

ВВЕДЕНИЕ

Изучение дисциплины «Гидротехнические сооружения» играет важнейшую роль в подготовке будущего специалиста-инженера по специальности «Мелиорация и водное хозяйство», поскольку современные водохозяйственные и, в частности, мелиоративные системы должны быть насыщены достаточным количеством гидротехнических сооружений, а управление водными ресурсами и их использование в тех или иных целях осуществляется посредством гидротехнических сооружений, эффективность и надежность работы которых зависит во многом от качества разработки проектов.

Гидротехнические сооружения – это различные сооружения и устройства, применяемые для использования водных ресурсов в различных отраслях водного хозяйства, а также сооружения, применяемые для борьбы с вредным действием воды.

Вопросы гидротехнического строительства являются одним из важнейших элементов в общем комплексе водохозяйственных проблем. Изучение водных ресурсов, эффективное использование естественных и искусственных водоемов и водотоков для мелиоративного строительства, рыборазведения, водоснабжения составляют научную и практическую основу гидротехники. Большую роль в формировании природного водного баланса играют экосистемы, созданные в результате мелиоративного и водохозяйственного строительства. Построенные водохозяйственные объекты – это не только крупные мелиоративные системы и полносистемные рыбоводные хозяйства, но и аккумулирующие пруды и водохранилища, позволяющие срезать пик весенних и летне-осенних паводков и накапливать сток для дальнейшего использования в различных отраслях водного хозяйства. Особо следует отметить, что современная мелиоративная система практически немыслима без строительства гидротехнических сооружений. Поэтому важно, чтобы в процессе обучения студент освоил современные и перспективные методы проектирования и расчета гидротехнических сооружений, обеспечивающих создание эффективно работающих мелиоративных систем, способствующих надежному регулированию водно-воздушного режима почв.

Для инженеров, обучающихся по специальности «Мелиорация и водное хозяйство», данная дисциплина является основной, профилирующей, и, следовательно, ее изучению необходимо уделить особое внимание.

Тема 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ И УСЛОВИЯХ ИХ РАБОТЫ

1.1. Введение

Вода играла важнейшую роль в возникновении жизни на Земле. 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 (меньше 3 %), причем основной ее запас – это подземные «моря» и ледники. Однако добраться до них не так-то легко [1].

Отрасль народного хозяйства, в задачи которой входят учет, изучение и комплексное использование поверхностных и подземных вод (включая охрану вод и борьбу с ущербом, причиняемым народному хозяйству наводнениями, а также вопросы водного права), называют водным хозяйством.

Инженерные сооружения, с помощью которых осуществляется использование водных ресурсов, и борьба с их вредным действием называют гидротехническими сооружениями.

Наука, изучающая гидротехнические сооружения, устанавливающая методы их проектирования и разрабатывающая приемы их постройки и эксплуатации, называется гидротехникой.

1.2. Водные ресурсы и водное хозяйство Республики Беларусь

Достаточно ли водных ресурсов для конкретной страны зависит от численности населения, видов промышленного производства, специализации сельского хозяйства, повторного использования воды и других факторов. Республика Беларусь по своим природным условиям имеет низкий уровень водообеспеченности.

Всего на территории республики имеется более 20 тыс. рек, их общая длина 90 тыс. км. На малые реки длина каждой из которых не более 10 км, приходится 19,3 тыс. км, что составляет 96 % от всей длины. Только 7 основных рек превышают длину 500 км каждая.

Средняя густота речной сети по территории республики составляет 0,44 км на 1 км². Этот показатель постепенно понижается из-за спрямления и канализирования русел рек в бассейнах с интенсивным мелiorативным преобразованием территории, что особенно характерно для бассейна Припяти.

Водные ресурсы поверхностных вод республики приходится на реки, озера, пруды и водохранилища и оцениваются в средний по водности год в $57,1 \text{ км}^3$. Из этого объема с территории соседних республик поступает $20,7 \text{ км}^3$. В многоводные годы транзитный и местный объем речного стока в Белоруссии при 1%-ной обеспеченности может составлять 96 км^3 , а в особо маловодные при 95%-ной обеспеченности снижаться до 39 км^3 .

Велик в республике озерный фонд. Общее количество озер достигает 10,77 тыс. с суммарной площадью водного зеркала 2258 км^2 и полным объемом вод 6 км^3 . Большая часть их сосредоточена на севере республики, в 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 вод в них не превышает $1,32 \text{ км}^3$. Широко используются в народном хозяйстве крупные озера (Нарочь, Браславские и др.), особенно в рекреационных целях.

В деле водообеспечения хозяйства большое практическое значение имеют подземные воды. 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 воды. 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 Белоруссии или имеют весьма большие сроки водообмена с поверхностным стоком (порядка сотен и более лет).

Водное хозяйство охватывает следующие основные направления или отрасли:

гидромелиорация – использование воды для орошения земель, отвод избыточных поверхностных и подземных вод с территории (осушение), мероприятия по борьбе с подтоплением земель, с эрозией почв и т. п.;

водоснабжение и очистка сточных вод – обеспечение потребности населенных мест, промышленных и транспортных предприятий водой надлежащего качества и в необходимом количестве, а также очистка и отвод сточных вод и отработанных вод;

рыбное хозяйство – освоение водохранилищ, строительство новых и реконструкция построенных прудов и водоемов специального назначения, пропуск рыбы через гидроузлы при помощи рыбопропускных сооружений;

гидроэнергетика – строительство сооружений, в которых энергия падающей воды преобразуется в механическую, а затем в электрическую;

водный транспорт – использование рек, озер, водохранилищ для судоходства и лесосплава;

рекреация – строительство зданий и сооружений вдоль рек и водоемов как объектов отдыха и развития туризма и др.

Водные ресурсы в настоящее время, как правило, используют комплексно с учетом запросов различных отраслей водного хозяйства.

Огромное значение приобретают вопросы охраны водных ресурсов от загрязнения отходами промышленности, нерационального использования и пр. У нас в стране этой проблеме уделяют большое внимание, причем имеется специальное законодательство по охране водных ресурсов.

В заключение следует отметить, что всеми отраслями хозяйства в 2002 г. использовано 1691,5 млн. м³ свежей воды. По сравнению с 1991 г. суммарное водопотребление снизилось почти на 40 %. Годовой объем водоотведения в 2002 г. составил 1288,8 млн. м³ сточных вод.

1.3. Классификация гидросооружений

Гидротехнические сооружения различного назначения строят в самых разнообразных геологических, гидрологических и климатических условиях, поэтому их типы и конструкции весьма разнообразны (всего насчитывается более 100 типов гидротехнических сооружений).

По месту расположения (т. е. по роду водотока или водоема, на котором они построены) гидротехнические сооружения делят на *речные, морские, озерные, прудовые, внутрисистемные и подземные*.

По характеру выполняемых функций различают следующие виды гидротехнических сооружений:

- а) *водоподпорные* – для создания напора воды (плотины, дамбы);
- б) *водопроводящие* – для подачи воды к месту ее потребления (каналы, туннели, лотки, трубопроводы);
- в) *водозаборные* – для забора воды из водотоков и водоемов;
- г) *водосбросные* – для сброса излишков воды, а также для полезных попусков в нижний бьеф (водосливы, глубинные и сифонные водосбросы);

д) *регуляционные* (выправительные) – для укрепления берегов и регулирования взаимодействия речного потока с руслом или регулирования воздействия волн и течений на берега водоемов (берегоукрепительные сооружения, струенаправляющие дамбы, шпоры).

Внутрисистемные (или сетевые) мелиоративные сооружения подразделяют на *регулирующие* (водовыпуски, вододелители, подпорные сооружения, регулирующие уровни воды, и т. д.), *водопроводящие* (туннели, трубы, акведуки, дюкеры, лотки, ливнеспуски) и *сопрягающие*, предназначенные для гашения энергии на участках каналов, имеющих большой уклон (быстротоки, перепады и др.).

По целевому (водохозяйственному) назначению все гидротехнические сооружения делят на две группы: *общего назначения* и *специальные*. Сооружения общего назначения, к которым относятся водоподпорные, водопроводящие и регуляционные, используют для нужд различных отраслей водного хозяйства, а специальные для нужд какой-либо одной отрасли водного хозяйства. Различают специальные гидротехнические сооружения: *мелиоративные* (каналы, насосные станции и другие сооружения, предназначенные для орошения, обводнения и осушения земель); *водноэнергетические* (здания гидроэлектростанций, уравнительные резервуары, деривационные каналы и другие сооружения, предназначенные для использования водной энергии); *водотранспортные* (каналы, шлюзы, судоподъемники, молы, волноломы, пристани и причалы); *лесосплавные* (лотки, бревноспуски, запаны, боны); *рыбохозяйственные* (рыбоподъемники, рыбоходы, рыбоводные пруды); *для водоснабжения и водоотведения* (водозаборы, насосные станции, каналы, водонапорные башни, коллекторы, очистные станции); *для борьбы с наводнениями, селями, эрозией почв* (защитные дамбы, ливнестоки); *для использования грунтовых вод* (подземные водозаборы и др.); *для создания шламонакопителей и хвостохранилищ* (дамбы, трубопроводы, водосбросы и т. д.). В некоторых случаях строят так называемые *совмещенные сооружения*, выполняющие одновременно несколько функций, например, совмещенные гидроэлектростанции, имеющие водосбросные отверстия, и т. д.

По капитальности все постоянные гидротехнические сооружения делят на четыре класса (с I по IV), а временные относят к V классу. Класс капитальности постоянных гидротехнических сооружений устанавливают по СНиП в зависимости от их народнохозяйственного значения с учетом последствий их аварий или нарушений эксплуатации.

1.4. Пруды и водохранилища

Пруды и водохранилища являются искусственными водоемами, которые различаются по следующим основным признакам:

1. По геометрическим размерам. Это пруды, малые водохранилища, крупные водохранилища. Прудами называют водоемы с полным объемом воды до 1 млн. м³, с площадью зеркала до 1 км². Малое водохранилище – водоем с полным объемом $W_{\text{пол}} = 1 \dots 10$ млн. м³, с площадью зеркала 1...2 км². К крупным водохранилищам относят водоемы, у которых $W_{\text{пол}} > 10$ млн. м³, $F > 2$ км².

2. По местоположению водоемы классифицируются 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.

3. По степени аккумуляции и регулированию стока водоемы бывают с годовым регулированием, обеспечивающим сезонное, суточное регулирование; с многолетним регулированием, если наполнение и сработка полезного объема происходят в течение нескольких лет.

4. По назначению водоемы подразделяют для рыборазведения, орошения, водоснабжения, благоустройства, судоходства и лесосплава, малой гидроэнергетики, спортивных целей, борьбы с наводнениями и паводками, для комплексных целей.

Часть водоема или водотока, примыкающая к водоподпорному сооружению или напорному фронту гидроузла, называют бьефом. Бьеф, расположенный вверх по течению от подпорного сооружения, называется верхним бьефом (ВБ), а вниз по течению – нижним бьефом (НБ).

Характеристики водоема, следующие:

нормальный подпорный уровень НПУ – расчетный уровень, устанавливаемый водохозяйственным расчетом;

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

уровень мертвого объема УМО – наименьший 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 $W_{\text{п}}$ и мертвого объема $W_{\text{мо}}$;

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

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

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

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

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

коэффициент емкости водоема – отношение полезного объема водоема $W_{\text{п}}$ к объему среднего многолетнего стока W_0 . $\beta = \frac{W_{\text{п}}}{W_0}$.

Основными показателями водоема является его полезный объем $W_{\text{пол}}$ и площадь F зеркала.

По площади водного зеркала действующие пруды республики можно отнести к малым (до 10 га), средним (10,1...25 га) и большим (более 25 га).

В основном пруды распространены в долинах малых рек, оврагах и балках, бывших карьерах, а также на месте торфоразработок. Поэтому по характеру размещения их можно разделить на 4 типа: речные, или русловые; овражно-балочные; наливные; карьерные.

Речные пруды наиболее распространены, чаще всего лентовидной формы. Располагаются в основном в верховьях малых рек, в северной и центральной частях республики. Длина их в среднем достигает 1 км, а ширина не более 100–150 м.

Овражно-балочные пруды распространены в основном в местах, сильно подверженных воздействию водной эрозии. В Беларуси этот тип характерен для лессового Оршанско-Могилевского плато. Они имеют форму удлиненного треугольника с основанием у плотины. Длина не превышает 0,5 км, а ширина 150–200 м.

Наливные пруды встречаются очень редко, озеровидной формы. Длина их и средняя ширина в основном одинаковы. Вода различными механическими способами подается из озер, рек, каналов. Нередко эти водоисточники находятся на расстоянии 5–6 км друг от друга.

Карьерные пруды располагаются, как правило, на месте торфоразработок или других выработок. Конфигурация их в плане зависит от формы выработки.

В настоящее время на территории Белоруссии действует около 120 водохранилищ различного хозяйственного назначения. В республике преобладают водохранилища речного типа. Наибольшие объемы зарегулированного стока рек водохранилищами приходятся на бассейны Зап. Двины, Немана и Припяти. Наименьшая степень зарегулированности водохранилищами отмечается в бассейнах Зап. Буга, Сожа и Днепра.

В зависимости от полного объема и площади водного зеркала (по В. М. Широкову) все водохранилища Белоруссии делятся на средние (с объемом более 100 млн. м³ и площадью зеркала более 50 км²), малые (10...100 млн. м³ и 10...50 км²) и очень малые (1...10 млн. м³ и площадью зеркала менее 10 км²). В основном водохранилищный фонд республики представлен малыми водохранилищами.

Наряду с отраслевым использованием водохранилища имеют и комплексное назначение, например, для рыбного хозяйства и орошения земель, рекреации и энергетики, водоснабжения и рыбного хозяйства и т. д.

Тема 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО И УСЛОВИЯ РАБОТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

2.1. Особенности и условия работы гидротехнических сооружений

Гидротехнические сооружения в отличие от других инженерных сооружений работают в постоянном контакте с движущейся или находящейся в покое водой, которая оказывает на них *механическое, физико-химическое и биологическое воздействие*.

Механическое воздействие воды проявляется в виде статических и динамических нагрузок, в значительной степени определяющих форму и размеры сооружения, и в первую очередь должно учитываться при строительстве подпорных гидротехнических сооружений, которые после заполнения водохранилища оказываются под напором и испытывают давление воды. Так, гидростатическое давление, действующее в горизонтальном направлении со стороны верхнего бьефа, стремится сдвинуть или опрокинуть сооружение (рис. 2.1). Заполнение водохранилища приводит к изменению естественного режима руслового потока и грунтовых вод как в верхнем, так и в нижнем бьефе, что непосредственно влияет на работу водоподпорных сооружений.

Скорости течения в водохранилище вследствие увеличения глубин значительно уменьшаются по сравнению с бытовыми, однако на подходе к водобросным сооружениям они возрастают и могут вызвать размывы дна в верхнем бьефе (такая опасность возникает, например, при пропуске воды через донные отверстия), что требует в необходимых случаях устройства перед сооружением крепления.

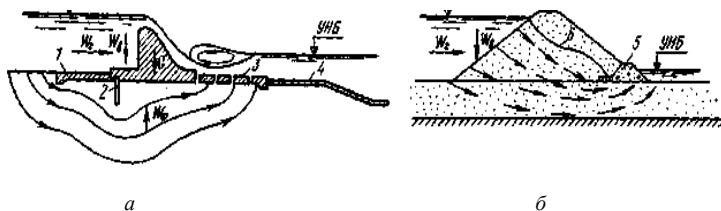


Рис. 2.1. Схемы воздействия воды на бетонную (а) и земляную (б) плотины
1 – понур; 2 – шпунт; 3 – водобой; 4 – рисберма; 5 – дренажная призма;
6 – депрессионная кривая

Физико-химическое воздействие воды вызывает коррозию металлических элементов, кавитацию, которая может возникнуть в зонах, где поток обтекает сооружение с большими скоростями и образуется значительный вакуум химическую суффозию в грунтах основания, содержащих легкорастворимые вещества (каменную соль, гипс), и др.

Биологическое воздействие воды связано с жизнедеятельностью различных обитающих в ней организмов, в результате которой может происходить зарастание трубопроводов, гниение деревянных сооружений и др.

Мнообразие воздействий воды на гидротехнические сооружения в сочетании с целым рядом других возможных воздействий (сейсмические, колебания температуры и др.) и самыми разнообразными климатическими, инженерно-геологическими и гидрологическими условиями строительства обуславливает необходимость индивидуального подхода к проектированию каждого сооружения.

Нагрузки на гидротехнические сооружения. Гидротехнические сооружения подвергаются различным по природе, характеру и продолжительности нагрузкам. Некоторые из них являются постоянными (например, собственный вес сооружения). Другие действуют лишь в определённые периоды (ледовые нагрузки) или являются случайными и действуют кратковременно с той или иной интенсивностью и повторя-

емостью (например, сейсмические воздействия). Таким образом, на сооружение могут воздействовать одновременно различные комбинаций сил.

При проходе потока с большими скоростями (20–30 м/с и более) через водослив возникают динамические нагрузки на сооружение, а в нижнем бьефе энергия потока может вызвать размывы грунта основания, опасные для сооружения, что требует соответствующих защитных мероприятий (например, устройства водобоя, рисбермы).

Динамические нагрузки на гидротехнические сооружения возникают также при ударах волн, при движении фильтрационного потока в основании и теле сооружения, при действии сейсмических сил во время землетрясения,

В зимний период возможно возникновение статических нагрузок на сооружение при термическом расширении сплошного ледяного покрова или навале ледяных полей под действием ветра и течений.

При расчетах прочности и устойчивости гидротехнических сооружений в соответствии со СНиП различают *основные и особые сочетания* нагрузок и воздействий, для которых с учетом класса капитальности сооружений установлены минимальные допускаемые коэффициенты запаса. Например, для плотин I класса допускаемый коэффициент запаса устойчивости откосов при основном сочетании нагрузок равен 1,25–1,3, а при особом – 1,05–1,1.

2.2. Стадии и виды проектирования

Проектом называют совокупность документов, содержащих принципиальное (эскизный проект) или окончательное (технический проект) решение о строительстве или реконструкции сооружения. Проект, представляющий совокупность документов установленной формы, включает пояснительную записку и чертежи.

Проектирование гидротехнических сооружений осуществляется в несколько стадий, которые определены СНБ 1.03.02-96 (СНБ 1.03.02-96 Состав, порядок разработки и согласования проектной документации в строительстве. – Мн.: Минстройархитектуры, 1996. – 24 с.).

Первой проектной стадией является «Обоснование инвестиций в строительство объектов» – это оценка технической возможности, коммерческой и экономической целесообразности инвестиций в строительство данного объекта. На этой стадии рассматривается ряд альтернативных вариантов, выполняются необходимые расчеты сооружений, а

также расчеты по определению эффективности инвестиций, социальных, экологических и других последствий осуществления строительства и эксплуатации объекта. Обоснование инвестиций служит основанием для принятия заказчиком решения о дальнейшем инвестировании, оформления в установленном порядке материалов предварительного согласования места размещения и разработки проектной документации.

Разработка проектной документации на строительство гидротехнических сооружений осуществляется, как правило, в две стадии: архитектурный проект и строительный проект.

В архитектурном проекте, на основе данных уточненных и детализированных изысканий, выполненных модельных исследований, окончательно устанавливаются водохозяйственный режим, типы и основные детали сооружений, составляются их чертежи, разрабатываются методы производства работ, перечни необходимых машин и механизмов, организация строительства, детализируется и уточняется смета. Архитектурные проекты независимо от источника финансирования и форм собственности подлежат государственной экспертизе в установленном порядке. На основе архитектурного проекта открывается финансирование и начинаются строительные работы на площадке строительства, делаются заказы на оборудование, производится отвод необходимой территории с выдачей государственного акта на право пользования землей.

Строительный объект разрабатывается на основе утвержденного архитектурного проекта и обеспечивает непосредственную реализацию инвестиций в строительство объекта. На этой стадии проектная организация разрабатывает рабочую документацию, детальные чертежи сооружений и их элементов, идущие непосредственно на площадку строительства для выполнения по ним работ с учетом возможных изменений в проекте. Эти изменения могут понадобиться после вскрытия основания сооружения до проектных отметок и уточнение геологического строения основания и примыканий сооружений к берегам, а также по ходу работ в случае выяснения непредвиденных проектом обстоятельств.

Для сооружений менее значимых и технически несложных, строящихся по типовым проектам, по проектной документации массового и повторного применения, может предусматриваться одностадийное проектирование. При одностадийном проектировании в состав проектной документации входит строительный проект, в котором выделяется и отдельно утверждается архитектурная часть.

Разработка проектной документации на строительство гидротехнических сооружений должна осуществляться разработчиками, получившими в установленном порядке лицензию на право проектирования таких объектов в соответствии с законодательством Республики Беларусь.

По завершении любой стадии проектирования осуществляют оценку проектных проработок. Их рассматривают, рецензируют и утверждают соответствующие уровню проекта органы. Если проект затрагивает интересы нескольких отраслей народного хозяйства, то в установленном директивными органами порядке его согласовывают с соответствующими территориальными или центральными ведомствами.

При составлении проектов специалисты руководствуются инструкциями по разработке проектов и смет для строительства мелиоративных объектов, техническими условиями ТУ, СТБ, СНБ, РПИ, СНиП, типовыми проектами, каталогами типовых промышленных конструкций, стандартами на строительные материалы и конструкции (ГОСТ), нормами продолжительности строительства и другими нормативными документами.

2.3. Влияние гидротехнического строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов на окружающую среду

Из всех гидротехнических сооружений наибольшее влияние на окружающую среду оказывают водохранилища.

Влияние подпора. Подпор (подъем уровня) от плотины и вызванное им затопление земель распространяется далеко вверх по течению реки. Приблизительно длину участка (зоны) подпора можно вычислить по формуле (рис. 2.2).

$$L = kH / J, \quad (2.1)$$

где k – коэффициент, учитывающий конструкцию плотины ($k = 5 \dots 2,2$ для плотин с затворами и разборчатых; $k = 4 \dots 5,7$ для глухих плотин);

H – напор на плотине;

J – средний продольный уклон потока до создания водохранилища.

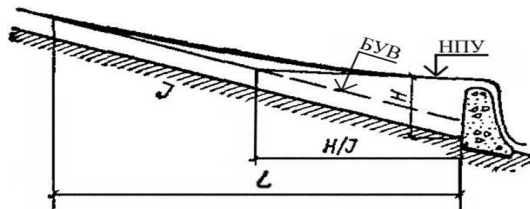


Рис. 2.2. Схема для приближенного определения длины участка подпора от плотины

Затопление земель в верхнем бьефе бывает трех типов:

- 1) *постоянное*, отвечающее уровню мертвого объема (УМО);
- 2) *долговременное*, отвечающее нормальному подпорному уровню (НПУ);
- 3) *кратковременное*, отвечающее периоду половодья и периодам форсировки уровней.

Границы затопления могут изменяться (расширяться) под влиянием переработки берегов и отложения в водохранилище наносов.

Инженерная защита объектов на территории вокруг водохранилища включает следующие мероприятия:

- 1) ограждение объекта или ценных земель (иногда вредного мелководья) незатопляемыми земляными дамбами;
- 2) устройство дренажа и откачка воды с обвалованных или подтопленных территорий;
- 3) укрепление берегов против разрушающего действия волн, оползней;
- 4) вертикальная планировка территорий.

Изменение климатических условий. Водохранилища на крупных реках оказывают существенное влияние на климат окружающих районов. Это влияние обуславливается следующими факторами:

- 1) появлением большого объема водной массы с высокой теплоемкостью, что несколько смягчает континентальный характер климата;
- 2) увеличением площади поверхности испарения;
- 3) подъемом уровня грунтовых вод;
- 4) возникновением водной (гладкой) поверхности водохранилища взамен шероховатой поверхности суши, что способствует усилению ветров над водохранилищем и прибрежной зоной. Влияние водохранилища распространяется на все составляющие климата: континентальность, температурный режим, количество осадков, влажность воздуха,

ветровой режим и т. п. Оно проявляется в уменьшении амплитуд колебаний температуры, повышении влажности воздуха, скорости ветра и др.

Изменение режима уровней грунтовых вод (подтопление земель). С созданием водохранилища существенно изменяется положение поверхности грунтовых вод (рис. 2.3) – она перемещается ближе к поверхности земли. И если, например, раньше река была дреной другого водотока, то после заполнения водохранилища направление движения грунтовых вод изменяется. Повышение уровня грунтовых вод и скорость формирования подпора различны для разных водохранилищ и даже для разных участков одного и того же водохранилища. На характер и интенсивность процесса подтопления влияют в основном величина подпора уровня воды в реке, механический состав и фильтрационные свойства грунтов, слагающих берега водохранилища, и режим уровней водохранилища. Подъем уровня грунтовых вод при слабоврезанной долине может привести к выходу их на поверхность земли и заболачиванию территории. Кроме того, повышение уровня грунтовых вод приводит к изменению почвенного покрова, растительности и химического состава грунтовых вод. Если на подтопленной территории расположено какое-либо сооружение, например, здание насосной станции и др., то резко усложняются условия его эксплуатации и в ряде случаев оно может выйти из строя.

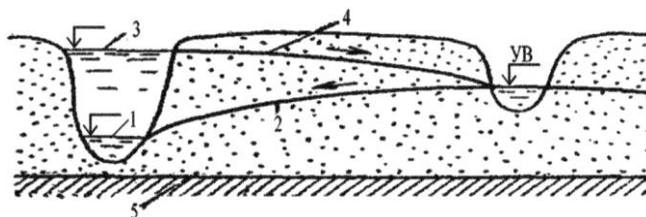


Рис. 2.3. Изменение положения депрессионной поверхности грунтовых вод при создании водохранилища:

- 1 – уровень воды в реке до подпора; 2 – депрессионная поверхность грунтовых вод в естественных условиях; 3 – уровень водохранилища;
- 4 – депрессионная поверхность грунтовых вод после подпора; 5 – водоупор

Влияние водохранилищ на почвенный покров, растительность и животный мир.

Изменение режима паводкового затопления земель, режима уровней грунтовых вод и микроклимата приводит к изменению водного и теплового режимов почвы в прибрежных и других районах зоны подтопления, а тем самым к изменениям в ней биологических и физико-химических процессов. Эти изменения зависят от уровня грунтовых вод, удаленности от уреза водохранилища, уклона поверхности земли, механического состава почв, характера растительности и других факторов. Общая ширина района влияния водохранилища на почвенный покров может составлять от нескольких десятков метров до нескольких километров.

Изменение природных условий в нижнем бьефе гидроузлов.

В связи с увеличением меженных расходов в нижнем бьефе оказывается постоянно затопленной узкая прибрежная зона. Ширина этой зоны обычно невелика и составляет десятки, а иногда сотни метров. В результате постоянного и временного затопления земель и повышения уровня грунтовых вод в нижнем бьефе наблюдаются изменения почвенно-растительного покрова, аналогичные происходящим в верхнем бьефе. С другой стороны, вследствие уменьшения паводковых расходов потока, сбрасываемого в нижний бьеф, уменьшается зона временных затоплений пойм по сравнению с бытовыми условиями. В связи с этим для нижнего бьефа характерны следующие изменения природных условий:

1) на пойменные земли, регулярно затопливаемые в бытовых условиях, теперь уже не откладывается наилок, содержащий органические питательные вещества, что ведет к резкому ухудшению качественного состава лугового травостоя. Пойменные луга в истинном понимании этого слова исчезают;

2) запасы влаги в пойменных землях уменьшаются, уровень грунтовых вод нередко снижается, что ведет к существенному обеднению этих земель. Это особенно существенно для засушливых южных районов, где весеннее увлажнение поймы создает базу для развития луговой и древесной растительности в течение всего лета. Влияние этого фактора для районов избыточного увлажнения (лесная зона) несколько иное;

3) русловые процессы и пойменные деформации в нижнем бьефе развиваются в направлении размыва берегов, отмирания пойменных и русловых рукавов, хотя эти процессы идут довольно медленно. Более активно, особенно в первые годы эксплуатации водохранилищ, проходят процессы руслоформирования в вертикальной плоскости. Вследствие задержания в водохранилище наносов и поступления в нижний

бьеф переосветленной (по сравнению с бытовыми условиями) воды здесь отмечается активный размыв дна и понижение его отметок непосредственно вблизи гидроузла. Развитие этого процесса идет до установления равновесия, т. е. развитие процессов размыва по длине русла до насыщения потока наносами до его транспортирующей способности, после чего зона размыва и зона аккумуляции смещаются вниз по течению;

4) происходит активизация русловых процессов на притоках, впадающих в реку ниже водохранилища. Здесь вследствие снижения уровней половодья в главной реке увеличиваются уклоны и скорости, что ведет к усилению размывов русл и берегов. Эти процессы тем активнее, чем ближе устья притоков к створу гидроузла;

5) вследствие образования в нижнем бьефе незамерзающих участков (майн) изменяется микроклимат как над самой рекой, так и в прибрежной зоне: температура воздуха здесь несколько выше, чем над окружающей местностью, отмечается образование туманов.

Для обеспечения надлежащего хозяйственного использования водохранилища и создания благоприятных санитарно-гигиенических условий для населения проводят специальные мероприятия по подготовке его чаши (ложа). Эти мероприятия включают в себя работы по лесосводке, лесоочистке и санитарной очистке загрязненных территорий, специальную санитарную обработку зон водозаборов, противомаларийные и некоторые другие мероприятия.

Санитарно-гигиенические мероприятия. Состав и объем этих мероприятий определяются основными требованиями санитарных правил. Кроме кратко рассмотренных выше лесосводки и лесоочистки, к ним относятся следующие мероприятия:

1) запрещение сброса в водохранилище неочищенных сточных вод, обеспечение санитарной очистки территории населенных мест, животноводческих ферм, промышленных предприятий и мест специфического загрязнения, попадающих в зону воздействия водохранилища;

2) подготовка санитарных зон и прибрежных участков водохранилища вблизи населенных мест;

3) перенос кладбищ, братских могил и скотомогильников или устройство сооружений либо креплений, защищающих их от размыва;

4) специальная санитарная подготовка зон водозаборов централизованного питьевого водоснабжения;

5) прочие санитарно-гигиенические мероприятия (охрана грунтовых вод от истощения и загрязнения и т. д.).

Противомалярийные мероприятия. В нашей стране достигнуты большие успехи по борьбе с малярией, практически отсутствует первичное заболевание этой болезнью. Малярийный комар является только переносчиком (а не возбудителем) этого заболевания, поэтому, где нет больных малярией, там нет и малярии.

Гидротехнические мероприятия включают углубление или засыпка мелководий 1,5...2,0 м, обвалование их, осушение заболоченных территорий и др.

В нижнем бьефе гидроузлов санитарные мероприятия осуществляются путем пусков воды из водохранилища в период малых расходов.

Тема 3. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ФИЛЬТРАЦИИ ЧЕРЕЗ ТЕЛО, ОСНОВАНИЕ И В ОБХОД ВОДОПОДПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

3.1. Общие сведения о фильтрации

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

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 не зависят от времени. В дальнейшем будет изучаться только установившееся движение, являющееся следствием постоянства уровней воды в бьефах.

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

Фильтрационные расчеты выполняют при постоянной разности уровней воды между верхним и нижним бьефами, несмотря на то, что во времени происходят их колебания, соответственно этому меняется и разность их. Для этого принимают расчетную схему с максимальным значением разности уровней при установившейся фильтрации.

Два вида потоков воды в водоподпорных сооружениях. При разности бьефов в сооружениях возможны два вида потоков воды – поверхностный и фильтрационный. Эти потоки могут протекать одновременно или раздельно. В глухих или водосбросных сооружениях, но при

закрытых затворах будет только фильтрационный поток. При поднятых затворах и незначительной разности уровней (например, 2–3 см) будет только поверхностный поток, а фильтрационного практически не будет (рис. 3.1, *а*). При открытых затворах и значительной разности уровней в бьефах будут оба потока – поверхностный и фильтрационный (рис. 3.1, *б*).

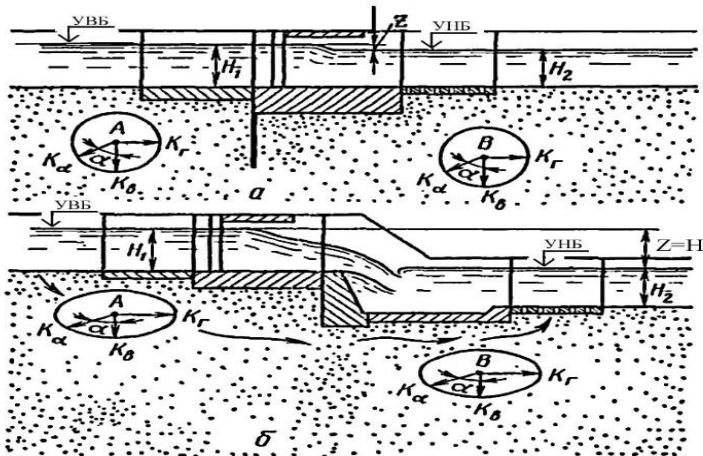


Рис. 3.1. Поверхностный и фильтрационный потоки в водоподпорных сооружениях:
а – поверхностный поток, в основании однородно-изотропные грунты;
б – поверхностный и фильтрационный потоки, в основании однородно-анизотропные грунты

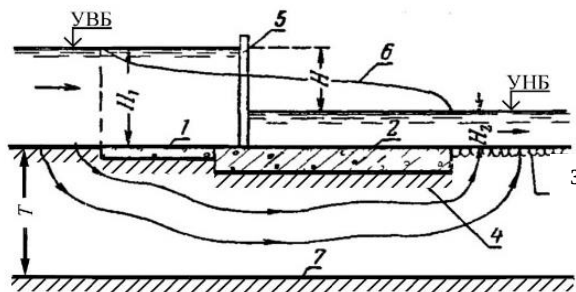


Рис. 3.2. Напорное движение фильтрационного потока:
 1 – пунур; 2 – водобой; 3 – слив (рисберма); 4 – подошва; 5 – затвор;
 6 – линия пьезометрических напоров вдоль флюتبета; 7 – водоупор

3.2. Напорная и безнапорная фильтрация

Если сооружение маловодопроницаемо (бетон, железобетон, камень), а грунт представляет собой легкопроницаемую для воды среду, то грунтовый поток не имеет свободной поверхности и является напорным (рис. 3.2). Такой поток оказывает на подошву сооружения гидродинамическое (фильтрационное) давление, изменяющееся от максимальной величины, равной разности уровней H плюс глубина воды в нижнем бьефе H_2 (если она есть), до минимума, равного глубине воды в нижнем бьефе H_2 или при отсутствии воды в нижнем бьефе равно нулю.

Если же сооружение само является фильтрующим (рис. 3.3) (грунтовая плотина, дамба), то движение воды происходит через тело сооружения, при этом образуется свободная поверхность и движение будет безнапорным. Поверхность воды в грунтовом теле называется депрессионной поверхностью, а линию пересечения этой поверхности с вертикальной плоскостью называют депрессионной кривой, или кривой депрессии.

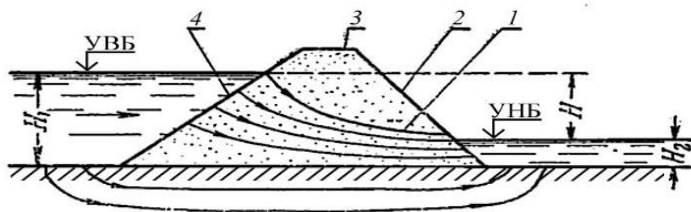


Рис. 3.3. Безнапорное движение фильтрационного потока:

- 1 – депрессионная кривая; 2 – низовой откос;
- 3 – гребень плотины; 4 – верховой откос

В основании водоподпорных сооружений также возможны два основных режима фильтрационного потока – безнапорный и напорный. Характер их определяется положением уровня грунтовых вод. Если он расположен ниже подошвы сооружения, будет безнапорный режим. Фильтрация воды будет происходить из верхнего бьефа в нижний в направлении, близком к вертикальному. Такое движение потока называют инфильтрацией. Если уровень грунтовых вод поднимется до дна нижнего бьефа, в основании появится напорный режим. Фильтрационные расчеты водоподпорных сооружений ведут при напорном режиме,

причем уровень грунтовых вод, в зависимости от конкретных гидрогеологических условий, принимают или совпадающим с дном нижнего бьефа или расположенным выше его.

Тема 4. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ФИЛЬТРАЦИОННЫХ РАСЧЕТАХ

4.1. Понятие о флютбете гидросооружения

Напорное движение грунтовых вод под гидротехническими сооружениями происходит в непосредственном контакте с флютбетом, который является основной частью гидротехнического сооружения и образует ложе для проходящего через него потока. В речных сооружениях составными частями флютбета являются понур, тело плотины, водобой, рисберма и концевой участок (ковш) (рис. 4.1, а). Такой состав флютбета характерен для водосбросных плотин с повышенной глубиной воды в верхнем бьефе.

В сооружениях с низко расположенным порогом вместо тела плотины будет водосливной порог, располагаемый на уровне понура или несколько выше его (рис. 4.1, б), т. е. водослив с широким порогом.

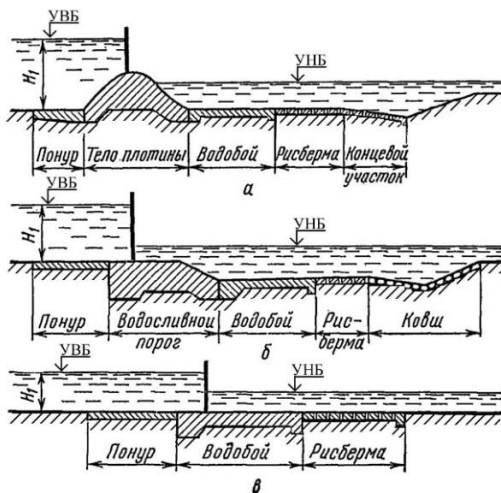


Рис. 4.1. Составные части флютбета:
 а – в высоконапорных и средненапорных сооружениях;
 б – в сооружениях с низким порогом;
 в – в гидромелиоративных сооружениях на каналах

В гидромелиоративных сооружениях на каналах водосливной порог и водобой объединяются в единую массивную плиту. Для таких сооружений считается, что флютбет состоит из трех частей – понура, водобоя и рисбермы (рис. 4.1, в).

Флютбет сооружения служит для двух целей: 1) безопасного пропуска поверхностного потока из верхнего бьефа в нижний и 2) гашения напора фильтрационного потока.

Подземным контуром флютбета водоподпорных сооружений называют линию контакта (плоскость контакта) между грунтом основания и подземной частью флютбета. В подземный контур входят контактные линии понура, тела плотины, рисбермы, а также зубья и шпунтовые стенки.

Подземный контур в соответствии с его назначением имеет участки водонепроницаемые и водопроницаемые. Однако в фильтрационных расчетах принято к подземному контуру относить только водонепроницаемые части, на длине которых происходит гашение напора.

В пределах подземного контура различают горизонтальные и вертикальные пути фильтрации. Подземный контур, вытянутый в одну горизонтальную линию, называют развернутой длиной подземного контура.

4.2. Силы, действующие на флютбет

К основным силам, действующим на флютбет, относят: собственный вес флютбета, силу гидростатического давления воды, силу фильтрационного и взвешивающего давления, трение по боковым поверхностям флютбета, сцепление между подошвой флютбета и грунтом основания, а в отдельных случаях силу дефицита давления. Не все перечисленные силы одновременно учитывают, например, при определении коэффициента устойчивости флютбета в гидромелиоративных сооружениях обычно пренебрегают последними тремя силами.

Сила фильтрационного давления на флютбет направлена нормально к линии подземного контура, следовательно, она может быть как горизонтальной, так и вертикальной.

При другом направлении сила фильтрационного давления может быть разложена на две составляющие: горизонтальную и вертикальную.

Составляющую вертикального направления называют силой фильтрационного противодавления.

На флютбет, погруженный в воду, действует сила взвешивающего давления. Она определяется глубиной погружения подошвы флютбета

под уровень воды нижнего бьефа. Эта сила направлена вверх и ее называют взвешивающим противодействием.

Общее противодействие W , действующее на горизонтальные участки подошвы флютбета, складывается из двух частей – фильтрационного W_{ϕ} и взвешивающего $W_{в}$:

$$W = W_{\phi} + W_{в}. \quad (4.1)$$

Эта сила учитывается при определении устойчивости флютбета на всплытие. Горизонтальная составляющая силы фильтрационного давления учитывается при расчете флютбета на сдвиг.

Графически фильтрационное и взвешивающее давление изображают в виде эпюр, построенных на горизонтальной проекции подземного контура или на его развернутой длине (рис. 4.2). Ординаты эпюр фильтрационного давления определяются расчетом, а ординаты эпюры взвешивающего давления – глубиной погружения рассматриваемой точки (плоскости) под уровень воды нижнего бьефа. Сила фильтрационного и взвешивающего давлений (на 1 м длины сооружения) равна площади эпюры рассматриваемого участка подземного контура, умноженной на плотность воды.

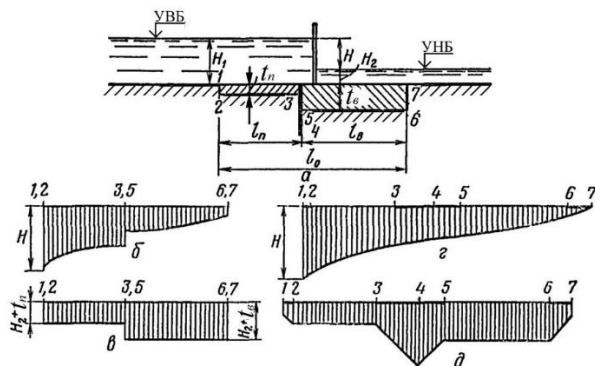


Рис. 4.2. Силовое воздействие воды на подземный контур водоподпорных сооружений: a – разрез по водоподпорному сооружению; $б$ – эпюра фильтрационного противодействия на горизонтальную проекцию флютбета; $в$ – эпюра взвешивающего противодействия на горизонтальную проекцию флютбета; $г$ – эпюра фильтрационного давления по развернутому контуру флютбета; $д$ – заглубление точек подземного контура под уровень воды нижнего бьефа по развернутому контуру

Ординатами в эпюрах могут быть как давление (P_a), так и напор (H), применяемый чаще. Отсюда и понятие «эпюра напоров».

4.3. Задачи фильтрационных расчетов

На основании фильтрационных расчетов нужно так запроектировать подземное очертание гидротехнического сооружения, чтобы оно способно было уменьшить расходы воды под сооружением, снизить величину выходной скорости фильтрации и уменьшить расчетное давление на подошву флютбета до требуемых значений, т. е. запроектировать так называемый рациональный подземный контур, у которого при обеспечении прочности сооружения и устойчивости основания сочетаются следующие качества: экономичность и простота конструкции, приемлемость технологии выполнения, возможность использования местных строительных материалов, удобство эксплуатации сооружения.

Не всегда эти три задачи имеют одинаковую актуальность. Расход воды на фильтрацию под сооружением при малопроницаемых грунтах может не играть существенной роли, и определение его в таком случае носит лишь проверочный характер.

То же можно сказать о необходимости снижения противодавлений на водобойную часть. Если водобойная плита флютбета достаточно массивна и устойчива на скольжение, то можно не стремиться к снижению этих давлений, но определить их для выяснения безопасности условий будущей эксплуатации сооружения необходимо.

Скорость фильтрации при выходе потока в нижний бьеф нужно проверять всегда; если она окажется больше допустимой, то следует запроектировать крепление грунта за сооружением или принять другие меры для снижения ее до необходимых пределов с целью предотвращения фильтрационных деформаций грунта основания.

Однако независимо от степени актуальности той или иной задачи при проектировании подземного контура нужно решить все вопросы, связанные с движением фильтрационного потока под сооружением, т. е. определить:

- 1) распределение давлений по подземному контуру сооружения;
- 2) выходную скорость фильтрации (градиент напора);
- 3) расход фильтрационного потока.

Главной задачей при фильтрационных расчетах можно считать определение давлений, так как скорость фильтрации (градиент напора) в расчетной области фильтрации и фильтрационный расход сравнительно

легко определить, если известно распределение давлений в области фильтрации под сооружением.

Уравнения фильтрационного потока. Основой фильтрационных расчетов в пористой среде служит закон Дарси:

$$v = k_{\phi} \cdot I, \quad (4.2)$$

Отсюда расход фильтрационного потока определяется по формуле:

$$Q = k_{\phi} \cdot \omega \cdot I, \quad (4.3)$$

где x – скорость фильтрации;

k_{ϕ} – коэффициент фильтрации;

I – градиент напора;

W – площадь поперечного сечения, включая поры и частицы грунта.

Закон Дарси справедлив для ламинарного потока и соблюдается в весьма широкой области изменения скоростей. Для установления применимости закона Дарси, когда имеются характеристики грунта (диаметр частиц, пористость, коэффициент фильтрации), существует ряд формул, приводимых в специальной литературе.

4.4. Допущения при фильтрационных расчетах

Все разнообразие факторов, встречающихся при движении фильтрационного потока в реальных условиях, расчетными формулами учесть невозможно. Это заставляет вводить некоторые упрощения и допущения.

Основные допущения при фильтрационных расчетах сводятся к следующему:

- 1) принимается плоское движение фильтрационного потока;
- 2) грунт в основании сооружений считается однородно-изотропным; при однородно-анизотропных грунтах переходят к эквивалентной в фильтрационном отношении схеме с однородно-изотропным грунтом, изменяя при этом размеры флютбета;
- 3) заданный напор на сооружение, не изменяется во времени, а это значит, что рассматривается установившаяся фильтрация;
- 4) коэффициент фильтрации остается постоянным;
- 5) температура воды считается неизменной;
- 6) принятая пористость грунта не изменяется со временем.

Характеристика основных методов расчета.

К настоящему времени теория движения фильтрационных вод и методы расчета получили широкое развитие.

Предложенные многочисленные приемы и методы расчета по степени полноты и достоверности получаемых при расчетах результатов можно разделить на следующие группы:

Первая группа – гидравлические, основанные на приближенном решении задачи. Это наиболее распространенные методы, используемые в практических расчетах.

Вторая группа – экспериментальные. Среди них наибольшее распространение получили метод ЭГДА (электродинамических аналогов). При помощи этого метода строят гидродинамическую сетку для любых подземных контуров флюида. Гидродинамическую сетку можно построить и графическим способом («вручную»), зная свойства гидродинамической сетки и имея определенные навыки.

Третья группа – гидромеханические методы, основанные на упрощении аналитических решений. Сюда относятся метод фрагментов, метод коэффициентов сопротивлений и др.

Четвертая группа – эмпирические, в которых дается весьма приближенный ответ по определению давления грунтовых вод на отдельные части сооружений. Сюда относятся так называемый способ линейно-контурной фильтрации (ЛКФ) и все его разновидности. В настоящее время используют метод удлиненной контурной линии.

Применяют также экспериментальный метод исследования фильтрации в грунтовых лотках на моделях гидротехнических сооружений.

В настоящее время метод удлиненной контурной линии и метод коэффициентов сопротивлений расчета фильтрации рекомендованы нормативными документами к применению для сооружений 3 и 4 классов.

Тема 5. ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ

5.1. Определение основных размеров подземного контура

Следует отметить, что размеры подземного контура должны быть уже определены в результате гидравлического расчета водоподпорных сооружений. Однако в процессе гидротехнического расчета может оказаться, что принятые ранее размеры элементов подземного контура не обеспечивают прочность и устойчивость сооружения и его основания от воздействия фильтрационного потока.

Ниже для различных схем подземного контура приводятся зависимости, по которым можно еще пока предварительно (после гидравлического расчета сооружения) определить минимальную длину подземного контура. Окончательно размеры подземного контура будут приняты (определены) после выполнения фильтрационного (гидротехнического) расчета.

Минимальная допустимая длина подземного контура для распластанной схемы, т. е. $l_0/S_0 \geq 5$ и $T_d \leq 0,5l_0$ должна быть равной:

$$L_{\min} = \frac{H}{I_{\text{кр}}^{\text{cp}}} - 0,88T_{\text{cp}}, \quad (5.1)$$

где H – расчетный напор на сооружении;

$I_{\text{кр}}^{\text{cp}}$ – расчетный осредненный критический градиент напора, принимаемый по соответствующей таблице;

l_0 – проекция подземного контура на горизонталь;

S_0 – проекция подземного контура на вертикаль;

T_d – действительное заглубление водопора;

T_{cp} – средняя глубина залегания расчетного водопора, положение которого определяется размером $T_{\text{расч}}$:

$$T_{\text{cp}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_m}{m}, \quad (5.2)$$

где T_1 – заглубление расчетного водопора под дном верхнего бьефа;

T_2 – то же под подошвой понура и т. д.;

m – число значений T , введенных в формулу.

