным ядром потока, где происходят интенсивные пульсации скорости и перемешивания частиц. Здесь касательные напряжения от турбулентного перемешивания во много раз больше напряжений вязкостного трения. Указанное разделение потока на две области условно и схематизировано. В действительности по мере удаления от стенок трубы влияние вязкости убывает постепенно и между вязким подслоем и турбулентным ядром существует переходная область, в которой вязкостные напряжения и напряжения от турбулентного перемешивания частиц соизмеримы.

В ядре под влиянием интенсивного перемешивания частиц скорости выравниваются, поэтому в турбулентном потоке средняя скорость движения жидкости составляет 75–90 % максимальной величины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водный кодекс Республики Беларусь : 30 апр. 2014 г. № 149-З : принят Палатой представителей 2 апр. 2014 г. : одобр. Советом Республики 11 апр. 2014 г. // ЭТАЛОН : информ.-поисковая система (дата обращения: 28.02.2025).
2. Герасимов, Ю. Л. Основы рыбного хозяйства : учеб. пособие / Ю. Л. Герасимов. – Самара : Самар. ун-т, 2003. – 108 с.
3. Гидравлика : учеб.-метод. пособие / Д. А. Дрозд, А. А. Боровиков, В. А. Волинцева. – Горки : БГСХА, 2023. – 236 с.
4. Гидротехнические сооружения комплексных гидроузлов : учеб. пособие / П. М. Богославчик, М. И. Богданович, С. П. Гатилло [и др.] ; под ред. Г. Г. Круглова. – Минск : БНТУ, 2006. – 585 с.
5. Емельянов, А. Г. Основы природопользования : учеб. / А. Г. Емельянов. – М. : Академия, 2011. – 260 с.
6. Мартышев, Ф. Г. Прудовое рыбоводство : учеб. / Ф. Г. Мартышев. – М. : Книга по Требованию, 2012. – 428 с.
7. Нестеров, М. В. Рыбохозяйственная гидротехника : учеб. / М. В. Нестеров, Н. В. Васильева. – Минск : ИВЦ Минфина, 2018. – 424 с.
8. Нестеров, М. В. Гидротехнические сооружения : учеб. пособие / М. В. Нестеров, И. М. Нестерова. – Минск : Новое знание, 2012. – 615 с.
9. Нестеров, М. В. Гидротехнические сооружения : учеб. / М. В. Нестеров. – Минск : Новое знание, 2014. – 600 с.
10. Нестеров, М. В. Гидротехнические сооружения : учеб. / М. В. Нестеров, И. М. Нестерова. – Минск : Новое знание, 2016. – 615 с.
11. Нестеров, М. В. Грунтовые плотины : учеб. пособие / М. В. Нестеров. – Горки : БГСХА, 2000. – 208 с.
12. Охрана труда в животноводстве : учеб. пособие / М. Ф. Садовский, А. А. Челноков, И. Н. Жмыхов [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2011. – 352 с.
13. Привезенцев, Ю. А. Рыбоводство : учеб. / Ю. А. Привезенцев, В. А. Власов. – М. : Мир, 2004. – 456 с. : ил.
14. Грунты. Классификация : СТБ 943-2007. – Минск : Госстандарт, 2008. – 20 с.
15. Рыбохозяйственная деятельность в Республике Беларусь. – URL: <http://fish-rb.pcoz.ru/index> (дата обращения: 23.12.2025).
16. Румянцев, И. С. Природоохранные сооружения : учеб. пособие / И. С. Румянцев, М. А. Попов. – М. : МГУП, 2001. – 338 с.
17. Плотины из грунтовых материалов. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.04-169-2009 (02250). – Минск, 2009. – 80 с.
18. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения : ТКП 45-3.04-168-2009 (02250). – Минск, 2010. – 52 с.
19. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.04-171-2009 (02250). – Минск, 2010. – 56 с.
20. Водозаборные сооружения из поверхностных источников. Правила проектирования : ТКП 45-1.01-198-2010 (02250). – Минск, 2011. – 79 с.
21. Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.04-169-2009 (02250). – Минск, 2010. – 41 с.
22. Экологическое, природоресурсное, земельное и аграрное право : сб. кодексов и законов / сост. В. Г. Гавриленко. – Минск : ИООО «Право и экономика», 2004. – 885 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ВВЕДЕНИЕ В ДИСЦИПЛИНУ	4
1.1. История развития рыбохозяйственной гидротехники	4
1.2. Водноресурсный потенциал Беларуси	6
1.3. Основные направления развития рыбного хозяйства на внутренних водоемах	8
1.4. Природоохранное законодательство и государственное управление в области использования и охраны водных ресурсов	9
2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРУДОВ	11
2.1. Классификация гидротехнических сооружений	11
2.2. Гидротехнические сооружения, применяемые в рыбоводстве	12
2.3. Гидротехнический узел	14
2.4. Силы, действующие на водоподпорные гидротехнические сооружения	16
2.5. Общая классификация водоемов	18
2.6. Характеристика водоемов	19
2.7. Типы и системы рыбоводных хозяйств	22
2.7.1. Карповые хозяйства	22
2.7.1.1. Рыбопитомники	22
2.7.1.2. Полносистемные хозяйства	28
2.7.1.3. Нагульные хозяйства	32
2.7.2. Форелевые хозяйства	32
2.8. Компоновка и водоснабжение прудов	35
3. ГРУНТОВЫЕ ПЛОТИНЫ И ДАМБЫ	40
3.1. Общая характеристика плотин	40
3.2. Типы и конструкции грунтовых плотин	44
3.3. Элементы плотин	50
3.4. Типы крепления откосов и гребня грунтовых плотин	54
3.5. Дренажи грунтовых насыпных плотин	66
3.6. Фильтрационный расчет грунтовых плотин	73
3.7. Грунтовые дамбы водоемов	78
4. ВОДОСБРОСНЫЕ СООРУЖЕНИЯ	80
4.1. Типы водосбросов	80
4.2. Открытые береговые регулируемые поверхностные водосбросы	83
4.3. Открытые нерегулируемые (автоматические) береговые водосбросы	87
4.4. Ковшовые (полигональные) открытые водосбросы	88
4.5. Закрытые автоматические водосбросы	91
4.6. Общие положения проектирования водосбросных сооружений	98
5. ВОДОПОДАЮЩАЯ СИСТЕМА И СООРУЖЕНИЯ НА НЕЙ	100
5.1. Водоподающие каналы и их гидравлический расчет	100
5.2. Водоподающие лотки	106
5.3. Трубопроводы	107
5.4. Трассирование магистральных каналов	109
5.5. Головные водозаборные сооружения	111
5.6. Регулирующие сооружения	120
5.7. Сопрягающие сооружения	126
5.7.1. Перепады	128
5.7.2. Быстротоки	129
5.7.3. Консольные перепады	131
6. СООРУЖЕНИЯ РЫБОСБОРНО-ОСУШИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ	133