При глубоком залегании водопора для определения минимальной длины подземного контура можно использовать зависимость:

$$L_{\min} = L_v + 1,5L_g = \frac{H}{I_{\text{кр}}^{\text{cp}}}, \quad (5.3)$$

где L_v и L_g – суммарные длины соответственно вертикальных и горизонтальных элементов контура.

Разумеется, формулы (5.1) и (5.3) в некоторых случаях фильтрационного расчета гидросооружений приходится решать подбором в связи с отсутствием в начале расчета данных о величине l_0 и S_0 .

5.2. Методы фильтрационных расчетов

В практике проектирования мелиоративных гидротехнических сооружений наиболее широкое распространения получили следующие методы фильтрационных расчетов: по гидродинамической сетке, метод коэффициентов сопротивлений, удлинненной контурной фильтрации.

5.2.1. Расчеты по гидродинамической сетке

Способы построения гидродинамических сеток. С помощью гидродинамической сетки (рис. 5.1) можно определить все параметры фильтрационного потока – напоры, гидравлические градиенты, скорости и расходы. Достоинство сеток состоит в том, что вычисление всех параметров просто и, что очень существенно, их можно определить в любой заданной точке области фильтрации.

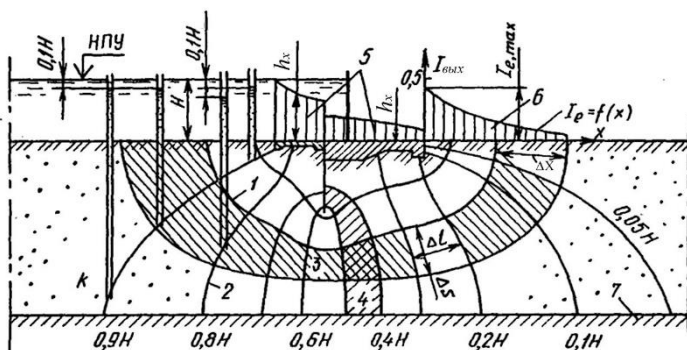


Рис. 5.1. Гидродинамическая сетка:

- 1, 2 – линия токов и равных напоров; 3 – лента расхода; 4 – пояс давления;
5, 6 – эпюры фильтрационного противодействия и выходных градиентов
фильтрационного потока в нижний бьеф, построенные
по гидродинамической сетке; 7 – водоупор

Гидродинамические сетки можно построить по уравнениям для простых очертаний подземного контура, экспериментально, на приборе ЭГДА и приближенно графически.

При построении гидродинамической сетки методом ЭГДА используется аналогия между движением грунтового потока в пористой среде

и движением электрического тока в токопроводящей среде. При соблюдении граничных условий гидродинамические сетки фильтрационного и электрического потоков будут одинаковы.

Если при фильтрационных расчетах нельзя ограничиться решением плоской задачи, а нужно решить пространственную, то пользуются пространственным прибором ЭГДА, где грунт обычно заменяют жидкостью – электролитом. В некоторых случаях, когда гидротехническое сооружение имеет значительное протяжение, можно по нескольким характерным поперечникам решить плоскую задачу и потом подсчитать осредненные значения расчетных величин для перехода к пространственным условиям.

В заключение следует отметить, что метод ЭГДА был предложен академиком Н. Н. Павловским в 1921–1922 гг. Также большая заслуга в разработке этого метода принадлежит профессору Е. А. Замарину, который ввел в расчетную практику сетку движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями, разработав технику пользования ею. В настоящее время проектировщики пользуются этим надежным, дешевым и простым средством проектирования гидротехнических сооружений.

5.2.2. Расчет фильтрации методом коэффициентов сопротивления Р. Р. Чугаева

Общие указания. Метод коэффициентов сопротивления является дальнейшим развитием известного метода фрагментов Н. Н. Павловского. Он был предложен Р. Р. Чугаевым в 1953–1955 гг. во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники (ВНИИГ) имени Б. Е. Веденеева. Сущность его состоит в том, что область фильтрации с резко изменяющимся движением фильтрационного потока приближенно заменяется областью фильтрации с плавно изменяющимся движением и принимается в виде трубы с элементами подземного контура сооружения, характеризующимися коэффициентами местных сопротивлений ξ , пропорционально которым распределяются фильтрационные потери напора. Чтобы главные параметры фильтрационного потока (фильтрационное давление, максимальные выходные градиенты напора, расход фильтрации) могли быть рассчитаны при такой замене с приемлемой точностью, вводится понятие активной зоны фильтрации, характеризующейся глубинами $T'_{ак}$, $T''_{ак}$, $T'''_{ак}$, причем $T'_{ак}$, $T''_{ак}$, $T'''_{ак}$ – соответственно глубина активной зоны фильтрации по напору, по выходному градиенту и по расходу.

Активной зоной фильтрации является глубина, за пределами которой на параметры фильтрационного потока (фильтрационное давление W , гидравлический градиент I и фильтрационный расход q) положение водоупора уже не оказывает своего влияния. В общем случае каждому из перечисленных параметров фильтрационного потока (W , I и q) соответствует своя глубина активной зоны $T'_{ак}$, $T''_{ак}$, $T'''_{ак}$, причем $T''_{ак} \approx 2T'_{ак}$, а $T'''_{ак} = T_d$ или в крайнем случае $T'''_{ак} \approx 3 T'_{ак}$.

Рассматриваемый метод разработан для плоской схемы фильтрации. Он позволяет решить следующие основные задачи:

1. Построить эпюру противодавления W на флютбет сооружения, найти остаточный напор $h_{ос}$ на нижнем конце низового (выходного) зуба, а следовательно, определить средний гидравлический градиент I на упомянутом элементе контура.

2. Рассчитать максимальный выходной градиент фильтрации $I_{вых}$ в плоскости дна нижнего бьефа.

3. Определить фильтрационный расход.

Для решения вышеперечисленных задач дополнительно необходимо выполнить следующие:

1. Установить положение поверхности расчетного водоупора $T_{расч}$.

2. Определить на основании найденных величин $T_{расч}$, численные значения коэффициентов сопротивления α_i для отдельных элементов подземного контура.

Общий порядок расчета по методу коэффициентов сопротивления.

Гидротехнический расчет методом коэффициентов сопротивления выполняется в следующей последовательности:

1. Составляют расчетную схему подземного контура, в процессе чего отбрасывают отдельные конструктивные детали, элементы, практически не влияющие на параметры фильтрационного потока. В результате получают подземный контур, состоящий из вертикальных и горизонтальных путей фильтрации.

2. Определяют вертикальную S_0 и горизонтальную l_0 ; проекции подземного контура и по отношению l_0/S_0 устанавливают активную зону фильтрации и расчетное положение водоупора в зависимости от того, какой параметр фильтрационного потока будет в дальнейшем определяться, т. е. либо потери напора (для эпюры фильтрационного давления), либо максимальный выходной градиент, либо расход фильтрации.

3. Расчетный подземный контур разбивают на отдельные элементы. Следует отметить, что, согласно рассматриваемому методу, любой подземный контур может быть разбит на три типовых отдельных элемента, характеризующихся соответствующими коэффициентами сопротивлений ζ_i :

- а) входной $\zeta_{\text{вх}}$ и выходной $\zeta_{\text{вых}}$ элементы подземного контура 1–2 и 8–10 (рис. 5.2);
- б) внутренний шпунт $\zeta_{\text{ш}}$ или вертикальный уступ $\zeta_{\text{ус}}$ (при $S = 0$) 3–5 и 6–7;
- в) горизонтальные элементы контура $\zeta_{\text{гор}}$ 2–3, 5–6 и 7–8.

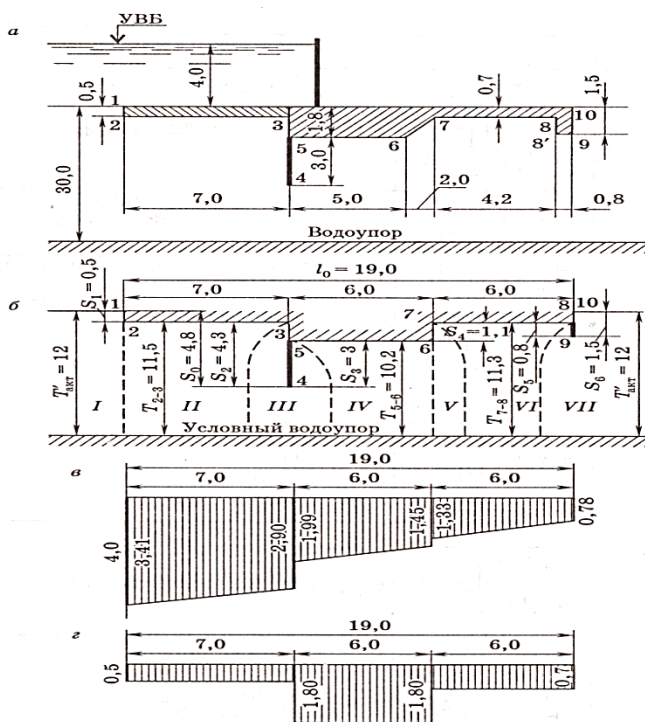


Рис. 5.2. К расчету флюتبета по методу коэффициентов сопротивлений:
а – заданная геометрическая схема флюتبета;
б – схематизированный контур флюتبета;
в – эпюра фильтрационного противодавления;
г – эпюра взвешивающего противодавления

Численные значения коэффициентов сопротивления при плоской задаче фильтрации для всех выделенных элементов контура не зависят от направления фильтрационного потока, т. е. при геометрическом подобии области фильтрации можно записать, что $\zeta_{\text{вх}} = \zeta_{\text{вых}}$.

4. Определяют численные значения коэффициентов сопротивления при соответствующем расчетном положении водоупора;

5. Зная величину коэффициентов сопротивления ζ_i , рассчитывают все основные параметры фильтрационного потока (потери напора на отдельных элементах подземного контура h_i для построения эпюры фильтрационного давления, максимальный выходной градиент $I_{\text{вых}}$ и фильтрационный расход) [3].

5.2.3. Расчет фильтрации методом удлинненной контурной линии

В основу метода, разработанного Р. Р. Чугаевым, положено допущение о линейном изменении напора по длине подземного контура с учетом более эффективных потерь на вертикальных путях фильтрации при входе и на выходе. Этот метод позволяет построить эпюру напоров и определить градиенты на отдельных участках контура (входе, выходе и по длине между ними). При определении напоров расчет ведут при $T'_{\text{расч}}$, а выходного градиента при $T''_{\text{расч}}$ с использованием виртуальной длины подземного контура $L_{\text{вир}}$, определяемой по зависимости:

$$L_{\text{вир}} = L_{\text{д}} + 2 \cdot 0,44 T'_{\text{расч}}. \quad (5.4)$$

Графически виртуальная длина получится, если в обе стороны от концов действительной длины развернутого подземного контура отложить отрезки, равные $0,44 T'_{\text{расч}}$. Этими отрезками учитывают потери напора на входных и выходных участках контура.

Эпюру напоров вначале строят на виртуальной длине (линия $A'B$), а затем ее в пределах действительной длины на входных и выходных вертикальных участках исправляют (рис. 5.3).

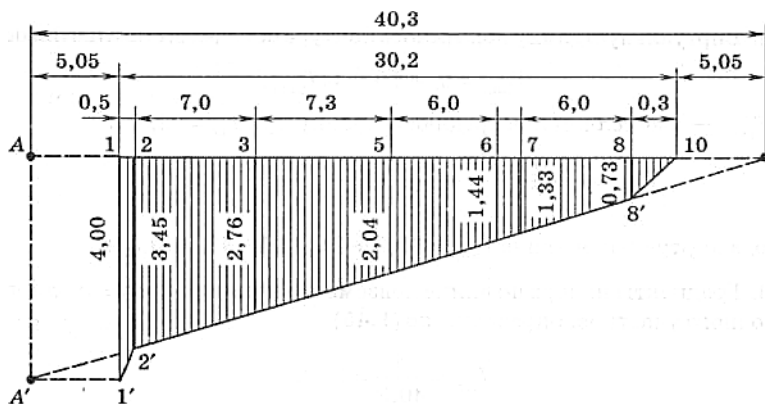


Рис. 5.3. Эпюра фильтрационного давления, построенная для развернутого подземного контура флотбета

Во входной части исправление сводится к следующему. Из точки A' , отвечающей действующему напору, проводят горизонтальную линию до пересечения с вертикалью, опущенной из точки 1. После этого точку $1'$ соединяют с точкой $2'$, лежащей на прямой $A'B$. В концевой части исправление сводится к проведению наклонной линии $8'-10$, где точка $8'$ лежит на прямой $A'B'$.

После такой перестройки ординаты эпюры напоров на действительной длине контура будут находиться на ломаной линии $1'-2'-8'-10-1'$.

Градиент напора вдоль горизонтальных участков контура определяют по формуле

$$I_{г.к} = \frac{H}{L_d + 0,88T_{расч}}. \quad (5.5)$$

Максимальный выходной градиент можно с приближением определить так:

$$I_{вых} \frac{h_{вых}}{l_{вых}}, \quad (5.6)$$

где $l_{вых}$ и $h_{вых}$ – соответственно длина концевого вертикального участка контура и потеря напора на этой длине.

В случае анизотропного или неоднородного (в фильтрационном отношении) основания вначале нужно определить глубину активной зоны

фильтрации по напору $T'_{ак}$. Грунты, залегающие на глубине большей чем $T_{ак}$, не влияют на картину фильтрации в области подземного контура сооружения, т. е. анизотропию или неоднородность грунта основания следует учитывать только в пределах активной зоны фильтрации.

5.3. Способы управления фильтрацией

Для уменьшения негативных последствий протекания фильтрационного потока под гидротехническим сооружением (или в обход его) с недопустимыми параметрами применяют различные способы управления фильтрацией, такие как дренаж, шпунты, устройство зуба и др.

Понятие о дренажах. Дренажами называют устройства, обеспечивающие прием и отвод профильтровавшейся воды и снижение фильтрационного давления, если они расположены в пределах водонепроницаемой части подземного контура.

Дренажи выполняют из грунтового материала с повышенным коэффициентом фильтрации по отношению к контактируемому с ним грунту. Для дренажей применяют гравий, гальку, гравийно-галечниковую смесь, а также крупные пески. В последнее время в качестве дренажей используют пористый бетон и минеральные волокнистые материалы.

Дренажи в водоподпорных сооружениях располагают за пределами водонепроницаемой части подземного контура или в пределах ее. Напорный фильтрационный поток, протекающий в основании, поступает в нижний бьеф на участке рисбермы, которую, как указывалось ранее, выполняют водопроницаемой. Для предупреждения выноса частиц грунта основания фильтрационным потоком под рисбермой укладывают дренаж, защищенный обратным фильтром, или в качестве дренажа используют только обратные фильтры.

Дренажи (обратные фильтры), располагаемые под водонепроницаемой частью подземного контура, не только обеспечивают выпуск профильтровавшейся воды из основания, но и снимают или уменьшают фильтрационное противодавление на флутбет. Если плоский дренаж (обратный фильтр) расположить под водобойной плитой, фильтрационное противодавление будет снято на той части длины его, на которой он расположен, и наряду с этим оно уменьшится и на участке контура, расположенном в направлении к верхнему бьефу.

Дренаж может быть расположен и под подошвой тела плотины одновременно с дренажем под водобоем (рис. 5.4, в). В этом случае на

обоих участках контура фильтрационное противодействие будет снято. Применяют схемы с дренажем в конце понура (рис. 5.4, *з*), а в качестве дренажа используют галереи.

Устраивая дренаж под водобоем или под подошвой плотины, необходимо обеспечить беспрепятственный отвод профильтровавшейся воды в нижний бьеф. Для этого дренажи соединяют с рисбермой или в плитах водобоя устраивают сквозные отверстия, через которые и выпускают воду. Флютбеты со сквозными отверстиями для выпуска воды в нижний бьеф называются сквозными.

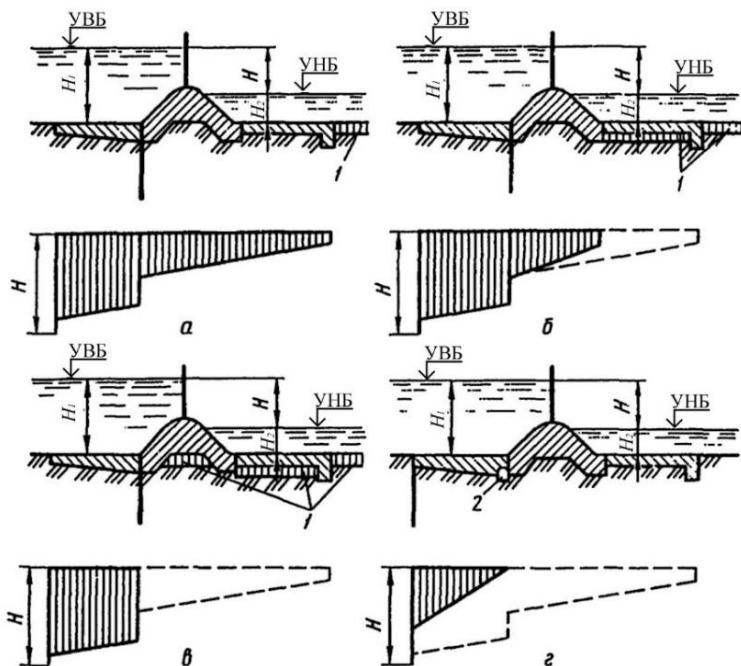


Рис. 5.4. Схемы размещения дренажей и эпюры давления фильтрационного потока вдоль подземного контура: *а* – за водобоем, под рисбермой; *б* – под водобоем; *в* – под телом плотины; *з* – в конце понура; 1 – дренаж; 2 – дренажная галерея

Устройство дренажей (обратных фильтров) в пределах водонепроницаемой части подземного контура наряду с уменьшением или полным снятием фильтрационного противодействия ведет к увеличению

гидравлических градиентов. Если эти градиенты превосходят допускаемые, подземный контур удлиняют.

Шпунтовые стенки и их местоположение. Для увеличения длины подземного контура, когда градиенты напора для грунта основания превосходят допускаемые, применяют вертикальные противofильтрационные элементы – шпунты, завесы, диафрагмы и зубья. Эти элементы, удлиняя путь фильтрации, тем самым снижают фильтрационное давление на расположенные за ними горизонтальные элементы флютбета.

Шпунтовые стенки устраивают в начале понура (только при анкерном понуре), в стыке понура с водобоем (королевая или верховая) для снижения фильтрационных давлений на водобойную часть, а в конце водобоя (низовая шпунтовая стенка) – для уменьшения выходных скоростей фильтрации или выходных градиентов напора.

Глубина шпунтовых стенок определяется гидротехническим расчетом и предварительно рекомендуется размещать на расстоянии равном или большем суммы глубин соседних шпунтов, т. е. $l > (S_1 + S_2)$, где S_1 и S_2 – соответственно глубина шпунта в начале и в конце горизонтального участка длиной l . При более близком расположении шпунтов их эффективность резко падает, и давление на горизонтальные элементы, расположенные между ними, возрастает по сравнению с давлением, возникающим при наличии одного только верхнего шпунта.

Низовой зуб (или шпунт) устраивается для снижения выходных градиентов (или скоростей) фильтрации, а следовательно, устранения возможностей развития суффозии или деформаций контактного выпора, защиты основания регулирующего сооружения от подмыва поверхностным потоком. В то же время он подпирает фильтрационный поток и вызывает увеличение фильтрационного давления на водобой сооружения. Поэтому его длину, как правило, необходимо назначать оптимальной, в пределах рекомендованных значений (БелНИИМиВХ) по зависимостям:

$$S_{\text{вых}} = (0,05 \div 0,1) T, \quad (5.7)$$

но не более:

$$S_{\text{вых}} = (0,05 \div 0,1) l_0. \quad (5.8)$$

Отклонение в меньшую сторону от рекомендованных значений $S_{\text{вых}}$ вызывает резкое возрастание выходных градиентов (причем при $S_{\text{вых}} \rightarrow 0, J_{\text{вых}} \rightarrow \infty$), а в большую – ведет к возрастанию противодействия

на флютбет и относительно незначительному уменьшению максимальных выходных градиентов фильтрации.

На основании анализа работы и оценки положительного и отрицательного эффектов шпунтовых стенок П. Ф. Фильчаков показал, что устройство небольшого шпунта или зуба в конце водобоя весьма желательно и не вызывает опасного повышения суммарного противодавления на водобойную часть, когда его глубина находится в следующих пределах:

$$S_n = (0,02 \div 0,05) l_0, \quad (5.9)$$

где S_n – глубина низового шпунта или зуба, м;

l_0 – горизонтальная проекция водонепроницаемых частей флютбета, м.

Толщину низового зуба назначают конструктивно и обычно принимают равной толщине плиты в конце водобоя.

Тема 6. ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТОВ И МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ

6.1. Виды фильтрационных деформаций

Фильтрационными деформациями грунтов называют деформации, возникающие в грунтах под действием фильтрационного потока. Способность грунта сопротивляться фильтрационным деформациям называют фильтрационной прочностью грунта.

Различают безопасные фильтрационные деформации, которые с течением времени прекращаются и не влияют на цельность сооружения, и опасные, в результате которых сооружение может деформироваться. При проектировании сооружений на грунтовых основаниях, подверженных фильтрационным деформациям, ставится условие, чтобы опасных (недопустимых) фильтрационных деформаций не было.

Виды фильтрационных деформаций. В нескальных грунтах возможны четыре вида фильтрационных деформаций: суффозии, контактного размыва, выпора и контактного выпора. Возникновение того или иного вида деформаций оценивается одним из параметров фильтрационного потока – гидравлическим градиентом напора и механическими характеристиками грунта – диаметром частиц, объемным весом, сцеп-

лением, коэффициентом неоднородности. Оценка возможности появления недопустимых фильтрационных деформаций проводится для каждого вида деформаций по своим показателям.

6.2. Суффозия

Различают два вида суффозии – механическую и химическую. Механическая суффозия – это перемещение мелких частиц грунта через более крупные поры в грунтовом массиве под воздействием фильтрационного потока. Такая суффозия может быть внутренней, когда частицы грунта перемещаются внутри грунта, и внешней, когда мелкие частицы выносятся фильтрационным потоком из грунтового массива. Химическая суффозия характеризуется растворением содержащихся в грунте водорастворимых солей и выносом их фильтрационным потоком. В дальнейшем будем рассматривать только механическую суффозию и сокращенно называть ее просто суффозией.

Выносимые частицы могут свободно располагаться в порах или быть частично зацепленными. Более крупные частицы (частицы скелета грунта) хотя и претерпевают некоторые повороты и микросдвиги, однако, не совершают поступательного перемещения под воздействием гидродинамических сил. В этой коренное отличие суффозии от деформаций выпора, для которого характерно взвешивание и перемещение некоторой массы грунта со всеми слагающими его фракциями. Механическая суффозия свойственна только определенным категориям несвязных грунтов, называемых суффозионными, и может иметь место как в пригруженных, так и в свободных от пригрузки грунтах при любом направлении фильтрационного потока.

Суффозия не может быть в следующих случаях: при малых градиентах напора, в связных грунтах и в грунтах с коэффициентом неоднородности $z < 10 \div 20$. Экспериментальные исследования показали, что суффозия в несвязных грунтах зависит от коэффициента неоднородности грунта и гидравлического градиента.

6.3. Фильтрационный и контактный выпор (размыв)

Фильтрационный выпор. Вид фильтрационных деформаций, когда происходит отрыв и перемещение грунта восходящим фильтрационным потоком, называют выпором.

Выпор представляет собой такой вид фильтрационного разрушения, при котором происходит отрыв и перемещение некоторого объема грунта со всеми слагающими его фракциями. Встречается две разновидности выпора: общее взвешивание, при котором взвешивается весь объем грунта или же значительная его часть, и выпор на небольших по площади участках, проявляющийся в виде «ключей», или грифонов. Хотя внешне обе разновидности значительно отличаются друг от друга, но в принципе они представляют собой две разновидности одного и того же явления. Деформации выпора имеют место только при восходящем движении фильтрационного потока и отсутствии пригрузки на поверхности грунта или же при ее недостаточной величине для обеспечения общей устойчивости рассматриваемого объема грунта; они присущи как связным (глинистым, торфяным), так и несвязным (песчаным, песчано-гравелистым) грунтам.

Фильтрационный выпор может быть в месте примыкания водонепроницаемой части флютбета (например, водобоя) к водопроницаемой части – рисберме, где наблюдается максимальный градиент напора и фильтрационный поток направлен снизу вверх (рис. 6.1).

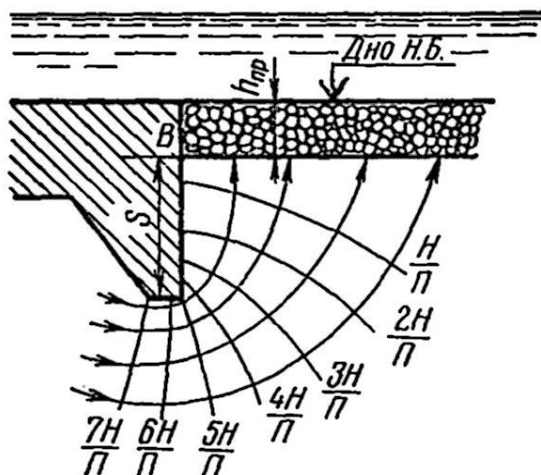


Рис. 6.1. Схема к расчету выпора грунта

В грунтовом массиве, в котором протекает фильтрационный поток, фильтрационную силу Φ определяют по формуле

$$\Phi = \gamma_w V I^B, \quad (6.1)$$

где γ_w – плотность воды;

I^B – градиент напора в пределах рассматриваемого объема;

V – объем грунтового массива, в котором определяется фильтрационная сила.

Если принять объем грунта равным единице (например, одному кубическому метру), формула (6.1) примет вид $\Phi = \gamma_w I^B$ и сила будет выражена в Н/м³ (в тс/м³).

Контактный выпор. Это вид фильтрационных деформаций, когда происходит отрыв (отслаивание) и выпор частиц грунта в зоне контакта с более крупным грунтом. Явление контактного выпора может быть на выходе фильтрационного потока в нижний бьеф под рисберму или в дренаж, или в крупнозернистую прослойку, а также при движении фильтрационного потока через слои обратного фильтра, т. е. контактный выпор – это разрушение грунта на контакте с более крупнозернистым материалом (фильтром) вследствие выдавливания фильтрационной силой некоторого его объема в поры фильтра. При этом перемещаются все слагающие грунт частицы (скелет и заполнитель).

Деформации контактного выпора присущи как связным (глинистым, торфяным), так и несвязным (песчаным, песчано-гравелистым) грунтам и могут иметь место при нормальном к плоскости контакта (или близком к нему) направлении движения фильтрационного потока.

Контактный размыв. Такой вид фильтрационных деформаций возникает под действием фильтрационного потока на контакте двух различных по крупности грунтов (например, несвязных – песка и гравия или глины и смежного гравелистого).

Контактный размыв – это разрушение поверхности более мелкозернистого грунта на контакте с крупнозернистым в результате размыва продольным к плоскости соприкосновения фильтрационным потоком. Деформации контактного размыва характерны как для связных, так и несвязных грунтов.

Тема 7. КАНАЛЫ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ НА НИХ

7.1. Классификация и назначение каналов

Каналами называют водопропускные сооружения, предназначенные для транспортирования воды из одного пункта в другой и представляющие открытые искусственные русла правильных очертаний. По назначению их подразделяют на мелиоративные (осушительные, оросительные), деривационные, водопроводные, судоходные, обводнительные, лесосплавные, рыбоводные и др.

Поперечное сечение каналов выполняют прямоугольным, трапециевидальным, полигональным, полукруглым, параболическим (рис. 7.1) и др. Уклон их дна может быть прямым, обратным и нулевым. Каналы с обратным уклоном устраивают там, где необходимо погасить скорость потока, а также в качестве подводящих и отводящих для гидроэлектростанций, насосных станций. Нулевой уклон часто имеют деривационные и судоходные каналы.

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

Каналы обеспечивают нормальную работу практически всех отраслей водного хозяйства нашей страны. В зависимости от назначения каждому их типу присущи характерные особенности. Осушительные каналы сооружают с целью осушения заболоченных и подтопленных территорий и отвода дренажных вод в водотоки. Их прокладывают в понижениях рельефа. Оросительные каналы подают воду на поля оросительных систем. Они должны быть расположены на отметках, обеспечивающих «командование» канала над возможно большей орошаемой площадью. Судоходные каналы входят в состав какого-либо водного пути и должны иметь трассу и форму поперечного сечения, отвечающие габаритным размерам пропускаемых судов, а также допустимую для судоходства скорость течения. Энергетические каналы обычно подводят воду к деривационным гидроэлектростанциям и имеют минимальный (для уменьшения потерь напора) уклон дна. Водопроводные каналы сооружают с целью водоснабжения городов, поселков и промышленных предприятий. Они должны обладать повышенной надежностью, обеспечивающей их непрерывную работу на протяжении всего года. Обводнительные каналы подают воду в безводные и маловодные сельскохозяйственные районы, рыболовные снабжают водой нерестилища, обеспечивают пропуск рыбы в обход гидротехнических сооружений и должны отвечать условиям и особенностям движения рыбы.

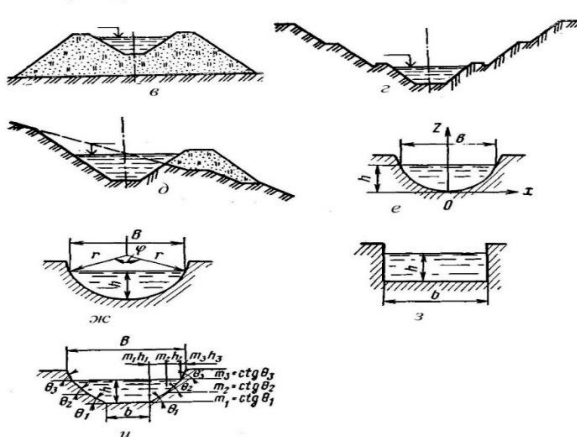


Рис. 7.1. Формы и размеры живого сечения каналов:
a – трапециевидная; *б* – то же в выемке; *в* – то же в насыпи;
г – то же в глубокой выемке; *д* – то же на косогоре; *е* – параболическая;
жс – круговая (сегментная); *з* – прямоугольная; *и* – полигональная

установившееся, при котором скорость в любой точке занятого ею пространства (сечения) не изменяется во времени;

При установившемся виде движения потока различают следующие режимы:

неравномерное, 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 гидравлические расчеты каналов производят в предположении равномерного движения в нем потока. Кроме того, выполняются проверочные расчеты на неравномерные режимы движения потока в канале, возникающие при подпорах и спадах поверхности воды вследствие изменения по длине уклона, шероховатости, площади и формы поперечного сечения, а также в случае возникновения волн перемещения, приводящих в движение большие массы воды, во время паводков, половодий, при пропусках, прорывах и т. д.

На мелиоративных каналах расчетными расходами являются весенние паводковые, предпосевные, летне-осенние паводковые, меженные (бытовые). Пропуск расходов весеннего половодья обычно осуществляется в бровках канала или с затоплением территории. Летне-осенние паводковые расходы воды должны проходить внутри русла, при этом их уровни должны быть на 0,3–0,4 м ниже бровок [2].

7.2. Гидравлический расчет каналов при равномерном движении воды

Задачи расчета. Основной задачей гидравлического расчета существующего канала является определение пропускной способности русла, имеющего известные размеры. Пропускную способность каналов мелиоративных систем определяют для следующих створов: в устье канала; выше и ниже впадения каждого гидравлически рассчитываемого канала; при смене уклонов; при изменении геологических (грунтовых) условий на трассе канала.

При проектировании нового канала требуется рассчитать его основные размеры 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.

Порядок выполнения гидравлического расчета (на примере мелиоративного канала). Гидравлический расчет канала рекомендуется выполнять в такой последовательности:

- 1) определяют и анализируют следующие основные данные:
расчетные расходы (устанавливают на основании гидрологических расчетов);

уклон дна (определяют на расчетном участке по продольному профилю канала в соответствии с топографическими и инженерно-геологическими условиями);

коэффициент заложения откосов;

коэффициент шероховатости;

физические и физико-механические характеристики грунтов;

2) из условий равномерного движения потока в канале по заданному расходу (обычно максимальному) определяется глубина наполнения и ширина канала по дну. Проверяют условие обеспечения средних скоростей потока в пределах, не допускающих размыв русла;

3) определяют глубину наполнения канала при пропуске минимальных (меженных) расходов. Проверяют условие обеспечения средних скоростей потока в пределах, не допускающих заиления (зарастания) каналов;

4) выполняют проверочные расчеты на неравномерные режимы движения потока в канале;

5) подбирают конструкцию канала; максимальную, среднюю по длине расчетного участка строительную глубину русла (устанавливают исходя из требований сопряжения сети в вертикальной плоскости).

Основные расчетные зависимости. В случае равномерного движения в каналах для расчета используется формула Шези, которая имеет вид:

$$Q = \omega \cdot C\sqrt{Ri}, \quad (7.1)$$

где Q – расчетный расход, $\text{м}^3/\text{с}$;

ω – площадь живого сечения потока, м^2 ;

$R = \omega/\chi$ – гидравлический радиус, м ;

χ – смоченный периметр, м ;

C – коэффициент Шези, $\text{м}^{0.5}/\text{с}$;

i – уклон дна канала, $i = \sin \alpha$;

α – угол наклона дна канала.

Для удобства гидравлического расчета каналов пользуются расходной и скоростной характеристиками каналов.

Расходная характеристика (или модуль расхода):

$$K = \omega \cdot C\sqrt{R} = \frac{Q}{\sqrt{i}}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (7.2)$$

Скоростная характеристика (или модуль скорости):

$$M_V = C\sqrt{R} = \frac{V}{\sqrt{i}}, \quad \text{м/с}, \quad (7.3)$$

где V – средняя скорость, м/с;

Для определения коэффициента Шези C предложен ряд формул. Так, для расчета каналов применяют формулу Н. Н. Павловского (при $R = (0,1 \dots 3,0)$ м и $n = (0,001 \dots 0,04)$):

$$C = \frac{1}{n} R^y, \quad (7.4)$$

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1), \quad (7.5)$$

где n – коэффициент шероховатости, принимаемый по табл. прил. 3.1 [1].

Для приближенных расчетов Н. Н. Павловский рекомендовал упрощенные формулы:

$$\begin{array}{ll} \text{при } R = (0,1 \dots 1,0) \text{ м} & y = 1,5 \cdot \sqrt{n}; \\ \text{при } R = (1 \dots 3) \text{ м} & y = 1,3 \cdot \sqrt{n}. \end{array}$$

Для определения коэффициента C может быть применена и полуэмпирическая формула И. И. Агроскина:

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \cdot \lg R, \quad (7.6)$$

Правильно запроектированный канал должен иметь при избранном уклоне i такую среднюю скорость движения воды, при которой выполняется условие:

$$V_{н.з} < V < V_{н.р}, \quad (7.7)$$

где $V_{н.з}$ – скорость, при которой не происходит заиления канала (незаиляющая скорость);

$V_{р}$ – скорость, допустимая на размыв грунтов в ложе канала.

Незаиляющую скорость $V_{н.з}$ можно определять по формуле Е. А. За-марина:

$$V_{н.з} = \sqrt[2/3]{\frac{\rho \cdot W_0 \sqrt{W_{ср}}}{0,022 \sqrt{R \cdot i}}}, \quad (7.8)$$

где ρ – мутность потока, кг/м³;

R – гидравлический радиус, м;

i – уклон дна канала;

W_{cp} – средневзвешенная гидравлическая крупность, м/с;

W_0 – условная гидравлическая крупность, м/с, которая

при $0,0002 \leq W_{cp} \leq 0,008$ м/с; $W_0 = W_{cp}$ м/с;

при $0,004 \leq W_{cp} \leq 0,002$ м/с; $W_0 = 0,002$ м/с.

Средневзвешенную гидравлическую крупность наносов определяют по зависимости:

$$W_{cp} = \frac{\sum W_i \cdot \rho_i}{100}, \quad (7.9)$$

где ρ_i – процентное содержание по весу отдельных фракций;

W_i – гидравлическая крупность наносов, определенная как средне-геометрическая для фракций, т.е.

$$W_i = \frac{1}{3} (W_1 + W_2 + \sqrt{W_1 \cdot W_2}), \quad (7.10)$$

где W_1 и W_2 – гидравлические крупности для крайних значений диаметров частиц в данной фракции. Принимается в зависимости от диаметра взвешенных наносов.

При отсутствии данных по взвешенным наносам незаиляющую скорость можно определить по формулам:

$$\text{Жуковского} \quad V_{н.з} = \frac{h_{75\%}}{3,5} + 0,24, \quad (7.11)$$

$$\text{Кеннеди} \quad V_{н.з} = 0,545 \cdot h_{75\%}^{0,64}, \quad (7.12)$$

$$\text{Ласея} \quad V_{н.з} = 0,64 \cdot R^{0,50}. \quad (7.13)$$

7.3. Гидравлический расчет каналов при неравномерном движении

Неравномерное движение создается как преднамеренно для регулирования горизонтов воды в каналах, так и возникает в аварийных ситуациях, например, при заклинивании затворов регулирующих сооружений. При создании препятствия в русле (например, при прикрытии затвора регулирующего сооружения) свободная поверхность воды формируется в виде кривой подпора, а при удалении препятствия – образуется кривая спада.

При неравномерном движении необходимо знать глубины h , которые изменяются вдоль русла канала и могут быть больше или меньше

нормальной глубины h_0 (при равномерном движении). Знание глубин позволяет судить о возможном переполнении канала, рассчитать скорость течения и сравнить их с допустимыми – неразмывающей и незаиляющей скоростями.

Неравномерное движение описывается дифференциальным уравнением, которое проинтегрировано рядом авторов для случая призматического русла. В результате получены несколько видов уравнений неравномерного движения, которые позволяют определить координаты кривых свободной поверхности при неравномерном движении. Всего насчитывается двенадцать типов кривых свободной поверхности, вид которых можно установить до построения самой кривой.

1. Для определения типа кривой необходимо иметь следующие данные:

- h – действительная глубина, м;
- h_0 – глубина равномерного движения, м;
- i_0 – уклон при нормальной глубине;
- $h_{кр}$ – критическая глубина, м;
- $i_{кр}$ – уклон при критической глубине.

Первые три величины заданы, а две последние определяются расчетом.

Критическая глубина $h_{кр}$ – глубина, при которой поток при расчетном расходе воды имеет минимальную удельную энергию сечения. Удельная энергия сечения $\mathcal{E}$ – механическая энергия единицы массы жидкости, протекающей через живое сечение в единицу времени относительно горизонтальной плоскости, проходящей через наинизшую точку данного живого сечения:

$$\mathcal{E} = h + \frac{\alpha \cdot V^2}{2g}, \quad (7.14)$$

где h – наибольшая глубина воды в живом сечении;

V – средняя в живом сечении скорость потока.

*Состояние потока при глубине равной $h_{кр}$ называют критическим. Если глубина воды в потоке больше критической, то состояние его **спокойное**, а если глубина меньше критической, то **бурное**.*

Критическую глубину потока определяют подбором из уравнения критического состояния потока:

$$\frac{\omega_{кр}^3}{B_{кр}} = \frac{\alpha \cdot Q^2}{g}, \quad (7.15)$$

где $\omega_{кр}$, $B_{кр}$ – соответственно площадь и ширина по верху живого сечения, соответствующая критической глубине;

Q – расход воды в канале.

В уравнении (7.15) правая часть – константа. Задавая произвольно рядом значений глубины h и вычисляя значения $\frac{\omega_{кр}^3}{B_{кр}}$, можно добиться равенства левой и правой частей уравнения (7.15). Глубина, при которой обе части уравнения равны, и есть искомая $h_{кр}$. Расчет следует выполнить графоаналитический (табл. 7.1).

Т а б л и ц а 7.1. К расчету $h_{кр}$

h , м	$\omega = bh + mh^2$, м ²	ω^3 , м ²	$B = b + 2mh$, м	$\frac{\omega^3}{B}$, м ³	$\frac{\alpha Q^2}{g}$, м ³

По данным табл. 7.1 строим график и определяем $h_{кр}$.

Критический уклон находят из формулы:

$$i_{кр} = \frac{Q^2}{\omega_{кр}^2 C_{кр}^2 R_{кр}}, \quad (7.16)$$

где индекс «кр» показывает, что величины подсчитаны по $h_{кр}$.

Зная h , h_0 и $h_{кр}$, устанавливают тип кривой свободной поверхности потока.

2. Построение кривой свободной поверхности по способу Б. А. Бахметева:

$$\frac{i_0 l}{h_0} = \eta_2 - \eta_1 - (1 - j_{ср}) \cdot [\phi(\eta_2) - \phi(\eta_1)], \quad (7.17)$$

Уравнение (7.17) позволяет определить расстояние l между сечениями потока с заданными глубинами неравномерного движения h_1 и h_2 .

В уравнении (7.17):

i_0 , h_0 – уклон и нормальная глубина;

$\eta = \frac{h}{h_0}$ – относительная глубина неравномерного движения;

$j_{ср}$ – параметр; $j_{ср} = \frac{\alpha \cdot i_0 \cdot C_{ср}^2 \cdot B_{ср}}{g \cdot \chi_{ср}}$;

$\alpha = 1,1$ – коэффициент Кориолиса;

C_{cp} , B_{cp} , χ_{cp} – подсчитаны по средней на интервале l глубине $h_{cp} = 0,5(h_1 + h_2)$;

$\varphi(\eta)$ – функция глубины, которая выбирается из таблиц в зависимости от i_0 и χ ;

$$\chi = \frac{lg \frac{K_{cp}}{K_0}}{lg \frac{h_{cp}}{h_0}} - \text{гидравлический показатель русла};$$

$K_0 = \frac{Q}{\sqrt{i_0}}$ – модули расхода при равномерном и неравномерном движениях;

$$K_{cp} = \omega_{cp} \cdot C_{cp} \sqrt{R_{cp}}.$$

Для построения кривой свободной поверхности канал разбивают на расчетные участки $l_1, l_2 \dots l_i$. Расчет глубин начинают с первого участка, одна из глубин которого h_p известна. Обозначив глубину в конце участка $h_p = h_2$, задаемся глубиной в начале участка h_1 (нумерация вниз по течению). При кривой подпора $h_1 < h_2$ на δh , а при кривой спада $h_1 > h_2$ на δh . Шаг δh рекомендуется принять $0,05 \div 0,10$ м.

Допускается χ и j_{cp} принять постоянными для всего канала и рассчитать их по глубине $h_{cp} = 0,5(h_0 + h_p)$.

Тема 8. ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЙ И СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТЫ КАНАЛА

8.1. Расчет фильтрации из каналов

Фильтрация – движение воды сквозь пористую среду в естественных пластах грунта под поверхностью земли. Длительная фильтрация воды из каналов протекает в двух основных, качественно отличающихся стадиях: без подпора – свободная фильтрация и фильтрация с подпором.

Фильтрация без подпора – грунты зоны аэрации смачиваются в условиях неполного насыщения пор грунта водой без взаимодействия с грунтовым потоком.

Фильтрация с подпором – фильтрационный поток из канала соединяется и взаимодействует с грунтовым потоком.

Свободная фильтрация переходит в подпертую лишь после подъема УГВ до дна канала, и продолжительность ее может достигать нескольких лет. Величина потерь воды зависит в этом случае в основном от

проницаемости одежды, поэтому поток быстро стабилизируется, и расход его практически не изменяется (рис. 8.1).

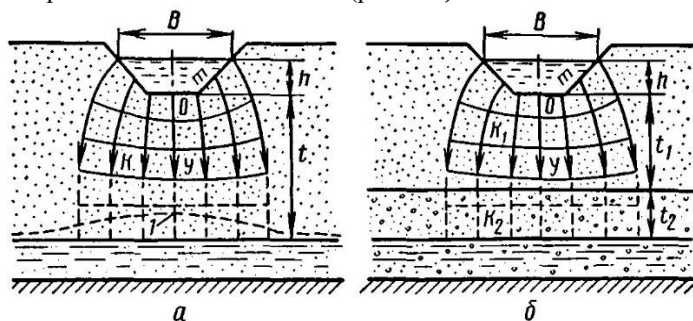


Рис. 8.1. Расчетные схемы фильтрации из каналов без подпора:
а – в однородных грунтах; б – в двухслойной толще грунтов; 1 – подъем УГВ

Величина потерь воды из каналов зависит от фильтрационных свойств и геологического строения грунтов по трассе, глубины залегания естественного УГВ, дренирующих слоев грунта или водоупора, наличия противофильтрационных устройств и других факторов.

Фильтрационные потери ведут к повышению стоимости каналов из-за необходимости увеличения их пропускной способности и могут оказывать неблагоприятное влияние на окружающую территорию, вызывая подъем УГВ и вторичное засоление или заболачивание земель.

Расчет фильтрационных потерь на характерных участках каналов дает возможность прогнозировать влияние фильтрации на режим грунтовых вод в зоне канала, наметить мероприятия по ее уменьшению и по дренированию прилегающих территорий.

Фильтрационный расчет каналов заключается в определении фильтрационных потерь воды из каналов и может быть выполнен в соответствии со СНиП 2.06.03-85.

Свободная фильтрация. Потери воды из каналов непрерывного действия в земляном русле рассчитывают по зависимостям:

для каналов трапецидальной формы (рис. 7.1, а),

$$\text{при } b/h < 4 \quad Q_{\phi} = 0,0116k_{\mu}(B + 2h),$$

$$\text{при } b/h > 4 \quad Q_{\phi} = 0,0116k(B + Ah),$$

для каналов полигональной и параболической формы

$$Q_{\phi} = 0,0116K(B + 2h),$$

где Q_{ϕ} – фильтрационный расход, м³/с на 1 км длины канала;

K – коэффициент фильтрации грунтов ложа канала, м/сут;
 B – ширина по урезу воды, м;
 b – ширина по дну, м;
 μ – поправочный коэффициент, имеющий значения в зависимости от размеров сечения каналов от 0,62 до 1,14;
 A – коэффициент бокового растекания потока, определяемый по табл. 8.1.

Т а б л и ц а 8.1. Коэффициент бокового растекания фильтрационного потока в зависимости от размеров сечения каналов

m	B/h						
	5	6	7	10	12,5	15	20
1,0	3,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,0	4,2
1,5	2,5	2,7	3,0	3,2	3,4	3,6	3,9
2,0	2,1	2,3	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6

При многослойном основании (рис. 8.1, б) коэффициент фильтрации следует определять по формуле:

$$K_{\phi} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{\frac{t_1}{K_1} + \frac{t_2}{K_2} + \dots + \frac{t_n}{K_n}}, \quad (8.1)$$

где t_i и K_i – соответственно мощность (м) и коэффициент фильтрации (м/сут) слоя грунта.

Фильтрационные потери из облицованного канала при установившейся свободной фильтрации и одинаковой толщине облицовки экрана на дне и откосах рассчитывают по зависимости:

$$Q_{\phi} = 0,0116K_s \frac{h + t_s}{t_s} (b + h\sqrt{1 + m^2}), \quad (8.2)$$

где K_s – коэффициент фильтрации облицовки экрана, м/сут;
 t_s – толщина облицовки, м.

Эпюра скоростей фильтрации из трапецидального канала имеет вид, показанный на рис. 8.2. На оси канала скорость фильтрации V_0 меньше скорости в угловых точках B и C .

Скорость фильтрации в точке A и D направлена под прямым углом к откосу:

$$V_A = K \cdot \cos \theta, \quad (8.3)$$

где θ – угол наклона откоса к горизонту;

K – коэффициент фильтрации грунта ложа канала.

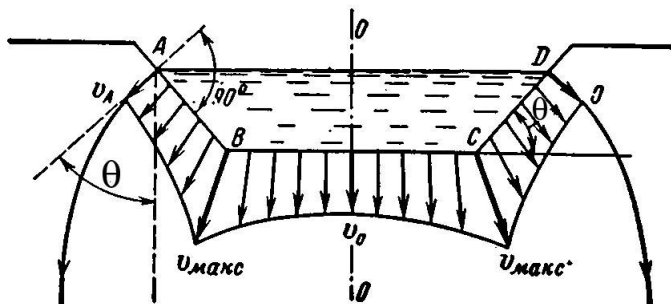


Рис. 8.2. Эпюра скоростей фильтрации из трапецидального канала

Фильтрация с подпором. Потери воды из канала при подпорной фильтрации $Q_{ф.п}$ следует определять по формуле:

$$Q_{ф.п} = Q_{ф} \cdot \sigma_{п}. \quad (8.4)$$

Коэффициент $\sigma_{п}$ характеризует влияние подпора грунтовых вод на размер потерь. Он определяется из справочных таблиц в зависимости от глубины залегания грунтовых вод и имеет значения от 0,28 до 0,94.

По указаниям А. Н. Костякова, в соответствии с наблюдениями за находящимися в эксплуатации каналами (преимущественно ирригационными) фильтрационные потери, исчисленные в процентах от расхода канала, убывают с увеличением расхода.

8.2. Расчет устойчивости каналов

Основная причина разрушения русел мелиоративных каналов и рек водоприемников – воздействие на них природных факторов, из которых главную роль играют русловые, грунтовые и поверхностные воды, а также промерзание и оттаивание грунта, ветровая эрозия и др. Причиной повреждения русел и каналов бывают и факторы искусственного происхождения – неупорядоченные проезды и перегоны, стеснение и засорение русла.

Наиболее распространенные виды деформаций: размыв русла, оползание и оплывание откосов, заиление и зарастание русла.

Размыв канала. Дно канала, и особенно подводная часть откосов в неустойчивых грунтах, размывается русловым потоком на тех участках,

где уклоны и соответственно скорости превышают значения, допускаемые на размыв.

Расчет местной устойчивости откосов в зоне выхода грунтового потока. При проектировании мелиоративных каналов и земляных дамб коэффициент m заложения откосов, как правило, выбирают по СНиП в зависимости от их высоты H и вида грунта.

В песчаных грунтах эти значения оказываются чаще всего в пределах $m = \frac{1,2}{f} \dots \frac{1,5}{f}$ (f – коэффициент внутреннего трения грунта в воде).

Если высота откоса $H \leq 4 \dots 5$ м, то такое заложение обеспечивает его общую устойчивость и расчеты ее не требуются.

Песчаные откосы, через которые высачиваются грунтовые воды, необходимо рассчитывать (при любой их высоте) на местную устойчивость к действию фильтрационного давления, создаваемого грунтовым потоком. Местная устойчивость откоса будет обеспечена в том случае, когда принятый коэффициент m_n будет не менее допустимого расчетного m ($m_n > m$), или когда высота h_b высачивания грунтовых вод на откос не будет превышать допустимое значение $h_{b, д}$ для данного грунта и принятого коэффициента m_n ($h_b < h_{b, д}$). Если $m_n < m$ ($h_b \geq h_{b, д}$), то коэффициент m_n увеличивают до значения m (практически m назначают не более 2,5...3,5).

Для определения коэффициента m заложения песчаного откоса, устойчивого в зоне продолжительного высачивания грунтового потока, можно использовать следующую полуэмпирическую зависимость (проверена на опытных данных при $f = 0,55 \dots 0,72$ и диаметре $d_{90} = 0,15 \dots 1,0$ мм):

$$m = \frac{\gamma_{взв} d_{90} + 0,002 \gamma_w h_b}{\gamma_{взв} d_{90} f + C_p}, \quad (8.5)$$

где d_{90} – диаметр (м) крупных частиц, мельче которых в грунте содержится 90 % по массе.

Высоту h_b высачивания грунтовых вод на откос в однослойных грунтах (рис. 8.3, а) можно рассчитать по зависимостям Э. М. Михневича, Г. П. Михайлова и др. Э. М. Михневичем построены номограммы для определения высоты h_b при $H = 2,0; 2,5; 3,0$ м.

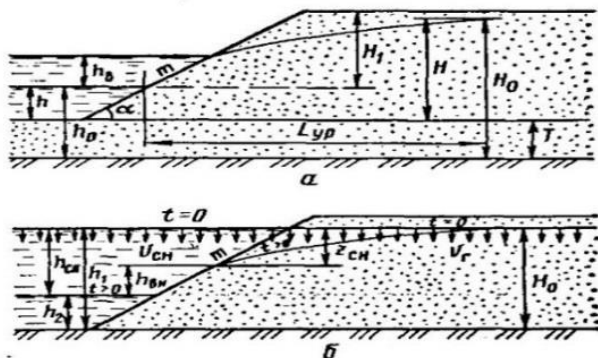


Рис. 8.3. Схема высачивания на откос фильтрационного потока:
 а – установившегося; б – неустановившегося

Тема 9. ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИЕ СООРУЖЕНИЯ НА КАНАЛАХ, НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ

9.1. Требования, предъявляемые к водорегулирующим сооружениям и их классификация

Общие сведения. Регулирующие сооружения предназначены для распределения воды по каналам, регулирования расходов, поддержания заданных уровней, обеспечения гидравлической промывки каналов от отложившихся в них наносов, учета воды, подаваемой потребителю, регулирования величины сбрасываемого расхода из водохранилища, для забора и подачи воды в рыбоводные пруды. Применяются регулирующие сооружения в качестве головных на открытых водозаборах при водоснабжении и др.

Требования, предъявляемые к регулирующим сооружениям, и их классификация. К регулирующим сооружениям предъявляются следующие основные требования:

- стабилизация гидравлических параметров потока в соответствии с целевым назначением сооружения (уровни, расходы, отношение расходов и др.), с максимально возможной и экономически оправданной автоматизацией их работы;
- простота, экономичность и технологичность изготовления конструкций;
- надежность и долговечность работы;

- удобство эксплуатации;
- максимальное внедрение типовых решений;
- использование новых, а также местных строительных материалов, применение прогрессивных методов строительства.

Сооружения на каналах в соответствии со СНиП, как и любые другие гидротехнические сооружения классифицируются по классам. Кроме того, регулирующие сооружения принято классифицировать по назначению, конструктивным особенностям, пропускной способности, основному строительному материалу и способу производства работ.

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

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

По пропускной способности различают гидротехнические сооружения: $< 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$ – малые, очень большой повторяемости; $0,2\text{--}5,0 \text{ м}^3/\text{с}$ – большой повторяемости; $5,0\text{--}20,0 \text{ м}^3/\text{с}$ – средней повторяемости; $20,0\text{--}150,0 \text{ м}^3/\text{с}$ – малой повторяемости; $> 150,0 \text{ м}^3/\text{с}$ – индивидуальные.

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.

9.2. Открытые регуляторы

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. Эти сооружения объединяют большую группу регулирующих сооружений, используемых для самых различных целей: на водосбросных трактах водохранилищных плотин, в качестве головных сооружений; в рыбоводном хозяйстве, в качестве водопропускных сооружений; как водозаборные сооружения (как регуляторы-водовыпуски) при бесплотинном и плотинном водозаборах из источников с незначительными перепадами уровней и в случае незначи-

тельных 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.

Составные части шлюза-регулятора (ШР). В конструктивном отношении в шлюзе-регуляторе условно можно выделить три составные части, отделяемые друг от друга деформационными швами: верховой сопрягающий участок, среднюю часть и низовой сопрягающий участок (рис. 9.1).

Верховой сопрягающий участок (участок 1, рис. 9.1) 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. 9.1), представляет собой лоток прямоугольного, редко трапецидального сечения. Низовой сопрягающий участок (участок 3,) 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.

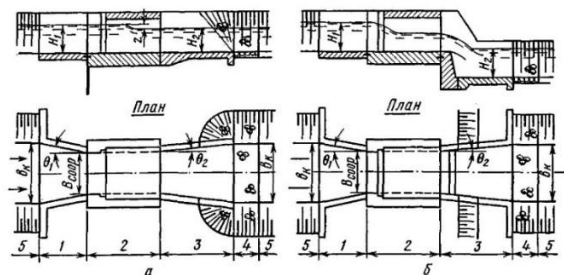


Рис. 9.1. Открытый шлюз-регулятор и его составные части:
 а – с подтопленным истечением; б – с неподтопленным истечением;
 1 – верховой сопрягающий участок; 2 – средняя часть – лоток;
 3 – низовой сопрягающий участок; 4 – рисберма;
 5 – подводящий и отводящий каналы

Гидравлические расчеты шлюзов-регуляторов и типовые расчетные схемы шлюзов-регуляторов. Открытые шлюзы-регуляторы обычно работают по схеме водослива с широким порогом, имеющие затворы. Исходные данные для определения их размеров: расчетные значения расходов, глубины потока в отводящем канале за сооружением, допускаемые напоры перед шлюзом-регулятором, форма и размеры поперечного сечения канала. Схему работы открытых шлюзов-регуляторов выбирают в зависимости от особенностей их конструкций. Регуляторы работают, как правило, со стеснением вытекающего потока: боковым или вертикальным, или боковым и вертикальным.

Конструктивная форма шлюзов-регуляторов при основных расчетах приводится к расчетной схеме. Правильно принятая схема и соответственно ей числовые коэффициенты в формулах позволяют обеспечить работу построенных сооружений в заданном режиме и главное – гарантировать пропуск расчетных расходов воды через сооружение.

Размеры регулятора определяют из условия пропуска через него максимального расчетного расхода при полностью поднятых затворах.

Шлюзы-регуляторы в гидравлическом отношении рассматриваются как водосливы с широким порогом с подтопленным или неподтопленным истечением (рис. 9.2).

Расчет шлюзов-регуляторов с подтопленным истечением

Для этого случая работы регулятора (см. рис. 9.2, *а, б*) расчетная формула имеет следующий вид:

$$Q = \delta \cdot \varepsilon \cdot \phi \cdot B \cdot h \sqrt{2gz_0}, \quad (9.1)$$

где δ – коэффициент, учитывающий характер подвода воды к водосливу и зависящий от угла α (α – угол между осями подходного потока и потока за водосливом);

ε – коэффициент, учитывающий боковое сжатие потока, определяемый по формуле:

$$\varepsilon = 1 - 0,1 \zeta \cdot n_{\varepsilon} \frac{H_0}{B}, \quad (9.2)$$

n_{ε} – число боковых сжатий потока, равное удвоенному числу пролетов;

H_0 – напор с учетом скорости подхода, м;

ϕ – коэффициент скорости;

B – ширина сооружения, м;

h – глубина воды на пороге водослива, м;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

z_0 – разность уровней воды в бьефах с учетом скорости подхода.
 Величина z_0 определяется по формуле:

$$z_0 = z + \frac{\alpha v^2}{2g}, \quad (9.3)$$

где v – скорость подхода воды, м/с.

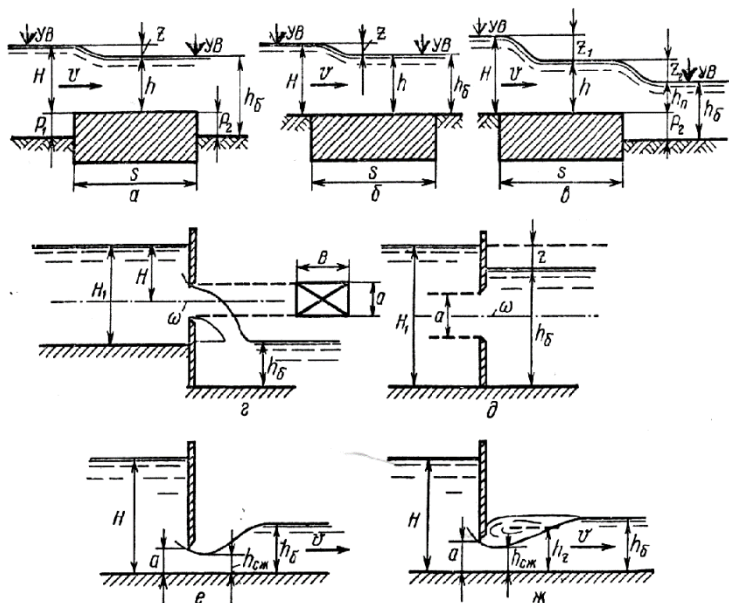


Рис. 9.2. Расчетные гидравлические схемы открытых шлюзов-регуляторов:
 а – водослив с приподнятым широким порогом; б – донный водослив с широким порогом с подтопленным истечением; в – водослив с широким порогом с неподтопленным истечением; г – истечение через большие неподтопленные отверстия; д – истечение через большие затопленные отверстия; е – выпуск воды из-под затвора с неподтопленным истечением; ж – выпуск воды из-под затвора с подтопленным истечением

Расчет шлюзов-регуляторов с неподтопленным истечением. Такие регуляторы, как промывные, сбросные, концевые обычно работают по схеме неподтопленного водослива с широким порогом (см. рис. 9.2, в). В этом случае:

$$Q = \delta \varepsilon m B \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (9.4)$$

где m – коэффициент расхода (остальные величины, входящие в формулу, пояснены ранее).

Постоянные величины в формуле (9.4) можно объединить одним знаком:

$$M = m \sqrt{2g}. \quad (9.5)$$

Тогда

$$Q = \delta \cdot \varepsilon \cdot M \cdot B \cdot H_0^{3/2}. \quad (9.6)$$

Характер истечения через водослив устанавливают по критерию подтопления, который по П. Г. Киселеву может быть принят:

$$h_n = 1,25 h_{кр}, \quad (9.7)$$

где h_n – глубина подтопления со стороны нижнего бьефа, м;

$h_{кр}$ – критическая глубина на водосливе, определяемая по формуле:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{g B^2}}; \quad (9.8)$$

α – коэффициент кинетической энергии потока (коэффициент Кориолиса), принимается равным 1,0...1,1.

При $h_n > 1,25 h_{кр}$ – водослив подтоплен, если же $h_n < 1,25 h_{кр}$ – водослив не подтоплен.

Расчеты шлюзов-регуляторов при частично перекрытых отверстиях.

Размеры регуляторов определяют из условия пропуска через них расчетных максимальных расходов при полностью поднятых затворах.

При проверочных расчетах, т. е. при пропуске части расчетного расхода воды отверстия частично перекрывают затворами, особенность расчетов в этом случае состоит в том, что их выполняют при известных размерах сооружения и они являются, как правило, проверочными. При таких расчетах определяют расход воды, проходящий через суженное отверстие шлюза-регулятора, или находят размеры этого отверстия, если известен расход, который нужно пропустить через него. В этих случаях определяют возможность работы сооружения с неподтоплен-

ной струей и в случае необходимости проектируют различного типа гасители кинетической энергии потока (водобойные колодцы, водобойные стенки, шашки и др.).

Расчеты по пропуску потока воды через пролеты шлюза-регулятора, частично перекрытые затворами, ведут по двум основным схемам: истечение из больших отверстий и выпуск воды из-под затвора. К большим относят отверстия, размер (высота) которых превышает 0,1Н.

Истечение из больших отверстий. В схемах истечения потока воды из больших отверстий, размеры которых соизмеримы с глубиной воды перед сооружением, расчет для неподтопленного отверстия (см. рис. 9.2, з) при постоянном напоре ведется по формуле:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH_0}, \quad (9.9)$$

где μ – коэффициент расхода,

ω – площадь отверстия в свету, м^2 ;

H_0 – глубина над центром тяжести отверстия с учетом скорости подхода, м.

Для подтопленного отверстия (рис. 9.2, д), по формуле:

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gz_0}, \quad (9.10)$$

где z_0 – разность уровней воды с учетом скорости подхода, м.

Истечение воды из-под затвора. Здесь могут быть два случая работы шлюза-регулятора:

1. Выпуск воды из-под затвора в горизонтальный лоток с неподтопленным истечением.

2. Выпуск воды из-под затвора в горизонтальный лоток с подтопленным истечением.

Для первого случая работы регулятора (рис. 9.2, е) расчетная зависимость:

$$Q = \phi \epsilon' a B \sqrt{2g(H_0 - \epsilon' a)}, \quad (9.11)$$

где a – высота открытия затвора, м;

ϵ' – коэффициент вертикального сжатия, зависящий от отношения высоты отверстия к глубине воды перед затвором.

При предварительных расчетах коэффициент вертикального сжатия принимают равным 0,62.

Следует отметить, что высоту открытия затвора, а также и сжатую глубину за плоским затвором в русле без порога при известном расходе,

напоре и коэффициенте скорости можно определять и с помощью таблиц, рассчитанных по формулам Н. Е. Жуковского. Для этого находится функция относительной сжатой глубины $\tau_c = h_c/E_0$ по формуле:

$$\Phi(\tau_c) = \frac{q}{\Phi \cdot E_0^{3/2}}, \quad (9.12)$$

где q – удельный расход, м²/с;

$E_0 = H_0$ – полный напор, м.

Удельный расход определяется по зависимости:

$$q = \frac{Q}{B}. \quad (9.13)$$

По значению $\Phi(\tau_c)$ находится τ_c , отношение $\frac{a}{H}$, тогда высота открытия затвора $a = \frac{a}{H} H$, а глубина воды в сжатом сечении $h_c = \tau_c Z_0$.

Для второго случая выпуск воды из-под затвора в горизонтальный лоток с подтопленным истечением (рис. 9.2, ж) расчет выполняется по формуле:

$$Q = \mu a B \sqrt{2g(H_0 - h_z)}, \quad (9.14)$$

где h_z – глубина воды в сечении, в котором при истечении через незатопленное отверстие наблюдается сжатая глубина, м.

Глубину h_z находят по зависимости:

$$h_z = \sqrt{h_6^2 - N \left(H_0 - \frac{N}{4} \right)} + \frac{N}{2}, \quad (9.15)$$

где величину N вычисляют по зависимости:

$$N = 4\mu^2 a^2 \frac{h_6 - h_c}{h_6 - h_c}, \quad (9.16)$$

где h_6 – бытовая глубина воды в отводящем канале, м;

$\mu = \epsilon \epsilon'$ – коэффициент расхода;

$h_c = \epsilon' a$ – глубина воды в сжатом сечении, м.

Коэффициенты ϵ и ϵ' имеют такие же значения, как и при истечении через незатопленное отверстие.

Истечение будет подтопленным, если $h_6 > h_c^c$, где h_c^c – глубина, сопряженная с h_c .

Глубина, сопряженная с сжатой, определяется по формуле:

$$h_c^c = \frac{h_c}{2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_{кр}}{h_c} \right)^3} - 1 \right]. \quad (9.17)$$

Следует отметить, что при работе регулятора с неподтопленной струей в случае необходимости проектируют гасители избыточной энергии, используя зависимости, приведенные ниже.

9.3. Трубчатые сооружения

Общие сведения. При пересечении каналами небольших водотоков, протекающих в неглубоких и широких долинах, когда строительство акведука оказывается неэкономичным, каналы устраивают в насыпях, в которых прокладывают трубы для пропуска ливневых и паводковых вод.

Наибольшее распространение в мелиоративном и дорожном строительстве получили железобетонные сборные трубы.

По числу уложенных труб их делят на одноочковые и многоочковые, чаще – двух- и трехочковые.

По характеру работы при пропуске воды трубы разделяют на безнапорные, полунанпорные и напорные.

Конструктивная схема трубчатого регулятора (рис. 9.3, а). Трубчатый регулятор включает входной оголовок, затворы, водопроводящую часть в виде трубы, выходной оголовок, гаситель и переходные участки. Затворы применяют плоские, коробчатые, циркульные и располагают их чаще на входе в трубу, реже – на выходе из нее. При расположении затвора на выходе труба всегда находится под напором, повышаются требования к ее фильтрационной защите и создаются условия заиливания трубы в нерабочем состоянии, но при этом имеются определенные удобства для управления работой регулятора и водоучета.

Гидравлический расчет. При расчетах трубчатых сооружений рассматривают входной и выходной участки. Расчет входного участка заключается в определении площади живого сечения и размеров трубы, выходного – в обеспечении сопряжения с нижним бьефом.

Гидравлический расчет входного участка труб выполняют в зависимости от условий их работы.

Различают следующие режимы работы труб:

1. Безнапорный, когда входное и выходное сечения не затоплены, и на всем протяжении трубы поток имеет свободную поверхность (рис. 9.3, б), т. е. $H_1 < h_{тр}(d)$; $H_2 < h_{тр}(d)$, где H_1 и H_2 – соответственно

глубина воды перед трубой и за трубой; $h_{тр}$ и d – высота и диаметр трубы.

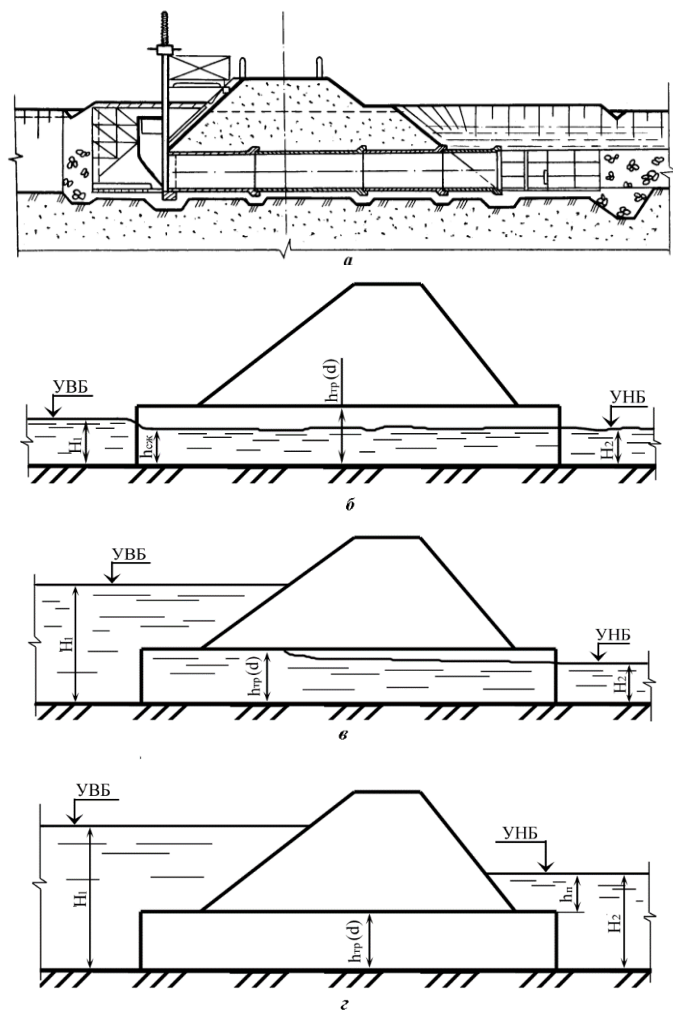


Рис. 9.3. Конструкция трубы-регулятора (т. р.) института Белгипроводхоз и схемы к гидравлическому расчету труб: а – конструкция; б – безнапорный режим; в – полунапорный (частично напорный) режим; г – напорный режим

2. Полунапорный, когда входное сечение трубы затоплено, т. е. на входе труба работает полным сечением, а на остальном протяжении поток имеет свободную поверхность (рис. 9.3, в), $H_1 > h_{\text{тр}}(d)$ и $H_2 < h_{\text{тр}}(d)$.

3. Напорный, когда входное сечение трубы затоплено и на всей своей части труба работает полным сечением, т. е. $H_1 > 1,2h_{\text{тр}}(d)$ и $H_2 > h_{\text{тр}}(d)$.

Тема 10. ВОДОПРОВОДЯЩИЕ СООРУЖЕНИЯ НА КАНАЛАХ

10.1. Общие понятия

Водопроводящими сооружениями называют сооружения, предназначенные для подачи воды из одного пункта в другой. Они представляют собой открытые или закрытые искусственные русла безнапорные, если поток воды движется в них со свободной поверхностью, и напорные, если не существует свободной поверхности потока. В общем случае под водопроводящими сооружениями понимают как каналы, по которым транспортируется вода к месту потребления, так и сооружения на каналах, устраиваемые в местах пересечения ими естественных или искусственных препятствий. К естественным препятствиям, встречающимся по трассе канала, относят балки, овраги, ручьи, реки, глубокие и широкие долины, различного рода местные понижения местности, а также холмы, горы и прочие повышения рельефа относительно дна трассируемого канала. К искусственным препятствиям относят дороги, железнодорожные насыпи и пути, каналы другого назначения, а также всевозможного рода инженерные сооружения, расположенные в одной или различных плоскостях с каналами.

К водопроводящим сооружениям, устраиваемым на водохозяйственных каналах, относятся лотки, акведуки, дюкеры, селепроводы, трубы на каналах и под каналами, ливнеспуски и гидротехнические туннели.

10.2. Акведуки, условия применения, гидравлический и статический расчеты

Акведуки целесообразно применять при следующих условиях: при пересечении малых рек, балок, значительной длины понижений местности глубиной до 20 м, а также на каналах, где сокращение потерь напора имеет существенное значение. Иными словами, можно отметить, что акведуки применяют тогда, когда препятствия ниже канала.

Акведуки выполняют из сборного, сборно-монолитного или монолитного железобетона, реже металлическими. Пролетное строение акведуков также, как и у мостов бывает арочной, рамной, балочной и другой конструкции.

Акведук состоит из входной части, лотка и выходной части. Назначение входной части – обеспечить плавный переход от ширины канала к ширине лотка акведука. Этому же условию должна удовлетворять конструкция выходной части. Вход и выход в сооружение устраивают в виде раструба в плане, соответственно сужающегося или расширяющегося длиной не менее четырехкратной глубины воды в канале, т. е. $l \geq 4h$ (рис. 10.1).

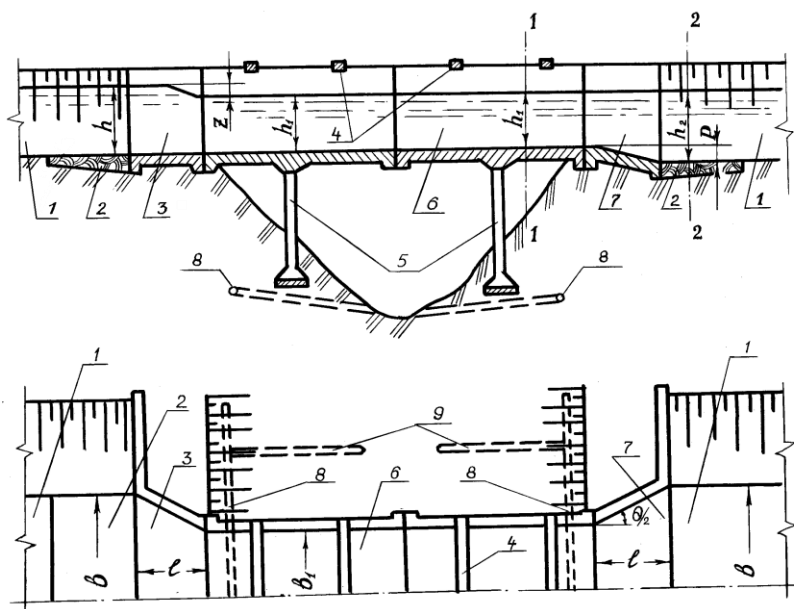


Рис. 10.1. Акведук на рамных опорах: 1 – канал; 2 – понур; 3 – входная часть; 4 – поперечные связи-балки; 5 – рамные опоры; 6 – лоток; 7 – выход; 8 – дрена; 9 – выпуски

Величину центрального угла раструба принимают из условия плавного сопряжения потоков без отрыва от стенок: до 30° для входной

части и до 20° для выходной, что обычно определяют гидравлическим расчетом.

Перед входной частью у начала понура, а также в конце выходной части для снижения фильтрации под сооружением устраивают бетонные зубья или забивают шпунтовые стенки. Иногда под стенкой или зубом делают дренаж с выводом его в овраг или канал, пересекаемый акведуком. Для предотвращения выхода фильтрационного потока на откос и повышения его устойчивости у подошвы откоса устраивают дренаж (рис. 10.1).

Поперечное сечение лотков выполняют прямоугольным, параболическим и полукруглым. Лотки изготовляют закрытыми, полностью или частично открытыми. В закрытых лотках верхнюю плиту используют в качестве служебного или переходного мостика. В открытых лотках по верху бортовых стенок укладывают поперечные связи, располагая их друг от друга на расстоянии 2–4 м. Наличие таких связей увеличивает жесткость лотка и позволяет уложить по ним настил, используя его как служебный мостик.

В широких лотках служебные мостики устраивают на консолях, расположенных с внешней стороны лотка. Следует отметить, что лотки параболического и полукруглого сечения чаще используют в сборных конструкциях акведуков на расходы до $10 \text{ м}^3/\text{с}$.

Нижняя часть пролетного строения акведука, пересекающего несудоходный водоток, должны возвышаться над максимальным расчетным уровнем не менее чем на 0,5 м.

Подошвы фундаментных частей пролетных опор и береговых устоев заглубляют в грунт ниже глубины промерзания и возможного размыва русла в створе акведука.

Гидравлический расчет акведуков. Гидравлический расчет выполняют для входа в акведук, лотка акведука и выхода из лотка акведука в канал. Расчет ведут на пропуск максимального расхода. Схема протекания воды в акведуках показана на рис. 10.1.

Скорость движения потока в лотке акведука назначают несколько выше скорости потока в подводящем и отводящем каналах – 1,0–2,5 м/с с учетом обеспечения транспортирующей способности потока и исключения оседания наносов в лотке. Поэтому участки канала перед акведуком и за ним крепят камнем или бетонными плитами. Следует отметить, что дальнейшее повышение скорости потока невыгодно, так как ведет к увеличению уклона лотка, а следовательно, и потерь напора. Перепад (Z) на входе обычно принимают 0,1–0,15 м.

Отметку дна входной части акведука принимают такой же, как и в подводящем канале. Выходную часть акведука устраивают наклонной (на величину P , определяемую по расчету), чтобы избежать подпора воды в акведуке и в расположенном выше канале (рис. 10.1).

Гидравлический расчет акведука ведут в следующей последовательности. Поперечное сечение лотка акведука – прямоугольное.

Предварительно задаются скоростью потока и его глубиной в лотке акведука $h_1 = h - Z$ (h – глубина воды в канале) и определяют ширину лотка акведука:

$$b_1 = \frac{Q}{h_1 v_1}, \quad (10.1)$$

где h_1 и v_1 – соответственно глубина и скорость воды в лотке.

Если длина акведука не более $10h_1$, то расчет выполняется как для водослива с широким порогом, а при большей длине – по формуле Шези.

Далее уточняют глубину h_1 в лотке акведука, используя формулу затопленного водослива с широким порогом:

$$Q = \varepsilon \cdot \phi \cdot b_1 \cdot h_1 \sqrt{2gz_0} = \varepsilon \cdot \phi \cdot b_1 \cdot h_1 \sqrt{2g \left(h - h_1 + \frac{av_0^2}{2g} \right)}, \quad (10.2)$$

где ε – коэффициент бокового сжатия;

ϕ – скоростной коэффициент для затопленного водослива
 $\phi \approx 0,85-0,90$;

v_0 – скорость потока в подводящем и отводящем каналах.

$$v_0 = \frac{Q}{\omega} = \frac{Q}{(b+mh)h}, \quad (10.3)$$

где b и m – соответственно ширина по низу и заложение откосов канала.

Определив h_1 , уточняют скорость в лотке $v_1 = \frac{Q}{b_1 h_1}$.

Из формулы Шези определяют уклон дна лотка при заданном наполнении:

$$v_1 = C \sqrt{R_1 i}, \quad C = \frac{1}{n} R_1^{1/6}, \quad (10.4)$$

откуда

$$v_1 = \frac{R_1^{2/3} \sqrt{i}}{n}; \quad i = \left(\frac{v_1 \cdot n}{R_1^{2/3}} \right)^2,$$

где n – коэффициент шероховатости для бетона, $n = 0,012$.

Гидравлический радиус:

$$R_1 = \frac{\omega_1}{\chi_1} = \frac{b_1 \cdot h_1}{b_1 + 2h_1}. \quad (10.5)$$

Превышение отметки дна в конце акведука над отметкой дна отводящего канала P находят из уравнения Бернулли, составленного для сечений 1-1 и 2-2:

$$h_1 + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2g} + P = h_2 + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2g} + h_W, \quad (10.6)$$

где h_W – потери напора при внезапном расширении потока,

$$h_W = \frac{(v_1 - v_0)^2}{2g}. \quad (10.7)$$

Ввиду небольшой длины раструба потерями на трение пренебрегают.

После подстановки всех вычисленных величин ($h_2 = h$, $v_2 = v_0$) в уравнение Бернулли определяют превышение P .

В зависимости от максимального расхода акведука, согласно нормативным данным, возвышение стенок акведука над максимальным уровнем назначают в зависимости от расхода от 10 до 40 см.

Статический расчет акведуков подобен расчету мостов соответствующей конструктивной схемы.

Акведуки рассчитывают по несущей способности конструкций (первая группа предельных состояний) и по деформациям (вторая группа предельных состояний). Рамные конструкции проверяют на раскрытие трещин, а лотки рассчитывают с учетом образования трещин. В консольных рамах размеры консолей назначают из условия равенства изгибающих моментов в месте заделки консоли на опоре и в середине пролета.

Основание акведука рассчитывают по несущей способности. Свайные опоры акведуков рассчитывают по двум группам предельных состояний: по первой группе – по прочности конструкций свай или свайных ростверков (если фундамент запроектирован в виде свайного ростверка и по устойчивости при воздействии ветровой нагрузки; по второй – по осадке свайных фундаментов, перемещениям свай и углам поворота под действием ветровой нагрузки.

10.3. Условия применения и расчет дюкеров

Условия применения. Дюкеры – напорные водоводы – устраивают на каналах и водотоках при встрече препятствий рек, каналов, суходолов, селевых русел, железных и шоссейных дорог, когда препятствия расположены на одном с ними или на близком уровне, или когда нет возможности выдержать необходимые габариты при строительстве акведука, например, при пересечении с судоходной рекой. При пересечении каналом (водотоком) глубоких и широких рек, долин, оврагов строительство дюкера может быть экономически оправдано относительно акведука, главным образом за счет стоимости опор.

Для уменьшения длины дюкера рекомендуется трассировать его под прямым углом к препятствию. В месте пересечения двух каналов дюкер устраивают на канале с меньшим расходом.

Конструктивные особенности дюкеров. По конструктивным особенностям различают колодезные (шахтные) и криволинейные дюкеры (рис. 10.2). По числу ниток дюкеры бывают одноочковые и многоочковые. По условиям производства работ и эксплуатации дюкеры могут быть закрытыми, открытыми и комбинированными. Выполняют их из бетона, железобетона, стали, дерева, пластмассы.

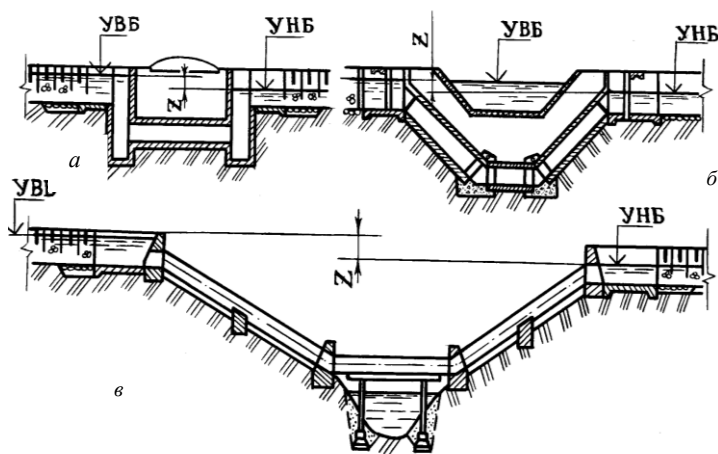


Рис. 10.2. Основные конструктивные схемы дюкеров:

а, б – закрытые: колодезный и криволинейный;

в – открытый, с напорными трубопроводами

Выбор материала дюкера определяется действующим напором. Так, бетонные дюкеры устраивают при напорах до 3 м, железобетонные – 50

м, а из предварительно напряженного железобетона – до 100 м. Стальные дюкеры практически не имеют предела в установлении напора. Деревянные дюкеры возможны при напорах 20–30 м, однако их применение ограничено недолговечностью.

К основным частям дюкера относят входной и выходной оголовки, напорные трубопроводы, анкерные и промежуточные опоры и сопрягающие участки с каналом. Ремонтные затворы, решетки, служебные мостики, перильные ограждения, водовыпускные патрубки, контрольные люки, компенсаторы – все эти элементы являются вспомогательными частями дюкера.

Длина дюкера должна быть минимальной за счет устройства, подводящего и отводящего участков канала в насыпи. Переход от насыпи к дюкеру определяется на основании технико-экономического сопоставления.

Поперечные сечения труб дюкера могут быть круглыми и прямоугольными. Наиболее распространено круглое сечение труб. Оно выгодно как наиболее экономное по расходу материала, так и с точки зрения статического и гидравлического расчета.

Асбестоцементные, керамические и пластмассовые трубы подвержены разрушению от ударов, поэтому при укладке их заглубляют. Стальные трубы укладывают на опорах выше поверхности земли не менее чем на 0,6 м, так как они подвержены коррозии. Железобетонные трубы можно заглублять, укладывать над поверхностью земли или непосредственно на земле. Заглубленные в грунт или обсыпанные грунтом трубы находятся в более благоприятных температурных условиях по сравнению с незаглубленными. Если трубы дюкера проходят под каналом или естественным водотоком, то слой грунта над верхом труб дюкера принимают не менее 1–1,5 м. Предельное заглубление в грунт определяется глубиной возможного размыва дна русла или канала, а также прочностью трубы согласно установленным нормам.

Для предотвращения образования вихревой воронки на входе воды в дюкер верхнюю кромку трубы заглубляют под уровень воды в подводящем канале не менее чем на $1,5 (V^2/2g)$ или на $0,6a$, где a – линейный размер (по вертикали) сечения трубы дюкера на входе.

Для опорожнения дюкера на время ремонта в пониженной части его труб предусматривают отверстия. Если трубы дюкера расположены над водотоком, проходящим через овраг, то их укладывают на эстакаду. В небольших малонапорных сооружениях входная и выходная части дюкера

могут быть выполнены в виде вертикальных шахт и колодцев. В этом случае отметку дна входной и выходной шахт заглубляют по отношению к донной части горизонтальной трубы. В этих углублениях откладываются наносы, попадающие в дюкер с водой (см. рис. 10.2, а).

Гидравлический расчет дюкера. Заключается в определении потерь напора и его пропускной способности при заданной скорости движения воды в трубе. Скорость в трубе выбирают в соответствии с технико-экономическим обоснованием и исходя из условия незаиляемости при пропуске любого из расчетных расходов. Ее обычно назначают в пределах 1,5–4 м/с; при большей скорости резко увеличиваются потери напора. Гидравлический расчет коротких дюкеров проводят на пропуск максимальных расходов. Дюкеры, достигающие по длине нескольких сотен метров, рассчитывают на пропуск минимальных расходов для выявления гидравлического прыжка, неблагоприятно сказывающегося на работе дюкера. Образование гидравлического прыжка в трубе вызывает вибрацию труб и расстройство стыков. При возникновении прыжкового сопряжения предусматривают мероприятия, предупреждающие образование гидравлического прыжка в трубе дюкера.

При гидравлическом расчете обычно возникает необходимость рассмотреть один из трех случаев (рис. 10.3):

1. Определить потери напора в дюкере, т. е. разность уровней воды в канале перед и за сооружением по заданному расходу потока, поперечному сечению, длине сооружения, его продольному профилю.

2. Найти поперечное сечение дюкера, если задаться потерями напора, при известном расходе, длине дюкера и продольном профиле.

3. Определить расход дюкера, если известны потери напора, размеры дюкера (поперечное сечение, длина) и продольный профиль.

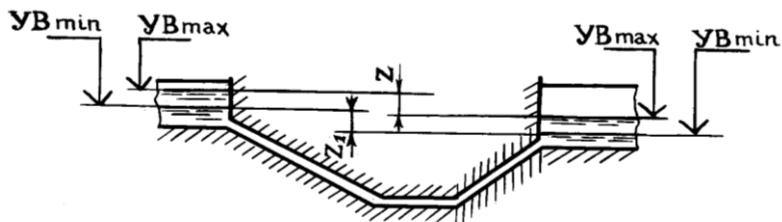


Рис. 10.3. Расчетная схема дюкера

Расчет для каждого из перечисленных случаев проводят на основе уравнения Бернулли, которое составляют для двух сечений: перед входом в дюкер и за дюкером (рис. 10.3):

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + z = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \frac{V^2}{2g} \left(\zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{реш}} + 2\zeta_{\text{пов}} + \zeta_{\text{тр}} + \zeta_{\text{вых}} \right), \quad (10.8)$$

где h_1, V_1 – глубина и скорость потока в подводящем канале;

h_2, V_2 – то же для отводящего канала;

V – скорость в трубе дюкера;

z – разность уровней воды перед дюкером и за ним (теряемый напор).

Если поперечные размеры подводящего и отводящего каналов, а также другие их характеристики одинаковы, что довольно часто встречается в практике, то для этого случая уравнение Бернулли имеет следующий вид:

$$z = \sum \zeta \frac{V^2}{2g} = \left(\zeta_{\text{реш}} + \zeta_{\text{вх}} + 2\zeta_{\text{пов}} + \zeta_{\text{тр}} + \zeta_{\text{вых}} \right) \frac{V^2}{2g}, \quad (10.9)$$

где $\sum \zeta$ – сумма коэффициентов гидравлического сопротивления на вход, выход, трение, решетки и повороты.

Коэффициент гидравлического сопротивления на входе $\zeta_{\text{вх}}$ равен 0,5 при заостренных, 0,2 – при закругленных кромках, 0,05–0,06 – при весьма плавном входе.

Коэффициент гидравлического сопротивления при выходе из трубы $\zeta_{\text{вых}}$ вычисляют по формуле:

$$\zeta_{\text{вых}} = \left(1 - \frac{\omega_{\text{д}}}{\omega_{\text{кан}}} \right)^2, \quad (10.10)$$

где $\omega_{\text{д}}$ и $\omega_{\text{кан}}$ – площади поперечного сечения дюкера и живого сечения канала.

Коэффициент гидравлического сопротивления на трение по длине труб дюкера определяют по следующим формулам:

для труб круглого сечения

$$\zeta_{\text{тр}} = \frac{8gl}{C^2 d} = \frac{\lambda \cdot l}{d}, \quad (10.11)$$

для труб прямоугольного сечения

$$\zeta_{\text{тр}} = 2gl \frac{n^2}{R^{4/3}}, \quad (10.12)$$

где λ – гидравлический коэффициент трения по длине в трубах;

l – длина трубы, м;
 d – диаметр трубы, м;
 n – коэффициент шероховатости;
 R – гидравлический радиус, м.
 C – коэффициент Шези, м^{0,5}/с.

Значение коэффициента гидравлического сопротивления для круглых труб при $d < 4,0$ м определяют по формуле Н. Н. Павловского:

$$\lambda = 8gn^2 \left(\frac{4}{d}\right)^{3\sqrt{n}}. \quad (10.13)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления в сороудерживающей решетке можно определять по формуле Киршмера:

$$\zeta_{\text{реш}} = \beta \left(\frac{S}{b}\right)^{4/3} \sin \alpha, \quad (10.14)$$

где S – толщина стержня;

b – величина просвета между стержнями;

α – угол наклона решетки к горизонту;

β – коэффициент, значение которого зависит от форм сечения решетки: для круглого поперечного сечения стержней – $\beta = 1,79$; для прямоугольных – $\beta = 2,42$; для прямоугольных стержней с закругленными входными кромками – $\beta = 1,83$; для прямоугольных стержней с закругленными входными и выходными кромками – $\beta = 1,67$; для клинообразных стержней с закругленными кромками – $\beta = 0,76$.

Следует отметить, что значение β для вышеуказанных стержней приведены при их толщине (диаметре) 10 мм и ширине 50 мм.

Коэффициент гидравлического сопротивления $\zeta_{\text{пов}}$ рекомендуется определять по зависимости:

$$\zeta_{\text{пов}} = \zeta_{90^\circ} \cdot a, \quad (10.15)$$

где ζ_{90° – коэффициент сопротивления при повороте на 90° ;

a – коэффициент, зависящий от центрального угла поворота трубы θ .

Коэффициент ζ_{90° зависит от R/d (отношение радиуса закругления к диаметру трубы) и коэффициента сопротивления по длине трубопровода λ и может быть определен по формуле А. Д. Альтшуля:

$$\zeta_{90^\circ} = [0,20 + 0,001(100 \cdot \lambda)^8] \sqrt{\frac{d}{R}}, \quad (10.16)$$

По уравнению Бернулли в исходном виде решается задача применительно к первому случаю расчета. Для второго случая используется зависимость:

$$V = \mu \sqrt{2gz} \quad (10.17)$$

совместно с зависимостью

$$Q = V \cdot \omega. \quad (10.18)$$

В данном случае решение ведется подбором и расчеты сводятся в таблицу. Третий случай расчета выполняется с помощью уравнения:

$$Q = \mu \cdot \omega \sqrt{2gz_0}, \quad (10.19)$$

где z_0 – разность уровней воды с учетом скорости подхода, м.

Следует отметить, что большие значения скоростей в трубах дюкера приводят к резкому увеличению потерь напора, а в итоге к существенному снижению отметки в отводящем канале, т. е. происходит потеря в командовании канала над орошаемыми территориями. Поэтому скорости в трубах обычно принимают в пределах как было указано ранее.

Угол сужения на входе в дюкер рекомендуется назначать не более 30° и угол расширения на выходе не более 12° , а также по длине дюкера не должно быть участков с внезапно изменяющимся сечением. Если дюкеры работают в зимних условиях, необходимо проводить термический расчет на обледенение и проверку для этих условий пропускной способности сооружения.

Статический расчет дюкера. Статический расчет дюкеров проводят на сочетание постоянных, временных длительных, кратковременных и особых нагрузок и воздействий с учетом возможности их одновременного действия. Расчеты проводят для периодов строительства и эксплуатации. Коэффициенты перегрузки определяют в соответствии со СНиП.

При укладке труб дюкера в сильнопросадочных или набухающих грунтах необходимо проводить расчеты на неравномерную деформацию сооружения и основания. При недопустимых деформациях следует предусматривать соответствующие мероприятия (предварительная замочка основания, проектирование дюкеров из стальных труб и т. п.). В

районах с глубоким сезонным промерзанием грунтов, подверженных морозному пучению, проводят теплотехнические расчеты основания и проверки элементов дюкера на воздействие сил морозного пучения. Применение дюкеров в районах вечной мерзлоты и глубокого сезонного промерзания при отсутствии соответствующих обоснований следует, как правило, избегать.

Дюкеры круглого сечения рассчитывают, как трубы, прямоугольного сечения – как замкнутые прямоугольные рамы. В трубах, укладываемых большими звеньями, следует учитывать напряжения, возникающие при их укладке (от кручения и изгиба) и засыпки грунтов. Спецификой работы труб во время строительства определяется необходимость в железобетонных трубах не только поперечной, но и достаточно сильной продольной арматуры.

В открытых дюкерах, проектируемых, как правило, круглого сечения, статическому расчету подвергают трубы и опоры. Все нагрузки и воздействия на трубы и опоры в зависимости от направления по отношению к оси труб дюкера делят на осевые, нормальные, вертикальные, горизонтальные и радиальные. Для определения каждой из перечисленных сил пользуются расчетными зависимостями, применяемыми в расчетах напорных трубопроводов.

В засыпанных дюкерах следует учитывать трение труб о грунт на наклонных участках дюкера и проводить проверку на давление грунта в случае полного опорожнения дюкера.

Статический расчет стенок входного и выходного оголовков дюкера проводят в зависимости от принятой конструкции либо по схеме расчета подпорных стенок, либо по схеме расчета доковых конструкций. В расчетах за нормативный температурный перепад принимают разницу между максимально и минимально возможной температурой стенок в период эксплуатации и наименьшей и наибольшей температурой, при которой фиксируется расчетная схема трубопровода (замоноличивание швов бетонных дюкеров, установка компенсаторов и сваривание захлестов в металлических трубах).