6.1. Рыбосборно-осушительные каналы карповых и форелевых хозяйств	133
6.2. Сбросные каналы	134
6.3. Донные водоспуски	134
6.4. Рыбоуловители	143
7. РЫБОЗАГРАДИТЕЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ И РЫБОЗАЩИТНЫЕ УСТРОЙСТВА	148
7.1. Рыбозаградительные сооружения	148
7.1.1. Верховина	148
7.1.2. Рыбозаградители	151
7.1.3. Сетчатые заграждения	151
7.2. Рыбозащитные устройства	152
7.2.1. Рыбозащитные устройства на водотоках	155
7.2.2. Рыбозащитные устройства на непроточных водоемах	159
7.2.3. Механические рыбозащитные устройства	162
7.2.4. Физиологические заграждения	164
8. ПРИМЕНЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ	164
8.1. Общие сведения о строительных материалах и их свойствах	164
8.2. Виды грунтов	165
8.2.1. Физические свойства грунтов	167
8.2.2. Классификация грунтов	169
8.2.3. Водопроницаемость грунтов	173
8.3. Бетонные и железобетонные работы в гидротехническом строительстве	173
8.4. Каменные работы при креплении откосов плотин, укладке фильтров и дренажей, подготовке под бетонные и железобетонные крепления	175
8.5. Полимерные материалы	177
8.6. Конструкции гидротехнических сооружений из полимерных материалов	178
9. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРУДОВЫХ РЫБОВОДНЫХ ХОЗЯЙСТВ	178
9.1. Организация службы эксплуатации, наблюдение и уход за гидротехническими сооружениями	178
9.2. Особенности эксплуатации прудов	184
9.3. Повреждения грунтовых гидротехнических сооружений и их устранение	185
9.4. Повреждения бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений и их устранение	187
9.5. Уход за металлическими конструкциями и оборудованием	188
9.6. Техника безопасности	189
10. ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ	194
10.1. Жидкость и ее основные физические свойства	194
10.2. Силы, действующие в жидкости	198
10.3. Основное уравнение гидростатики и его физический смысл	200
10.4. Абсолютное, избыточное (манометрическое) и вакуумметрическое давление	204
10.5. Равновесие тел, погруженных в жидкость	206
10.6. Режимы движения жидкости	209
10.7. Уравнения Бернулли для элементарной струйки жидкости	210
10.8. Уравнения Бернулли для потока жидкости	214
10.9. Потери энергии в потоке жидкости	215
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	223

Учебное издание

Васильева Наталья Васильевна
Боровиков Алексей Александрович

**РЫБОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ГИДРОТЕХНИКА
С ОСНОВАМИ ГИДРАВЛИКИ**

Учебно-методическое пособие

Редактор *Н. П. Пьянусова*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*
Корректор *Н. П. Лаходанова*
Компьютерный набор и верстка *С. Б. Даньковой*

Подписано в печать 10.09.2025. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 13,25. Уч.-изд. л. 11,44.
Тираж 40 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.