Тема 11. СОПРЯГАЮЩИЕ СООРУЖЕНИЯ

11.1. Типы сопрягающих сооружений

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

По условиям движения потока эти сооружения делят на две основные группы: без отрыва от жестких границ – быстротокки, трубчатые быстротокки и перепады; с отрывом от жестких границ сооружения на отдельных его участках – ступенчатые и консольные перепады. В дальнейшем будет идти речь только лишь о ступенчатых перепадах, быстротокках и консольных перепадах (консолях) как о наиболее распространенных на водохозяйственных системах сопрягающих сооружений.

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, 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 быстротокки – 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 быстротокки могут оказаться дороже вследствие недопустимых скоростей.

Из всех типов сопрягающих сооружений наиболее надежны в эксплуатации перепады. Если они правильно запроектированы, то в задачу эксплуатационного персонала входит лишь обычный присмотр за состоянием сооружения и периодический ремонт.

При нормальных условиях наиболее экономичным типом сопрягающего сооружения считается консоль, потом быстроток, а перепад относится к более дорогим сооружениям.

Однако при определенных условиях консольный сброс может оказаться дороже и сложнее всех других типов сопрягающих сооружений и главным образом за счет технической сложности и большой стоимости опоры.

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 допускаемых;

2) быть прочными и устойчивыми;

3) иметь наиболее рациональные и по возможности простые формы;

4) обеспечивать пропуск в нижний бьеф плавающих тел и шуги.

Следует отметить, что обычно индивидуальные (крупные) сооружения проектируют предварительно в нескольких вариантах, после чего выбирают один из них и окончательно дорабатывают и уточняют все детали. Мелкие сооружения устраивают по типовым проектам.

11.2. Конструкция и расчет перепада

Перепады имеют входную (понурную), транзитную (ступени) и выходную части. Транзитная часть между входом и выходом у одноступенчатого и многоступенчатого (рис. 11.1) 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.

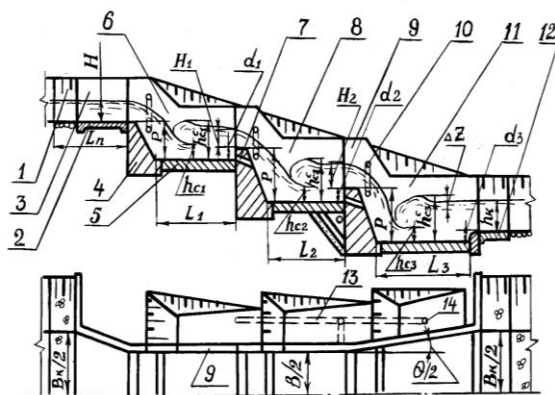


Рис. 11.1. Многоступенчатый перепад: 1 – подводящий канал; 2 – понур; 3 – входная часть; 4 – стенка падения; 5 – водобойная плита; 6 – первая ступень; 7 – сливные отверстия; 8 – вторая ступень; 9 – боковая стенка; 10 – воздушные отверстия; 11 – последняя ступень; 12 – рисберма; 13 – застенный дренаж; 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) части $l_{\text{п}}$ в небольших перепадах с удельным расходом $q \leq 2 \text{ м}^3/\text{с}$ принимают не менее $2H$, где H – глубина воды у входа в перепад, в более крупных перепадах с $q > 2 \text{ м}^3/\text{с}$ – не менее $3H$. Длина предпонурного крепления $l_{\text{пп}} = (2-3)H$, 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 угрожающее 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 в результате 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 дна 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 дна 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 .

В других случаях для расчета толщины водобоя используют приближенную формулу В. М. Домбровского:

$$t = 0,25 \sqrt{q \sqrt{p}}. \quad (11.1)$$

Гидравлический расчет многоступенчатого перепада состоит из расчета следующих основных частей: 1) расчета входной части; 2) расчета числа ступеней и определения основных размеров первых двух из них;

3) расчета выходной части – последней ступени перепада, рисбермы и ее сопряжения с отводящим каналом.

Расчетная схема приведена на рис. 11.1. Ширину прямоугольной входной части определяют из формулы незатопленного водослива с широким порогом, так как истечение происходит без подтопления со стороны нижнего бьефа:

$$Q = m \cdot \varepsilon \cdot b \cdot H_0 \sqrt{2gH_0}, \quad (11.2)$$

где m – коэффициент расхода, для водослива с широким порогом, $m = 0,36$;

ε – коэффициент бокового сжатия, предварительно в первом приближении можно принять 0,9–0,95;

b – ширина входной части перепада;

H_0 – глубина воды в подводящем канале с учетом скорости подхода.

После определения ширины b в первом приближении вычисляют коэффициент бокового сжатия по формуле:

$$\varepsilon = 1 - 0,1 \zeta \cdot n_\varepsilon \frac{H_0}{B}, \quad (11.3)$$

Определив ε , из формулы (11.2) определяют ширину b , то есть выполняют второе приближение.

Далее определяют число ступеней:

$$N = \frac{z}{p-d}, \quad (11.4)$$

где z – разность уровней воды подводящего и отводящего каналов;

p – высота стенки падения;

d – глубина водобойного колодца на промежуточных ступенях.

Принимая ориентировочно $p = 1,5 h_{кр}$ и глубину водобойного колодца:

$$d = 0,22 \left(p + h_{кр} + \frac{\alpha \cdot v_{кр}^2}{2g} \right), \quad (11.5)$$

где $v_{кр}$ и $h_{кр}$ – скорость и глубина в конце входа, определяют N , которое округляют и принимают окончательно.

Критическая глубина и скорость:

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q^2}{g}}; \quad q = \frac{Q}{b}, \quad V_{кр} = \frac{q}{h_{кр}}, \quad (11.6)$$

где q – удельный расход.

Иногда предварительно принимают высоту ступени падения $p = 1,5h_0$, а высоту водобойного колодца $d = 0,5h_0$, где h_0 – нормальная глубина в подводящем канале.

Насколько удачно приняты p и d и обеспечивают ли они затопление прыжка в колодце ступени, будет видно из дальнейших расчетов.

Затем рассчитывают первую ступень. Определяют глубину воды в сжатом сечении из формулы:

$$q = \phi \cdot h_{c1} \sqrt{2g \left(p + h_{кр} + \frac{\alpha \cdot v^2}{2g} - h_{c1} \right)}, \quad (11.7)$$

где ϕ – скоростной коэффициент, принимаемый по рекомендации Е. А. Замарина в зависимости от высоты стенки падения p колеблется от 0,85 до 1.

Определив подбором из этого уравнения h_{c1} , сопряженную ей глубину вычисляют по формуле

$$h_{c1}^c = \frac{1}{2} h_{c1} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_{кр}}{h_{c1}} \right)^3} - 1 \right]. \quad (11.8)$$

Из формулы водослива с тонкой стенкой определяют напор на водосливе первой ступени:

$$Q = m \cdot b \sqrt{2g} \cdot H_{01}^{3/2}, \quad (11.9)$$

где m – коэффициент расхода, для водослива с тонкой стенкой, равный 0,42.

Тогда напор на водосливе:

$$H_1 = H_{01} - \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2g}; \quad V_1 = \frac{Q}{b \cdot h_{c1}^c}. \quad (11.10)$$

Определяют глубину водобойного колодца на первой ступени:

$$d_1 = h_{c1}^c - H_1. \quad (11.11)$$

Длина водобойного колодца на всех ступенях, кроме последней, будет

$$L_1 = L_{01} + 0,8L_{пр1}, \quad (11.12)$$

где L_{01} и $L_{пр1}$ – соответственно длина отлета струи и длина прыжка на первой ступени, определяются по формулам:

$$L_{01} = V_{кр} \sqrt{\frac{2(p + \frac{1}{2}h_{кр})}{g}}; \quad L_{пр1} = 4,3h_{c1}^{с}. \quad (11.13)$$

Вторую ступень рассчитывают аналогично. Глубину воды в сжатом сечении на второй ступени h_{c2} определяют из уравнения:

$$q = \Phi \cdot h_{c2} \sqrt{2g \left(p + H_1 + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2g} - h_{c2} \right)}, \quad (11.14)$$

где v_1 – скорость подхода к водосливу, равная $Q/(b \cdot h_{c1}^{с})$.

Вторая сопряженная глубина $h_{c2}^{с}$ на второй ступени будет равна:

$$h_{c2}^{с} = \frac{1}{2} h_{c2} \left[\sqrt{1 + 8 \left(\frac{h_{кр}}{h_{c2}} \right)^3} - 1 \right]. \quad (11.15)$$

Напор на водосливе второй ступени:

$$H_{02} = 3 \sqrt{\frac{Q^2}{m^2 \cdot b^2 \cdot 2g}}; \quad (11.16)$$

$$H_2 = H_{02} - \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2g}; \quad V_2 = \frac{Q}{b \cdot h_{c2}^{с}}. \quad (11.17)$$

Глубина и длина водобойного колодца на второй ступени:

$$d_2 = h_{c2}^{с} - H_2; \quad L_2 = L_{02} + 0,8 \cdot L_{пр2}, \quad (11.18)$$

где L_{02} и $L_{пр2}$ – соответственно длина отлета струи и длина прыжка на второй ступени, равные:

$$L_{02} = V_1 \sqrt{\frac{2(p + \frac{1}{2}H_1)}{g}}; \quad L_{пр2} = 4,3 \cdot h_{c2}^{с}. \quad (11.19)$$

Все последующие ступени, кроме последней, не рассчитывают, так как они будут точно такими же, как и вторая ступень.

После расчета второй ступени окончательно назначают глубину и длину водобойного колодца, одинаковые для всех промежуточных ступеней в целях упрощения и облегчения производства работ.

Последняя ступень, в данном случае третья, рассчитывается с учетом того, что здесь происходит сопряжение с каналом.

Длина последней ступени:

$$L_3 = L_{03} + L_{пр3} + L_{зап}, \quad (11.20)$$

где $L_{\text{зап}}$ – длина запаса, равная $(1-3)h_k$;
 h_k – глубина воды в отводящем канале.

Длина отлета $L_{03} = L_{02}$.

Если ширина последней ступени постоянная, то $L_{\text{пр}3} = L_{\text{пр}2}$, так как вторая сопряженная глубина на последней ступени равна второй сопряженной глубине на предыдущей ступени, то есть $h_{c2}^* = h_{c3}^*$.

Глубина колодца:

$$d_3 = \sigma \cdot h_{c3}^* - h_k - \Delta Z, \quad (11.21)$$

где σ – коэффициент запаса, обычно равный 1,05...1,1;

ΔZ – перепад уровней при выходе из колодца в канал, определяемый из формулы:

$$Q = \phi \cdot b \cdot h_k \sqrt{2g \cdot \Delta Z_0}; \quad \phi = 0,95; \quad (11.22)$$

$$\Delta Z = \Delta Z_0 - \frac{\alpha \cdot V_3^2}{2g}; \quad V_3 = \frac{Q}{b \cdot h_{c3}^*}. \quad (11.23)$$

Однако чаще всего последняя ступень устраивается в виде расширяющегося в плане раструба от ширины b до B . В этом случае вторая сопряженная глубина h_{c3}^* находится из формулы прыжковой функции, имеющей для прямоугольного русла перепада следующий вид:

$$\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot \omega_1} + \frac{\omega_1 \cdot h_{c3}}{2} = \frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot \omega_2} + \frac{\omega_2 \cdot h_{c3}}{2}, \quad (11.24)$$

где ω_1 – живое сечение в месте падения струи, равное $b \cdot h_{c3}$;

ω_2 – живое сечение за местом падения струи, равное $B \cdot h_{c3}$.

Следует отметить, что расширяющийся выходной участок перепада должен проектироваться с углом роспуска θ , который во избежание отрыва потока от боковых стенок и для равномерного заполнения русла потоком без резкого изменения глубин в сечении следует определять из формулы:

$$\text{tg } \theta = \frac{1}{\sqrt{\Pi_K}}, \quad (11.25)$$

$$\Pi_K = \frac{\alpha \cdot V_{c3}^2}{g \cdot h_{c3}} \quad (11.26)$$

где Π_K – параметр кинетичности;

V_{c3} – скорость воды в сечении с сжатой глубиной h_{c3} на последней ступени, в данном случае третьей.

11.3. Условия применения, конструкция и расчет быстротока

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. 11.2).

В конструктивном отношении входная и выходная части быстротока аналогичны, как и в перепадах.

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, трапецидальным, 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.

При прямоугольном поперечном сечении быстротока боковые стенки устраиваются в виде подпорных стенок, поперечные размеры которых определяются на основании статического расчета.

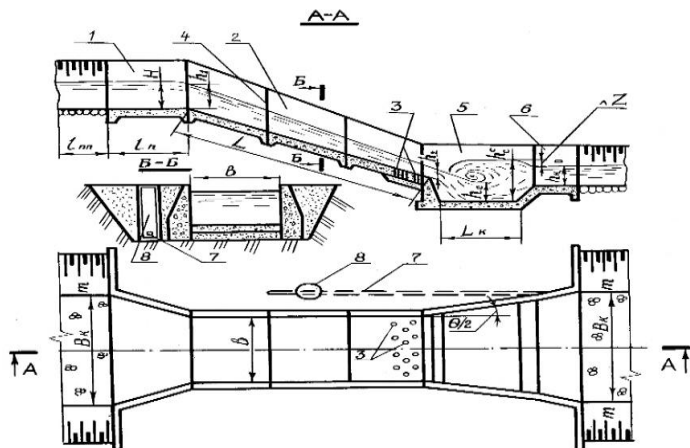


Рис. 11.2. Бетонный быстроток:

- 1 – вход; 2 – лоток; 3 – отверстия в плитах; 4 – шов; 5 – водобойный колодец;
6 – выход; 7 – застенный дренаж; 8 – смотровой колодец

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 силами на него. Из условия пропуска поверхностного потока толщину флютбета можно определить по формуле Домбровского:

$$t = (0,03...0,035) \cdot a \cdot V \cdot \sqrt{h}, \quad (11.27)$$

где V – средняя скорость потока воды в лотке;

h – глубина воды в рассматриваемом сечении;

a – коэффициент, характеризующий грунт основания, для глин и плотных суглинков он равен 1, для супесей – 1,5; для песков – 2.

Под действием напора воды в грунте основания быстротока возникает фильтрационный поток воды, входящей в основание до входной части быстротока и выклинивающейся в отводящем канале. Чтобы уменьшить или снять фильтрационное давление на лоток, а также понизить депрессионную поверхность фильтрационного или грунтового потока в его дне и концевой части устраивают разгрузочные отверстия, а за боковыми стенками – застенный дренаж. Фильтрационная вода через разгрузочные отверстия выходит в лоток быстротока, а из дренажа сбрасывается в нижний бьеф. Если уровень грунтовых вод в основании сооружения близок к поверхности земли, дренаж выполняют и под лотком. Дренаж обычно устраивают на нижней трети или половине быстротока, заканчивается он в начале отводящего канала.

Превышение боковых стенок лотка быстротока Δh над расчетным уровнем воды, определенным с учетом аэрации потока, принимается в зависимости от расхода Q и колеблется в пределах 0,2–0,6 м.

Гидравлический расчет быстротока заключается в расчете входной части, определении глубины воды в конце лотка и построении кривой спада, а также расчете нижнего бьефа выходной части (рис. 11.2).

Поскольку вход в быстроток одинаков со входом в перепад, то и его расчет аналогичен расчету входной части перепада.

Расчет глубины воды в конце лотка быстротока ведут в следующей последовательности.

Определяют критическую глубину, которая устанавливается в начале быстротока:

$$h_{\text{кр}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot q^2}{g}} = h_1, \quad (11.28)$$

где q – удельный расход на быстротоке, равный Q/b .

Далее находят нормальную глубину на быстротоке h_0 по формуле Шези.

Исходными данными для расчета служат ширина лотка b , равная ширине входа, определенная при расчете входной части, расход канала Q , уклон лотка (местности) i , длина лотка (протяженность участка сопряжения) L , коэффициент шероховатости материала лотка n . Лучше глубину h_0 определять подбором. С этой целью задают в лотке глубины воды h_i и по формуле Шези находят соответствующие этим глубинам расходы Q_i .

По полученным данным строят график $Q_i = f(h_i)$ и с него снимают при известном значении Q значение h_0 .

Кривую спада в лотке быстротока строят, используя уравнение неравномерного движения воды.

Следует отметить, что гидравлический показатель x для прямоугольного русла равен:

$$x = 3,4 \cdot \frac{2,8}{\frac{b}{h_{\text{ср}}} + 2}, \quad (11.29)$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2}{2}, \quad (11.30)$$

где h_1 и h_2 – соответственно глубины в начале и конце быстротока.

Задавая различные глубины h_2 по уравнению неравномерного движения, определяют, на каком расстоянии от начала быстротока находится заданная глубина h_2 . Соединяя вершины отрезков h_2 плавной кривой, получают кривую спада. Поэтому же уравнению подбором определяют глубину воды в конце лотка быстротока h_2 .

Зная положение кривой спада в лотке быстротока, легко найти скорость движения воды в любом сечении.

Когда известна глубина воды в конце быстротока h_2 , то выполняют гидравлический расчет нижнего бьефа (выходной части) аналогично расчету выходной части перепада.

При проектировании быстротоков возможны случаи, когда скорости в лотке получаются слишком большие, не допустимые для материала сооружения, а уменьшить уклон экономически нецелесообразно.

В этом случае используют лотки с повышенной (искусственной) шероховатостью.

Для определения размеров повышенной шероховатости существует несколько методов. Наибольшее распространение получил метод Е. А. Замарина, согласно которому размеры повышенной шероховатости находят по эмпирической формуле, имеющей общий вид, следующий:

$$C(A \cdot E \cdot \alpha \pm D \cdot \beta) = 1000, \quad (11.31)$$

где A, E, D – числовые коэффициенты, полученные опытным путем для различных видов повышенной шероховатости.

$$\alpha = \frac{h}{\Delta}; \beta = \frac{b}{h},$$

где h – глубина воды над выступами шероховатости;

Δ – высота шероховатости.

Оптимальное расстояние между ребрами шероховатости принимается $\lambda = 8 \cdot \Delta$ при изменении β от 1 до 12, кроме шероховатости одиночного зигзага, где дано условие $6 \geq \beta \geq 1$.

11.4. Консольный перепад

Консольный перепад получил свое название по гасительному устройству, представляющему собой струенаправляющий лоток, располагающийся 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, то есть в пределах будущей воронки размыва (рис. 11.3).

Входная часть и быстроток в конструктивном отношении такие же, как и в быстротоках.

Лоток проектируют таким образом, чтобы в конце его скорости потока достигали предельной расчетной величины. Длину консоли принимают 2–4 м. Дальность отлета струи определяется скоростью, высотой падения и особенностью конструкции концевой части консоли.

При постоянном или близком к постоянному расходу воды можно устраивать консоль с обратным (отрицательным) уклоном. Обратный уклон создает условия для большего отлета струи от опор, в связи с чем

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.

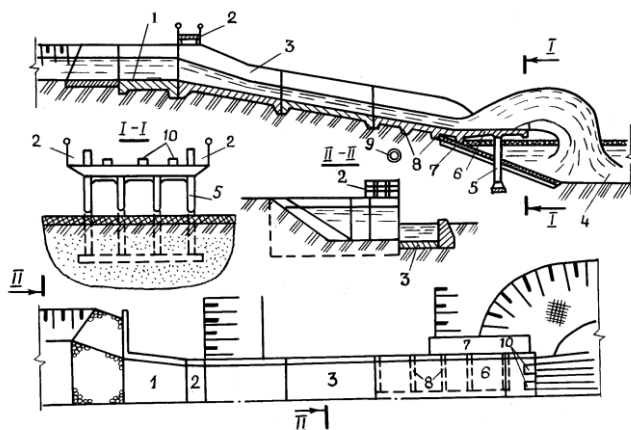


Рис. 11.3. Схема консольного перепада:

1 – входной участок; 2 – служебные мостики; 3 – лоток;

4 – воронка размыва; 5 – рамная опора; 6 – консоль;

7 – габионное крепление; 8 – балки жесткости; 9 – дренаж; 10 – трамплины

Габариты воронки размыва зависят от скорости струи и сопротивляемости грунта размыву. Гашение энергии ниспадающего потока обеспечивается только после того, как падающая струя размывает грунт 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 крепление довольно мощное: габионы, фашины, фашиновые тьюфы, в нижней – мощение камнем или каменная наброска 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.

Для лучшего растекания падающего с консоли потока центральный угол роспуска консоли (в плане) θ рекомендуется принимать не более $8-12^\circ$, причем наименьшее значение угла берется для наибольшей скорости. Самый конец консоли следует очерчивать по дуге круга, в центре которого пересекаются продолжения линий боковых стен консоли.

Для уменьшения глубины и ширины воронки размыва и боковых водоворотов за ней в конце консоли устраиваются трамплины, которые расщепляют струю на нижние и верхние струи. Верхние струи, насыщаясь воздухом, имеют меньшую размывающую способность. Трамплины устраивают высотой $(1,2-2)h_2$ при скоростях 8–15 м/с. Большей скорости потока соответствует и большая высота трамплинов. Между трамплинами делают просветы, ширина которых в 1,2–2 раза меньше ширины трамплинов. Трамплины можно устанавливать в одну линию вдоль кромки консоли или в шахматном порядке. В последнем случае происходит более интенсивное расщепление потока. Их выполняют с криволинейной сливной гранью так, чтобы угол схода потока был в пределах 30–60°. Применение трамплинов уменьшает глубину воронки размыва до 50 %.

Входную часть консольного перепада рассчитывают по той же формуле донного водослива с широким порогом, что и в перепаде или быстротоке. Лоток быстротока рассчитывают так же, как и лоток обычного быстротока, при этом определяют глубину воды в конце лотка h_2 и соответствующую ей скорость V_2 . Приняв эти же значения глубины и скорости воды на консоли, определяют глубину воронки размыва.

Тема 12. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГРУНТОВЫХ ПЛОТИНАХ И ДАМБАХ

12.1. Грунты плотин

Грунты – горные породы, являющиеся объектом инженерно-строительной деятельности человека и используемые как основание, среда или материал для возведения плотин и дамб.

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).

Пористость n – важнейшее исходное свойство как сыпучего, так и связного грунта. Это объем пор в единице объема грунта в относитель-

ных единицах. Пористость грунта очень часто характеризуется коэффициентом пористости e – отношение объема пор к объему твердых частиц в единице объема грунта.

Плотность сложения грунта (степень уплотненности) характеризуется пористостью n или коэффициентом пористости e и плотностью сухого грунта. Так, например, при $e \leq 0,5$ – грунт плотный, а при $e \geq 1$ – 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°C 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.

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 (существуют и другие уравнения, но они менее удобны):

$$V = k_{\phi} I^{1/m}, \quad (12.1)$$

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 $m \approx 1 \dots 1,1$ фильтрационный поток можно считать ламинарным, а уравнение (12.1) переходит в уравнение Дарси:

$$V = K_{\phi} I. \quad (12.2)$$

Такой режим фильтрации имеет место в мелкозернистых (глинистых и песчаных), а также в некоторых крупнообломочных грунтах (гравийно-песчаных и даже плотных гравийно-галечниковых).

В горной массе обычно, в зависимости от плотности укладки $1 < m < 2$. Это создает специфические условия решения фильтрационных задач для плотины, сложенной такими грунтами. Это необходимо учитывать в однородных по материалу плотинах, возведенных направленным взрывом, когда плотность сложения горной массы по высоте плотины и ее зерновой состав изменяются, а следовательно, изменяются k_{ϕ} и m . При $m \approx 2$ имеет место турбулентный режим фильтрации, а при $1,1 < m < 1,85$ – переходный.

Необходимо отметить, что большинство грунтов сложено частицами, по форме близкими к эллипсоидам или пластинам, т. е. с преобладающим одним или двумя размерами.

При укатке грунтов частицы ориентируются в массиве таким образом, что преобладающие размеры располагаются преимущественно горизонтально, что приводит к анизотропии в фильтрационных свойствах, т. е. к различным значениям k_{ϕ} по направлениям. Яркими анизотропными свойствами обладают, как это отмечалось выше, и лёссовые грунты. Наблюдается анизотропность в глинистых грунтах (особенно с крупнозернистыми включениями) и гравийно-галечниковых.

Для учета фильтрационной анизотропии грунтов используют коэффициент анизотропии $k_{\phi x}/k_{\phi y}$, где $k_{\phi x}$ – наибольший коэффициент фильтрации (обычно в этом направлении ориентирована ось x); $k_{\phi y}$ – коэффициент фильтрации в перпендикулярном оси x направлении.

Гидротехнические сооружения мелиоративных систем нередко приходится строить на грунтах, подверженных морозному пучению. Под морозным пучением грунтов принято понимать способность их увеличиваться в объеме при промерзании. Дневная поверхность таких грунтов при промерзании поднимается, а при оттаивании опускается, на склонах происходит течение переувлажненного грунта вследствие вытаивания ледяных прослоек, образовавшихся при миграции влаги к фронту промерзания, и перераспределения влаги в грунте в период промерзания. Явление пучения вызывает сильные деформации сооружений, расположенных в деятельном слое основания, подверженном периодическому промерзанию и оттаиванию.

В зависимости от глубины промерзания, влажности, гранулометрического состава, глубины залегания уровня грунтовых вод и высоты капиллярного поднятия грунты могут быть сильнопучинистыми и условно-непучинистыми.

Защиту основания от воздействия сил морозного пучения производят при возведении сооружений на пучинистых промерзаемых грунтах.

Промерзание грунтового основания наблюдается при возведении тонкостенных открытых лотков (доковых) и трубчатых сооружений, при устройстве открытых незатопленных и неутепленных котлованов и т. п.

Подготовка основания для сооружений, возводимых на промерзаемых грунтах, может быть выполнена в виде теплоизоляционного устройства, непучинистой подушки или засыпки.

В качестве непучинистой подготовки и засыпки наиболее часто используют крупнозернистый песок.

Толщина песчаной подушки принимается в зависимости от возможной глубины промерзания $h_{пр}$ грунта и конструкции сооружения. В среднем суммарная толщина противопучинистой песчаной подушки (засыпки) принимается не менее 60–70 % расчетной глубины промерзания грунта. Примерно такие же требования предъявляют и к толщине противопучинистого слоя за стенками промерзаемых открылков, устоев, труб и других конструкций. При этом из технических условий минимальная толщина песчаной подушки у основания предусматривается не менее 0,3 м, а застенной засыпки – 0,5 м.

При возможной глубине промерзания грунта менее 0,5 м противопучинистую защиту можно не устраивать.

12.2. Классификация плотин из грунтовых материалов

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, укрепленные 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, то есть не допускают перелива воды через гребень. Пропускать паводки через недостроенную плотину или гребень допускается в исключительных случаях для некоторых типов плотин малой высоты. 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. В водохранилищах

различают три расчетных уровня воды: форсированный подпорный уровень (ФПУ), нормальный подпорный уровень (НПУ) и уровень мертвого объема (УМО) (рис. 12.1).

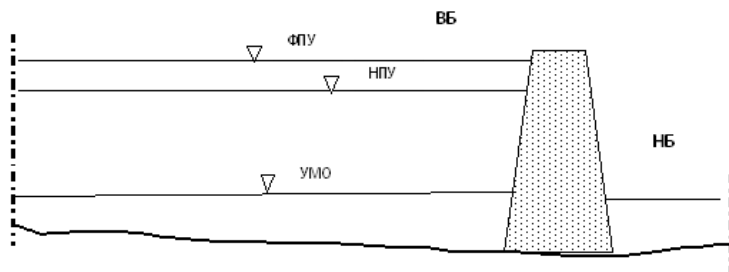


Рис. 12.1. Схема водохранилища с грунтовой плотиной

Объем верхнего бьефа, заключенный между НПУ и УМО, называют полезным объемом, расположенный ниже УМО, – мертвым. Отметки НПУ и УМО устанавливают на основании водохозяйственного расчета. Так, отметка НПУ определяется исходя из требуемого полезного объема водохранилища, топографии чаши, а также объема стока.

Отметка УМО зависит от срока службы водохранилища и интенсивности его заилиения, санитарных требований, требуемой отметки командования над орошаемой площадью, если полезный объем воды используют в основном для самотечного орошения или требуемой отметки командования над рыбоводным хозяйством, если полезный объем воды используют для замены воды в рыбоводных прудах при самотечной водоподаче и др.

Форсированными называют уровни выше нормального, возникающие в паводковые периоды. Форсировка уровня необходима при наличии автоматических (нерегулируемых) водосбросов в составе гидроузла. Применение автоматических водосбросов позволяет уменьшить основные и поверочные расходы водосбросных сооружений путем трансформации гидрографа паводка в водохранилище.

Отметку наибольшего форсированного уровня обычно принимают исходя из условий пропуска поверочного паводкового расхода водотока с учетом ущерба от временного затопления территорий, прилегающих к водохранилищу.

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 оснований.

Следует отметить, что грунтовые плотины в зависимости от грунтов основания и высоты делят на четыре класса. Плотины 4-го класса имеют высоту менее 25 м, а 1-го – более 50–100 м

В случае аварии плотины, вызвавшей последствия катастрофического характера, при надлежащем обосновании класс плотины повышают в соответствии с масштабом последствий.

По высоте грунтовые плотины различают: высокие – с максимальным напором более 50,0 м; средние – 15–50 м; низкие – с напором менее 15 м.

По способу производства работ различают насыпные и намывные грунтовые плотины. Поскольку в гидромелиоративном строительстве возводят преимущественно насыпные плотины, то в дальнейшем мы будем вести речь только о насыпных плотинах. Насыпные плотины бывают с искусственным уплотнением и без него: отсыпка в воду, отсыпка при помощи взрыва на выброс и др.

Тема 13. ТИПЫ И КОНСТРУКЦИИ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

13.1. Требования к грунтовым плотинам и их типы

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.

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 сульфатнохлоридных – 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.

Применение в грунтовых плотинах илистых грунтов и плотных труднорабатываемых глин допускается при наличии технико-экономического обоснования. 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 для возведения плотины и рода грунта в ее основании. При наличии в основании иловатых и переувлажненных глинистых грунтов предусматривается дренирование основания. Торф допускается оставлять в основании при степени его разложения не менее 50 %, давая надлежащее обоснование. Грунты, содержащие неразложившиеся растения и корни, а также ходы землеройных животных, как правило, удаляются из основания или прорежаются зубом. Наличие в основании галечниковых, гравелистых и крупнопесчаных грунтов требует устройства понура перед плотинной или 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) [2].

Однородные грунтовые плотины (рис. 13.1, *а*) 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.

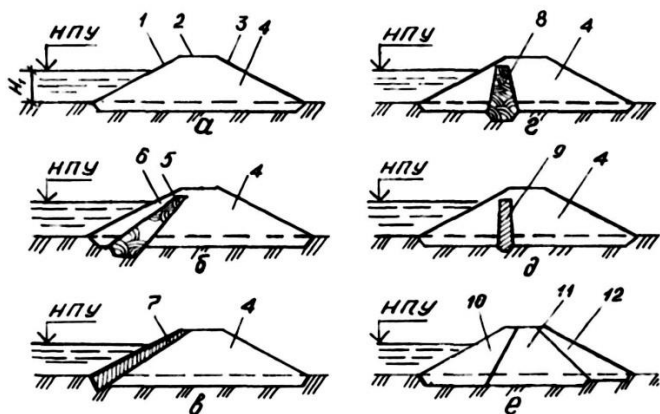


Рис. 13.1. Типы грунтовых плотин: а – однородная; б – с пластичным экраном; в – с жестким экраном; г – с ядром; д – с диафрагмой; е – из разнородных грунтов;
1 – верховой откос; 2 – гребень плотины; 3 – низовой откос; 4 – тело плотины;
5 – пластичный экран; 6 – защитный слой; 7 – жесткий экран; 8 – ядро;
9 – диафрагма; 10 – суглинок; 11 – супесь; 12 – песок

Грунтовые плотины с пластичным экраном (рис. 13.1, б) устраиваются в этом случае, 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 больше 54 %) и песка, глинобетона (смесь: глины – 24, песка – 36, гравия – 40 % по объему) и торфа.

Торфяные экраны бывают сплошные и слоистые. Слоистые торфяные экраны состоят из 2–3 слоев торфа, между которыми укладывается слой песка. Толщина каждого отдельного слоя должна быть не менее 0,5 м. Для экранов берут хорошо разложившийся торф, не промороженный и не высохший до воздушно-сухого состояния, со степенью разложения не менее 50 %. Торфяные экраны допускается применять только для низких и средних по высоте плотин.

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 1–1,5 м у основания плотины и не менее глубины промерзания выше максимального уровня воды в водохранилище. Толщина пластичного экрана не менее 0,8 м вверху и не менее 0,1 Н (Н – напор) внизу.

Грунтовые плотины с жестким экраном (рис. 13.1, *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 с пластичными большая. Кроме того, при осадке тела плотины в жестких экранах могут появляться трещины. Поэтому они применяются редко.

Грунтовые плотины с ядром (рис. 13.1, *г*), как и плотины с 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 0,1 м внизу. Плотины с ядром, а также однородные плотины рекомендуется возводить на сильнодеформируемых основаниях.

Грунтовые плотины с диафрагмой (рис. 13.1, *д*), как и плотины с жестким экраном, возводятся при отсутствии соответствующих грунтов для ядра, а также при 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. Диафрагмы, как и ядра плотин, недоступны для осмотра и ремонта. Располагать их следует под верховой бровкой гребня плотины. Вследствие неравномерной осадки тела плотины и разности гидростатического давления на гранях жесткой диафрагмы могут появляться трещины, поэтому предпочтение следует отдавать пластичному ядру.

Находят все более широкое применение экраны и диафрагмы из полимерных материалов. Они обладают рядом достоинств: гибкость, очень малая материалоемкость, водонепроницаемость, химическая стойкость и морозостойкость. Для их устройства используют полимерные пленки толщиной 0,1–0,3 мм, укладываемые в один или в два слоя.

Пленку экрана укладывают на подстилающий слой песка толщиной 0,1–0,3 м и пригружают защитным песчаным слоем большей толщины, предотвращающим повреждаемость пленки. Подстилающий и защитный слой отсыпают из песка с окатанными частицами размером не более 5,0 мм.

Пленочные диафрагмы выполняют также, как и экран, но в виде вертикальной зигзагообразной конструкции в центре плотины. Пленочные противofильтрационные устройства можно применять в плотинах III и IV классов, а при надлежащем обосновании – в плотинах I и II классов высотой до 60 м.

Грунтовые плотины из разнородных грунтов (рис. 13.1, *е*) возводят при отсутствии однородного грунта в необходимом количестве. В таких

плотинах водонепроницаемый грунт (глина или суглинок) располагается на верховой, напорной стороне плотины.

13.2. Сопряжение грунтовых плотин с основанием

При сопряжении грунтовой плотины с основанием обычно водонепроницаемая часть плотины соединяется с водонепроницаемым грунтом основания при помощи замка или зуба глубиной 0,5–0,7 м (рис. 13.1, а).

Однородные грунтовые плотины при толщине водопроницаемого слоя до 5 м выполняются с замком из водонепроницаемого грунта (рис. 13.2, б). Замок врежется в водонепроницаемый грунт на глубину не менее 0,5 м. Ширина нижнего основания замка 2–3 м. Коэффициент откосов замка $m_3 = 0,5–1,0$. Если толщина водопроницаемого слоя 5–7 м, то однородная плотина строится с противифльтрационной завесой (инъекционной или траншейной, выполняемой методом «стена в грунте») или шпунтовой стенкой, доходящих до водопроницаемого грунта (рис. 13.1, в). Конкретно, что принимать, решается на основании инженерно-геологических условий объекта строительства и технико-экономических расчетов. При большей толщине водопроницаемого слоя – с «вишечей» противифльтрационной завесой глубиной 0,5–0,1 Н (рис. 13.2, г). Грунтовые плотины с экраном, ядром или диафрагмой при толщине водопроницаемого слоя 2–3 м выполняются с замком (рис. 13.2, д, е, ж). Если в основании плотины толщина водопроницаемого грунта большая, устраиваются однородные плотины с понуром или с экраном и понуром (рис. 13.2, з). Понур является продолжением экрана и устраивается из того же материала, что и экран. Толщина его в верхнем конце должна быть не менее 0,5 м, а в месте соединения с экраном такой, чтобы градиенты напора фильтрационного потока удовлетворяли критерию фильтрационной прочности. Предварительно ее принимают 1–2 м. Длина понура, обычно принимается равной (2–3) Н.

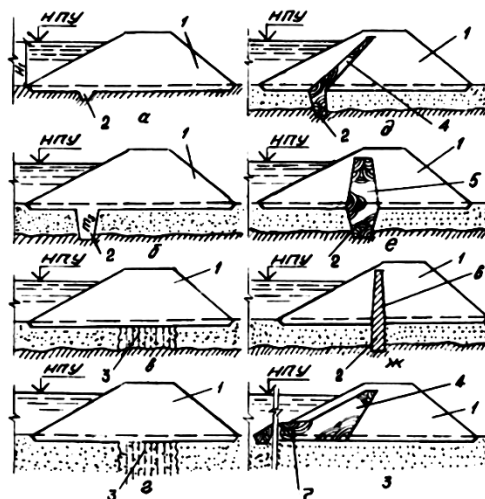


Рис. 13.2. Типы плотин и их сопряжение с основанием:

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

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

Противofильтрационные завесы, выполняемые методом «стена в грунте», в настоящее время успешно внедряют в строительную практику. Их можно возводить как в основании, так и в теле плотины. Сущность данного метода заключается в отрывке траншеи, борта которой удерживаются от обрушения заполняющей их тиксотропной жидкостью. В данном случае разработка грунта производится под слоем этой жидкости. В качестве тиксотропной жидкости обычно применяют глинистые суспензии плотностью 1,1–1,2 т/м³, могут применяться и суспензии сапропелей.

Возведение противofильтрационных завес методом «стена в грунте» может осуществляться различными способами в зависимости от применяемых грунтообрабатывающих механизмов, например, обратная отсыпка заглинизированного грунта или отсыпка комовой

глины, перемешивание разрабатываемого грунта с тиксотропной суспензией в процессе проходки без извлечения смеси из траншеи, обратный намыв смеси разрабатываемого грунта с тиксотропной суспензией и др.

В качестве противофильтрационных материалов для завес используются твердеющие и нетвердеющие заполнители. Твердеющие заполнители представляют собой композиции с использованием глинистых грунтов и цементов в качестве вяжущего. В качестве нетвердеющего мягкого заполнителя используют, комовую глину, глинистые пасты, заглинизированный песчаный грунт, песчано-сапропелевые составы, а также полимерные материалы.

Глубина противофильтрационных завес, возводимых способом «стена в грунте», может достигать 25–30 м и более, их толщину назначают с учетом напора и материала завесы.

Тема 14. ВЫБОР СТВОРА, ПРОФИЛЯ И ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ

14.1. Условия для расположения створа плотины

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, принимая во внимание компоновочные решения и эксплуатационные затраты по узлу.

Учитывая, что на выбор створа плотины оказывает влияние ряд факторов, необходимо критически подойти к оценке каждого из них и принять тот вариант, при котором будут минимальные затраты, сроки строительства и наиболее простая последующая эксплуатация гидроузла. При рассмотрении условий, влияющих на выбор створа плотины, необходимо знать те оптимальные пределы, которые и должны быть положены в основу при оценке каждого из вариантов.

Руководствуясь только топографией, створ плотины наиболее целесообразно располагать в самом узком месте водотока, так как это дает минимальный объем земляных работ. Желательно, чтобы водохранилище при выбранном створе имело минимальную площадь зеркала

воды, что сокращает площади затопления и потери воды на испарение. При этом подразумевается, что по контуру водохранилища не будет оградительных дамб, затраты на которые могут свести на нет преимущества короткого створа.

Геологические условия створа плотины, прежде всего требуют, чтобы грунты в основании плотины были прочны и способны принять па себя дополнительную нагрузку от сооружений. Для водохранилищных гидроузлов существенную роль играет водопроницаемость грунтов, как в створе плотины, так и в чаше водохранилища. Чем более мощный слой грунта с повышенным коэффициентом фильтрации залегает в основании плотины, тем сложнее и дороже противофильтрационные работы. Особенно трудоемки такие работы, когда их проводят непосредственно в ложе водохранилища. Поэтому на геологическое строение чаши водохранилища нужно обращать особое внимание, а при выборе створа плотины учитывать фильтрационные потери воды, которые при неблагоприятном напластовании грунтов могут быть весьма большими.

Гидрологические условия влияют на выбор створа плотины, так что при стоке заданной обеспеченности возможно наполнение водохранилища до заданного объема. На выбор створа плотины большое влияние оказывают расположение водосбросного тракта и размещение сооружений на нем. Это влияние сказывается как на стоимости всего узла, так и на эксплуатации. 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. Необходимо особое внимание уделять вопросу, связанному с пропуском паводковых вод, отчего зависит устойчивость самой грунтовой плотины.

На выбор створа плотины влияют хозяйственные условия, использование запасов воды в водохранилище, удаленность узла сооружений от потребителя. При использовании запасов воды для ирригационных целей с учетом самотечной подачи требуются заданные отметки уровней в водохранилище, обеспечивающие командование над орошаемой площадью. Близость расположения промышленных объектов может привести к загрязнению воды в водохранилище. Такой водой нельзя пользоваться, например, для водоснабжения. В экономическом отношении лучшим будет тот вариант створа плотины, НПУ, режима работы, за-

щитных мероприятий и т. д., при котором сумма затрат на строительство и мероприятия в пределах водохранилища, отнесенная к единице продукции (1 м³ полезной емкости, 1 кВт · ч электроэнергии и др.), наименьшая. Следует также учитывать другие стороны эффективности и ущерба, например, возможность организации или улучшения судоходства, улучшение водоснабжения, рекреационный и социальный эффект, перекрытие путей миграции рыб и судоходства, влияние на прибрежные угодья и лесные массивы и т. д.

14.2. Конструирование профиля плотины. Крепление откосов

Очертание откосов. 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 вышерасположенной части откоса;
- 6) надзора и ремонта откоса в процессе эксплуатации;
- 7) прокладки дороги;
- 8) сопряжения откоса плотины с дренажем, выполненным в виде дренажной призмы.

Гребень плотины. Ширину гребня плотины принимают 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.

Возвышение гребня плотины необходимо определять для двух случаев стояния уровня воды в верхнем бьефе:

а) при нормальном подпорном уровне (НПУ) или при более высоком уровне, соответствующем пропуску максимального паводка, входящего в основное сочетание нагрузок, и воздействий;

б) при форсированном подпорном уровне (ФПУ), при пропуске максимального паводка, относимого к особым сочетаниям нагрузок и воздействий.

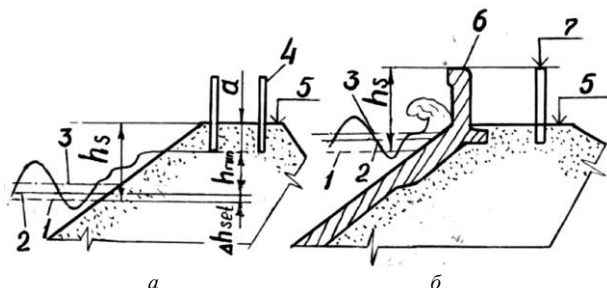


Рис. 14.1. Схемы к определению отметки гребня плотины:
а – без парапета; б – с парапетом; 1 – расчетный статический уровень;
2 – уровень воды при ветровом нагоне; 3 – средняя волновая линия;
4 – сквозные ограждения на гребне; 5 – отметка гребня; 6 – парапет;
7 – отметка верха парапета

Возвышение гребня плотины h_s над соответствующим расчетным уровнем определяется по формуле:

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{гип 1\%} + a, \quad (14.1)$$

где Δh_{set} – ветровой нагон воды в верхнем бьефе;

$h_{гип 1\%}$ – высота наката ветровых волн обеспеченностью 1 %;

a – запас возвышения гребня плотины.

При определении первых двух слагаемых в формуле (14.1) следует принимать обеспеченности скорости ветра для расчета элементов волн, наката и нагона при основном сочетании нагрузок и воздействий (при НПУ) по СНиП 2.06.04-82, т. е. для сооружений I, II классов – 2 % (один раз в 50 лет) и III, IV классов – 4 % (один раз в 25 лет) [56]. При особом сочетании нагрузок и воздействий (при ФПУ) эти обеспеченности принимаются для I и II классов – 20 %, для III класса – 30, для IV класса –

50 %. Запас определяют как большую из величин 0,5 м и $0,1 h_1\%$ ($h_1\%$ – высота волны 1%-ной обеспеченности).

Из двух полученных результатов расчета выбирают более высокую отметку гребня.

Если на гребне плотины предусматривают парапет, то отметку последнего определяют как отметку гребня плотины (см. рис. 14.1, б). При этом отметка гребня насыпи должна быть не менее чем на 0,3 м выше НПУ и не ниже ФПУ. Высота парапета обычно составляет 1,2–1,5 м.

При расчете элементов волн водоем по глубине подразделяется на зоны: глубоководную, где дно не влияет на основные характеристики волн; мелководную, где оно оказывает влияние на развитие волн и их основные характеристики; прибойную, где начинается и завершается разрушение волн; приурезовую, в пределах которой поток от разрушенных волн периодически накатывается на берег.

При проектировании плотин из грунтовых материалов наиболее характерной является глубоководная зона с глубиной более половины средней длины волны, т. е. $d > 0,5 \lambda$.

Средние параметры волн в глубоководной зоне: высоту, волны h (м), длину волны λ (м) и период волн T (с) определяют в следующем порядке. Вычисляют безразмерные параметры

$$\xi = g \cdot L / V_w^2 ; \quad (14.2)$$

$$\tau = gt / V_w, \quad (14.3)$$

где L – длина разгона волн, м, т. е. длина водохранилища по направлению ветра, определяемая по плану водохранилища с учетом розы ветров;

t – продолжительность действия ветра, при отсутствии сведений о продолжительности действия ветра допускается для предварительных расчетов принимать $t = 6 \text{ ч} = 21600 \text{ с}$;

V_w – расчетная скорость ветра на высоте 10 м над уровнем воды, м/с;

g – ускорение свободного падения, м/с².

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 (из пор грунта), например, при снижении уровня воды в бьефе или откате волн;

г) размыва дождевыми и тальными 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. 14.2):

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.

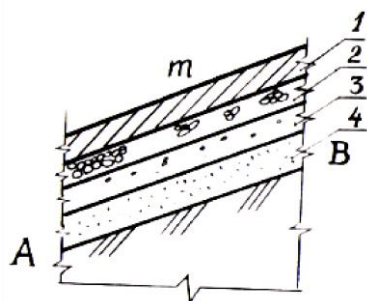


Рис. 14.2. Схема покрытия откоса АВ (в общем случае):

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.

Крепление верховых откосов плотин. 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.

При наличии данных, обоснованных исследованиями или опытом строительства и эксплуатации плотин, допускается применять и другие виды креплений верховых откосов, например, гравийно-галечниковые, грунтоцементные и др. Крепление камнем в виде одиночного или двойного мощения, требующее больших затрат ручного труда, в настоящее время применяют сравнительно редко.

Крепление верхового откоса плотины делят на основное, расположенное в зоне максимальных волновых и ледовых воздействий, возникающих в эксплуатационный период, и облегченное – 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 $h_{\text{гип}}$, далее до гребня доводя облегченное крепление.

Нижнюю границу основного крепления (НТК) назначают, считая от минимального уровня сработки водохранилища (УМО), на глубине $h = 2h_1$. При этом нижняя граница основного крепления должна быть ниже минимального уровня сработки водохранилища 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.

14.3. Дренажи грунтовых насыпных плотин

В грунтовых насыпных плотинах могут быть устроены два типа дренажа:

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

Дренажирование 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; уменьшения зоны действий фильтрационного потока, что позволяет повысить устойчивость низового откоса; недопущения выхода, фильтрационного потока на низовой откос – заглубления депрессионной кривой ниже зоны промерзания; ускорения консолидации глинистых и илистых грунтов и уменьшения порового давления 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. 14.3):

а) дренажный банкет;

б) наклонный;

в) трубчатый;

г) горизонтальный;

д) комбинированный.

Дренажный банкет (рис. 14.3, 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 бан-

кета 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 мелкозернистого 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 талыми водами.

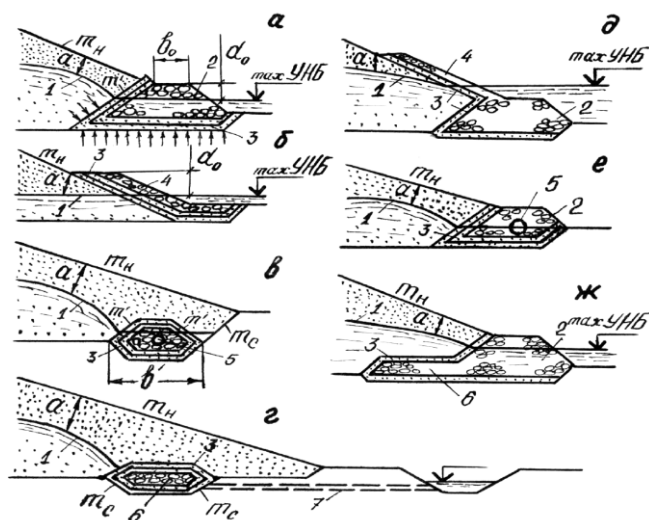


Рис. 14.3. Основные типы дренажа низового клина плотины:

- 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

Наслонный дренаж (рис. 14.3, б). Его толщину назначают по условиям производства работ, но не менее $t + t_{\text{обр. ф}}$, где t – толщина каменной наброски; $t_{\text{обр. ф}}$ – толщина обратного фильтра. Размеры a и d_0 (рис. 14.3) принимают такие же, как и для дренажного банкета. Наслонный дренаж не понижает депрессионную кривую, но, являясь пригрузкой, увеличи-

вает устойчивость низового откоса против возможной суффозии, оплывания и размыва.

Трубчатый дренаж (рис. 14.3, в) выполняют из гончарных, перфорированных бетонных или асбестоцементных труб, уложенных с уклоном параллельно подошве откоса и обсыпанных обратным фильтром.

Тема 15. ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

15.1. Задачи фильтрационных расчетов

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 фильтрующей водой, верхнюю свободную поверхность которой называют депрессионной поверхностью. Линию пересечения этой поверхности с вертикальной плоскостью называют депрессионной кривой, или кривой депрессии (рис. 15.1). 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.

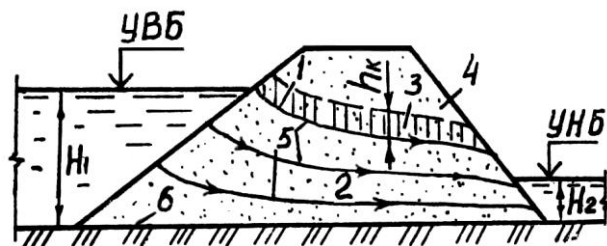


Рис. 15.1. Схема фильтрации воды через тело плотины на водонепроницаемом основании: 1 — кривая депрессии; 2 — зона полного насыщения грунта водой; 3 — зона частичного насыщения грунта водой за счет капиллярного поднятия; 4 — зона воздушно-сухого грунта; 5 — линии токов; 6 — водонепроницаемое основание-водоупор; 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 противифльтрационных устройств.**

В результате фильтрационных расчетов определяют:

- а) положение депрессионной кривой в теле плотины и при необходимости – в береговых примыканиях;
- б) градиенты фильтрационного потока в теле и основании плотины, а также в других наиболее опасных местах;
- в) фильтрационный расход 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 определения фильтрационных потерь воды из водохранилища при водохозяйственных расчетах.

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

15.2. Допущения при расчетах. Расчетная схема

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 последний считают теоретически водонепроницаемым;
- 4) положение депрессионной кривой в однородных плотинах не зависит от качества грунта, а определяется только геометрическими размерами профиля плотины.

Проектный поперечный профиль плотины приводят к расчетной схеме, исключая отдельные мелкие детали, и вычерчивают в масштабе искажения. Для плотин с грунтовым экраном или понуром не учитывают потери напора в песчаной пригрузке этих устройств. Экранирующими свойствами крепления откоса обычно пренебрегают.

При составлении расчетной схемы фильтрации необходимо учитывать также свойства грунтов основания. В зависимости от их водопроницаемости могут быть две основные схемы – плотины на водопроницаемом основании и плотины на водонепроницаемом основании, называемом водупором. Водупором обычно считают грунты основания, коэффициент фильтрации которых меньше коэффициента фильтрации грунта тела плотины в 10 раз и более. Водопроницаемость основания учитывают только для плотин высокого класса.

Основные фильтрационные расчеты плотин выполняют при максимальном расчетном напоре. Он возникает при НПУ в ВБ и минимальном уровне НБ, эти уровни и являются расчетными. Для плотин, построенных на балках или пересыхающих водотоках, за расчетный уровень НБ принимают отметку дна отводящего русла, грунты которого всегда насыщены фильтрующей водой.

При определении общего фильтрационного расхода через плотину ее разбивают по длине на ряд характерных участков $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ (рис. 15.2). Это вызывается тем, что по длине плотины изменяется напор и на одних участках плотина может быть расположена на водупоре, а на – других на проницаемом основании, на одних участках в НБ есть вода, а на других ее нет. Затем для каждого участка в зависимости от расчетной схемы плотины вычисляют удельные расходы q_1, q_2, q_3, q_n , принимая напор средним по участку. Общий фильтрационный расход через плотины определяют по формуле

$$Q = q_1 l_1 + q_2 l_2 + q_3 l_3 + \dots + q_n l_n. \quad (15.1)$$

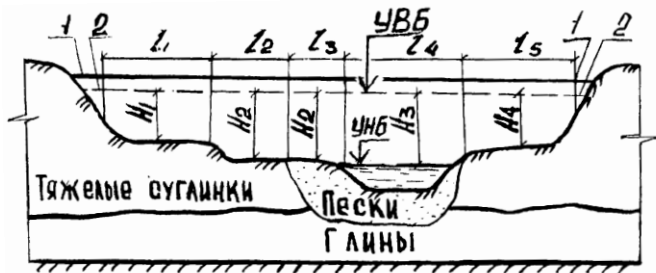


Рис. 15.2. Расчетная схема для определения суммарного

фильтрационного расхода: 1 – гребень плотины; 2 – расчетный уровень верхнего бьефа

15.3. Методы фильтрационных расчетов

Существуют экспериментальные и аналитические методы фильтрационных расчетов. Последние подразделяют на гидромеханические и гидравлические. Из экспериментальных наиболее распространен метод электрогидродинамических аналогий (ЭГДА), применяемый для решения задач пространственной фильтрации в зоне береговых примыканий плотины, а также для решения задач плоской фильтрации в плотинах I и II классов.

Гидромеханические методы, основанные на решении уравнений Лапласа для заданных граничных условий, позволяют определить точные параметры фильтрационного потока в любой точке области фильтрации. Эти решения сложны и имеют ограниченное применение в практике.

Фильтрация в грунтовых плотинах в большинстве случаев является плавно изменяющейся, что позволяет использовать в фильтрационных расчетах гидравлический метод, основанный на законе Дарси с применением формул Дюпюи.

15.4. Расчет положения депрессионной кривой и фильтрационного расхода

Плотины на водонепроницаемом основании. Однородные плотины без дренажа. Расчетное сечение плотины определяется в соответствии с п. 3 и по известным размерам вычерчивается поперечный профиль плотины, который служит исходным материалом к фильтрационному расчету. Известны также глубины воды в ВБ и НБ, соответственно H_1 и H_2 , коэффициент фильтрации грунта тела плотины K_n .

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 l_3 , от точки уреза воды в верхнем бьефе (ВБ) (рис. 15.3), где l – величина, зависящая от коэффициента верхового откоса m_1 и определяемая по формуле Г. М. Михайлова [5]:

$$\lambda = \frac{m_1}{1 + 2m_1}. \quad (15.2)$$

При отсутствии воды в НБ ($H_2 = 0$) зависимости (15.3), (15.4) и (15.5) имеют следующий вид:

$$h = \frac{L}{m_2} - \sqrt{\left(\frac{L}{m_2}\right)^2 - H_1^2}, \quad (15.6)$$

$$y_2 = H_1^2 - \frac{H_1^2}{L_1} x, \quad (15.7)$$

$$q = \frac{H_1^2}{2L_1} K_{\Pi}. \quad (15.8)$$

Однородные плотины с дренажем. Исходные данные аналогичны в соответствии с расчетной схемой (рис. 15.4).

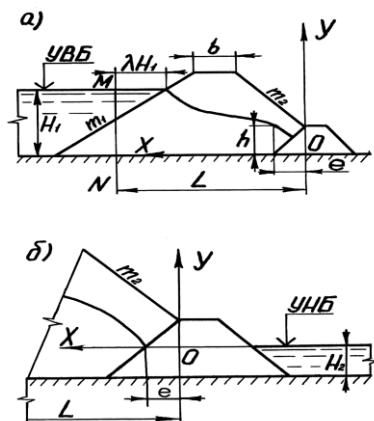


Рис. 15.4. Схема к фильтрационному расчету
однородной плотины с дренажем: *а* – без подтопления; *б* – с подтоплением

Расчет ведется в следующей последовательности:

1. Определяется положение раздельного сечения MN , находящегося на расстоянии λH_1 от точки уреза воды в ВБ (рис. 15.4). Величина λ определяется по формуле (15.2).
2. Вычисляется величина захода кривой депрессии в дренаж $e \approx (0,05 \dots 0,06) H_1$.
3. Устанавливается начало координат кривой депрессии, точка O : ось X направлена по уровню воды в НБ в сторону ВБ, ось Y проходит через

начало координат 0 на расстоянии e от точки пересечения с осью X внутреннего откоса дренажа.

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

4. Ординаты депрессионной кривой подсчитываются, задаваясь значениями X , по уравнению:

$$y^2 = \frac{(H_1 - H_2)^2}{L} x. \quad (15.9)$$

5. Удельный фильтрационный расход в сечении определяется по формуле:

$$q = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L} K_{\Pi}. \quad (15.10)$$

При отсутствии воды в нижнем бьефе (рис. 15.4, а) расчетные формулы (15.9) и (15.10) упрощаются:

$$y_2 = \frac{H_1^2}{L} x, \quad (15.11)$$

$$q = \frac{H_1^2}{2L} K_{\Pi}. \quad (15.12)$$

Плотины с экраном из грунтов. Фильтрационные расчеты таких плотин можно выполнить несколькими методами. Один из них – метод виртуальных длин – основан на замене экрана со средней толщиной $t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$ (рис. 15.5) и с коэффициентом фильтрации K_3 на эквивалентную в фильтрационном отношении призму с коэффициентом фильтрации K_{Π} и длиной по горизонтали:

$$L_3 = t_{\text{ср}} \frac{K_{\Pi}}{K_3} / \sin \Theta, \quad (15.13)$$

где Θ – угол наклона средней линии экрана в основании плотины.

К полученной таким образом схеме применяют решение для однородной грунтовой плотины с дренажем или без него, при наличии или отсутствии воды в НБ, в зависимости от заданной конструкции плотины. Потерями напора в пределах пригрузочного слоя экрана пренебрегают.

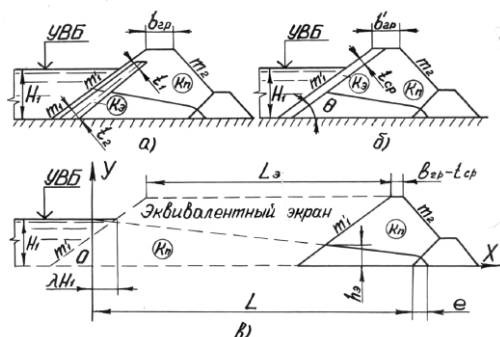


Рис. 15.5. Схемы к фильтрационному расчету плотины с экраном:
а – заданная; б – приведенная; в – расчетная

Плотины с ядром. При фильтрационных расчетах таких плотин используют метод виртуальных длин. Для этого ядро со средней толщиной $t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}$ и с коэффициентом фильтрации $K_{я}$ приводят к призме с коэффициентом фильтрации $K_{п}$. Виртуальная длина ядра определится по зависимости

$$L_{я} = t_{cp} \cdot \frac{K_{п}}{K_{я}}, \quad (15.14)$$

После такой замены расчет ведут как для однородной плотины без дренажа или с дренажем в зависимости от принятой конструкции плотины. Кривую депрессии строят только на участках плотины до и после ядра.

Тема 16. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

16.1. Общие сведения. Расчетные случаи

Грунтовые плотины имеют настолько значительный вес, что нет необходимости делать проверку устойчивости их на сдвиг. Неустойчивыми могут оказаться откосы плотины. Необходимо отметить, что крутизна откосов оказывает существенное влияние на объем и, следовательно, стоимость плотины, поэтому оправдано стремление устраивать откосы с возможно меньшим заложением.

Однако слишком крутые откосы могут оказаться неустойчивыми и

обрушиться. В результате под угрозой окажется все сооружение. Поэтому откос должен иметь крутизну, удовлетворяющую требованиям как устойчивости, так и экономичности плотины.

На грунтовый массив низового клина плотины действует ряд сил. Основная сдвигающая сила – составляющая собственного веса грунта, кроме того, уменьшают устойчивость сила взвешивания и динамическое воздействие фильтрационного потока.

Сопротивление сдвигу грунтового массива зависит от сил внутреннего трения и сил сцепления грунта.

Кроме того, на откос могут действовать дополнительные силы, например снеговая нагрузка, силы инерции при землетрясении и др.

Обрушение грунтового массива откоса может произойти при неблагоприятном сочетании сил, когда сумма сдвигающих сил больше суммы удерживающих.

Обрушение (оползание) откосов происходит по некоторой криволинейной поверхности в пределах откоса или с захватом грунтового основания (рис. 16.1). Форма границы обрушения откоса (поверхности сдвига) обычно близка к цилиндрической.

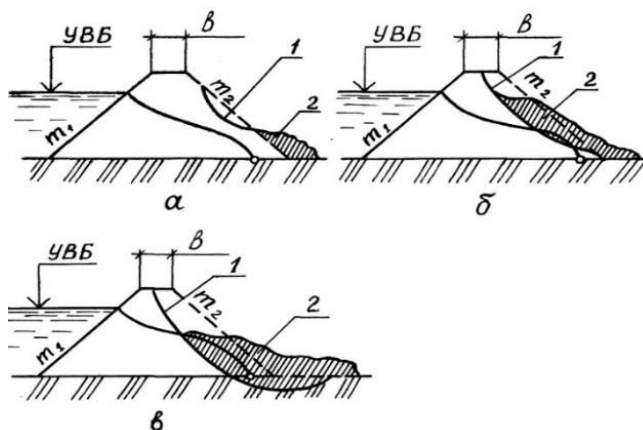


Рис. 16.1. Виды обрушения откосов:

a – в пределах части откоса; $б$ – в пределах всей высоты откоса;

$в$ – с захватом части основания; 1 – поверхность скольжения; 2 – массив обрушения

Расчет устойчивости откосов ведут при заданных физико-механиче-

ских характеристиках грунта тела плотины и основания, известных геометрических размерах поперечного профиля плотины и построенной кривой депрессии. Проверка устойчивости откоса сводится к определению коэффициента устойчивости K_y , который в общем случае равен (если не считать сил бокового давления) отношению момента удерживающих сил (трения и сцепления) к моменту сдвигающих сил:

$$K_y = \frac{\sum M_{уд.}}{\sum M_{сдв.}}. \quad (16.1)$$

Расчет выполняется в условиях плоской задачи, когда рассматривается отрезок плотины длиной, равной единице. Грунт плотины выше кривой депрессии, имеет естественную влажность, а ниже ее находится в насыщенном водой состоянии [1].

В соответствии со СНиП 2.06.05-84 устойчивость откосов обеспечивается, если удовлетворяется условие:

$$K_y \geq \frac{K_n}{m} n, \quad (16.2)$$

где K_n – коэффициент надежности;

n – коэффициент сочетания нагрузок;

m – коэффициент условий работы.

Значения коэффициента n зависят от сочетания нагрузок: при основном сочетании $n = 1$, при особом – 0,9, для строительного периода – 0,95.

Значения коэффициента m зависят от метода расчета: при методе, удовлетворяющем условиям равновесия, $m = 1$, при упрощенном методе $m = 0,95$.

Расчеты устойчивости носят вероятностный характер, так как заранее неизвестно положение наиболее опасной поверхности обрушения. Задача расчетов – поиск этой поверхности и определение наименьшего коэффициента устойчивости K_y .

Наименьшее значение коэффициента устойчивости откоса K_y при соответствующем сочетании нагрузок не должно превышать величины $K_n \cdot n / m$ более чем на 10 %, если это не обусловлено особенностями сооружения. В том случае, если указанные условия не удовлетворяются, необходимо внести соответствующие изменения в конструкцию или размеры сооружения.

Расчетные случаи. При расчетах устойчивости откосов плотин согласно СНиП 2.06.05-84 следует рассматривать следующие расчетные случаи.

Для низового откоса:

1. Первый расчетный случай (основной): в верхнем бьефе нормальный подпорный уровень (НПУ), в теле плотины – установившаяся фильтрация; при наличии воды в нижнем бьефе глубину ее принимают максимально возможной при НПУ, но не более $0,2h$, где h – высота откоса;

2. Второй расчетный случай (основной) при открытых водосбросах (без затворов): подпорный уровень и уровень нижнего бьефа определяется максимальным расходом, относимым к основным сочетаниям нагрузок и воздействий;

3. Третий расчетный случай (особый): в верхнем бьефе – форсированный подпорный уровень воды (ФПУ), в нижнем – глубину воды принимают максимальной, соответствующей ФПУ.

Для верхового откоса:

1. Первый расчетный случай (основной): максимальное возможное снижение уровня воды в водохранилище от НПУ или от подпорного уровня, соответствующего пропуску максимального расхода, относимого к основным сочетаниям воздействий, с наибольшей возможной скоростью, при этом учитывают фильтрационные силы неустановившейся фильтрации;

2. Второй расчетный случай (строительного периода): уровень воды в верхнем бьефе находится на самой низкой отметке, но не ниже $0,2h$, где h – высота откоса; уровень грунтовой воды в теле плотины принимают соответствующим установившемуся;

3. Третий расчетный случай (особый): максимально возможное снижение уровня воды в водохранилище от ФПУ с наибольшей возможной скоростью, при этом учитывают фильтрационные силы неустановившейся фильтрации.

16.2. Расчет устойчивости откосов по круглоцилиндрической поверхности скольжения

Существует несколько методов расчета устойчивости откосов. В гидромелиоративной практике широко используют метод круглоцилиндрических поверхностей скольжения грунтового массива с разбивкой его на отсеки (рекомендуемый СНиП 2.06.05-84).

При расчете устойчивости откоса необходимо провести несколько кривых скольжения из разных центров и соответственно определить ко-

ээффициенты устойчивости K_y . Более точно эта задача может быть решена при помощи ЭВМ, позволяющих выполнить расчеты для десятков и даже сотен поверхностей скольжения.

Для нахождения центров кривых скольжения существует ряд приемов. Один из них предложен В. В. Аристовским. По данным В. В. Аристовского, центр наиболее опасной поверхности скольжения располагается в пределах многоугольника $Oedba$ (рис. 16.2), который строится в следующей последовательности. Из середины откоса (точка C) проводят вертикаль CD и линию CE под углом 85° к откосу. Затем из точек A и B , как из центров, проводят две дуги окружности с радиусом R до пересечения в точке O . Значение R находят по формуле:

$$R = \frac{R_H + R_B}{2}. \quad (16.3)$$

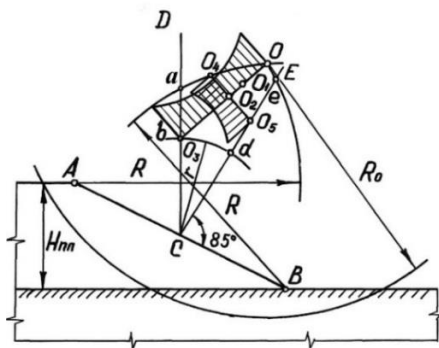


Рис. 16.2. Схема для определения центра наиболее опасной поверхности скольжения

Величины R_H и R_B являются нижним и верхним пределом радиуса поверхности скольжения R_0 и определяются в долях от высоты плотины $H_{пл}$ (табл. 16.1).

Т а б л и ц а 16.1. Определение центра наиболее опасной поверхности скольжения

Заложение откоса m	$R_H / H_{пл}$	$R_B / H_{пл}$
1	1.1	2.2
2	1.4	2.5
3	1.9	3.2
4	2.5	4.7
5	3.3	5.8
6	4.3	6.7

Проводя из точки C дугу радиусом $r = \frac{OC}{2}$ до пересечения с линиями CD и CE , получим искомый многоугольник $Oedba$.

Чаще всего центры наиболее опасных поверхностей скольжения располагаются по линии bO , на которой в первую очередь и выбирают несколько центров – O, O_1, O_2 и т. д. Вычислив коэффициенты запаса устойчивости для выбранных поверхностей скольжения с целью уточнения расчета через точку с минимальным значением K_y , можно провести линию, перпендикулярную bO , на которой также наметить ряд центров (рис. 16.2) и подсчитать для соответствующих им поверхностей скольжения значения K_y . За расчетное принять минимальное, т. е. $K_{y\min}$, и оно должно быть в допустимых пределах.

Следует иметь в виду, что при расчете откосов из несвязных грунтов центр наиболее опасной поверхности скольжения располагается обычно вблизи от точки O , а при расчетах откосов из связных грунтов удаляется от нее. Наиболее опасная кривая скольжения при расчетах откосов из песчаного грунта на песчаном основании проходит через подошву откоса точку B (рис. 16.2), а если в основании залегает глинистый грунт, может захватывать часть основания на глубину, обычно не превышающую $H_{пл}$, считая от его поверхности.

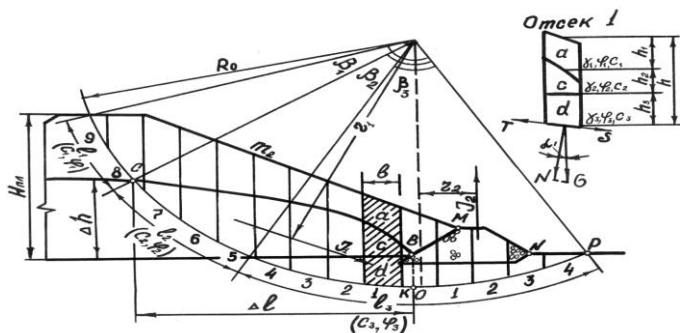


Рис. 16.3. Схема к расчету устойчивости низового откоса грунтовой плотины

В случае необходимости минимальное значение K_y можно уточнить, задаваясь еще двумя-тремя значениями радиусов кривых скольжения в следующих пределах:

$$\frac{R_H + R_B}{2} < R_0 < R_B, \quad (16.4)$$

$$R_n < R_0 < \frac{R_n + R_b}{2}. \quad (16.5)$$

Для определения всех сил, действующих на массив обрушения длиной 1 м, область, ограниченную кривой сдвига и внешним очертанием плотины, разбивают вертикальными прямыми на отсеки шириной b (рис. 16.3). При расчете «вручную» величину b удобно принимать равной $0,1R_0$. Тогда $\sin \alpha = 0,1N$, где N – порядковый номер отсека с учетом его знака; α – угол наклона подошвы отсека к горизонту; $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$. Затем производят нумерацию отсеков. Центр нулевого отсека размещают под центром кривой сдвига, а остальные отсеки нумеруют влево и вправо от нулевого, при этом для левых отсеков $\sin \alpha$ – положительные, а для правых – отрицательные. Для крайних отсеков $\sin \alpha$ принимается от доли полосы по отношению к полной ее ширине.

Далее по оси отсека на чертеже измеряют среднюю его высоту. Но так как отсеки по высоте имеют различные грунты, то для удобства расчетов вычисляют приведенную высоту отсека по формуле:

$$h_{\text{пр}} = h_1 \frac{\gamma_1}{\gamma_{\text{пр}}} + h_2 \frac{\gamma_2}{\gamma_{\text{пр}}} + h_3 \frac{\gamma_3}{\gamma_{\text{пр}}} + \dots + h_n \frac{\gamma_n}{\gamma_{\text{пр}}}, \quad (16.6)$$

где $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ – отдельные составляющие высот отсека (берут по масштабу с чертежа), имеющие соответственно плотность $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_n$.

$\gamma_{\text{пр}}$ – плотность грунта, принимают обычно выше кривой депрессии.

Плотность грунта, взвешенного в воде, определяют по формуле:

$$\gamma_{\text{взв}} = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e}, \quad (16.7)$$

где γ_s, γ_w – соответственно плотность твердых частиц грунта и воды;
 e – коэффициент пористости грунта.

Затем определяют силу трения, возникающую на подошве всего массива обрушения, суммируя соответствующие силы по отсекам:

$$F = b \gamma_{\text{пр}} \sum h_{\text{пр}} \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (16.8)$$

где φ – угол трения грунта.

Подобным образом вычисляют касательную составляющую веса массива обрушения:

$$T = b \gamma_{\text{пр}} \sum h_{\text{пр}} \sin \alpha. \quad (16.9)$$

Силу сцепления, возникающую на подошве массива обрушения, определяют по формуле:

$$S = c_1 l_1 + c_2 l_2 + c_3 l_3, \quad (16.10)$$

где c_1, c_2, c_3 – удельные сцепления грунта тела плотины и основания, соответствующие длинам дуг l_1, l_2, l_3 (см. рис. 16.3).

Длина дуги определяется по формуле

$$l = \frac{2\pi R_0 \cdot \beta}{360}, \quad (16.11)$$

где β – центральный угол дуги, измеряемый по чертежу.

Далее определяют фильтрационную силу, которая для дренированных, плотин состоит из двух составляющих:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = \Omega_1 I_1 \gamma_w + \Omega_2 I_2 \gamma_w, \quad (16.12)$$

где Φ_1 и Φ_2 – соответственно площади фигур СВКС и ВКСНМВ;

I_1 – средний градиент фильтрационного потока;

$$I_1 = \frac{\Delta h}{\Delta l}, \quad (16.13)$$

где Δh – падение депрессионной кривой в пределах массива обрушения;

Δl – расстояние, на котором произошло падение депрессионной кривой на Δh ;

I_2 – средний градиент в основании плотины, приближенно его можно найти по формуле:

$$I_2 = \frac{H}{B - b_d}, \quad (16.14)$$

где H – напор на плотине;

B и b_d – соответственно ширина плотины по низу и дренажа.

При отсутствии дренажа $\Phi_2 = 0$.

Затем вычисляют коэффициент устойчивости откоса:

$$K_y = (F + S) / (T + \Phi_1 r_1 / R_0 + \Phi_2 r_2 / R_0). \quad (16.15)$$

Тема 17. ВОДОПРОПУСКНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ПРИ ГЛУХИХ ПЛОТИНАХ

17.1. Общие сведения о водопропускных сооружениях, назначение и классификация

Гидротехнические сооружения любого назначения, пропускающие через себя воду, принято называть водопропускными.

Эти сооружения различны по своему назначению, местоположению в плане, по высоте и имеют конструктивные особенности.

В состав гидроузла может входить одно или несколько водопропускных сооружений, которые классифицируют по ряду признаков.

По водохозяйственному назначению водопропускные сооружения делят на *водосбросы, водоспуски, водозаборы, сооружения комплексного назначения* (водосбросы-водоспуски, водосбросы-водозаборы и т.п.), водосливные плотины, водовыпуски.

По гидравлическому режиму работы водопропускные сооружения могут быть *напорными, безнапорными, напорно-безнапорными* (полунапорными).

По режиму эксплуатации водопропускные сооружения бывают *автоматического действия и управляемые* (с затворами). В отдельных случаях применяют водосбросы *полуавтоматического действия*, которые обеспечивают пропуск части сбросного расхода в автоматическом режиме, а часть расхода пропускают через отверстия, перекрываемые затворами.

По конструктивному признаку различают водопропускные сооружения *закрытые* (трубчатые), *открытые* (лотковые), *сборные, монолитные и комбинированные*.

По месту расположения в составе гидроузла водопропускные сооружения делят на *береговые, русловые, пойменные*.

По расположению водоприемного отверстия относительно уровня ВВ водопропускные сооружения классифицируют на *поверхностные, глубинные и донные*.

Назначение водоспусков. Водоспускные сооружения (водоспуски) служат для полезных попусков воды из водохранилища в русло нижнего бьефа плотины, а также для полного освобождения водохранилища от воды.

Полезные попуски воды в русло нижнего бьефа необходимы в следующих случаях: для подачи воды потребителям, которые до возведения плотины снабжались водой из водотока (реки); для подачи воды потребителям, появившимся после возведения плотины в связи с развитием промышленности и водоснабжения населенных пунктов, расположенных ниже по течению водотока (реки); для подачи воды на орошаемые поля, расположенные за плотиной.

Графики водоподачи водоспускными сооружениями зависят от потребителей и устанавливаются при водохозяйственных и гидрологических расчетах в процессе проектирования водохранилища.

Освобождение водохранилища от воды необходимо при очистке его от отложившихся наносов, ремонте плотины и сооружений с низко расположенными порогами. Водоспуски – это обязательные сооружения в прудовом хозяйстве, где освобождение от воды некоторых видов водохранилищ необходимо по условиям выращивания рыбы.

Водохранилища на местном стоке, запасы воды которых используются для орошения, в большинстве случаев не имеют водоспускных сооружений. Таким образом, надо иметь в виду, что водоспуски не всегда обязательны при плотинах из местных материалов.

Местоположение водоспусков. Исходя из задач, выполняемых водоспусками, их располагают в пониженных местах русла водотока. Это условие должно обязательно выполняться, если водоспуски предназначены для полного освобождения водохранилищ от воды. Такие водоспуски часто называют донными, подтверждая тем самым их высотное расположение.

В некоторых случаях водоспуски располагают и на более высоких отметках. Но тогда перевод потока воды за выходом из водоспуска в русло водотока происходит при помощи сопрягающего сооружения.

Совмещение сооружений. Водоспуски полезно совмещать с другими водопропускными сооружениями. Их можно совмещать с водосбросными сооружениями, а в некоторых случаях и с водозаборами.

Наиболее целесообразно эксплуатационные водоспуски совмещать с водоспусками для пропуска строительных расходов. С этой целью после возведения плотины строительные водоспуски дополнительно переоборудуют в эксплуатационные.

Типы водоспусков. Исходя из задач, выполняемых водоспусками, применяются открытые, трубчатые и башенные водоспускные сооружения.

17.2. Конструкция и расчет открытого водоспуска

В плотинах небольшой высоты (например, для рыбных прудовых хозяйств) устраивают открытые водоспуски, по конструкции представляющие собой шлюзы-регуляторы.

Открытые водоспуски устраиваются как в теле плотины, так и в берегах при плотинах высотой (до 6 м) и небольших паводковых расходах. Днище водоспуска – флютбет – устраивается ниже нормального подпорного уровня воды на 2–4 м, необходимый подпорный уровень воды поддерживается затворами. Благодаря такому расположению флютбета и наличию затворов водоспуски одновременно служат для сброса паводковых расходов и для выпуска воды из водохранилища полностью или до любого требуемого уровня.

Открытые водоспуски бывают деревянные, каменные, бетонные и железобетонные. Из дерева водоспуски устраиваются лишь в отдельных случаях, чаще на рыбоводных прудах, так как дерево, находясь под переменным действием воды, быстро загнивает, что приводит к частым ремонтам деревянных водоспусков или полной их замене.

Составными частями открытого водоспуска являются береговые устои, промежуточные опоры-быки и днище-флютбет (рис. 17.1).

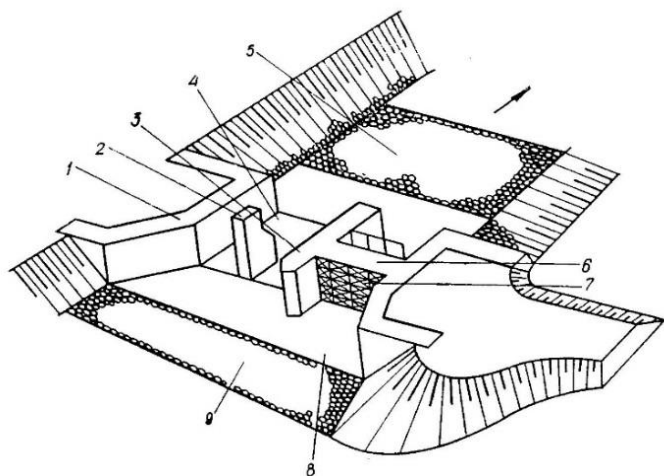


Рис. 17.1. Открытый водоспуск:

1 – береговой устой; 2 – контрфорс; 3 – бык; 4 – водобой; 5 – рисберма;
6 – мост; 7 – стойки и затворы; 8 – понур; 9 – предпонурная подушка

Длина флютбета, а также необходимость в устройстве предпонуры подушки и забивке шпунтов устанавливаются на основании фильтрационного расчета. Обычно предварительно задаются длиной отдельных частей: длина предпонуры подушки – $(0,5...5)H$, понура – $(1...5)H$, водобоя – $(2...3)H$, рисбермы – $(5...10)H$, где H – напор на пороге водоспуска, м.

Толщина предпонуры глинобетонной подушки 0,5–1 м толщина глинобетонного понура – не менее 0,5 м. У стыка с водобоем толщина понура увешивается. Сверху понура устраивается каменная мостовая или укладываются бетонные плиты. Толщина водобоя определяется фильтрационным расчетом, а предварительно принимается 0,4–1 м.

Гидравлический расчет. Ширина водоспуска определяется так же, как расчет неподтопленного или подтопленного водослива. Водоспуск рассчитывается как подтопленный водослив с широким порогом, если:

$$h_{\text{п}} \geq \sigma_{\text{п}} H_0;$$

$$H_0 = H + v_0^2/2g, \quad (17.1)$$

где $h_{\text{п}}$ – превышение уровня воды нижнего бьефа над порогом водоспуска, м;

$h_{\text{п}}$ – коэффициент подтопления (критерий подтопления), принимаемый в пределах $0,75 \leq y_{\text{п}} \leq (0,83...0,87)$;

v_0 – скорость подхода воды перед водоспуском, м/с.

При неподтопленном водосливе ширина водоспуска определяется из формулы

$$Q = \varepsilon m B \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (17.2)$$

где ε – коэффициент бокового сжатия;

m – коэффициент расхода, принимаемый в зависимости от типа порога водоспуска.

Коэффициент бокового сжатия определяется по формуле Френсиса – Кригера:

$$\varepsilon = 1 - 0,1 n_{\varepsilon} \zeta \frac{H_0}{B}, \quad (17.3)$$

где ζ – коэффициент формы береговых устоев водослива при входе или формы оголовков быков;

n_{ε} – число боковых сжатий потока;

B – ширина сливного отверстия.

При подтопленном водосливе ширина водоспуска b определяется из формулы:

$$Q = \varepsilon \phi B h \sqrt{2g(H_0 - h_n)}, \quad (17.4)$$

где ε – коэффициент скорости для водослива с широким порогом.

Если выпуск воды из-под затвора при неподтопленном истечении, то расход зависит от высоты поднятия затвора и определяется по формуле:

$$Q = \varepsilon \cdot \phi \cdot B \cdot h_3 \sqrt{2g(H_0 - a h_3)}, \quad (17.5)$$

где B – ширина отверстия водоспуска, через которое производится забор воды, м;

h_3 – высота поднятия затвора над порогом водоспуска, м;

b – коэффициент вертикального сжатия, зависящий от отношения h_3 / H (по Н. Е. Жуковскому) находится в пределах 0,61...0,69:

Необходимость водобойного колодца и его глубина устанавливают методом последовательных приближений. С этой целью задаются различными величинами поднятия затвора ($a = 0,1H$; $0,2H$; $0,3H$ и т. д.) и определяют соответствующие им сжатые глубины:

$$h_c = h_1 = \varepsilon' a. \quad (17.6)$$

Так как в начальный период спуск воды осуществляется в незаполненный нижний бьеф, то истечение из-под затвора при его поднятии на $0,1 H$ будет незатопленным и пропускаемый расход следует определять по формуле (17.5).

Вторая сопряженная глубина определяется по формуле:

$$h_c^c = h_2 = 0,5 h_1 \left[\sqrt{1 + \frac{8a \cdot q^2}{g h_1^3}} - 1 \right], \quad (17.7)$$

где $q = Q_1 / b$ – удельный расход воды, м³/с;

b – ширина открытых пролетов, м.

Сравнивая значения h_2 и h_6 , делается вывод о режиме сопряжения бьефов.

17.3. Устройство и гидравлический расчет трубчатого

водоспуска

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 при ремонте со стороны верхнего бьефа, для промывки наносов, а также для освежения воды в рыбоводных прудах.

Трубчатые водоспуски предназначены для пропуска небольших расходов. Устраиваются они из стальных сварных или чугунных рас-трубных 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. 17.2).

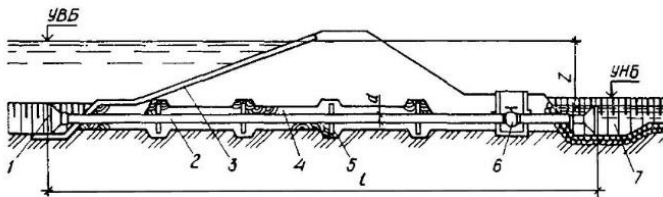


Рис. 17.2. Трубчатый водоспуск:

- 1 – металлическая решетка; 2 – стальная или чугунная труба; 3 – крепление верхового откоса; 4 – слой глины; 5 – диафрагма; 6 – задвижка; 7 – водобойный колодец

Для устранения влияния осадки грунтовой плотины на трубы, улучшения условий эксплуатации и надзора трубы водоспуска иногда располагают в бетонной или железобетонной штольне.

Трубчатый водоспуск состоит из трубопровода, входного и выходного оголовков, колодцев для задвижек и короткой зимней ветви, обеспечивающей автоматичность ограничения наиболее низкого, допустимого по условиям эксплуатации, зимнего уровня воды в водохранилище (МЗУ).

При проектировании водоспусков решают следующие задачи: определяют местоположение сооружения в составе гидроузла; устанавливают значение расчетного расхода водоспуска; определяют конструкцию и размеры сооружения.

Плановое и высотное положение водоспусков определяют исходя из местных инженерно-геологических условий и назначения сооружения. Ось водоспуска рекомендуется трассировать по возможности перпендикулярно к оси плотины в пониженных местах поймы. Трубу водоспуска желательно располагать на коренных породах.

Входное отверстие водоспуска размещают на отметках, обеспечивающих возможность сработки (опорожнения) водохранилища до заданного уровня.

Гидравлический расчет водоспуска. Определяют расчетный расход водоспуска.

Расчетный расход водоспуска назначают из условия обеспечения сработки водохранилища до необходимого уровня за заданный период времени, пропуска санитарных или строительных расходов. При многоцелевом назначении водоспуска принимают наибольший из необходимых расходов.

Расчетные расходы при опорожнении водохранилища определяют с помощью батиграфических кривых $W = f(H)$ и $F = f(H)$ и допустимой скорости понижения уровней.

Скорость опорожнения водохранилища назначают с учетом допустимой интенсивности понижения уровней, при которой обеспечивается устойчивость склонов и верхового откоса плотины. При расчете по кривой $W = f(H)$ определяют объемы отдельных призм водохранилища $ДW_i$ при допустимом слое сработки водохранилища $ДН$ за единицу времени. Обычно принимают, что слой $ДН$ срабатывается за одни сутки.

Следует отметить, что для Республики Беларусь по данным института «Белгипроводхоз» скорость опорожнения пруда (водохранилища)

не должна превышать 0,5 м/сут = ДН и не более 1,0 м/сут при наполнении.

По установленным значениям DW_i определяют необходимые секундные расходы, при которых обеспечивается заданная сработка уровней $Q_i = DW_i / 86400 \text{ м}^3/\text{с}$. Из ряда значений Q_i выбирают максимальное и принимают его за расчетное Q_p по условию обеспечения опорожнения водохранилища.

Устанавливают расчетные значения строительных и эксплуатационных расходов и уровней Q_{pi} и H_{pi} .

По каждому из значений Q_{pi} и H_{pi} определяют необходимую площадь поперечного сечения водовыпуска трубы.

Диаметр трубы водоспуска при неподтопленном выходном отверстии определяется по формуле

$$Q = \mu \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2gH}, \quad (17.8)$$

а при подтопленном выходном отверстии – из формулы

$$Q = \mu \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2gZ}, \quad (17.9)$$

где μ – коэффициент расхода;

H – напор, равный состоянию от уровня воды в верхнем бьефе до оси трубы, м;

Z – напор, равный разности отметок уровней воды верхнего и нижнего бьефов, м.

17.4. Башенный водоспуск

Это наиболее рациональный тип водоспуска при плотинах низких и средней высоты. Конструкция их такая же, как и водозаборов, расчеты аналогичны. На рис. 17.3 показана конструкция башенного водоспуска расходом до 13 м³/с.

В состав башенного водоспуска (рис. 17.3) входят трубопровод, башня управления затворами, входной и выходной оголовки. Трубопровод состоит из железобетонных труб диаметром 1–1,4 м.

Нагрузка от земли по длине трубы неодинакова и, чтобы ослабить напряжение от изгиба, ее устраивают из нескольких звеньев. Звенья труб с башней и между собой сопрягаются швами, которые обеспечивают раздельную их работу. Швы следует конструировать так, чтобы при осадках не нарушалась их водонепроницаемость.

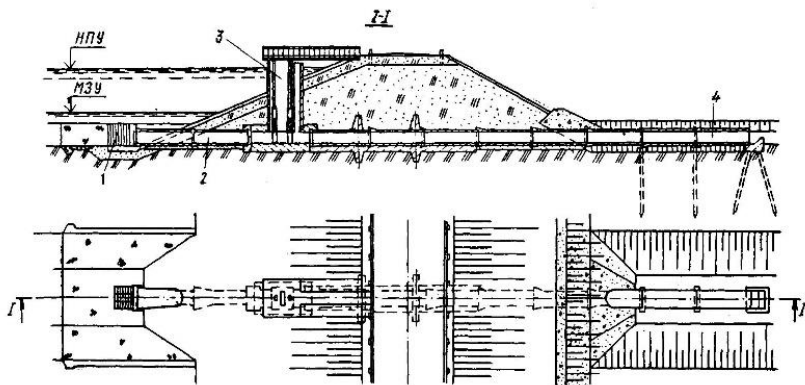


Рис. 17.3. Трубчатый водоспуск с башней управления по ТП 820-223:
1 – входной оголовок; 2 – труба водоспуска; 3 – башня управления;
4 – концевая часть водоспуска

Тема 18. ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

18.1. Понятие о водозаборах и их типы

Запасы воды, создаваемые в водохранилищах, используются для различных целей: орошения, водоснабжения, рыбоводства, гидроэнергетики и других отраслей народного хозяйства.

Сооружения, при помощи которых вода забирается из водохранилища и подается в водоводы (чаще каналы) и дальше транспортируется потребителю, называют водозаборными (водозаборами).

Водоохранилища, используемые для культурных целей – катания на лодках, купания и т. д., – водозаборных сооружений не имеют.

Существует два основных способа забора воды из водохранилища – машинный подъем и самотечная подача. Ниже будут рассмотрены только водозаборные сооружения для самотечной подачи воды в каналы.

Открытые береговые водосбросы и водозаборы целесообразно размещать на разных берегах). Если же по местным условиям это выполнить невозможно, в месте пересечения их устраивают водопроводящее сооружение (рис. 18.1), размещая его на канале, идущем от водозабора, так как расход его обычно меньше. При двух водозаборах с подачей воды на каждый из берегов и поверхностном береговом водосбросе устройство водопроводящего сооружения неизбежно.

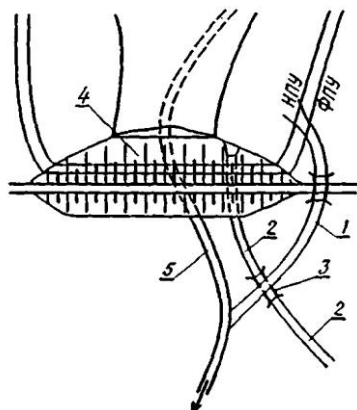


Рис. 18.1. Компонувочная схема при расположении водосброса и водозабора на одном берегу:

- 1 – водосбросной тракт;
- 2 – магистральный канал;
- 3 – дюкер на канале;
- 4 – плотина; 5 – русло водотока

Закрытые водосбросы типа шахтных можно устраивать на одном берегу с водозабором, так как пересечения их не происходит, поскольку горизонтальный тоннель (труба) водосброса проходит по низким отметкам.

Расходы водозаборных сооружений. Расходы водозабора определяются назначением водозабора и изменяются в соответствии с графиком водоподачи.

Расходы воды, подаваемые потребителю, включая и орошение, меняются во времени. Изменение расходов, пропускаемых через водозабор, происходит как в течение суток, так и по месяцам, а иногда и по сезонам. Регулирование расходов в водозаборном сооружении достигается маневрированием затворами. Оно также необходимо и при постоянном расходе в связи с изменением напора, вызываемым постепенным понижением воды в водохранилище.

Следует иметь в виду, что в большинстве случаев расходы водозабора значительно меньше расходов водосбросного сооружения, поэтому даже в самых благоприятных условиях водозаборное сооружение затруднительно использовать для пропуска сбросных расходов, а также расходов строительного периода, хотя, в некоторых случаях это возможно.

Типы водозаборов. Тип водозаборного сооружения зависит от высоты плотины и расхода, подаваемого потребителю. Исходя из этих условий, различают водозаборы поверхностные и глубинные, по типу напорных или безнапорных труб, башенные и безбашенные.

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 водохранилища 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 подходных и отводящих участках, стенки которых выполняют ныряющими с заложением, соответствующим заложению откосов плотины. Водозабор можно расположить и вне плотины, на берегу.

Водозабор по типу напорных труб с затвором на выходе (рис. 18.2). Водозабор такого типа применяют на небольших водохранилищах (прудах) при расходах не свыше $0,3\text{--}0,5 \text{ м}^3/\text{с}$.

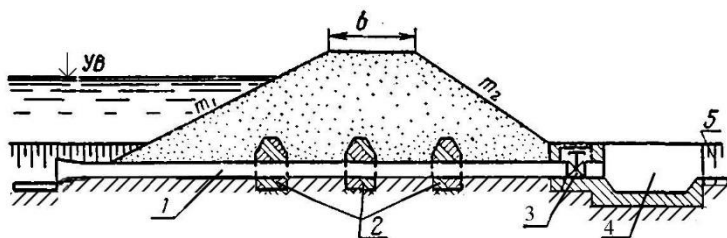


Рис. 18.2. Водозабор с затвором на выходе напорной трубы:
1 – труба; 2 – диафрагма; 3 – затвор; 4 – водобойный колодец; 5 – отводящий канал

Водозабор представляет собой трубу, уложенную под телом плотины на материковый грунт. Чаще применяют металлические, железобетонные, 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. 18.3). Установка затворов во входной части трубы улучшает эксплуатацию водозабора. Гидравлический режим здесь может быть задан и безнапорным, в связи, с чем уровень воды в канале за водозабором

при заданном УМО несколько повышается, следовательно, командование над орошаемой площадью увеличивается.

Расходы воды регулируют затворами, которые размещают во входном оголовке водозабора. Управление затворами происходит со служебного мостика, поддерживаемого стойками, опирающимися на бетонный оголовок. Такие водозаборы применимы при сработке уровня воды в водохранилище до 7 м.

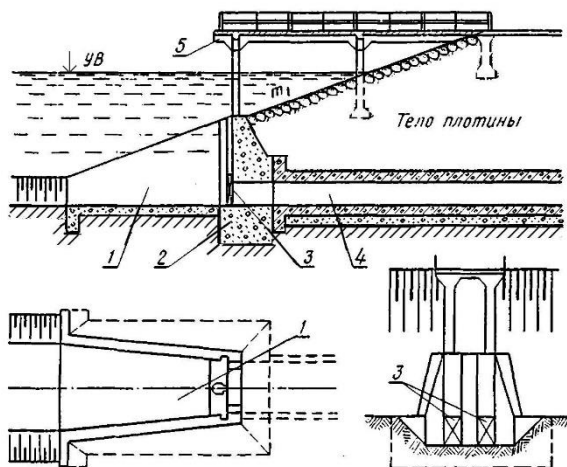


Рис. 18.3. Водозабор по типу безнапорных труб:
1 – подводящий участок; 2 – бетонный оголовок; 3 – затвор;
4 – безнапорная труба; 5 – служебный мосток

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.

Башенные водозаборы (рис. 18.4). 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 предназначена для управления затворами. В ней ставят два затвора: один перекрывает отверстие подходного участка и предна-

значен для отключения башни в случае ремонта и осмотра, а второй за-
мещен на противоположной стенке башни и перекрывает отверстие от-
водящего водовода, он используется для регулирования расходов, пода-
ваемых потребителю. В башенных водозаборах применяют плоские за-
творы, пазы для них размещают в бетонных приливах, устраиваемых с
внутренней стороны башни. Подвижная часть затвора шарнирно соеди-
нена с металлической штангой, обеспечивающей через лебедку подъем
и опускание затвора. Штанга по высоте имеет направляющие, заанке-
ренные в стенку, благодаря им исключается продольный изгиб штанги.
Сечение башни может быть круглое, квадратное и прямоугольное.

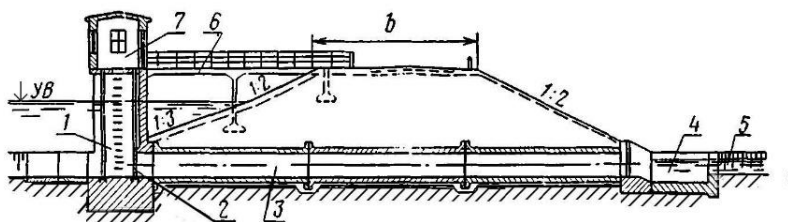


Рис. 18.4. Башенный водозабор:

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

Отводящий водовод от башни чаще выполняют в виде трубы прямо-
угольного сечения. При заборе из водохранилища больших расходов
воды применяют многоочковые трубы, причем каждое отверстие пере-
крывают самостоятельным затвором, размещаемым в башне. Режим по-
тока в отводящем водоводе принимают безнапорным при скорости 2–4
м/с. 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 при-
меняют устройства для гашения энергии, чаще водобойный колодец.

Безбашенные водозаборы. С увеличением высоты плотин перехо-
дят к безбашенным водозаборам (рис. 18.5), так как выполнять и экс-
плуатировать башенные водозаборы становится трудно.

Составными частями безбашенных водозаборов служат: приемный
колодец, галерея, примыкающая к колодцу и отделенная от него диа-
фрагмой, камера управления и напорные водоводы, проложенные в га-
лерее.

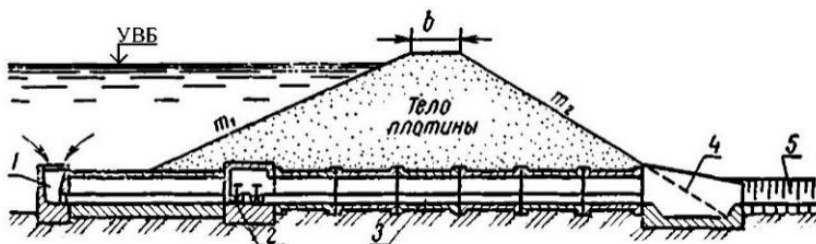


Рис. 18.5. Безбашенный водозабор:

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

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.

Разновидностью безбашенных водозаборов будут тоннельные, в которых приемная часть расположена на берегу водохранилища, а отводящей частью служит тоннель. Затворы в тоннельных водозаборах размещают в шахтах, верх которых расположен выше уровня воды в водохранилище. Тоннельные водозаборы применяют в гидроузлах при скальном основании.

18.2. Гидравлические расчеты

Расчет водозаборов с напорными водоводами (см. рис. 18.2 и 18.5) выполняют по формулам, применяемым для напорных труб. При заданном расходе и известной минимальной разности уровней воды в верхнем и нижнем бьефах определяют сечение трубы. Если же задан диаметр трубы, расчетом определяют необходимую разность уровней для пропуска заданного расхода [4].

В башенных водозаборах применяют расчетную схему, отвечающую безнапорному протеканию потока по всей длине водовода (рис. 18.6), при этом поступление заданных расходов должно обеспечиваться при УМО. Расчет сводится к определению потерь напора на вход, в пределах башни, на выход из водобойного колодца (используются формулы водосливов с подтопленным истечением) и по длине водоводов (используется формула равномерного движения). Отметка уровня воды в магистральном канале определится путем вычитания всех потерь из отметки, отвечающей УМО. Иногда задают отметку уровня воды в магистральном канале, тогда определяют необходимую отметку УМО, при которой обеспечивается поступление расчетных расходов.

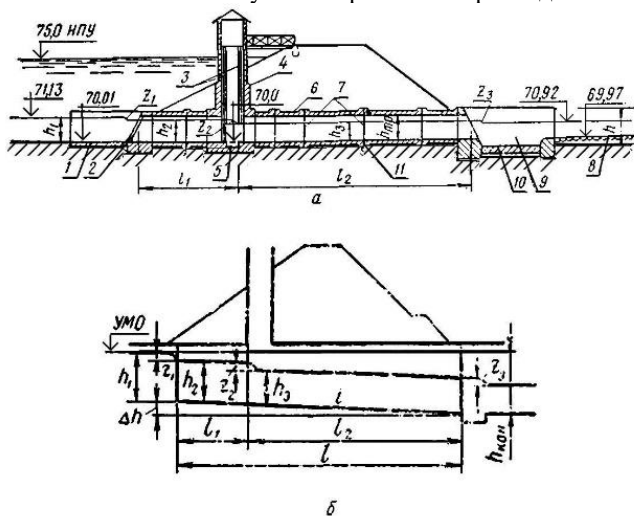


Рис. 18.6. Конструкция башенного водозабора (а) и схема к гидравлическому расчету (б): 1 – понур; 2 – грубая решетка; 3 – пазы для затворов; 4 – стенки башни; 5 – грязевик; 6 – труба водовыпуска; 7 – деформационные швы; 8 – рисберма; 9 – водобойный колодец; 10 – бетонная подготовка; 11 – выступы

При других уровнях воды в водохранилище, включая и НПУ, выполняют проверочные расчеты, заключающиеся в определении высоты открытия отверстия, частично перекрытого затвором (используется формула истечения из-под затвора).

Гидравлический расчет водовыпуска сводится к определению размеров трубы и условия сопряжения бьефов.

Работа водовыпуска при минимальном уровне. Размеры трубы определяют из условия пропуск заданного расхода при минимальном уровне воды в водохранилище, близком к уровню мертвого объема. В этом случае движение воды через водовыпуск происходит, как в безнапорной трубе, и расход вычисляется по формуле:

$$Q = \varepsilon \cdot \phi \cdot b \cdot h \sqrt{2gz_0}, \quad (18.1)$$

где ε – коэффициент бокового сжатия ($0,8 \div 0,95$);

ϕ – коэффициент скорости ($0,8 \div 1,0$);

b – ширина трубы;

h – глубина воды в трубе, принимаемая приближенно равной глубине воды в отводящем канале;

z_0 – потери напора в трубе водовыпуска ($0,1 \div 0,25$ м).

Истечение из-под щита. Когда уровни воды в водохранилище близки к НПУ, вода через трубу водовыпуска пропускается из-под щита.

Определим, на какую высоту $h_{щ}$ нужно поднять затвор, чтобы пропустить расход $Q = 2,0$ м³/с при отметке уровня воды в водохранилище 75,0 (НПУ).

Высоту поднятия затвора найдем из уравнения истечения из-под щита:

$$Q = \varepsilon \phi a b h_{щ} \sqrt{2g(H_0 - \alpha \cdot h_{щ})}, \quad (18.2)$$

где ε – коэффициент бокового сжатия, ($0,95$);

ϕ – коэффициент скорости, при отсутствии порога равен 1,0;

α – коэффициент вертикального сжатия (для нашего случая равен 0,615);

Сопряжение бьефов. Для проверки затопления прыжка определим глубину, сопряженную с глубиной в конце трубы h_6 :

$$h_c^c = h_2 = 0,5 h_1 \left[\sqrt{1 + \frac{8\alpha \cdot q^2}{g h_1^3}} - 1 \right], \quad (18.3)$$

Сравнивая значения h_2 и h_6 , делается вывод о режиме сопряжения бьефов и необходимости устройства водобойного колодца.

Тема 19. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВОДОСБРОСНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

19.1. Условия применения и типы водосбросов

Условия применения. В водохранилищных гидроузлах объем водохранилища в большинстве случаев не вмещает поверхностный сток, поступающий с водосборной площади. После наполнения водохранилища 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.

Типы водосбросов. Под водосбросами при плотинах из местных материалов понимают комплекс сооружений, задача которых – обеспечить беспрепятственный пропуск расчетных максимальных расходов воды из верхнего бьефа в нижний. 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 самым различным, но при этом ставится 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 водосбросы, уровень воды в которых во входной части соприкасается атмосферой, а отводящая часть может быть как открытой, так и заглубленной в грунт (ниже поверхности земли). В глубинных водосбросах входная часть расположена под уровнем воды, а отводящая – в толще грунта. Кроме того, водосбросы подразделяются на *управляемые*, когда расходы и уровни воды регулируются затворами, и *неуправляемые*, в которых сброс воды происходит всякий раз, как только уровень воды в водохранилище поднимается выше НПУ.

Каждой группе водосбросных сооружений дают название в зависимости от конструкции головной (водосливной) части сооружения. Так,

например, водосбросы автоматического действия подразделяют на: *ковшовые (головная часть выполнена в виде ковша), шахтные (головная 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.

Основные части водосброса. 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 мост, на ней устанавливают затворы, другое механическое оборудование и т. д.

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

Совмещение водосбросов с сооружениями другого назначения. Считается рациональным водосбросы совмещать с другими сооружениями гидроузла. Это дает экономию в затратах и облегчает эксплуатацию их. Так, целесообразно водосбросы совмещать с водовыпускными сооружениями, а также с сооружениями для пропуска строительных расходов.

Расходы воды водосбросов. Расходы воды, подлежащие в процессе эксплуатации пропуску через водосбросные сооружения при плотинах из местных материалов, определяются исходя из расчетного максимального расхода воды водотока (реки) в естественном незарегулированном состоянии с учетом трансформации стока, вызванных хозяйственной деятельностью в бассейне водотока (реки). Обеспеченность максимальных расходов принимают в зависимости от класса сооружений.

Пропуск расчетного расхода воды для основного расчетного случая должен обеспечиваться, как правило, при нормальном подпорном уровне верхнего бьефа (НПУ): через эксплуатационные водосбросные устройства при полном их открытии; через все гидротурбины ГЭС;

через все другие водопропускные сооружения при нормальной их эксплуатации.

Пропуск расчетного расхода воды для поверочного расчетного случая должен обеспечиваться при максимальном допустимом (форсированном) подпорном уровне (ФПУ) всеми водопропускными сооружениями гидроузла, включая эксплуатационные водосбросы, гидротурбины ГЭС, водозаборные сооружения оросительных систем и систем водоснабжения, судоходные шлюзы, 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.

19.2. Открытые 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 верхнего бьефа обычно в пределах величины форсировки равной 0,60–1,20 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, также несколько увеличивается высота 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.

Ковшовые (полигональные) открытые водосбросы. Ковшовые водосливные оголовки, у которых водосливной фронт выполнен в виде ломанной или криволинейной линий иногда называют соответственно полигональными или криволинейными водосливами (рис. 19.1). 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. 19.2 представлен открытый береговой водосброс с полигональным водосливом конструкции Белгипроводхоза.

Траншейный водосброс (рис. 19.3). 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, а за ним 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.

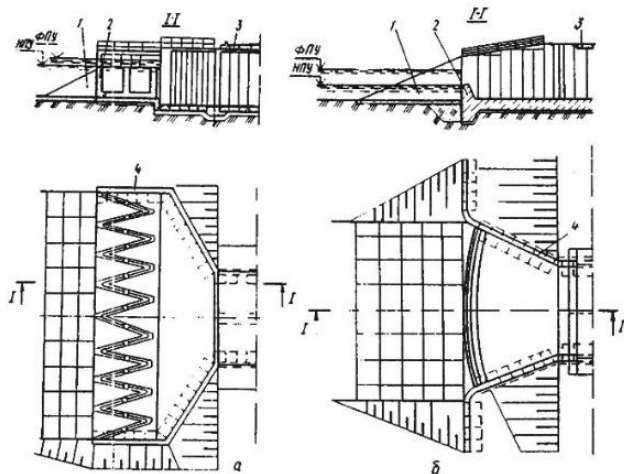


Рис. 19.1. Конструкции входной части открытых нерегулируемых водосбросов:
а – оголовки с полигональным водосливом; *б* – оголовки с криволинейным водосливом;
 1 – входной оголовок; 2 – водосливный порог; 3 – переезд;
 4 – ограждающие стенки водоприемника

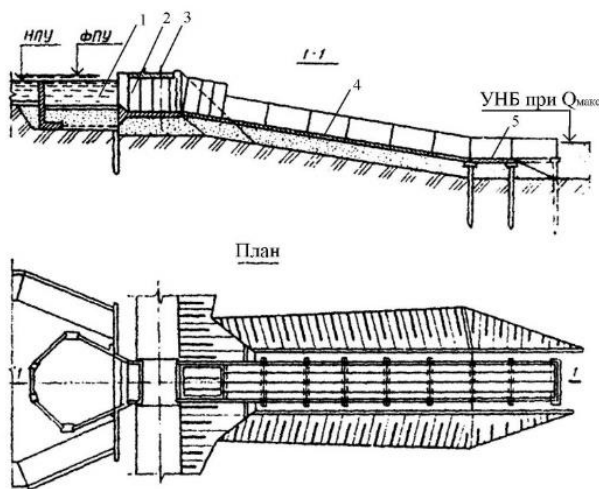


Рис. 19.2. Открытый береговой водосброс с полигональным водосливным оголовком конструкции Белгипроводхоза

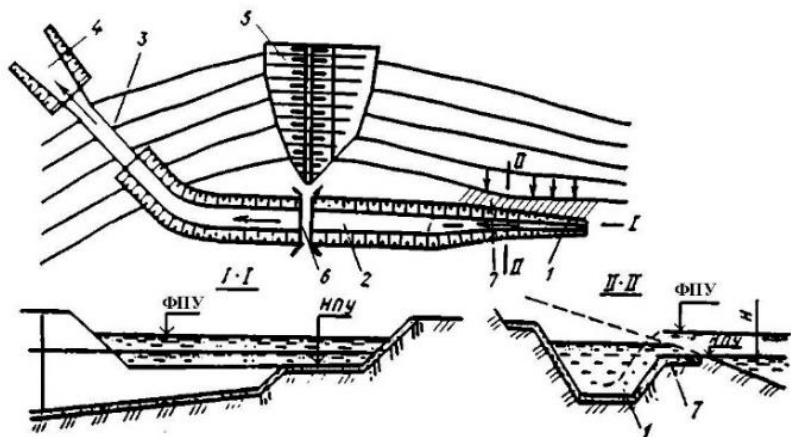


Рис. 19.3. Траншейный водосброс:

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 не скальных грунтах возможно, но при этом стоимость сооружений возрастает из-за крепления водослива и траншеи; при крутых откосах в ней приходится устраивать подпорные стенки.

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

19.3. Закрытые автоматические водосбросы

Типы водосбросов. Составными частями таких водосбросов будут 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 трубчато-ковшовые, шахтные, сифонные, туннельные. Из перечисленных в Республике Беларусь применяют трубчато-ковшовые и шахтные водосбросы БГВХ.

Трубчато-ковшовый водосброс. 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. 19.4).

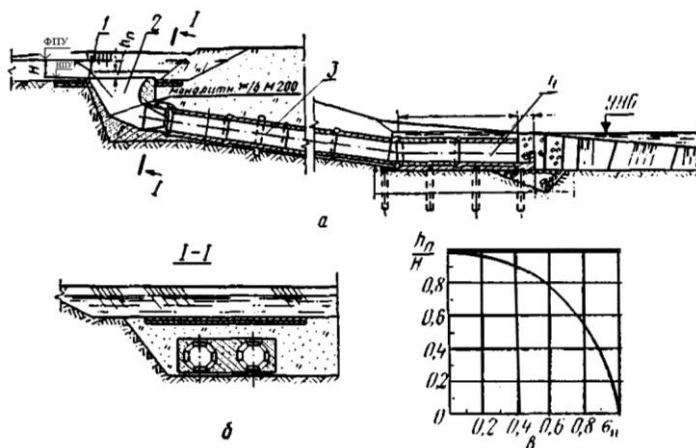


Рис. 19.4. Трубчато-ковшовый водосброс:
а – трубчато-ковшовый водосброс; 1 – входная часть водосброса;
2 – ковш; 3 – напорные трубы; 4 – гаситель; б – график для определения
коэффициента подтопления σ_n ; в – поперечное сечение труб по I-I

Шахтный (башенный) водосброс. Такой водосброс состоит из следующих основных частей: башни (шахты), водоотводящей трубы, устройство 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 автомати-

ческий 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, из которого осуществляется управление режимом работы водоспуска и отводящего водовода. Шахтные водосбросы выполняют регулируемые и нерегулируемые – 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 (НПУ) воды (рис. 19.5).

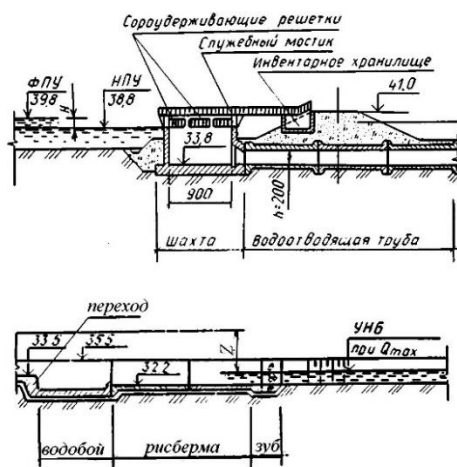


Рис. 19.5. Башенный (шахтный) водосброс с перепадом

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. 19.6 и др.), за которым расположен отводящий канал. Вверху по периметру башни устанавливается металлическая решетка, возвышающаяся над максимальным подпорным уровнем (ФПУ) воды.

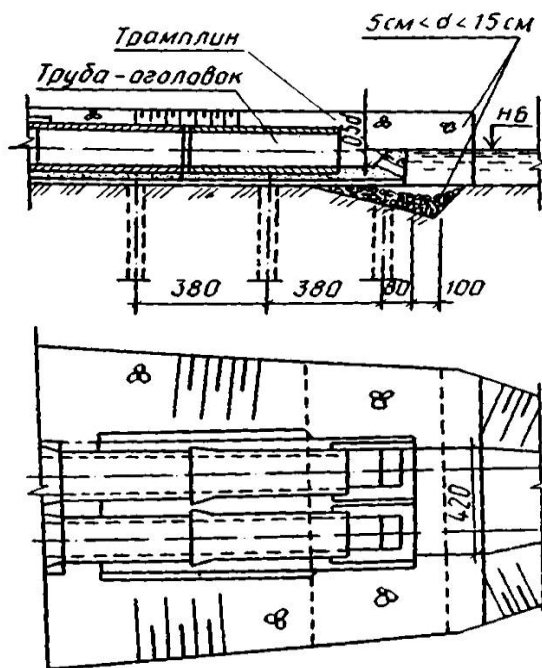


Рис. 19.6. Консольный трубчатый тип устройства нижнего бьефа трубчатого водосброса

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. 19.7).

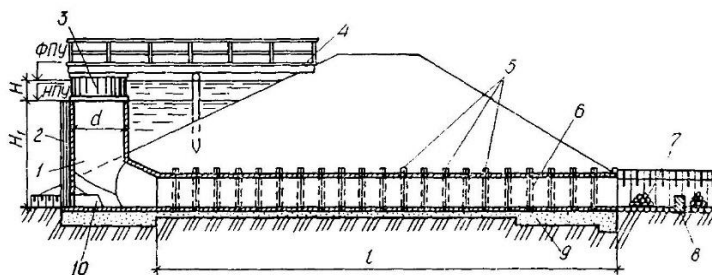


Рис. 19.7. Башенный водосброс:

- 1 – башня; 2 – пазы для щитов; 3 – металлическая решетка;
3 – служебный мостик; 5 – муфты; 6 – отводящая труба; 7 – отводящий канал;
8 – водобойная стенка; 9 – бетонное основание; 10 – донное отверстие

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

Перспективно совмещение в конструкциях трубчатых водосбросов положительных особенностей сооружений с ковшовым и шахтным оголовками. Одна из таких конструкций, показанная на рис. 19.8, обеспечивает как автоматический, так и регулируемый сброс расходов.

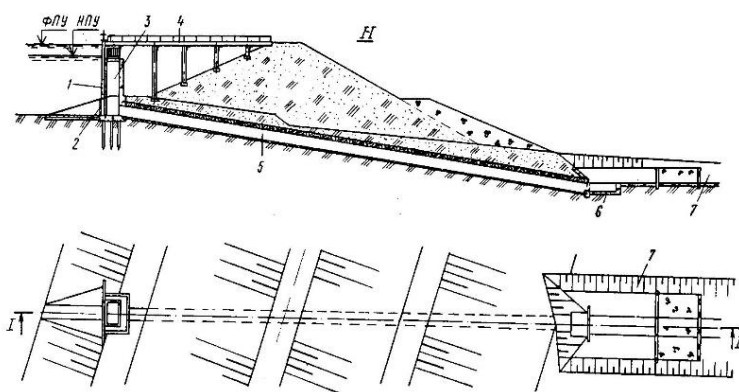


Рис. 19.8. Трубчатый напорный водосброс-водоспуск с шахтным оголовком:

- 1 – затвор с подъемником; 2 – отверстие водоспуска; 3 – шахтный оголовок;
4 – эстакада; 5 – напорная труба водосброса; 6 – водобой; 7 – отводящий канал

При наличии донного водоспуска подводящую 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 водосбросного сооружения верховой откос плотины крепят железобетонными плитами по слою песчаной подготовки толщиной $0,7-0,8 h_{\text{пр}}$, где $h_{\text{пр}}$ – толщина возможного промерзания откоса. Такое техническое решение необходимо для устранения деформации крепления и образования трещин вблизи шахты при возведении насыпи из пучинистых грунтов.

Тема 20. ВОДОСБРОСЫ, УПРАВЛЯЕМЫЕ ЗАТВОРАМИ

20.1. Состав сооружений регулируемых водосбросов

Открытые береговые поверхностные водосбросные тракты располагают на берегах и склонах долины в обход плеча плотины. В связи с этим они получили название береговых водосбросов. 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.

Высотное размещение всех сооружений на водосбросном тракте определяется таким образом, чтобы иметь минимальные выемки, причем допускается на отдельных участках выполнять частично насыпь. Исходя из этого условия, выбирается и трасса. Каналы с минимальными выемками или частично в насыпи легче очищать от снега перед пропуском сбросных расходов, учитывая, что такую очистку часто выполняют вручную.

Необходимо отметить, что при выборе трассы водосбросного тракта исходят из следующих соображений: выемки на верхнем участке трассы используются для насыпи плотины; выемки нижнего участка трассы значительно удалены от плотины; дальняя возка грунта здесь будет к тому же вверх, низинные грунты по строительным качествам большей частью хуже, чем верховые, поэтому правильно стремление к большим выемкам наверху и к минимальным внизу.

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 порога шлюза на 2–4 м, и паводковый уровень в канале назначают примерно на высоте $h_{кр}$ (или несколько ниже), устанавливающейся на пороге шлюза. В таких случаях шлюз пропускает воду в условиях свободного истечения, т. е. имеет наибольшую пропускную способность и, следовательно, наименьшие размеры. Однако в этом случае возможно появление прыжка в сбросном канале и возникает необходимость в проектировании водобойных устройств за шлюзом.

Если на водосбросном тракте трудно разместить сооружения в одном месте, допускается их рассредоточить, например вместо одного сопрягающего сооружения выполнить два и больше. Пример такого рассредоточенного расположения сооружений на водосбросном тракте приведен на рис. 20.1.

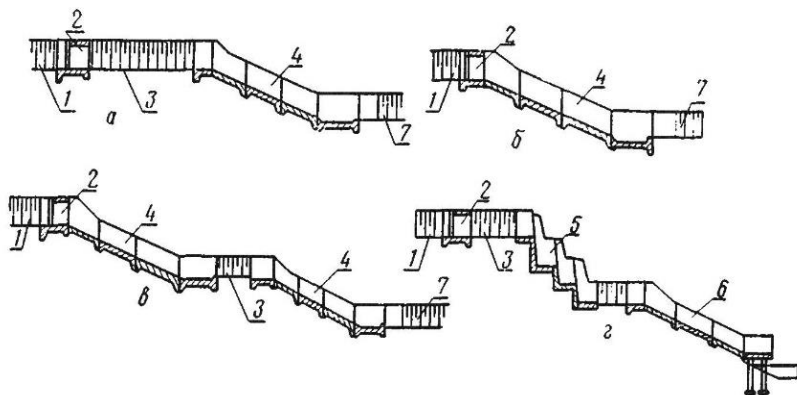


Рис. 20.1. Примеры размещения сооружений на поверхностном водосбросном тракте:
1 – подводящий канал; 2 – шлюз-регулятор; 3 – сбросной канал; 4 – быстроток;
5 – перепад; 6 – консольный сброс; 7 – отводящий канал

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 подводящего 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.

20.2. Особенности гидравлического расчета

Гидравлический расчет открытых береговых регулируемых поверхностных водосбросов, в общем случае, заключается в расчете подводящего канала, головного сооружения (обычно шлюза-регулятора), соединительного (или соединительных) канала, сопрягающего сооружения и отводящего канала. В зависимости от высоты плотины, топографических и геологических условий, величины расчетного расхода и др. состав сооружений водосбросного тракта может отличаться.

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 скальных грунтах поперечное сечение каналов обычно трапецеидальное. Заложение их откосов может быть принято таким же, как и для обычных водопроводящих каналов.

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.

Размеры поперечных сечений соединительного и отводящего каналов определяются в соответствии с правилами проектирования водопроводящих каналов при равномерном движении воды.

Уровень воды в соединительном канале чаще назначают так, чтобы обеспечить неподтопленный режим работы водослива и создать благоприятные условия для сопряжения бьефов за ним. Исходя из этого, рекомендуется назначать следующие перепады Z на пороге водослива: для водослива с широким порогом $Z = 0,4H$; для водослива практического профиля $Z = H$, где H – известный напор на пороге водослива. Глубиной воды на пороге головного сооружения (шлюза) обычно задаются в пределах $H = 2-4$ м, в зависимости от величины расхода.

При больших расходах воды в соединительном канале может образоваться кривая спада, увеличивающая скорость течения, что может вызвать размыв канала. Для ликвидации кривой спада в конце соединительного канала в некоторых случаях устраивают порог, высота которого:

$$P = h_n - H', \quad (20.1)$$

где h_n – глубина, соответствующая равномерному режиму потока (нормальная глубина), м;

H' – напор на пороге, работающем как неподтопленный водослив практического профиля, м.

Нормальная глубина канала h_n определяется при гидравлическом расчете канала, а напор на пороге в случае трапецидального сечения канала по формуле пропускной способности трапецидального водослива практического профиля:

$$Q = m(b_0 + 0,8m_k H')\sqrt{2gH_0^{3/2}}, \quad (20.2)$$

где $m = 0,43$ – коэффициент расхода для предварительных расчетов;

b_0 – ширина порога по нормали к оси канала, м;

m_k – заложение откосов канала;

$$H_0 = H' + v_k^2/(2g); \quad (20.3)$$

где v_k – известная скорость течения в соединительном канале.

В формуле (20.2), два неизвестных члена; H' и b_0 . Поэтому H' определяется подбором в такой последовательности: задаются высотой P ; определяют $H' = h_n - P$; определяют $b_0 = b_k + m_k P$, где b_k – ширина канала по дну, м; по формуле (20.2) определяют Q .

Высота порога варьируется до тех пор, пока найденный расход не будет равен расчетному максимальному расходу.

При прямоугольном сечении канала высота порога определяется однозначно без подпора по соответствующей формуле прямоугольного водослива. Однако такое сечение канала возможно либо в скальных грунтах, либо при устройстве канала в виде бетонного лотка, когда опасность размыва канала в результате образования кривой спада невелика и от устройства порога можно отказаться.

Гидравлический расчет головного сооружения (шлюза-регулятора) и сопрягающих сооружений приведены в предыдущих лекциях.

Конструкция водосливов с входным порогом на уровне дна подводящего канала аналогична конструкции открытых водоспусков, которые иногда выполняют и роль береговых водосбросов. Соответственно и методы их проектирования одинаковы.

Следует отметить, как показывает опыт проектирования и водохозяйственной эксплуатации прудов и малых водохранилищ, управляемые водосбросы низконапорных гидроузлов целесообразно эксплуатировать в бытовой период в автоматическом режиме путем перелива воды через верх затворов, тем самым проектируя небольшую – до 0,3–0,5 м – форсировку уровня воды в верхнем бьефе.

20.3. Некоторые примеры конструкции регулируемых водосбросов

Белгипроводхоз разработал технические решения открытых регулируемых водосбросов на расходы воды от 50 до 700 м³/с с напором 4–12 м для прудов и малых водохранилищ. При напорах до 6 м рекомендуются водосбросы со сдвоенными колесными затворами (рис. 20.2). В зависимости от сбросного расхода может быть предусмотрено устройство от одного до четырех пролетов.

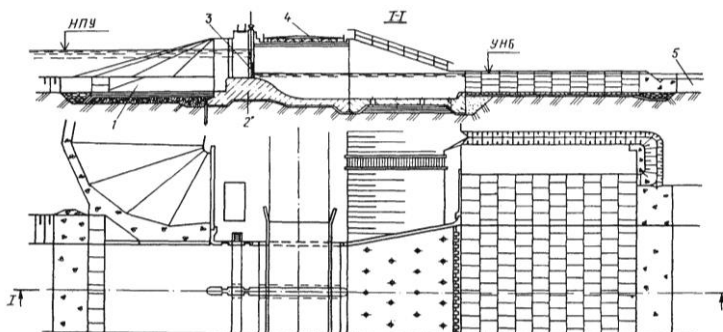


Рис. 20.2. Открытый регулируемый водосброс конструкции Белгипроводхоза на напор до 6 м: 1 – входная часть; 2 – водобой; 3 – затвор; 4 – переезд; 5 – отводящий канал

При больших напорах Белгипроводхоз рекомендует двухъярусные водосбросы (рис. 20.3) при возведении которых используют от 8 до 15 типоразмеров блоков. При напорах до 4 м применяют плоский флютбет без поднятия водосливного оголовка. При напорах более 6 м предусмотрено дополнительное гашение избыточной кинетической энергии потока на решетчатой сливной плотине водосброса, укладываемой на водосливе (рис. 20.4).

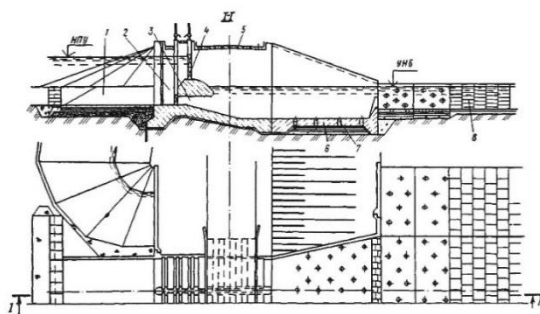


Рис. 20.3. Типовое решение открытого регулируемого двухъярусного водосброса:
1 – входная часть; 2 – головная часть; 3 – донное отверстие; 4 – поверхностное отверстие; 5 – переезд; 6 – водобой; 7 – дренажные отверстия; 8 – крепленая часть отводящего канала

3 – водобой; 4 – рисберма; 5 – отводящий канал

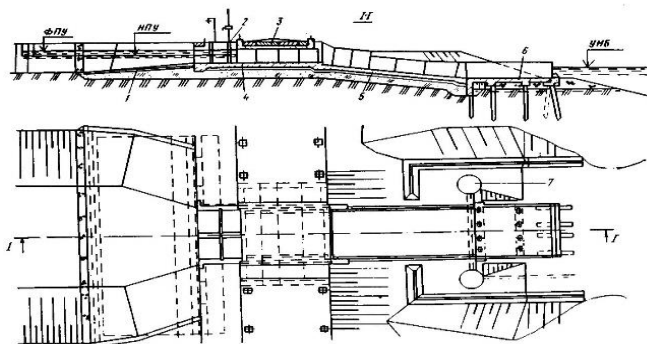


Рис. 20.6. Регулируемый открытый водосброс на грунтовом основании конструкции Ленгипроводхоза: 1 – входная часть; 2 – затвор; 3 – трубчатый переезд; 4 – головная часть водосброса; 5 – быстроток; 6 – концевая часть; 7 – дренажный колодец

Сооружения состоят из входного оголовка, лотка быстротока, уложенного на грунтовое основание (рис. 20.6), и концевой площадки. Гашение энергии сбросного потока происходит в воронке размыва. Если нет условий для устройства консольного перепада, применяют гасители в виде водобойных колодцев. При выборе варианта гасителей учитывают, что устройство их экономически обосновано при расходах более $50 \text{ м}^3/\text{с}$ при прочих равных условиях. Сбросные расходы на таких сооружениях регулируют плоскими металлическими затворами, оборудованными подъемниками с ручным или электрическим приводом.

Тема 21. ВОДОСЛИВНЫЕ ПЛОТИНЫ НА НЕСКАЛЬНЫХ ОСНОВАНИЯХ

21.1. Профили плотин

Профили плотин. Гравитационные бетонные плотины на нескальных основаниях применяют преимущественно как водосливные с безвакуумном очертанием оголовков (рис. 21.1).

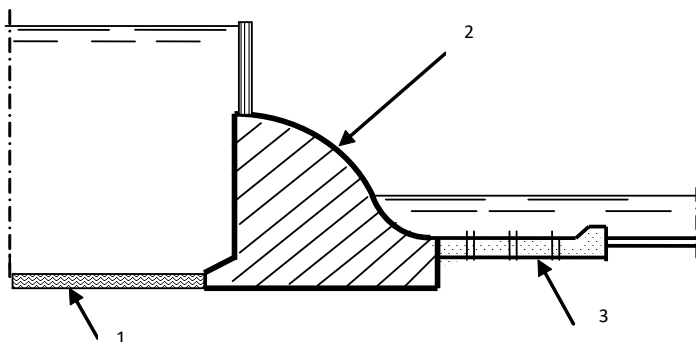


Рис. 21.1. Водосливная бетонная плотина:
1 – понур; 2 – водосливная грань; 3 – водобой; 4 – рисберма

По условиям содержания с нижним бьефом в гравитационных водосливных плотинах на скальных основаниях наибольшее распространение получил донный тип. Такое сопряжение выполнено почти на всех плотинах, возведенных на крупных реках стран СНГ. Сопряжение поверхностного типа хотя и возможно в плотинах на нескальных основаниях, но встречается сравнительно редко и можно указать на единичные случаи его применения.

К водосливной плотине на нескальном основании примыкают также устройства (части): понур, водобой, рисберма, концевой участок в нижнем бьефе. Все части (устройства) вместе с плотиной составляют единую систему, обеспечивающую пропуск поверхностного и фильтрационного потока, гашение кинетической энергии и устойчивость плотины и частей, примыкающих к ней, от подмыва. Типовое решение взаимного расположения плотины и отдельных частей (устройств) показано на рис. 21.1. Каждая часть имеет свои конструктивные и расчетные особенности, поэтому рассматривается отдельно.

21.2. Составные части водосливной плотины

Понуры. В общем случае понур состоит из водонепроницаемой части, подготовки, укладываемой на грунтовое основание, защитного слоя и крепления. Не все перечисленные части всегда имеются в понуре. В зависимости от материала, условий работы, подготовки защитный слой и крепление могут отсутствовать каждый в отдельности или в некотором сочетании.

Водобой. Назначение водобоя – воспринять основное динамическое воздействие сбрасываемых через плотину расходов воды, трансформировать (погасить) кинетическую энергию и в какой-то степени выровнять скорости и удельные расходы в концевой части водобоя. Выполняют водобой в виде бетонной или железобетонной плиты, вплотную примыкающей к водосливной плотине и отделенной от нее деформационным швом.

Гашение энергии при донном режиме сопряжения происходит на водобое в надвинутом прыжке, который будет при глубине воды на водобое, больше, чем вторая сопряженная глубина. Такую глубину можно создать при помощи водобойного колодца или без него, соответственно погружая под уровень воды нижнего бьефа плиту водобоя и примыкающую к ней рисберму.

Для гашения энергии дополнительно используют различного рода гасители, располагая первый ряд их в зоне максимальных скоростей, по возможности ближе к сжатому сечению. Работа гасителей основана на разделении потока на отдельные струйки, в результате чего наряду с гашением энергии происходит и выравнивание скоростей. Для выравнивания удельных расходов на водобое ставят растекатели, которые одновременно способствуют выравниванию скоростей и выполняют роль гасителей энергии. Нередко на водобое дают комбинацию гасителей и растекателей.

Для определения длины водобойного колодца существует много зависимостей. При отсутствии гасителей энергии длину водобоя находят по зависимости:

$$L_{\text{вод}} = (1 \dots 1,25) L_{\text{пр}}, \quad (21.1)$$

где $L_{\text{пр}}$ – длина прыжка, принимаемая равной:

$$L_{\text{пр}} = 6(h_2 - h_1). \quad (21.2)$$

где h_1 и h_2 – сопряженные глубины.

При установке на водобое гасителей длина его уменьшается и принимается равной:

$$L_{\text{в}} = (0,75 \dots 0,80) L_{\text{пр}}. \quad (21.3)$$

Толщину водобоя определяют расчетом с учетом воздействия на него противодавления и дефицита давления. Для уменьшения толщины

водобоя применяют его дренирование, благодаря чему частично или полностью снимается фильтрационное противодействие.

Водобойные плиты получают довольно мощными, толщина их при действующем напоре 20–25 м и удельных расходах 40–45 м²/с составляет 4–4,5 м.

Рисберма. Под рисбермой понимают укрепленный участок русла водотока, расположенный за водобоем и предназначенный для дальнейшего гашения кинетической энергии, полностью не погашенной на водобое. Одновременно рисберма предназначена и для перераспределения и выравнивания скоростей как по вертикали, так и в плане. По эпюре скоростей в конце рисбермы и судят о выполнении ею основного назначения.

Скорость на рисберме задают в пределах $V_{\text{рис}} = 2,5\text{--}3,0$ м/с, принимая большее значение для грунтов, слабо поддающихся размыву. Средний удельный расход на рисберме $q_{\text{рис}}$ можно предварительно определить в долях от удельного расхода на водосливе плотины $q_{\text{вод}}$ по зависимости:

$$q_{\text{рис}} = kq_{\text{вод}}, \quad (21.4)$$

где k – коэффициент, равный 0,8–0,85.

При известном удельном расходе на рисберме и принятой скорости на ней глубина воды будет:

$$h_{\text{рис}} = \frac{q_{\text{рис}}}{V_{\text{рис}}}. \quad (21.5)$$

Отсюда отметка поверхности горизонтальной рисбермы определится путем вычитания $h_{\text{рис}}$ из отметки расчетного уровня воды в нижнем бьефе.

Стыки между плитами рисбермы оставляют открытыми для выпуска фильтрационного потока. В плитах больших размеров дают отверстия, заполненные грунтом, уложенным по типу обратного фильтра.

Длину рисбермы назначают, используя зависимость:

$$L_{\text{рис}} = (1 \dots 2) L_{\text{вод}}, \quad (21.6)$$

где $L_{\text{вод}}$ – длина водобоя.

Наиболее целесообразно плановые размеры рисбермы и высотное ее положение определять на основе экономического сопоставления различных вариантов.

Концевая часть рисбермы. Поток воды, сходящий с рисбермы, как правило, имеет скорости, превосходящие допускаемые на размыв для неукрепленного русла. Вследствие этого неизбежен размыв за рисбермой. Для предупреждения подмыва рисбермы устраивают концевой участок, который можно рассматривать как продолжение рисбермы.

В зависимости от грунтов за рисбермой, длины ее и скоростей в концевой части принимают различного типа переходные устройства к неукрепленному грунту. Основными из них будут следующие: предохранительный откос, бетонный зуб, шпунтовые стенки, гибкий тюфяк, уральский пол. Предохранительный откос в конце рисбермы образует так называемый ковш в виде широкой и достаточно глубокой траншеи, идущей вдоль крепления. В пределах этого ковша и происходит гашение энергии. Заложение откоса принимают не круче $m = 4-5$ с тем, чтобы сходящий поток воды не отрывался от него.

Крепление предохранительного откоса выполняют из бетонных, железобетонных плит, уложенных на подготовку. Полезно делать такое крепление гибким на всей длине или в концевой части, чтобы обеспечить его изменение, вызванное деформацией грунта вследствие возможного размыва в примыкании к неукрепленной части. Конец откосного крепления спускают ниже возможной глубины размыва.

Дно ковша заполняют каменной наброской, способствующей гашению избыточной энергии и предотвращающей откос от подмыва.

К недостаткам ковша можно отнести трудности, возникающие при производстве работ, например значительное понижение уровня грунтовых вод в котловане.

Тема 22. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕХАНИЧЕСКОМ ОБОРУДОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

22.1. Типы механического оборудования

Составной частью водопропускных гидротехнических сооружений будет механическое оборудование, включающее затворы, сороудерживающие решетки, захватные балки, стационарные подъемники, подвижные подъемно-транспортные механизмы и другие устройства и приспособления, необходимые для работы гидротехнических сооружений.

Не все перечисленные части механического оборудования одновременно бывают принадлежностью каждого водоподпорного сооружения, некоторые из них в любом сочетании могут отсутствовать. Затворы же

в большинстве случаев являются обязательной частью механического оборудования.

Все части механического оборудования встречаются обычно в сооружениях гидроэнергетических узлов и водопропускных отверстиях при глухих плотинах с повышенным напором. В сооружениях на каналах гидромелиоративных систем в состав механического оборудования обычно входят только затворы.

22.2. Затворы, их применение и классификация

Пролеты водопропускных сооружений перекрываются затворами, маневрирование которыми позволяет обеспечить заданные условия пропуска расходов воды из верхнего бьефа в нижний. Затвор представляет собой устройство, служащее для закрытия отверстия гидротехнического сооружения (плотины, шлюза, трубопровода, галереи и пр.) и освобождающее это отверстие с целью пропуска воды и несомых ею тел.

Затвор состоит из трех основных частей: подвижной (пролетного строения), неподвижной (закладных частей) и механизмов, приводящих в движение подвижную часть. Однако часто, когда говорят о затворе, подразумевают только его подвижную часть. В дальнейшем, чтобы каждый раз не называть, что рассматривается подвижная часть, будем также условно называть ее затвором, но иметь в виду, что это только одна из его составных частей. Другие части затвора в соответствии с их назначением будут рассматриваться отдельно.

Классификация затворов. Признаков, по которым классифицируются затворы, довольно много. Основные из них будут следующие.

По местоположению перекрываемых отверстий затворы подразделяются на поверхностные, служащие для перекрытия водосливных отверстий, и глубинные, служащие для перекрытия глубинных отверстий.

По эксплуатационному назначению затворы подразделяются на основные, ремонтные, аварийные, строительные. Основные затворы постоянно находятся в работе, в поверхностных отверстиях они поддерживают заданные уровни воды в верхнем бьефе, обеспечивают пропуск через пролеты сооружения расходов воды и сброс плавающих тел. Маневрирование ими осуществляется в условиях текущей воды. Ремонтные затворы служат для временного закрытия отверстий, при ремонте основного затвора или элементов сооружения. Маневрирование ими

осуществляется в спокойной воде. Аварийные затворы, как и ремонтные, служат также для временного закрытия отверстий гидротехнических сооружений в случае аварии основного затвора. Опускаются такие затворы в текущую воду. Они должны быть быстропадающими в условиях, когда создается аварийная обстановка.

В тех случаях, когда затвор одновременно выполняет задачи ремонтного и аварийного характера, его называют аварийно-ремонтным.

Затворы, применяемые для закрытия водопропускных отверстий в период строительства, называют строительными.

По конструктивным признакам подвижной части различают затворы шандорные, плоские, сегментные, секторные, клапанные, вальцовые, крышевидные, с поворотными фермами, с поворотными рамами, вертикальные цилиндрические, игольчатые, конусные и др. Общее число затворов по конструктивным признакам больше 50.

22.3. Плоские затворы водосливных отверстий

Плоские безригельные затворы. Подвижная часть безригельных затворов представляет собой щит из досок или металлического стального листа. Пролеты, перекрываемые безригельными металлическими затворами, не превышают 2 м, а плоскими деревянными – 1,6 м.

Деревянные безригельные затворы обычно применяют в деревянных плотинах, в пролетах которых между устоями и быками ставят дополнительные временные стойки. Между этими стойками отверстия и перекрывают деревянными щитами.

Доски в щитах соединяют между собой в четверть или шпунт. Плотность примыкания досок в щите обеспечивается двумя деревянными шпонками клинообразной формы, забиваемыми с усилием. Шпонки выполняют формой по типу ласточкиного хвоста. Дополнительно жесткость щита обеспечивается двумя металлическими полосами, прикрепленными по краям щита. Верхнюю часть полосы загибают в виде крючка, за который цепляют багор при ручном подъеме, или петлю каната при подъеме воротом, установленным на служебном мостике.

В регулирующих сооружениях типа водовыпусков на каналах с расходом до $0,2 \text{ м}^3/\text{с}$ применяют безригельные затворы с подвижной частью в виде стального щита, перемещаемого в металлической раме, прикрепленной к железобетонной стенке (диафрагме). Подъем и опускание

щита происходят вручную при захвате за металлическую ручку, прикрепленную к щиту.

В сооружениях на каналах гидромелиоративных систем широко распространены безригельные затворы с ручным винтовым подъемником. Подвижная часть такого затвора представляет собой металлический щит, усиленный ребрами жесткости. Поступательное перемещение щита происходит в пазах рамы, высота которой несколько больше двойной высоты щита.

Плоские ригельные затворы.

Преимущество плоских затворов. При пролетах больше 2 м применяют металлические плоские ригельные затворы. Они широко распространены в гидротехнических сооружениях из-за их достоинств, к числу которых можно отнести следующие: пролеты, перекрываемые ими, могут быть очень большими (до 30 м и больше); они применимы на водосливах любого очертания; требуют небольшой длины бычков и устоев; имеется возможность поднимать затвор и переносить из пролета в пролет (взаимозаменяемость), условия переноса позволяют ремонт их проводить вне пролета на специальных монтажных площадках; простота конструкции; стоимость их по сравнению с другими типами затвора ниже; разнообразие конструкций плоских затворов позволяет применять наиболее удобный тип для заданных условий эксплуатации сооружения.

К недостаткам плоских затворов можно отнести значительное подъемное усилие при больших размерах отверстий и вследствие этого высокую стоимость подъемных механизмов. Для маневрирования плоскими затворами требуется повышенная высота бычков и устоев, а также увеличенная ширина бычков, необходимая по условиям размещения пазов и закладных частей в них.

Шандоры. Затворы, подвижная часть которых состоит из ряда отдельных горизонтальных балок (шандор), движущихся поступательно в пазах сооружения и укладываемых одна на другую, называют шандорными. В результате последовательной укладки шандор друг на друга в пролете сооружения образуется шандорная стенка, поддерживающая заданный уровень воды в верхнем бьефе. Шандорные затворы устанавливают перед основными, когда они опущены.

Небольшие пролеты сооружений перекрывают деревянными шандорами, с увеличением пролетов переходят к металлическим или железобетонным.

Деревянные шандоры представляют собой брусья, а при малых пролетах – доски прямоугольного сечения. Пролеты, перекрываемые деревянными шандорами, редко превосходят 3 м. Деревянные шандоры поднимают и опускают вручную баграми, зацепляя за штыри или крюки. Водонепроницаемость по стыку между отдельными шандорами обеспечивается без дополнительных устройств, при помощи усилий на посадку, когда набирается шандорная стенка.

Пролеты шириной более 3–4 м перекрывают металлическими шандорами. Их выполняют сплошными из прокатных профилей, а для больших пролетов применяют сквозные сварные конструкции в виде ферм. Предел применения шандор со сплошной стенкой или решетчатой определяют расчетом. Отдельную шандору рассчитывают как балку, лежащую на двух опорах, с равномерно распределенной нагрузкой от гидростатического давления воды. Водонепроницаемость по стыку шандор достигается путем контакта деревянных брусьев при наложении шандор одна на другую.

Находят применение и железобетонные шандоры различных профилей. Большой вес таких шандор позволяет опускать их в пролеты без посадочных усилий.

Тема 23. РАЗЛИЧНЫЕ ТИПЫ ЗАТВОРОВ

23.1. Сегментные, секторные и другие конструкции затворов

Понятие о сегментных затворах и условиях их применения.

Затвор, подвижная часть которого в поперечном сечении имеет вид сегмента и крепится к двум (или более) ногам, вращающимся вокруг горизонтальной оси, проходящей через концы ног, называют сегментным. Такие затворы применяют только как основные, они могут перекрывать пролеты до 40 м при глубине воды перед ними до 15 м.

Сегментные затворы распространены в гидромелиоративных сооружениях благодаря ряду преимуществ по сравнению с другими затворами. Они обеспечивают лучшие гидравлические условия истечения из-под затвора, очертание обшивки исключает появление вакуума, требуется меньшее подъемное усилие, а значит, и меньшая грузоподъемность механизмов, обеспечивается лучшая работа затворов в потоке с обильным содержанием наносов, достигается большая скорость подъема затвора.

Вместе с тем можно отметить и недостатки сегментных затворов по сравнению с плоскими: невозможность перестановки из одного пролета

в другой, необходимость иметь большую длину быков и устоев, наличие распора в шарнирах, а также более сложное изготовление.

Секторные затворы.

Общие сведения о секторных затворах и их виды. Секторными называют затворы, подвижная часть которых имеет в поперечном сечении вид кругового сектора с обшивкой по напорной и одной или двум радиальным граням и опускается в нишу порога сооружения при вращении вокруг горизонтальной оси. Пролеты, перекрываемые такими затворами, достигают 60–65 м при напорах до 8–9 м. Секторные затворы применяют в сооружениях, когда гребень водослива не подтапливается со стороны нижнего бьефа.

Особенность секторных затворов состоит в том, что маневрирование ими (подъем и опускание) происходит без механических подъемников и обеспечивается гидравлически, путем изменения уровней воды в нише.

По гидравлическим особенностям секторные затворы подразделяются на тонущие и поплавковые. В тонущих затворах обшивку выполняют по двум поверхностям – с напорной стороны криволинейного очертания и по верхней радиальной плоскости. В поплавковых затворах обшивку выполняют по трем сторонам.

Преимущества и недостатки секторных затворов. Секторные затворы имеют следующие достоинства: достигается точная регулировка уровней воды верхнего бьефа, допускается сброс плавающих тел, в том числе и льда поверх затвора, конструкция обладает достаточной жесткостью, обеспечивается быстрое маневрирование затвором, перекрываются большие пролеты, требуется минимальная высота устоев и быков.

Вместе с тем секторные затворы имеют и недостатки: сложность конструкции, более сложная эксплуатация, особенно зимой, значительный вес, большая стоимость.

К числу недостатков секторных затворов следует также отнести невозможность его подъема без побудителя, когда он находится в опущенном состоянии, а в верхнем бьефе нет воды или переливающийся через водослив слой небольшой.

23.2. Затворы глубинных отверстий

Общие сведения о глубинных водоводах. Водоводы замкнутого поперечного сечения, расположенные ниже уровня воды, называют глубинными. К таким водоводам относят водосбросы, водоспуски, водозаборы, расположенные в теле плотины, тоннели и прочие водопропускные сооружения, характеризующиеся тем же гидравлическим режимом, что и перечисленные выше.

Затворы, перекрывающие отверстия глубинных водоводов, называют также глубинными. К этой же категории относят затворы, расположенные на трубопроводах, работающих в напорном гидравлическом режиме.

Глубинные затворы имеют ряд особенностей, к числу которых можно отнести следующие: большое гидростатическое давление, воспринимаемое ими, истечение из-под затвора происходит при больших скоростях, вследствие чего возникает вакуум и вместе с ним появляется кавитация; наличие уплотнений по всему периметру; сравнительно небольшие отверстия, перекрываемые затворами.

Сечение глубинных водоводов выполняют самой различной конфигурации, однако участок, где ставится глубинный затвор, обычно имеет круглое или прямоугольное сечение.

Глубинные затворы также, как и поверхностные, по назначению подразделяются на основные, аварийные и ремонтные.

Подъемные механизмы затворов размещают на незатопляемых площадках, в шахтах и камерах управления затворами.

В зависимости от гидравлических и местных условий камеру затворов располагают при входе, на выходе или в средней части водовода. Наиболее благоприятным в гидравлическом отношении будет расположение камеры на концевом участке водовода, когда скорости в нем большие.

Режим потока в пределах затворной камеры может быть напорным или смешанным. В последнем случае до затвора режим напорный, а за ним – безнапорный.

Плоские и сегментные глубинные затворы. В конструктивном отношении глубинные плоские и сегментные затворы не отличаются от подобных затворов поверхностных отверстий. Однако, учитывая, что они подвержены значительному гидростатическому давлению, подвижную конструкцию их выполняют многоригельной сварной, а в некоторых случаях и литой.

В настоящее время разработаны конструкции глубинных плоских и сегментных затворов, способных при площади перекрываемых ими отверстий до 30 м² удовлетворительно работать под напором до 200 м.

Плоские затворы применяют как основные, так и аварийно-ремонтные. В большинстве случаев опорно-ходовые части затвора выполняют скользящими с использованием древесно-слоистого пластика. Колесные затворы менее распространены, так как они сильно подвержены вибрации при частичном открытии отверстия.

За низовой стороной затвора при больших скоростях потока воды образуется вакуум. Возникновению его способствуют также пазы. Придавая им специальную форму, подобранную путем исследования, вакуум можно уменьшить. Значительное снижение вакуума достигается подачей воздуха за затвор. Расход воздуха должен составлять 20–30 % от расхода воды.

Сегментные затворы используют только как основные. Истечение из-под сегментных затворов происходит при более благоприятных гидравлических условиях ввиду отсутствия пазов, требуется меньшая грузоподъемность механизмов, снижается вибрация. К недостаткам сегментных затворов следует отнести более сложную конструкцию, необходимость иметь камеры больших размеров для размещения затвора.

Задвижки и дисковые затворы. Задвижки – это разновидность плоских затворов. Они представляют собой плоский стальной литой или сварной (иногда полый) щит прямоугольного или круглого сечения. Этот щит поступательно движется в патрубке и при открытии отверстия водовода располагается в кожухе, герметически присоединенном к патрубку. Перемещение щита происходит при помощи штока, связанного с гидравлическим приводом или электролебедкой, а при малых напорах – вручную. Патрубок последовательно врежется в напорный водовод.

Задвижка в опущенном состоянии, когда отверстие водовода открыто, обеспечивает полную водонепроницаемость благодаря тщательной подгонке щита в пазах, выполненной в заводских условиях.

Задвижки используют при напорах до 100 м и более. Круглые задвижки применяют в водоводах диаметром до 1,5 м.

Открытие задвижки при больших напорах требует значительных усилий. Если создать противодействие с низовой стороны щита, для чего по обводной трубе пропускать небольшой расход воды, усилие для маневрирования значительно уменьшается. Недостатки задвижек – это

трудность регулирования расходов воды, вибрация при неполном открытии и образование вакуума.

Дисковый затвор (его также называют дроссельным) представляет собой плоский диск, вращающийся на вертикальной или горизонтальной оси, проходящей через середину затвора. Вращение диска происходит от механического или гидравлического привода, присоединенного к оси затвора.

В открытом положении диск располагается по течению воды и практически не уменьшает сечения водовода и оказывает небольшое сопротивление движущемуся потоку.

Дисковые затворы применяют чаще в качестве ремонтных и аварийных, а также ставят в обводных устройствах при создании противодействия у плоских затворов и задвижек.

Дисковые затворы используют при больших напорах. Имеются примеры, когда их устанавливали на водоводах с напором до 800 м. Диаметр их также может быть очень большим и достигать до 8 м и более.

Тема 24. БЕСПЛОТИННЫЕ ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

24.1. Общие сведения о бесплотинных водозаборных сооружениях

При заборе воды непосредственно из рек применяются бесплотинные водозаборные сооружения.

Расходы водозабора определяются его назначением и изменяются в соответствии с графиком водоподачи.

Расходы воды, подаваемые потребителю, включая и орошение, меняются во времени. Изменение расходов, пропускаемых через водозабор, происходит как в течение суток, так и по месяцам, а иногда и по сезонам. Регулирование расходов в водозаборном сооружении достигается маневрированием затворами. Оно также необходимо и при постоянном расходе в связи с изменением напора, вызываемым постепенным понижением воды в водохранилище.

Бесплотинными называют водозаборы, в которых вода поступает из реки в каналы при бытовом стоянии ее уровней. По управлению потоком воды, подаваемым в магистральный канал, различают нерегулируемые и регулируемые бесплотинные водозаборы.

Под нерегулируемым водозабором понимают непосредственное соединение канала с рекой; место отвода канала от реки называется головой. В таких водозаборах уровни воды в канале синхронно следуют за изменением уровней воды в реке и соответственно этому изменяются

расходы. При минимальных уровнях в реке должны поступать расчетные расходы воды в канал.

Нерегулируемые водозаборы имеют много существенных недостатков, к числу которых можно отнести следующие: несовпадение поступающих расходов в канал с расходами потребления, а это значит, что при минимальном потреблении воды в канал могут поступать максимальные расходы; излишек воды по сравнению с потреблением пропускается по всей системе каналов и сбрасывается в концевой части их; размеры канала приходится рассчитывать не на расходы потребления, а на максимальные расходы, поступающие через водозабор; быстрое заиливание головной части канала приводит к сокращению пропускной способности его и тем самым не обеспечивается поступление расходов потребления; в связи с заиливанием головной части канала требуется непрерывное удаление осевших наносов; изменение положения головы водозабора при изменении планового очертания русла вызывает необходимость срочно устраивать дополнительные прокопы.

За последнее время нерегулируемые бесплотинные водозаборы не имеют широкого распространения, а существующие перестраивают на более совершенные.

Регулируемые водозаборы имеют в голове или в некотором удалении от нее шлюзы-регуляторы, при помощи которых обеспечивается поступление воды в канал в любое время в соответствии с графиком водопотребления независимо от изменения уровней воды в реке.

Благоприятным условием применения бесплотинных водозаборов считается случай, когда расходы канала составляют долю расхода реки, хотя не исключается весь расход реки подавать в канал. Очевидно, что не все реки удовлетворяют требуемым условиям. При заборе воды на орошение это будут реки с ледниковым питанием, поскольку в них периоды прохождения максимальных расходов совпадают с периодами наибольшего потребления воды.

Бесплотинные водозаборы применяют на участках рек, имеющих высокие берега, тогда как устройство глубоких выемок для каналов, а тем более прокладка тоннелей при очень высоких берегах считаются неблагоприятными условиями.

24.2. Некоторые типы бесплотинных водозаборов

Практика строительства и эксплуатации выработала довольно много схем бесплотинных водозаборов. Далее рассмотрены только основные, так как другие схемы получены на базе их и не изменяют принятого

принципиального решения. Например, для схем регулируемых и нерегулируемых водозаборов включение промывных (сбросных) каналов в любом сочетании с каналами-прокопами и приводит к их разнообразию.

Основные типы водозаборов будут рассмотрены в последовательности, соответствующей переходу от простых бесплотинных водозаборов к более сложным.

Одноголовый нерегулируемый водозабор (рис. 24.1).

Это простейший тип бесплотинного водозабора, в котором поступление воды в канал происходит по схеме деления потока.

Начальный участок канала в таком водозаборе быстро заиляется донными и частично взвешенными наносами, поступающими из реки. Голова водозабора при размываемых грунтах, слагаемых берега реки, подвержена смещению.

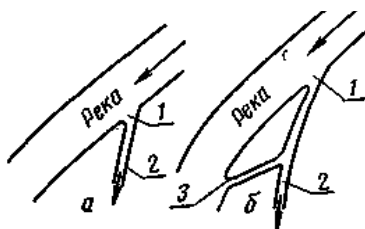


Рис. 24.1. Бесплотинный нерегулируемый водозабор:
а – без промывного канала;
б – с промывным каналом
1 – голова;
2 – магистральный канал;
3 – промывной канал

Если в голове магистрального канала установлен шлюз, то такой бесплотинный водозабор становится регулируемым.

Шпорный водозабор. Низкие уровни воды в реке при не больших расходах в ней значительно осложняют работу бесплотинных водозаборов. В некоторые периоды становится вообще невозможно подать расчетные расходы в магистральный канал. В таких случаях переходят к водозабору шпорного типа (рис. 24.2), Шпора представляет собой криволинейную дамбу, один конец которой примыкает к голове водозабора, а другой упирается в противоположный берег реки вверх по течению. Применяют и другую схему шпоры, когда она не доходит до противоположного берега и оканчивается в русле реки. В конструктивном отношении шпора представляет собой дамбу, выполненную из местных материалов.

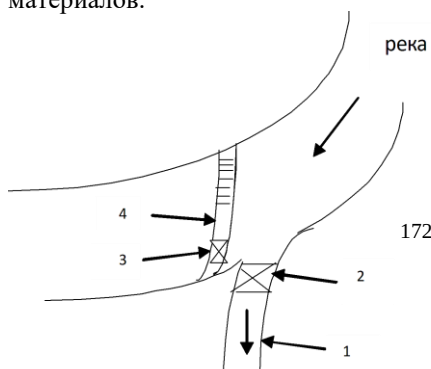


Рис. 24.2. Шпорный водозабор:
1 – магистральный канал;
2 – шлюз-регулятор;
3 – промывник;
4 – шпора

Верх шпоры располагают выше минимального уровня воды в реке. Перегораживание русла реки шпорой позволяет направить весь расход к голове и одновременно повысить командный уровень воды, так как, по существу, голова водозабора перемещается вверх по течению реки. Для сброса излишков воды, не забираемых в магистральный канал, и частично для промывки русла перед водозабором от донных, наносов в шпоре, в примыкании к голове, устраивают промывные отверстия.

Боковые водозаборы.

В гидроузлах с боковым отводом воды в качестве водозаборного сооружения применяют шлюз-I регулятор.

Боковые водозаборы характеризуются компоновкой, в которой ось шлюза-регулятора расположена под прямым или тупым углом к фронту водосбросной плотины (рис. 24.3). Обычно угол в боковых водозаборах не превышает 130–140. При боковом отводе воды возникает поперечная циркуляция с направлением донных струй, а следовательно, и наносов к водозаборным отверстиям. Чем больше будет коэффициент водозабора, тем активнее проявляется поперечная циркуляция.

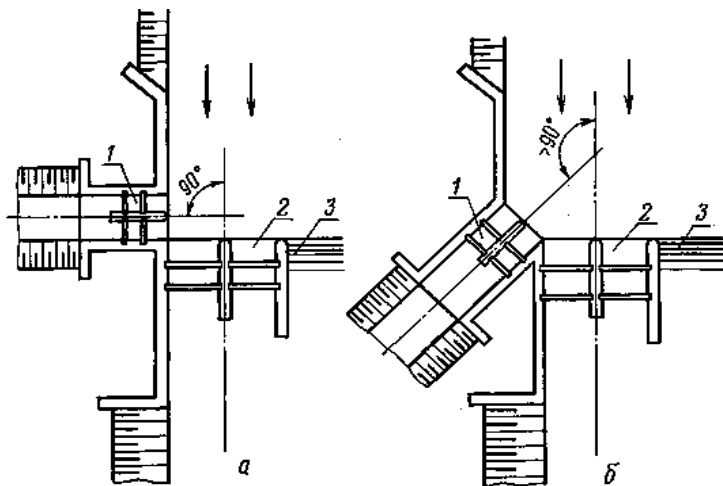


Рис. 24.3. Схемы размещения боковых водозаборов в узле
а – под прямым углом; *б* – под тупым углом; 1 – водозаборное сооружение – шлюз-регулятор; 2 – промывные отверстия плотины; 3 – водосбросная плотина

Тема 25. ОТСТОЙНИКИ

25.1. Общие сведения об отстойниках

Поток, насыщенный взвешенными наносами, поступает через водозаборные сооружения в канал с мутностью, соответствующей мутности речной воды. Так как скорости в канале обычно меньше скоростей в реке, взвешенные наносы частично осаждаются, происходит так называемый процесс заиливания каналов и как следствие этого снижение их пропускной способности. Для предотвращения заиливания каналов устраивают отстойники, представляющие собой бассейны больших размеров, в которых при движении потока с малыми скоростями и часть наносов осаждается, а вода, как принято говорить, осветляется. Отсюда и задача отстойников состоит в осветлении воды и выпуске ее в канал с мутностью, при которой оставшиеся наносы транспортируются во взвешенном состоянии.

Отстойники, расположенные вблизи места забора воды из реки, называют головными, а отстойники, устраиваемые вдали от водозабора на магистральных каналах, а также на каналах младшего порядка, – внутрисистемными.

Для очистки отстойников от наносов используют три основных способа: механический, гидравлический и комбинированный.

При механической очистке используют землеройные механизмы, например, экскаваторы. Вынутый грунт размещают в кавальеры рядом с отстойником. При больших объемах очистки требуются значительные площади для складывания вынутого грунта. Эти площади приходится изымать из сельскохозяйственного оборота, а рост кавальеров в высоту значительно осложняет производство работ.

При механическом способе очистки отстойников от наносов применяют также гидромеханизацию. Но такой способ очистки требует специальных устройств для ввода в отстойник землесосных снарядов. Вместе с тем вынутый грунт при этом способе можно укладывать на любых непригодных к освоению земельных площадях или гидромассу перемещать по трубопроводам и сбрасывать в водоток, например, реку, из которой происходит забор воды в отстойник.

Гидравлический способ удаления отложившихся наносов из отстойника – наиболее совершенный. Здесь не требуются какие-либо механизмы, но применение его возможно только при условии создания скоростей, достаточных для перемещения гидромассы к месту ее выпуска.

При комбинированном способе очистки отстойников используют как механизмы, так и гидравлическое удаление наносов. Вначале обычно применяют гидравлическую очистку, а на участках отстойника, где скорость недостаточна для смыва наносов, используют механизмы.

25.2. Простейшие типы отстойников

Для предотвращения заиливания каналов устраивают отстойники, представляющие собой бассейны больших размеров, в которых при движении потока с малыми скоростями и часть наносов осаждается, а вода, как принято говорить, осветляется (рис. 25.1). Отсюда и задача отстойников состоит в осветлении воды и выпуске ее в канал с мутностью, при которой оставшиеся наносы транспортируются во взвешенном состоянии.

Однокамерные отстойники представляют собой бассейн, последовательно подсоединенный к каналу (рис. 25.1, а). Осажденные наносы из отстойника удаляются механическим способом. Недостаток их в том, что на время удаления наносов вода в канал на поступает.

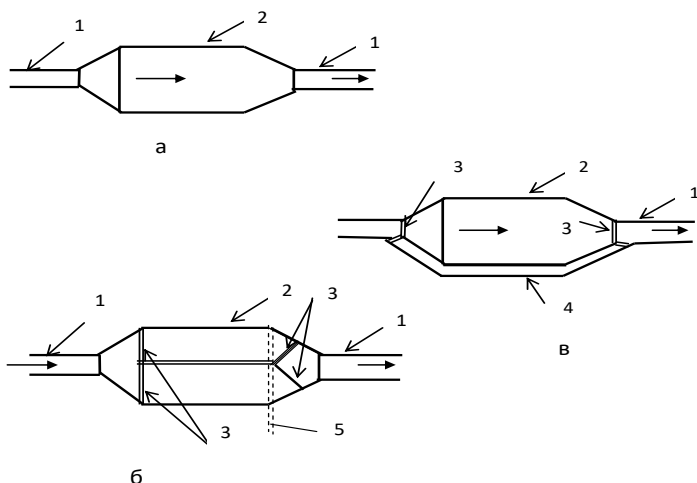


Рис. 25.1. Простейшие камерные отстойники:

а – однокамерный; *б* – двухкамерный; *в* – однокамерный с обводным каналом;
 1 – канал; 2 – камеры; 3 – затворы; 4 – обводной канал; 5 – промывной канал

Если по условиям эксплуатации перерыв в подаче воды не допустим, то параллельно отстойнику строят обводной канал (рис. 25.1, *в*).

Устройство двухкамерных отстойников (рис. 25.1, *б*) позволяет обеспечить подачу воды потребителю в соответствии с графиком водопотребления. При промывке или ремонте одной камеры работает другая и в канал поступает вода с расчетной мутностью.

25.3. Камерные отстойники с периодической и непрерывной промывкой

Отстойник с периодической промывкой.

Здесь рассматривается отстойник с периодической промывкой только одного типа. Отстойник используется для осаждения сравнительно крупных фракций взвешенных наносов – 0,20–0,25 мм и крупнее. Такие фракции наносов в открытых грунтовых каналах без одежды, как правило, не перемещаются, поэтому отстойник располагают в гидроузле или в незначительном удалении от него (рис. 25.2).

Отстойник с периодической промывкой работает в два такта. В первом более продолжительном по времени, происходит осаждение части

взвешенных наносов из потока воды, поступающего из реки, и одновременно подача осветленной воды потребителю. Во втором такте отложившиеся наносы из отстойника удаляются, подача воды в канал из промываемой камеры прекращается.

Как правило, очистку отстойника с периодической промывкой выполняют гидравлическим способом, с самотечным смывом потоком воды при повышенных скоростях. При этом гидросмесь (пульпа) по водоводу сбрасывается в нижний бьеф гидроузла или понижения местности.

Продольный уклон камер отстойника необходим для создания повышенных скоростей потока при гидравлическом смыве наносов. Уклон камер может быть прямым (рис. 25.2, а) и обратным (рис. 25.2, б).

Отстойники с обратным уклоном сложнее, но они предпочтительней, так как объем отложившихся наносов в них будет больше.

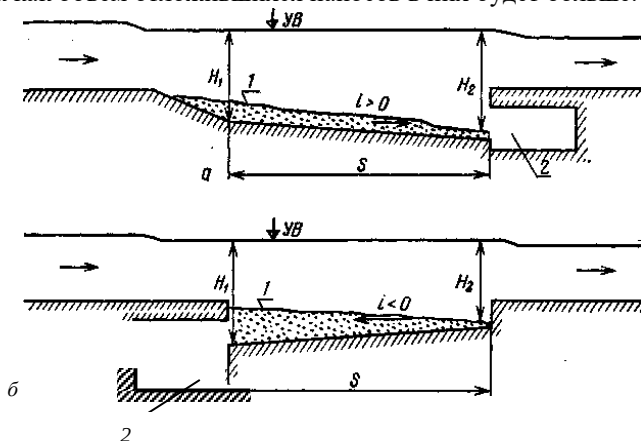


Рис. 25.2. Схемы отстойников (продольный разрез):

- а – с прямым (положительным) уклоном;
- б – с обратным (отрицательным) уклоном;
- 1 – отложившиеся наносы;
- 2 – промывное отверстие

Отстойники с непрерывной промывкой (рис. 25.3).

Рассматриваемый тип отстойников применяют для осаждения сравнительно крупных фракций взвешенных наносов 0,20–0,25 мм и крупнее. Условия его применения такие же, как и рассматриваемого ранее

отстойника с периодической промывкой. Выполняют его однокамерным и многокамерным и размещают как в составе водозаборного гидроузла, так и в некотором удалении от гидроузла.

Особенность работы отстойников с непрерывной промывкой состоит в том, что одновременно с осаждением и удалением взвешенных наносов происходит подача осветленной воды потребителю. Глубина воды в таких отстойниках постоянная, но режим потока неравномерный вследствие изменения расхода по длине камеры при отборе части его на промывку.

Особенность этих отстойников заключается также в том, что они не имеют мертвого объема для осаждения наносов и длина камер у них меньше длины камер отстойников с периодической промывкой.

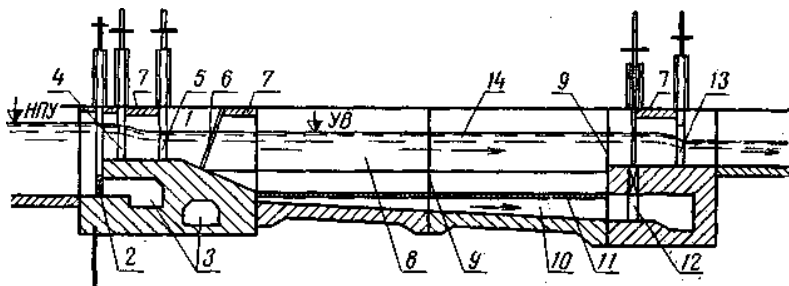


Рис. 25.3. Продольный разрез по отстойнику с непрерывной промывкой, расположенному в водозаборном узле:

- 1 – входной шлюз-регулятор; 2 – затворы, перекрывающие промывные отверстия;
- 3 – промывные отверстия; 4 – ремонтные затворы входного шлюза-регулятора;
- 5 – основные затворы; 6 – решетка; 7 – служебные мостики; 8 – камеры отстойника;
- 9 – деформационные швы; 10 – галерея; 11 – решетка, перекрывающая галерею;
- 12 – затворы промывного шлюза-регулятора; 13 – затворы выходного шлюза-регулятора;
- 14 – уровень воды в камере во время осаждения наносов

Отстойник рассматриваемого типа состоит из тех же частей, что и отстойнике периодической промывкой. Это сопрягающие участки, входные и выходные шлюзы-регуляторы, камеры, промывные устройства и промывной водовод, примыкающий к ним. Конструкции этих частей будут такие же, как и у отстойника с периодической промывкой. Особенность будет только в конструкции камер и промывных устройств, которые и будут рассмотрены далее.

Тема 26. РЕГУЛИРОВАНИЕ РУСЕЛ, БОРЬБА

С ЗАТОПЛЕНИЯМИ ТЕРРИТОРИЙ, ВОДНОЙ ЭРОЗИЕЙ ПОЧВ И ОВРАГООБРАЗОВАНИЕМ

26.1. Общие сведения о воздействии потоков на русло

Под русловым процессом принято понимать обширный круг явлений, объединяющих создание и последующие переформирования естественных русел и пойм под действием текущей воды. Недоучет русловых деформаций при гидротехническом строительстве ведет к резкому сокращению сроков безаварийной эксплуатации сооружений.

Можно назвать три главные формы речных русел:

1) прямолинейные слабоизогнутые однорукавные русла; в этих руслах *побочны* (массивы наносов, причлененные к берегам) располагаются в шахматном порядке, т. е. поочередно: то у левого, то у правого берега;

2) извилистые или меандрирующие русла;

3) разветвленные русла.

Особенность меандрирующих русел – процесс развития и отмирания излучин (меандров) меженного русла. Они бывают *свободного меандрирования*, когда процесс развития излучин, их прорыва и спрямления русла происходит в широкой речной долине и протекает достаточно быстро во времени; *незавершенного меандрирования*, когда указанный процесс протекает медленнее и излучина русла может занять свое предельное положение (в виде петли) весьма редко; *ограниченного меандрирования* – в узких долинах, когда прорыва петель (излучин) не происходит, а просто русло синусоидального очертания в плане медленно смещается вниз по течению, почти не меняя формы.

Особый интерес представляет собой речная пойма (часть дна долины, примыкающая к речному руслу и затапливаемая полыми водами), формируемая под влиянием плановых перемещений русла.

В потоке существуют две качественно различные формы движения наносов:

1) более крупные и тяжелые частицы (*донные наносы*) перемещаются по дну в виде гряд в результате перекачивания или перебрасывания (сальтации) под действием гидродинамических ил, проявляющихся в придонном слое;

2) мелкие частицы (*взвешенные наносы*) находятся в потоке на разных уровнях и в таком состоянии могут по весьма ложным извилистым, неправильным траекториям переноситься на большие расстояния. Они

или смешиваются донными наносами, или оседают на дно в областях слабых течений и застойных зонах, образуя слоистый наилок. Деление наносов на донные и взвешенные весьма условно.

К источникам образования наносов в реках можно отнести водную эрозию в широком смысле этого слова. Различают два ее вида:

1) *склоновая* (внеусловная водная эрозия на водосборной поверхности), которая в свою очередь делится на два подвида – плоскостной смыл и линейная эрозия;

2) *русовая*, при которой наносы поступают в русло реки в результате русловой деятельности потока (размывы берегов и дна русла, обрушение берегов при их подмыве, размывы поверхности поймы и т. п.). Объемная масса наносов принимается обычно равной $2,65 \text{ т/м}^3$.

Отложения наносов и движущиеся наносы обычно представляют собой смеси частиц разного размера. содержание частиц различной крупности в данной смеси характеризуется ее кривой гранулометрического состава. Для большинства наших рек характерно подавляющее преобладание расхода взвешенных наносов над расходом донных наносов и преобладание донных наносов над взвешенными в отложениях.

Воздействие взвешенных наносов на русловые деформации практически неувеличиваемо, однако влияние этих наносов на деформации поймы огромно.

26.2. Регуляционные сооружения и материалы

Накопление большого количества снега на водосборных площадях, обуславливает при его таянии весной интенсивный процесс элементарного (первичного) стока, особенно укоренный на водосборных площадях большими уклонами. Такого же характера сток наблюдается на водосборе в период обильного выпадения осадков в виде дождя. Ускоренный процесс первичного стока приводит к сильным паводкам в реках и, кроме того, к крайне нежелательным явлениям на водосборе:

а) разрушению почвенного покрова, смыву почвы и даже смыву верхнего слоя грунта;

б) выщелачиванию почвы, т. е. растворению и выносу из почвы ценных минеральных солей;

в) развитию отрицательных форм рельефа (рытвин, оврагов, ущелий и пр.);

г) выносу мытого грунта в речные долины или водохранилища; д) обмелению рек, заилению водохранилищ (как следствие всех предшествующих факторов);

е) уменьшению меженного питания рек.

Перераспределение первичного тока, приводящее к уменьшению объема поверхностного стока благодаря переводу части тока в подземный путем усиления просачивания воды в грунт, к замедлению процесса тока во времени (что вытекает из предыдущего) и к закреплению поверхности водосбора, должно обеспечиваться *регуляционными мероприятиями* на водосборе, которые подразделяют на три группы; *агротехнические, культуртехнические и гидротехнические*.

Агротехнические мероприятия – создание и поддержание структуры почвы (увеличение ее водопроницаемости) соответствующей обработкой ее и применением севооборотов, вспашкой поперек, клона (вдоль горизонталей) для задержания стекающей воды, нарезкой по горизонталям широких и глубоких бессточных борозд, установкой щитов и организацией лесных полос (для негозадержания).

Культуртехнические мероприятия предназначены для улучшения культурного состояния поверхности водосборных площадей – обеспечение сохранности тонкого растительного покрова от разрушения (вытапывания) при выпасе скота, залужение обнаженных склонов; облесение склонов.

Гидротехнические мероприятия:

а) создание верховых водохранилищ по склонам, что особенно важно для лесостепной и степной зон, где малая залесенность и ускоренный поверхностный сток усиливают процессы водной эрозии;

б) возведение водозадерживающих валов;

в) террасирование склонов – разбивка их поверхности на систему горизонтальных или очень пологих террас путем устройства ступеней или с помощью валов;

г) устройство безуклонных каналов с посадкой деревьев и кустарников.

Работы по регулированию русел, осуществляемые обычно на значительном протяжении реки, требуют большого количества материалов, как недорогих местных, пригодных к употреблению без особой предварительной обработки (грунтов, камня, хвороста, кольев, жердей и др.), так и индустриального характера: пиленого леса, металла, цемента и т. п.

Из недорогих материалов применяют простейшие конструкции по креплению откосов и русел такие как легкие фашины, прутяные канаты, тяжелые фашины. *Прутяной канат* – это разновидность легких фашин: он несколько тоньше в поперечнике, но длина его может быть очень большой. Для него пригоден только прямой гибкий, свежей рубки, ивовый хворост. Применяют прутяной канат для соединения отдельных элементов хворостяных сооружений и изготовления хворостяных тюфяков. Разновидностью тяжелых фашин являются *туры* (плетеные из хвороста цилиндрические корзины) и *карабуры* – цилиндрическая конструкция, напоминающая рулет (по натянутой на земле через 0,5 м проволоке укладывают хворост или камыш слоем 20–25 см, затем солому слоем 5–10 см, затем гальку или дерн либо грунт слоем 10–25 см, после чего все это свертывают в виде рулона и стягивают оставшимися концами проволоки).

Легкие тюфяки – это две сетки из прутяных канатов с ячейками 0,8–0,9 м, уложенные одна над другой и стянутые в узлах ячеек. Если между верхней и нижней сетками канатов укладывают три – четыре слоя хвороста во взаимно перпендикулярном направлении, то получают *хворостяной тюфяк*, а если легкие фашины, то – *фашинный тюфяк*. Размеры легких тюфяков: ширина 8–15 м, длина 30–60 м и более, толщина 0,5–1,5 м. После установки тюфяка на место его загружают (по периметру) камнем или мешками с грунтом. На 1 м² площади тюфяка толщиной 0,5 м требуется 0,12–0,16 м³ грузочного материала.

Тяжелые тюфяки изготавливают из легких следующим образом. После укладки легкого тюфяка на место в его тело в узлах ячеек забивают колья и по ним делают плетневые клетки, которые заполняют камнем.

Хворостяные покрытия – это один–два слоя хвороста, уложенных на место, прошитых по диагоналям и периметру проволокой, а затем покрытых металлической сеткой с каменной пригрузкой. Сетку связывают с покрытием. Могут быть покрытия из одного ряда фашин (маты), скрепленные проволокой с тросами, натянутыми через 2–2,5 м.

Хворостяная выстилка делается из слоя хвороста толщиной 10–20 см; она может быть сделана также из легких фашин. Поверх выстилки в поперечном направлении к хворосту через 0,6–1 м друг от друга кладут прутяные канаты, пришиваемые к грунту кольями с зацепкой.

Каменно-хворостяная выстилка – это перемежающиеся слои хвороста и камня (или гальки) с уложенными поверху прутяными канатами, прибитыми к нижним слоям выстилки.

Плетневые заборы представляют собой ряды кольев, забитых в грунт на (1,2–1,8) *h* (здесь *h* – глубина потока), с заплеткой из хвороста.

Они могут быть однорядными, с подкосами и двухрядными; иногда для предотвращения подмыва в основание кладут хворостяную выстилку.

Фашинная кладка весьма широко распространена при выправительных работах.

Сипаи представляют собой пирамиды из трех–четырёх бревен ($d = 10...18$ см), пластин или четвертин («ног»), связанных сверху проволокой, с обвязкой из жердей, соединенных с «ногами» также проволокой; на обвязку кладут решетчатый пол, а на нее – хворост, на который насыпают пригрузку. Под давлением пригрузки сипай прочно садится на дно потока. Из сипаев делают береговые опояски (один или иногда два ряда сипаев), буны, дамбы и поля шероховатости (в последнем случае сипай располагают в шахматном порядке).

Бетонные и железобетонные конструкции используют в качестве монолитных, опускаемых на дно укрепляемого участка, или в виде сборных элементов, монтируемых на месте укладки, или в виде плит, тюфяков из плит, тетраэдров, тетраподов и др. Это наиболее дорогие сооружения из перечисленных.

Ряжи деревянные или из бетонных (железобетонных) элементов используют при возведении особо ответственных сооружений.

Металлическая сетка, применяемая весьма широко, выполняется из мягкой оцинкованной проволоки ($d = 2..3$ мм) с квадратными или шестиугольными ячейками размером от 2 до 50 см. Сетка с мелкими ячейками служит для защиты от вымыва гравелистых, галечных и крупно-песчаных грунтов; при защите от вымыва мелких грунтов сетку загрузают хворостом.

26.3. Борьба с затоплением территорий, эрозией почв и оврагообразованием

Наводнение – это затопление паводковыми водами больших территорий – является в ряде случаев настоящим стихийным бедствием. Массы воды, поступающие в русло и на пойму при выпадении ливней на водосборе или при интенсивном таянии снега и льда (в верховьях горных рек), обладают огромной разрушительной силой. Особенно катастрофический характер носят наводнения на южных реках, где водосборные площади имеют большие уклоны. На равнинных реках при наводнении затоплению подвергаются поймы с сельскохозяйственными угодьями, постройками и пр.

К мероприятиям по защите прилегающих к реке территорий от наводнения относятся: а) *обвалование* – ограждение защищаемого участка системой дамб (валов); б) *повышение пропускной способности*

русла – пропуск тех же паводковых расходов при более низких уровнях; в) *уменьшение расхода* на данном участке реки (разгрузка русла) с помощью разгрузочного канала или регулированием паводкового стока (создание водохранилищ).

Обвалование применяют как для защиты земель от затопления, так и для регулирования и управления водным потоком на поймах. Обвалование бывает *односторонним*, когда защищают земли на одном из берегов, и *двусторонним*, когда дамбы возводят на обоих берегах. Дамбы (валы) подразделяют на *береговые*, размещаемые вдоль речного русла с некоторыми спрямлениями на его извилинах, – работают под напором в период летних паводков в течение 25–30, иногда 45 дней, во время зимних ледовых заторов в течение 10–20 дней – и *озерные*, возводимые для защиты от затопления отдельных участков прибрежных земель или населенных мест, – работают под напором 2–3 месяца в году и подвержены более интенсивному по сравнению с береговыми дамбами воздействию волнобоя.

Для удаления вод, собирающихся за дамбами (на обвалованной территории), вдоль дамб делают сборные каналы, из которых воды выводят через дамбу в русло по трубе с затвором (во время низких уровней в реке) или с помощью насосов.

Борьба с оврагами. Овраги представляют собой крупные промоины обычно с многими ответвлениями. Образуются они вследствие эрозийной деятельности снеговых и дождевых вод. Наиболее распространены в районах, сложенных рыхлыми, легко размываемыми отложениями (лесами, суглинками и др.). Для оврагов характерно V-образное поперечное сечение крутыми склонами. Овраги – это один из главных источников поступления наносов в реки.

Борьба оврагами заключается в проведении мероприятий по предотвращению их роста. К таким мероприятиям относятся:

- а) регулирование первичного стока на водосборной площади;
- б) устройство нагорных канав для перехвата поверхностного тока на пути к оврагу и устройство сопрягающих сооружений (мощеных лотков, быстотоков, перепадов – ступенчатых или консольных) для обеспечения безопасного спуска этой воды на дно оврага;
- в) укрепление русла водотока, протекающего по дну оврага, донными порогами различной конструкции. Проведение этих мероприятий ведет к прекращению интенсивного роста оврага и к постепенному уплаживанию его склонов под действием выпадающих на них атмосфер-

ных осадков. Рекомендуется искусственно уполаживать с оврагов и закреплять их одерновкой или насаждениями, что позволяет использовать эти склоны в хозяйственных целях.

Тема 27. СУДОХОДНЫЕ И ЛЕСОСПЛАВНЫЕ ПУТИ И СООРУЖЕНИЯ

27.1. Роль водных путей в народном хозяйстве

Водными путями называют водные пространства и водотоки, которые служат для перевозки грузов и пассажиров. В качестве водных путей используют океаны, моря, озера, водохранилища, реки и каналы. Водные пути по отношению к материке можно подразделить на *внешние* и *внутренние*.

К первым относятся моря, океаны и морские каналы. Моря и океаны ввиду больших глубин используют для, судоходства, как правило, в естественном состоянии. Только на подходах к некоторым портам, где глубины недостаточны для прохода судов с большой осадкой, возникает необходимость в создании искусственных участков – подходных каналов. К внешним водным путям можно отнести также такие соединительные каналы между морями и океанами, как Панамский и Суэцкий.

В составе внутренних водных путей преобладают реки в бытовом и зарегулированном состоянии. К ним относятся также водоемы и водотоки, непосредственно с ними связанные, – водохранилища, озера, каналы. Внутренние водные пути подразделяют на *естественные* и *искусственные*.

Режим судоходных рек в свободном состоянии и озер, используемых для судоходства, мало отличается от их естественного режима, поэтому их называют *естественными водными путями*.

Условия плавания на реках в бытовом их состоянии часто не отвечают требованиям развивающегося судоходства. В первую очередь это относится к меженным глубинам. В таких случаях для увеличения глубин проводят дноуглубительные, регуляционные и другие путевые работы. Оптимальную судоходную глубину и, следовательно, объем путевых работ определяют технико-экономическим расчетом.

Другим видом искусственных водных путей являются обходные и подходные судоходные каналы. Использование в качестве подходных судоходных каналов крупных оросительных магистралей сопряжено с рядом сложностей, основная из которых – воздействие на некрепленые

откосы каналов судовых волн. Это накладывает ограничения на скорости движения судов по каналам и вызывает необходимость в систематических эксплуатационных дноуглубительных работах.

Обычно крупные реки разделены водоразделами. Притоки этих рек могут в районе водораздела близко подходить друг к другу, и поэтому для соединения крупных рек чаще всего используют их притоки. Межбассейновые воднотранспортные соединения бывают открытыми и шлюзованными, причем первые можно рассматривать как исключение. Обычно воднотранспортное соединение представляет собой сложный комплекс гидротехнических сооружений, состоящий из судоходных каналов, шлюзов, насосных станций, плотин, дамб. К крупнейшим межбассейновым воднотранспортным соединениям бывшего СССР можно отнести Беломорско-Балтийский канал, канал имени Москвы, Волго-Донской судоходный канал имени В. И. Ленина и Волго-Балтийский водный путь имени В. И. Ленина, которые являются основными звеньями единой глубоководной системы европейской части СССР.

Шлюзование реки представляет собой радикальный способ увеличения глубин. Оно осуществляется путем возведения каскада гидроузла, позволяющего в навигационный период увеличить глубины в реке по сравнению с имевшимися в естественном ее состоянии. Для преодоления судами сосредоточенных перепадов уровней воды в гидроузлах применяют судопропускные сооружения – судоходные шлюзы и судоподъемники.

Общая схема шлюзования реки зависит прежде всего от характера намечаемого использования ее. По этому принципу шлюзование рек можно подразделить на *транспортное*, служащее только для улучшения судоходных условий, и *комплексное*, когда каскад гидроузлов проектируют в интересах целого ряда отраслей народного хозяйства. При транспортном шлюзовании рек исходным условием деления падения реки между гидроузлами является обеспечение заданных судоходных глубин в бьефах при минимуме затрат. Однако в большинстве случаев наиболее целесообразным оказывается комплексное использование водных ресурсов с учетом интересов различных отраслей народного хозяйства – энергетики, мелиорации, транспорта, борьбы с наводнениями и т. д. Расположение гидроузла в этом случае определяется технико-экономическими факторами, учитывающими интересы всех участников комплекса.

27.2. Судоходные и лесопропускные шлюзы

Схема однокамерного шлюза представлена на рис. 28.1. Со стороны верхнего бьефа устроена верхняя голова шлюза с воротами, а в нижнем бьефе – нижняя голова с воротами.

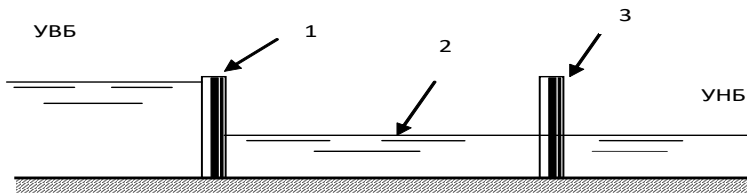


Рис. 27.1. Схема однокамерного шлюза
1 – верхняя голова; 2 – камера; 3 – нижняя голова

Пропуск судов через шлюз складывается из ряда операций, выполняемых в определенной последовательности. Перечень и число этих операций различны при движении судов в одном направлении (одностороннее шлюзование) и при движении судов в разных направлениях (двустороннее шлюзование).

При одностороннем (серийном) движении судов (составов) из верхнего бьефа в нижний через однокамерный шлюз, подготовленный к шлюзованию путем предварительного наполнения камеры и открытия ворот верхней головы, последовательно выполняют следующие операции:

- 1) ввод судна (состава) в шлюз;
- 2) швартовка судна (состава) в шлюзе);
- 3) закрытие ворот верхней головы;
- 4) опорожнение камеры;
- 5) открытие ворот нижней головы;
- 6) вывод судна (состава) из шлюза в нижний бьеф;
- 7) закрытие ворот нижней головы;
- 8) наполнение камеры;
- 9) открытие ворот верхней головы.

По окончании этих операций в камеру вводят следующее судно (состав).

В многокамерном шлюзе при одностороннем движении судов (составов) в приведенном выше перечне операций лишь «вывод судна из шлюза в нижний бьеф» заменится «переводом судна в смежную камеру».

При одностороннем движении судов (составов) из нижнего бьефа в верхний последовательность и число операций остаются теми же с заменой верхней и нижней голов соответственно на нижнюю и верхнюю.

Для пропуска древесины из верхнего бьефа в нижний в составе гидроузла предусматривают лесопропускные сооружения. В зависимости от объема пропускаемой через гидроузел древесины, технологии ее сплава (россыпью или в плотках), колебаний уровней верхнего бьефа и обеспеченности глубин нижнего бьефа могут быть применены следующие типы лесопропускных сооружений: бревноспуски, плотоходы, механические плототаски, шлюзы-плотоходы, плотошлюзы, бревнопогрузчики, а также механическая перевалка леса через гидроузел. Со схемами и деталями таких устройств можно познакомиться в специальных справочниках и руководствах.

При сплаве леса по реке россыпью (модем) древесину через гидроузел обычно перемещают гидравлическим способом путем пропуска отдельных бревен через бревноспуски, представляющие собой узкие лотки прямоугольного или трапецеидального сечения с самостоятельными входами, оборудованными затворами. Лотки бревноспусков располагают либо непосредственно на водосбросных плотинах и примыканиях к ним, либо в обход бетонных сооружений гидроузла.

Уклон лотков бревноспусков без усиленной шероховатости принимают до 1:10, а с усиленной шероховатостью – до 1:5–1:4. Различные типы усиленной шероховатости применяют в лотках для уменьшения расхода воды из водохранилища на эксплуатацию бревноспусков или уменьшения скорости прохождения бревен.

На бревноспусках прямоугольного сечения усиленную шероховатость создают путем размещения на дне лотка поперечных брусков. Такие бруски увеличивают коэффициент шероховатости до 0,022–0,027. В отдельных случаях для предотвращения повреждения поперечных брусков пропускаемыми бревнами по этим брускам набивают продольные бруски.

На бревноспусках трапецеидального сечения усиленную шероховатость создают с помощью трапецеидальных перегородок. По верху перегородок для предохранения их от повреждения бревнами укладывают продольные бруски.

Тема 28. РЫБОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ, ПРУДЫ И СООРУЖЕНИЯ

28.1. Влияние гидротехнического строительства

на воспроизводство рыбных запасов

Реки бывшего Советского Союза имеют важное рыбохозяйственное значение: они обеспечивают воспроизводство 90–95 % мировых запасов осетровых и сиговых рыб и более 60 % запасов лососевых. Проходные рыбы – осетр, белуга, севрюга, лососи, нельма и др. – мигрируют вверх по реке на сотни и тысячи километров и размножаются в русле реки, откладывая икру на каменистые гряды, перекаты и другие участки незаиленного дна. Полупроходные рыбы – судак, сазан, лещ, вобла – размножаются в дельтах крупных рек и в пойменной системе, периодически заливаемой в период половодья; большинство из них откладывают икру на затопленную луговую или водную растительность на мелководьях.

При строительстве на реках гидротехнических сооружений в виде плотин, шлюзов и др. условия воспроизводства проходных и полупроходных рыб резко изменяются. Препраждаются пути миграции проходных рыб на нерестилища, площади их в верхнем бьефе сокращаются; вследствие изменения гидрологического режима реки меняются температурный и уровенный режимы нижнего бьефа; колебания объемов сбросов воды через турбины гидроэлектростанций приводят к колебанию уровней нижнего бьефа и водохранилищ, что влечет за собой гибель отложенной икры; происходит усыхание дельтовых протоков, повышается соленость воды устьевых участков; сокращаются паводковые расходы и не обеспечивается полное и своевременное обводнение нерестилищ полупроходных рыб в низовьях рек.

В связи с этим необходимо проведение комплекса специальных рыбоводно-мелиоративных мероприятий по сохранению рыбных запасов в условиях гидротехнического строительства. В этот комплекс наряду с искусственным разведением рыб на рыбоводных заводах и в нерестово-выростных хозяйствах входят мероприятия по сохранению на определенном уровне естественного воспроизводства, необходимого для поддержания жизнестойкости популяций ценных промысловых рыб.

Степень воздействия гидротехнического строительства на воспроизводство рыбных запасов определяется местом расположения гидроузла на реке. Наибольший ущерб рыбному хозяйству наносят плотины, расположенные в нижнем течении рек, так как они полностью отрезают нерестилища проходных и полупроходных рыб от мест их нагула. Кроме того, при этом вследствие пикового режима работы гидроэлектростанций, приводящего к значительным суточным и недельным колебаниям уровня нижнего бьефа, нарушается гидрологический режим нерестилищ, расположенных в низовьях рек.

Большой ущерб рыбным запасам рек наносят заборы воды на орошение и водоснабжение и особенно.

28.2. Рыбопропускные сооружения и рыбозащитные устройства

Для сохранения естественного воспроизводства проходных и полупроходных рыб в условиях зарегулированных рек необходимо обеспечение их пропуска из нижнего бьефа гидроузлов в верхний путем строительства рыбопропускных сооружений.

Типы рыбопропускных сооружений. Все рыбопропускные сооружения подразделяют по способу перемещения рыб из нижнего бьефа в верхний на две основные группы:

1) *рыбоходы* – сооружения, в которых создается постоянно действующий поток воды со скоростями течения, обеспечивающими рыбе самостоятельный проход из нижнего бьефа гидроузла в верхний;

2) *рыбоподъемники* – сооружения, через которые рыба пропускается в верхний бьеф гидроузла при помощи подъемных механизмов или шлюзованием.

Рыбоходы в основном представляют собой различного типа лотки и каналы со скоростями течения, не препятствующими проходу рыбы против течения. Скорости течения, преодолеваемые рыбой, различны для разных ее видов, поэтому максимальные значения их в рыбоходах принимают в определенных пределах, обычно менее тех, которые, по экспериментальным данным, могут быть преодолены рыбой

Рыбоподъемники имеют большое преимущество перед рыбоходами – преодоление напора в них не связано с затратой собственной энергии рыб-мигрантов. Кроме того, благодаря соответствующему гидравлическому режиму и применению побудительных устройств, становится возможным осуществлять контроль за движением рыб, их видовым составом и численностью на всем протяжении рыбопропускного сооружения от момента входа рыб в рыбонакопитель до выхода их в водохранилище.

Кроме того, имеются и другие способы пропуска рыб через гидротехнические сооружения. Один из них осуществляется с помощью плавающей рыбопропускной установки, состоящей из трех самостоятельных устройств:

1) рыбозаградителя, перекрывающего сечение реки в нижнем бьефе;

2) судна-рыбонакопителя, в которое рыба привлекается путем создания дополнительного потока, забираемого из реки (с помощью насосных установок), проходящего транзитом по лотку судна;

3) самоходного контейнера для приема рыбы из судна-рыбонакопителя (с помощью побудительного устройства) и транспортировки ее в верхний бьеф гидроузла. Опытная проверка первого образца плавучей рыбопропускной установки показала, что надежность ее работы обеспечивается лишь при устройстве рыбозаградителя с высокой стоимостью, что значительно снижает ожидавшийся рыбохозяйственный эффект от ее мобильности.

Для предотвращения попадания скатывающихся личинок и мальков, а также взрослых рыб в водозаборные сооружения, размещаемые на рыбохозяйственных водоемах, необходимо предусматривать рыбозащитные сооружения. Также применяют рыбозащитные и рыбонаправляющие устройства для предотвращения попадания рыб в опасные для них зоны гидроэлектростанции и плотины и направления их к входу в рыбопропускные сооружения.

Для защиты рыб, попавших в зону действия водозаборных сооружений, применяют различные инженерные конструкции, создаваемые с учетом особенностей восприятия различных раздражителей органами чувств рыб: зрением, слухом, обонянием, а также их двигательной активности.

При проектировании рыбозащитных сооружений особенно важно знание плавательной способности рыб (времени, в течение которого рыба может поддерживать определенную скорость движения) и критических скоростей течения (минимальные скорости, при которых рыба сносится потоком), зависящих от образа жизни и возраста рыб, их физиологического состояния, температуры и освещенности воды. Кроме того, необходимо учитывать, что наибольший рыбозащитный эффект может дать лишь комплексное воздействие на различные органы чувств рыб.

Типы рыбозащитных сооружений. Все рыбозащитные сооружения по принципу действия делятся на три группы: механические, гидравлические и физиологические.

Механические рыбозащитные сооружения. Наибольшее применение в нашей стране и за рубежом нашли механические рыбозаградители, так как они эффективнее других рыбозащитных сооружений. Они представляют собой механическую преграду перед водозаборным сооружением.

В зависимости от характера преграды различают фильтрующие и сетчатые рыбозаградители. По способу отведения рыбы выделяют рыбозаградители с рыбоотводом и без рыбоотвода. К первым относятся следующие конструкции: плоская сетка с рыбоотводом сетчатые вращающиеся барабаны с рыбоотводом, бесконечная перемещающаяся лента (сетка Харчева), сетчатые конусы, сетка Мэрфи. Ко вторым относятся плетни, решетки, каменные наброски, дамбы, фильтры различных конструкций, плоская сетка без рыбоотвода, ленточные вращающиеся сетки, сетчатые вращающиеся барабаны без рыбоотвода.

Все механические рыбозащитные сооружения состоят из несущей конструкции, преграждающего устройства, фильтрующих элементов, очистного устройства и подъемно-транспортного оборудования. Наиболее просты в эксплуатации и эффективны *фильтры*. Простейшими фильтрующими устройствами являются укрепленные наброски из хвороста, камней, фильтрующие дамбы из камня. В последнее время созданы различные конструкции кассетных, ряжевых, насыпных рыбозащитных сооружений на водозаборах с расходом до 200 м³/с.

Кассетные фильтры представляют собой эстакаду, в пазы которой вставлены сетчатые кассеты с различным наполнителем: гравием, керамзитом, стеклом, кирпичом (рис. 28.1, *а*). Фильтры промывают при поднятии кассеты на поверхность или обратным током воды и импульсами давлений. Применение фильтрующих сооружений дает высокий рыбозащитный эффект при скоростях течения воды, превосходящих скорость на подходе к фильтру не более чем в 3 раза. Для фильтрующих рыбозащитных сооружений очень перспективны конструкции фильтров из порэласта вследствие его высокой прочности и простоты формования. Порэластовые фильтры обладают высокой пропускной способностью, морозостойкостью в водонасыщенном состоянии, химической стойкостью. Их преимуществами являются малый вес, простота промывки, возможность быстрой замены фильтрующих элементов, невысокая стоимость. При дальнейшем совершенствовании конструкции, использовании новых наполнителей, совершенствовании методов очистки фильтры могут найти широкое применение на водозаборах различной пропускной способности.

Сетчатые рыбозащитные сооружения (рис. 28.1, *б*) различных типов также широко применяют в отечественной и зарубежной практике. При разработке их конструкции следует исходить из следующих положений:

1) путь молоди рыб преграждается сеткой, которая должна непрерывно очищаться в целях обеспечения заданной скорости течения воды;

2) сетка очищается гидравлическим способом – водными струями, без изъятия ее из воды;

3) устройство для очистки сетки действует без механических приводов; энергия потока всасываемой воды используется для вращения сетчатого барабана или флейты.

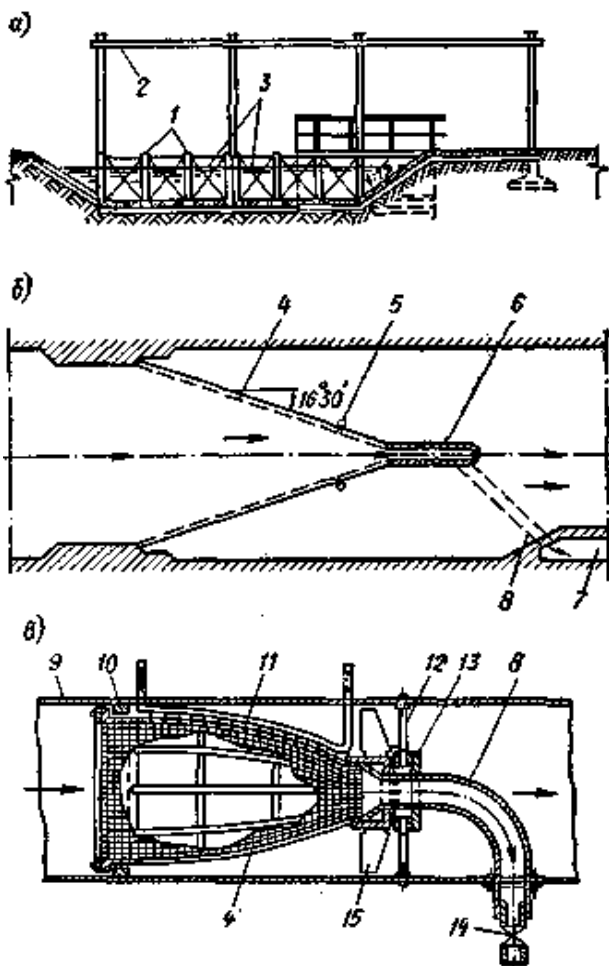


Рис. 28.1. Механические рыбозащитные сооружения:

- а* – кассетные фильтры; *б* – плоская сетка; *в* – сетчатый конус;
1 – эстакада; 2 – монорельс; 3 – сетчатые каскеты;
4 – сетка; 5 – флейта; 6 – рыбонакопитель; 7 – сбросной лоток;
8 – рыбоотвод; 9 – трубопровод; 10 – опорное кольцо;
11 – водоструйная флейта; 12 – спицы для крепления подшипника;
13 – подшипник; 14 – вентиль; 15 – крыльчатка

Для предотвращения попадания в насосы активной молодежи промысловых рыб на ранних стадиях развития скорость течения воды на входе в отверстие сетки принимается равной 0,2–0,25 м/с. Сетка должна быть гладкой и иметь круглые отверстия диаметром 3 мм.

Сетки изготовляют из нержавеющей стали, меди, латуни, фосфористой бронзы, никеля, монель-металла, капрона, нитрона, лавсана. Конструкцию сетчатого рыбозащитного сооружения выбирают в зависимости от места и типа водозабора, расхода воды, требований рыбоохраны, биологии и размеров рыб, обитающих в данном водоеме.

Из сетчатых рыбозащитных сооружений наиболее широко используют *плоскую сетку*. Рыбозащитное сооружение этого типа выполнено в виде железобетонной или металлической эстакады, установленной под углом 15–17° к потоку по прямой линии, V- или W-образно. В пазы эстакады вставлены рамы, обтянутые сетчатым полотном (рис. 29.1, *в*), перед которым устанавливают сороудерживающую решетку. Рыбозащитное полотно очищается водоструйным очистным устройством, состоящим из флейты и насоса, подающего в нее воду. Для очистки сороудерживающих решеток применяют решеткоочистительные машины или грейферы. Рыбозащитное сооружение типа плоской сетки может быть самостоятельным сооружением или конструктивно связано с насосной станцией. Для успешной работы сооружения длина эстакады не должна превышать 50–70 м, так как очистка более длинной конструкции затруднена. Плоские сетки с рыбоотводом широко используют для защиты рыб длиной от 30 мм и больше.

К числу наиболее часто используемых на практике рыбозащитных устройств относятся также сетчатые конусы. Основу, этого сооружения составляет вращающийся сетчатый усеченный конус, установленный в пазовые конструкции вершиной по течению. Боковая сетчатая поверхность конуса состоит из отдельных панелей, укрепленных на несущей конструкции. Вращение конуса обеспечивает электродвигатель или гидромотор. Для очистки наружной поверхности сетки конуса вдоль его образующей установлено неподвижное промывное устройство. Перед

конусом расположена сороудерживающая решетка. Для отведения рыбы используется рыбоотвод. Принцип действия конусного рыбозаградителя: рыба с водой, прошедшая через сороудерживающую решетку, попадает в сетчатый конус, вода профильтровывается и поступает в подводящий канал, рыба вместе с током воды при вращении конуса относится к его вершине и попадает в рыбоотвод.

Тема 29. РЫБОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ГИДРОТЕХНИКА

29.1. Краткие сведения о прудовых рыбоводных хозяйствах

Для обеспечения населения продукцией речной рыбы устраиваются рыбоводческие хозяйства на основе искусственных прудов. Они могут быть полносистемными, рыбопитомными и нагульными.

В состав полносистемного прудового рыбоводного хозяйства, в котором происходит нерест, выращивание молоди и нагул рыбы до товарных размеров, входят пруды различных категорий:

1) *нерестовые* для проведения нереста и подращивания личинок. Площадь каждого пруда 0,1 га, в крупных хозяйствах (более 300 га) до 0,3 га; средняя глубина воды 0,4–0,5 м, наибольшая у водоспуска 1 м. Нерестовые пруды необходимо располагать на не заболоченных участках, покрытых луговой растительностью, вблизи выростных прудов;

2) *мальковые* для подращивания личинок, получаемых из инкубационного цеха, размещенного на площадке хозяйства. Площадь каждого пруда составляет 0,2–1 га, средняя глубина воды 0,8–1 м, максимальная глубина у водоспуска 1,5 м. Мальковые пруды располагают на не заболоченных участках вблизи нерестовых прудов;

3) *выростные* для выращивания сеголеток. Площадь каждого пруда 1015 га, средняя глубина воды 1–1,2 м. Пруды рекомендуется устраивать на участках со спокойным рельефом, покрытых луговой растительностью. Выростные пруды размещают по возможности ближе к нерестовым и зимовальным, чтобы упростить пересадку мальков и сеголеток;

4) *зимовальные* для зимнего содержания сеголеток, производителей и ремонтного молодняка (рыбопосадочный материал). Площадь каждого пруда 0,5–1 га, глубина воды в зависимости от климатических условий 2–2,5 м (непромерзающий слой воды должен быть не менее 1–1,2 м). Зимовальные пруды необходимо располагать вблизи источника

водоснабжения (головного пруда или насосной станции) и ближе к выростным прудам, на не заболоченных почвах;

5) *летние и зимние маточные* для содержания производителей (маточного поголовья) и выращивания ремонтного молодняка. Площади прудов определяются рыбоводными расчетами в зависимости от мощности хозяйства (0,5–1 га); средняя глубина воды 1,3–1,5 м для летних прудов и 2–2,5 м для зимних прудов. Располагать пруды желательно ближе к источнику водоснабжения;

6) *карантинные* для временного содержания вновь поступающих, а также изоляции заболевших рыб. Площадь каждого пруда 0,2–0,4 га, средняя глубина воды 1–1,3 м. Пруды желательно располагать в конце хозяйства, на расстоянии не менее 20 м от прудов других категорий. Карантинные пруды должны иметь изолированное водоснабжение и водосброс;

7) *нагульные* для выращивания товарной рыбы. Нагульные пруды могут быть пойменными и русловыми. В полносистемном рыбоводном хозяйстве нагульные пруды рекомендуется устраивать на обвалованных участках поймы реки.

При строительстве русловых прудов створ плотины выбирают в узком месте поймы реки, чтобы при наименьших затратах на строительство гидротехнических сооружений получить наибольшую площадь пруда. При проектировании нагульных прудов надо стремиться к созданию наиболее продуктивных глубин воды – от 0,5 до 2 м (средняя глубина 1,3–1,5 м). Площади нагульных прудов в крупных хозяйствах принимают по 100 га, в небольших – 20–50 га.

В состав **рыбопитомников** входят пруды тех же категорий, что и в полносистемном хозяйстве, за исключением нагульных прудов.

В состав **нагульного хозяйства** входят только нагульные пруды. Пруды строят в основном русловые, используя небольшие реки, ручьи, овраги и балки, не имеющие развитой поймы. Пруды располагают последовательно один за другим, каскадом. Каждый пруд имеет свою плотину, паводковый водосброс и донный водоспуск.

Количество и площади прудов разных категорий определяют рыбоводными расчетами исходя из мощности хозяйства.

29.2. Гидротехнические сооружения на рыбоводных прудах

Источником водоснабжения всех прудовых рыбоводных хозяйств могут быть реки, ручьи, озера, водохранилища и ключи. Подача воды

на хозяйство может осуществляться через специальный головной пруд (самотечное водоснабжение) или через насосную станцию.

Пруды устраивают *обвалованные* или *русловые*. Обвалованные пруды снабжают водой из магистрального канала. Русловые пруды создают сооружением плотины непосредственно в русле реки.

При проектировании прудов необходимо предусматривать планировку их ложа, засыпку ям и бочагов, сведение леса и кустарника, корчевку пней, засев ложа сельскохозяйственными культурами. Подача воды в каждый пруд и сброс из него должны быть независимыми.

Сооружения для рыбоводных хозяйств проектируют на основе типовых проектов с внесением необходимых изменений и дополнений при привязке к местным условиям строительства.

Рыбоводную специфику имеют в основном земляные дамбы, донные водоспуски, водовыпуски, рыбоуловители и верховины.

Земляные дамбы в зависимости от назначения подразделяют на *контурные* и *разделительные*. Контурные дамбы возводят по границам одного пруда или группы смежных прудов, разделительные – между двумя смежными прудами. Возвышение гребня дамб над отметкой наката ветровой волны на откос принимают для контурных дамб 0,4 м, для разделительных дамб 0,3 м.

Донные водоспуски предназначены для полного опорожнения прудов, перепуска рыбы из прудов в рыбоуловители, регулирования уровня воды и для водообмена. Донные водоспуски на напоры 1,5; 2; 2,5; 3 и 3,5 м с трубами диаметром 30, 60 и 100 см применяют на пойменных нагульных и выростных прудах, на напоры 5, 6 и 7 м с трубами диаметром 100 и 120 см – на русловых прудах. Оголовки и фундаменты водоспуска выполняют из монолитного железобетона, водопроводящую часть – из звеньев железобетонных раструбных труб, входную часть и водобой – из Г-образных железобетонных деталей; понур и рисберма крепятся железобетонными ребристыми плитами.

Водовыпуски предназначены для подачи воды из канала в пруды. Конструкция сооружений разработана из железобетонных сборных деталей: понур и оголовки – из плит; водослив, водобой и рисберма – из ребристых плит; водопроводящая часть – из круглых раструбных труб. На входе в трубу монтируется сетчатое рыбозащитное сооружение, предотвращающее попадание в пруд сорной рыбы.

Тема 30. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ НА РЫБОВОДНЫХ ПРУДАХ

30.1. Устройства для отлова рыбы

Для облегчения и ускорения вылова рыбы из рыбоводных прудов (выростных и нагульных) строят специальное сооружение, называемое *рыбоуловителем*. Рыбу с водой перепускают в камеру рыбоуловителя, где она некоторое время находится и откуда ее затем вылавливают.

Рыбоуловитель состоит из камеры, перегородивающего сооружения с решетками и шандорами, при значительном уклоне сбросного канала – перепада или быстротока и расположен ниже водопроводящей части донного водоспуска или водобойного колодца. Рыбоуловитель обычно делают прямоугольной формы в плане и трапециевидного «поперечного сечения». В начале и конце рыбоуловителя имеются поперечные стенки с пазами для решеток и шандор (рис. 30.1).

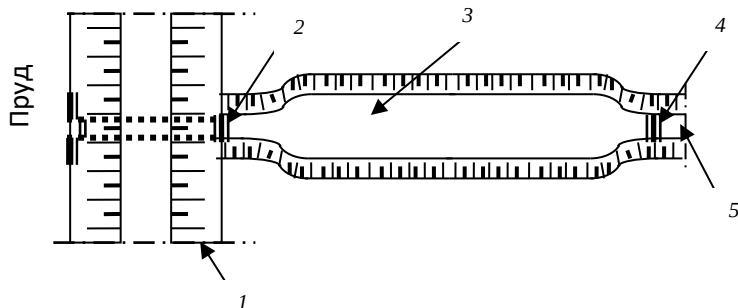


Рис. 30.1. Однокамерный рыбоуловитель:

1 – плотина; 2 – запорное устройство; 3 – камера рыбоуловителя; 4 – сетка;
5 – отводной канал

Рыбоуловитель предназначен для приёма 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 необходимости устраивают дополнительные камеры.

При выборе конструкции рыбоуловителя, схемы его расположения и назначения его правильных размеров целесообразно пользоваться типовыми проектами, разработанными для нагульных прудов площадью 50, 100, 250 и 500 га. По этому проекту предлагаются три схемы расположения рыбоуловителя: параллельно дамбе пруда, на водоотводящем канале и параллельно водоотводящему каналу. 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.

Это очень важно для правильной его эксплуатации, так как при падении наносов объем рыбоуловителя уменьшается, что мешает его нормальной работе.

Дно рыбоуловителя укрепляют бетонированием или 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 пазами для решеток и шандор. При нахождении рыбы в рыбоуловителе менее одного месяца отношение массы рыбы к объему воды должно составлять 1: 4, более одного месяца – до 1: 7 – 1: 10.

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 рыбоуловитель 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.

Для предотвращения ухода товарной рыбы вверх по течению на русловых прудах устраивают специальное *рыбозаградительное сооружение* – верховину. Верховина должна перекрывать все живое сечение

реки, но пропускать бытовой расход воды, не создавая подпора, и находиться в эксплуатации в течение всего весенне-летнего и осеннего периодов. Верховина состоит из двух поворотных ферм, верхнего и нижнего упора для стоек, решеток и служебного мостика (рис. 30.2). Крепление ферм к береговым устоям и между собой осуществляется при помощи верхнего опорного прогона. Против каждой фермы и между ними устанавливают съемные стойки с пазами для решеток. В период эксплуатации решетки периодически снимают и очищают от мусора. Перед началом ледохода верховину разбирают.

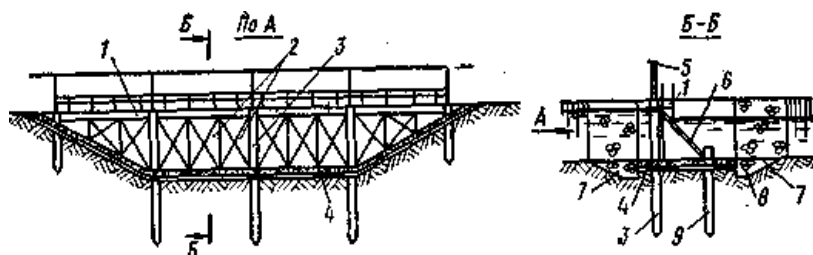


Рис. 30.2. Верховика русловых прудов:

- 1 – служебный мостик; 2 – рыбозаградительные решетки; 3 – ледорезная свая;
4 – флютбет; 5 – тельферный путь; 6 – подкос; 7 – каменная наброска;
8 – обратный фильтр; 9 – подкосная свая пруда

30.2. Рыбохозяйственная мелиорация

Рыбоводные пруды в зависимости от их назначения 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 пруда и подвода ее к донному водоспуску, а также для полного ската рыбы на ложе пруда устраивают рыбосборно-осушительную сеть.

Расположение осушительной системы каналов на ложе прудов зависит от рельефа. Чем спокойнее рельеф, чем меньше ям, котловин на ложе пруда, тем проще расположение осушительной системы каналов.

При спокойном рельефе осушительную систему проектируют по схемам, показанным на рис. 30.3. 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 каналу под углом $45-60^\circ$ и делают их на расстоянии 40–50 м один от другого.

При сложном рельефе, резких понижениях и возвышениях схема расположения осушительных каналов может быть усложнена.

Минимальные размеры поперечного сечения осушительной сети зависят от категории пруда.

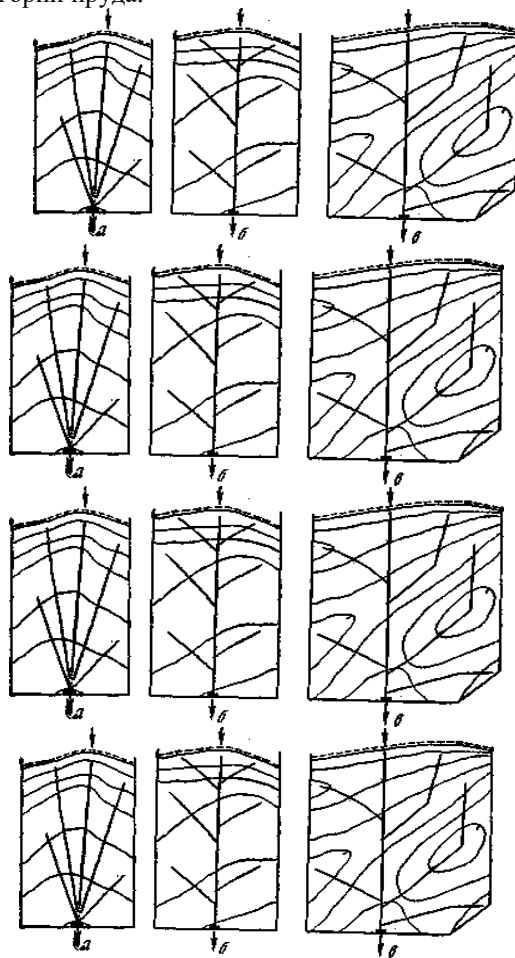


Рис. 30.3. Схема расположения осушительных канав на ложе прудов:

a – лучевое; b – елочное; e – расположение при сложном рельефе

Сбросные каналы отводят воду от донного водоспуска в водоприемник и должны пропускать расчетный расход воды. Обычно им придают уклон 0,002 с таким расчетом, чтобы каналы не размывались. Если уклон получается значительно большим, на трассе сбросного канала устраивают сопрягающее сооружение.

Размеры поперечного сечения сбросного канала определяют гидравлическими расчетами, используя формулы, применяемые при расчете водоснабжающих каналов.

Сбросные каналы часто бывают значительных размеров, поэтому для переезда через них предусматривается устройство мостов и труб.

Тема 31. РЕЧНЫЕ ГИДРОУЗЛЫ, ПРУДЫ И ВОДОХРАНИЛИЩА КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

31.1. Общие сведения о речных гидроузлах

При использовании реки в тех или иных целях иногда приходится создавать несколько сооружений разного назначения, располагая их недалеко друг от друга. Особенно большое число гидросооружений получается в том случае, когда река перекрывается плотиной и имеет комплексное водохозяйственное использование. Из экономических и эксплуатационных условий отдельные сооружений 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 водоисточника – речные, озерные, на каналах. По напору гидроузлы делятся на низконапорные – с напором воды в верхнем бьефе до 10–14 м, средненапорные – с напором 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 зависит от назначения объекта, водоносности источника, величины напора, топографических, геологических и гидрогеологических условий, эксплуатационных требований.

Как правило, гидроузлы и создаваемые ими водохранилища имеют комплексное назначение. Они удовлетворяют требованиям различных отраслей водного хозяйства (мелиорации, рыбного хозяйства, водоснабжения, судоходства, энергетики и т. д.), а также автомобильного и железнодорожного транспорта.

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.

После этого делается компоновка гидроузла. Под компоновкой подразумевают взаимное расположение основных и второстепенных сооружений гидроузла. Она должна обеспечивать такие условия совместной работы этих сооружений, которые наиболее полно удовлетворяют народнохозяйственным и техническим требованиям. Основа выбора рациональной компоновки – технико-экономическое сравнение возможных вариантов. Предпочтение должно отдаваться тому варианту компоновки, который при прочих 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.

В зависимости от назначения гидроузла в состав его компоновки входят водоподпорные, водосбросные, водопроводящие, водозаборные, судопропускные, лесопропускные, рыбопропускные и рыбозащитные, энергетические 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.

31.2. Пруды и водохранилища

Искусственные водоемы различаются по следующим основным признакам:

1. По геометрическим размерам. Это пруды, малые водохранилища, крупные водохранилища. Прудами называют водоемы с полным объемом воды до 1 млн. м³, с площадью зеркала до 1 км². Малое водохранилище – водоем с полным объемом $W_{\text{пол}} = 1...10$ млн. м³, с площадью зеркала 1...2 км². К крупным водохранилищам относят водоемы, у которых $W_{\text{пол}} > 10$ млн. м³, $F > 2$ км².

2. По местоположению водоемы классифицируются 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.

3. По степени аккумуляции и регулированию стока водоемы бывают с годовым регулированием, обеспечивающим сезонное, суточное регулирование; с многолетним регулированием, если наполнение и работка полезного объема происходят в течение нескольких лет.

4. По назначению водоемы подразделяют для рыборазведения, орошения, водоснабжения, благоустройства, судоходства и лесосплава, малой гидроэнергетики, спортивных целей, борьбы с наводнениями и паводками, для комплексных целей.

Прудовой фонд Республики Беларусь в настоящее время составляет около 1500, в том числе примерно 500 в госрыбхозах и немногим более 1000 в колхозно-совхозном секторе. В это количество входят и пруды – копани с площадью зеркала менее 1 га. Более точно назвать эти цифры представляется сложным ввиду того, что пруды находятся на балансе различных ведомств, часть из них строится и реконструируется, а часть выходит из строя по причинам заиления прудов, их зарастания и заболачивания, разрушения плотин из-за небрежности эксплуатации и др.

Следует отметить, что пруды очень неравномерно распределяются по областям РБ. Так в Минской области около 400, в Гродненской – 300, Могилевской и Брестской примерно по 270, Гомельской – 160 и Витебской около 100 прудов. На рис. 5.2. показана густота прудов на 100 км² площади водосбора. По площади водного зеркала действующие пруды республики можно отнести к малым (до 10 га), средним (10,1–25 га) и большим (более 25 га). В основном пруды распространены в долинах малых рек, оврагах и балках, бывших карьерах, а также на месте торфоразработок. Поэтому по характеру размещения их можно разделить на 4 типа: речные, или русловые; овражно-балочные; наливные; карьерные.

Речные пруды – наиболее распространены, чаще всего лентовидной формы. Располагаются в основном в верховьях малых рек, в северной и

центральной частях республики. Длина их в среднем достигает 1 км, а ширина не более 100–150 м.

Овражно-балочные пруды – распространены в основном в местах, сильно подверженных воздействию водной эрозии. В Беларуси этот тип характерен для лесового Оршанско-Могилевского плато. Они имеют форму удлиненного треугольника с основанием у плотины. Длина не превышает 0,5 км, а ширина 150–200 м.

Наливные пруды встречаются очень редко, озеровидной формы. Длина их и средняя ширина в основном одинаковы. Вода различными механическими способами подается из озер, рек, каналов. Нередко эти водоемы находятся на расстоянии 5–6 км друг от друга.

Карьерные пруды располагаются, как правило, на месте торфоразработок или других выработок. Конфигурация их в плане зависит от формы выработки.

В настоящее время на территории Белоруссии действует около 120 водохранилищ различного хозяйственного назначения. В республике преобладают водохранилища речного типа. Наибольшие объемы зарегулированного стока рек водохранилищами приходятся на бассейны Зап. Двины, Немана и Припяти. Наименьшая степень зарегулированности водохранилищами отмечается в бассейнах Зап. Буга, Сожа и Днепра.

В зависимости от полного объема и площади водного зеркала (по В. М. Широкову) все водохранилища Белоруссии делятся на средние (с объемом более 100 млн. м³ и площадью зеркала более 50 км²), малые (10–100 млн. м³ и 10–50 км²) и очень малые (1–10 млн. м³ и площадью зеркала менее 10 км²). В основном водохранилищный фонд республики представлен малыми водохранилищами.

Наряду с отраслевым использованием водохранилища имеют и комплексное назначение, например для рыбного хозяйства и орошения земель, рекреации и энергетики, водоснабжения и рыбного хозяйства и т. д.

Крупнейшие водохранилища Республики Беларусь Вилейское с площадью зеркала 77 км²; Заславское – 27 км²; Солигорское – 23 км²; Любанское – 22,5 км² и др.

Тема 32. РАЗВИТИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

32.1. Лабораторно-теоретические исследования

Несмотря на большие успехи в развитии и практическом использовании теоретических расчетов гидротехнических сооружений, в значительной степени обусловленные широким применением ЭВМ, многие вопросы, возникающие при проектировании этих сооружений, еще не удается решить теоретически с достаточной для целей практики точностью и надежностью. Ввиду этого широкое распространение получили лабораторные исследования гидротехнических сооружений на моделях, позволяющие при надлежащей их постановке с достаточной достоверностью прогнозировать поведение будущего сооружения в натуре и при его проектировании найти оптимальные решения, отвечающие условиям надежности и экономичности.

В лабораториях изучают весьма разнообразные вопросы применительно к гидроузлам и отдельным их сооружениям. Например: отыскание гидравлически рациональных компоновок гидроузлов, обеспечивающих предотвращение значительного попадания наносов в водозаборы, благоприятные гидравлические режимы в русле на подходах к судопропускным сооружениям, отсутствие опасных размывов нижнего бьефа и т. п.; отыскание рациональных конструкций устройств креплений нижнего бьефа (водобоев, гасителей энергии, рисберм) с учетом пульсационных воздействий потока на них и размываемое русло; исследование кавитации и вибрации элементов сооружений (в том числе затворов); исследование русловых процессов и влияния на них регуляционных сооружений; исследование фильтрации в основании сооружений и берегах; изучение температурных полей в плотинах из грунтовых материалов и основаниях и т. п.

Чтобы по данным лабораторных исследований прогнозировать с достаточной достоверностью соответствующие характеристики работы сооружения в натуре (например, значения скоростей потока в нижнем бьефе, напряжений в теле плотины и т. д.), надо знать *законы подобия*, на основе которых проектируются модели, и делается пересчет в натуру результатов опытов, полученных на модели.

Согласно теории подобия, *подобными называются явления, протекающие в геометрически подобных системах, в которых происходят процессы одинаковой физической природы и одноименные величины* (линейные размеры, скорости течения и пр.) *имеют постоянное соотношение*. В соответствии с этим положением для двух рассматриваемых систем (например, для натуре и модели) должны быть постоянными *масштабные коэффициенты (или константы подобия)*. При этом различают подобие *геометрическое, кинематическое и динамическое*.

Геометрическое подобие. Геометрическое подобие будет выполнено, если отношение всех соответствующих линейных размеров двух рассматриваемых систем (модели и натуры) будет одинаковым.

Кинематическое подобие. Это подобие требует, чтобы соответствующие частицы обеих систем совершали геометрически подобные перемещения в промежутки времени, находящиеся в постоянном соотношении. Кинематическое подобие удовлетворяется, если соблюдены требования геометрического и динамического подобия.

Динамическое подобие. Это подобие требует, чтобы соотношения между соответствующими силами, действующими в обеих геометрически подобных системах, должны быть одинаковыми для данных условий. При этом имеется в виду, что силы могут быть разной физической природы, например P и P_1 – силы тяжести, K и K_1 – силы вязкости, Q и Q_1 – силы инерции и т. д.

Модели гидроузлов и рек в свободном состоянии обычно испытывают на специальных *экспериментальных площадках*, иногда в широких гидравлических *лотках*.

Фрагменты сооружений часто исследуют в гидравлических лотках. Устраивают (на площадках) и специальные установки, моделирующие, например, водосброс с воспроизведением участков верхнего и нижнего бьефов и сбросного тракта в виде прозрачной (обычно из оргстекла) трубы (моделирующей туннель) или лотка (при открытом водосбросе). Выполняют модели из различных материалов – бетона, дерева, стали, оргстекла и др. Глубину потока измеряют шпигенмасштабами, иногда поплавковыми и другими устройствами с автоматической записью показаний; скорости – поплавками, гидрометрическими трубками, микровертушками. При измерении мгновенных скоростей (или пульсаций скоростей) используют гидрокинематические жидкие и твердые шарики-индикаторы с применением видеосъемки, частично микровертушки, датчики скорости; последнее время в отдельных случаях используют гидроанемометры, не получающие, однако, широкого распространения; постепенно начинают использовать и лазеры. Осредненные давления измеряют с помощью пьезометров; пульсирующие (или пульсационные составляющие) – специальными датчиками. Волны на моделях создают волнопродукторами.

Расходы воды при гидравлических исследованиях измеряют мерными водосливами, диафрагмами, водомерами Вентури, иногда объемным или весовым способом.

32.2. Натурные исследования

Натурные исследования гидротехнических сооружений позволяют осуществлять контроль за их состоянием в процессе строительства и в период эксплуатации, проверять правильность тех или иных предположений, принятых при проектировании, и точность лабораторных испытаний, проведенных на моделях, корректировать и совершенствовать методы расчета и методы производства работ.

Натурные исследования подразделяют на *контрольные наблюдения* и *специальные исследования*.

Контрольные наблюдения в обязательном порядке проводят на всех гидротехнических сооружениях I–III классов капитальности с целью систематического контроля за их состоянием с самого начала строительства, своевременного выявления тех или иных дефектов в работе, назначения соответствующих ремонтных мероприятий и тем самым предотвращения возможной аварии, а также улучшения условий эксплуатации. К их числу относятся контроль за качеством материала, укладываемого в сооружение, наблюдения за осадками и перемещениями сооружений, за фильтрацией, за трещинообразованием в бетоне и его коррозией, за размывами в русле и другими факторами, непосредственно влияющими на нормальную работу сооружений и их надежность.

Специальные исследования проводят для проверки отдельных проектных положений и решения научных задач. Они предусматривают изучение тех вопросов, которые в настоящее время не могут быть решены достаточно надежно теоретически или экспериментально.

К таким исследованиям относятся, например, определение температурного режима и напряженно-деформированного состояния сооружений, проверка эффективности различных противофильтрационных мероприятий и новых типов креплений откосов каналов и плотин, многие проблемы неустановившегося движения жидкости, а также ряд других вопросов, которые в полной мере могут быть изучены только в натурных условиях на действующих сооружениях. Для проведения специальных исследований в каждом отдельном случае составляют особую программу.

Наблюдения за возводимыми и эксплуатируемыми сооружениями ведут с помощью *контрольно-измерительной аппаратуры* (КИА), которую в зависимости от назначения устанавливают в грунте основания, на поверхности и внутри тела сооружения, а также на прилегающей территории. КИА может быть *съёмной* (устанавливается на поверхности

сооружения, в потернах, колодцах, скважинах) и *закладной* (устанавливается в основании или внутри тела сооружения в процессе его строительства. Свободного доступа к закладным приборам нет, поэтому в большинстве случаев они являются дистанционными – их показания передаются на прибор-приемник, расположенный в доступном месте, по проводам.

Наряду с инструментальными наблюдениями следует проводить и *визуальные осмотры*, позволяющие обнаружить отдельные дефекты или опасные явления в работе гидротехнических сооружений (осадки, подвижки, оползни, трещины, выходы фильтрационных вод на откосы грунтовых плотин или из основания в нижнем бьефе, размывы откосов, русла и берегов и т. д.).

Подготовка и проведение натурных исследований – это сложная и дорогая работа, состоящая из следующих этапов: 1) разработка проекта натурных исследований; 2) разработка конструкции и изготовление контрольно-измерительной аппаратуры; 3) установка аппаратуры в сооружение и организация наблюдений; 4) обработка и обобщение полученных данных.

В проекте натурных исследований в зависимости от класса капитальности сооружения, его конструкции, инженерно-геологических условий, а также условий строительства и эксплуатации определяют состав и объем исследований, типы, число и схемы размещения контрольно-измерительной аппаратуры.

При наблюдениях за бетонными сооружениями определяют общие перемещения (вертикальные и горизонтальные перемещения, углы поворота и прогибы, раскрытие швов и трещин), температуру и влажность бетона и внешней среды, давление воды в порах и швах бетона, фильтрационное давление, деформации и напряжения в бетоне.

При наблюдениях за грунтовыми плотинами определяют вертикальные и горизонтальные перемещения сооружения, исследуют фильтрацию в теле плотины, основании и береговых примыканиях, проверяют качество работы дренажных и противофильтрационных устройств, состояние креплений откосов, определяют деформации экранов и диафрагм из негрунтовых материалов, поровое давление в элементах плотины из глинистого грунта и в глинистых пластах основания.

Состав наблюдений в зависимости от особенностей конструкции, условий эксплуатации и ответственности сооружения может быть ограничен или, наоборот, расширен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нестеров, М. В. Гидротехнические сооружения: учебник / М. В. Нестеров. – 2-е изд, испр. и доп. – Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2014. – 600 с.
2. Нестеров, М. В. Гидротехнические сооружения: учеб. пособие / М. В. Нестеров. – Минск: Новое знание, 2006. – 616 с.
3. Практикум по гидротехническим сооружениям: пособие / М. В. Нестеров [и др.]. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2010. – 124 с.
4. Нестеров, М. В. Гидротехнические сооружения. Проект водохранилищного узла гидротехнических сооружений: методические указания для выполнения курсового проекта / М. В. Нестеров, Т. Н. Ткачева, И. М. Нестерова. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2015. – 88 с.
5. Нестеров, М. В. Гидротехнические сооружения: лабораторный практикум / М. В. Нестеров, Т. Н. Ткачева. – Горки: БГСХА, 2012. – 89 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Тема 1. Общие сведения о гидротехнических сооружениях и условиях их работы	4
1.1. Введение.....	4
1.2. Водные ресурсы и водное хозяйство Республики Беларусь.....	4
1.3. Классификация гидросооружений.....	6
1.4. Пруды и водохранилища.....	8
Тема 2. Проектирование, строительство и условия работы гидротехнических сооружений.....	10
2.1. Особенности и условия работы гидротехнических сооружений.....	10
2.2. Стадии и виды проектирования.....	12
2.3. Влияние гидротехнического строительства и эксплуатации водохозяйственных объектов на окружающую среду.....	14
Тема 3. Основы теории фильтрации через тело, основание и в обход водоподпорных гидротехнических сооружений.....	19
3.1. Общие сведения о фильтрации.....	19
3.2. Напорная и безнапорная фильтрация.....	21
Тема 4. Общие понятия о фильтрационных расчетах.....	22
4.1. Понятие о флютбете гидросооружения.....	22
4.2. Силы, действующие на флютбет.....	23
4.3. Задачи фильтрационных расчетов.....	25
4.4. Допущения при фильтрационных расчетах.....	26
Тема 5. Фильтрационные расчеты.....	27
5.1. Определение основных размеров подземного туннеля.....	27
5.2. Методы фильтрационных расчетов.....	29
5.3. Способы управления фильтрацией.....	35
Тема 6. Фильтрационные деформации грунтов и методы их оценки.....	38
6.1. Виды фильтрационных деформаций.....	38
6.2. Фильтрационные деформации грунтов.....	39
6.3. Фильтрационный и контактный выпор (размыв).....	39
Тема 7. Каналы и гидротехнические сооружения на них.....	41
7.1. Классификация и назначение каналов.....	41
7.2. Гидравлический расчет каналов при равномерном движении воды.....	44
7.3. Гидравлический расчет каналов при неравномерном движении.....	47
Тема 8. Гидротехнический и статический расчеты канала.....	50
8.1. Расчет фильтрации из каналов.....	50
8.2. Расчет устойчивости каналов.....	53
Тема 9. Водорегулирующие сооружения на каналах, назначение, классификация.....	55
9.1. Требования, предъявляемые к водорегулирующим сооружениям и их классификация.....	55
9.2. Открытые регуляторы.....	56
9.3. Трубчатые сооружения.....	63
Тема 10. Водопроводящие сооружения на каналах.....	65
10.1. Общие понятия.....	65

10.2. Акведуки, условия применения, гидравлический и статический рас-	
четы.....	65
10.3. Условия применения и расчет дюкеров.....	70
Тема 11. Сопрягающие сооружения.....	77
11.1. Типы сопрягающих сооружений.....	77
11.2. Конструкция и расчет перепада.....	78
11.3. Условия применения, конструкция и расчет быстротока.....	84
11.4. Консольный перепад.....	87
Тема 12. Общие сведения о грунтовых плотинах и дамбах.....	89
12.1. Грунты.....	89
тин.....	89
12.2. Классификация плотин из грунтовых мате	
лов.....	92
Тема 13. Типы и конструкции грунтовых плотин.....	95
13.1. Требования к грунтовым плотинам и их типы.....	95
13.2. Сопряжение грунтовых плотин с основанием.....	99
Тема 14. Выбор створа, профиля и основных размеров грунтовой плотины.....	10
14.1. Условия для расположения створа плотины.....	10
14.2. Конструирование профиля плотины. Крепление откосов.....	10
14.3. Дренажи грунтовых насыпных плотин.....	10
7	
Тема 15. Фильтрационные расчеты грунтовых	11
тин.....	0
15.1. Задачи фильтрационных расчетов.....	11
0	
15.2. Допущения при расчетах. Расчетная схема.....	11
1	
15.3. Методы фильтрационных расчетов.....	11
3	
15.4. Расчет положения депрессионной кривой и фильтрационного расхода.....	11
3	
Тема 16. Статический расчет грунтовых	11
тин.....	7
16.1. Общие сведения. Расчетные случаи.....	11
7	
16.2. Расчет устойчивости откосов по круглоцилиндрической поверхности	12
скольжения.....	0
Тема 17. Водопропускные сооружения при глухих плотинах.....	12
5	
17.1. Общие сведения о водопропускных сооружениях, назначение	12
и классификация.....	5
17.2. Конструкция и расчет открытого в	12
спуска.....	7
17.3. Устройство и гидравлический расчет трубчатого водоспуска.....	13
0	

17.4.	Башенный	в	13
спуск.....			2
Тема 18. Водозаборные сооружения.....			13
			3
18.1. Понятие о водозаборах и их типы.....			13
			3
18.2. Гидравлические расчеты.....			13
			9
Тема 19. Автоматические водосбросные сооружения.....			14
			1
19.1. Условия применения и типы водосбросов.....			14
			1
19.2. Открытые автоматические береговые водосбросы.....			14
			3
19.3.	Закрытые	автоматические	в
сбросы.....			14
			6
Тема 20. Водосбросы, управляемые		з	15
рами.....			1
20.1. Состав сооружений регулируемых водосбросов.....			15
			1
20.2. Особенности гидравлического расчета.....			15
			3
20.3. Некоторые примеры конструкции регулируемых водосбросов.....			15
			5
Тема 21. Водосливные плотины на скальных основаниях.....			15
			8
21.1.	Профили		15
тин.....			8
21.2. Составные части водосливной плотины.....			15
			9
Тема 22. Общие сведения о механическом оборудовании гидротехнических			16
сооружений.....			2
22.1. Типы механического оборудования.....			16
			2
22.2. Затворы, их применение и классификация.....			16
			2
22.3. Плоские затворы водосливных отверстий.....			16
			4
Тема 23. Различные типы		з	16
ров.....			6
23.1. Сегментные, секторные и другие конструкции		з	16
ров.....			6
23.2. Затворы глубинных отверстий.....			16
			7
Тема 24. Бесплотинные водозаборные сооружения.....			17
			0
24.1. Общие сведения о бесплотинных водозаборных сооружениях.....			17
			0

24.2. Некоторые типы бесплотинных водозаборов.....	17
Тема 25. Отс	17
ники.....	3
25.1. Общие сведения об отстойниках.....	17
25.2. Простейшие типы отсто	17
ков.....	5
25.3. Камерные отстойники с периодической и непрерывной промывкой.....	17
Тема 26. Регулирование русел, борьба с затоплением территорий, водной эрозией почв и оврагообра	17
нием.....	8
26.1. Общие сведения о воздействии потоков на русло.....	17
26.2. Регуляционные сооружения и материалы.....	18
26.3. Борьба с затоплением территорий, эрозией почв и оврагообразованием...	18
Тема 27. Судходные и лесосплавные пути и сооружения.....	18
27.1. Роль водных путей в народном хозяйстве.....	18
27.2. Судходные и лесопропускные шлюзы.....	18
Тема 28. Рыбохозяйственные системы, пруды и соор	18
ния.....	8
28.1. Влияние гидротехнического строительства на воспроизводство рыбных запасов.....	18
28.2. Рыбопропускные сооружения и рыбозащитные устройства.....	18
Тема 29. Рыбохозяйственная гидр	19
ника.....	5
29.1. Краткие сведения о прудовых рыбоводных хозяйствах.....	19
29.2. Гидротехнические сооружения на рыбоводных прудах.....	19
Тема 30. Специальные сооружения на рыбоводных	19
дах.....	7
30.1. Устройства для отлова рыбы.....	19
30.2. Рыбохозяйственная мелиорация.....	20
Тема 31 Речные гидроузлы, пруды и водохранилища комплексного назначен...	20
31.1. Общие сведения о речных гидроузлах.....	20
31.2. Пруды и водохр	20
лища.....	3

Тема 33. Развитие и исследование гидротехнических сооружений.....	20
	5
32.1. Лабораторно-теоретические исследования.....	20
	5
32.2. Натурные исследования.....	20
	7