

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»
Факультет инженерных систем и экологии
Кафедра природообустройства

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой
природообустройства

 О.П.Мешик

« 22 » 12 2022 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

инженерных систем и экологии

 А.А.Волчек

« 22 » 12 2022 г.

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
«ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ»**

для специальности:

1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Составители: Стельмашук С.С., доцент, кандидат технических наук
Дашкевич Д.Н., старший преподаватель

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического Совета
университета 29.12.2022 г., протокол № 3.

рег. № УМК 22/23 - 114

Пояснительная записка

Актуальность изучения дисциплины

«Гидротехнические сооружения» – одна из обязательных дисциплин, которая в наибольшей степени отвечает принципам комплексного университетского образования в сфере водохозяйственного профиля. Курс направлен на формирование у студентов знаний проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений систем водоснабжения и водоотведения, на основе достижений науки и передовых технологий.

Основная задача курса – ознакомление с теоретическими основами проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений, также экологического подхода к использованию водных ресурсов в целях водообеспечения отраслей народного хозяйства.

Цель и задачи дисциплины

Целью преподавания учебной дисциплины «Гидротехнические сооружения» является получение будущими инженерами водохозяйственного профиля знания и навыков, необходимых для проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений, применяемых в системе водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий и населенных пунктов.

Задачи изучения дисциплины:

- изучить состав и конструкции гидротехнических сооружений;
- освоение основных методов расчетов гидротехнических сооружений и уметь применять их на практике.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) объединяет структурные элементы учебно-методического обеспечения образовательного процесса, и представляет собой сборник материалов теоретического и практического характера для организации работы студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов» дневной формы получения образования по изучению дисциплины «Гидротехнические сооружения».

ЭУМК разработан в соответствии со следующими нормативными документами:

- Положением об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденным постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 167 от 26.07.2011 г.
- Положением об учебно-методическом комплексе по учебной дисциплине учреждения образования «Брестский государственный технический университет» № 12 от 31.01.2019 г.
- Учебной программой по дисциплине «Гидротехнические сооружения», утвержденной «14» июля 2020 г., регистрационный номер № УД-20-1-170/уч.

Цели ЭУМК:

– обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;

– организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Содержание и объем УМК полностью соответствуют образовательному стандарту высшего образования ОСВО 70 04 03 «Образовательный стандарт высшего образования. Высшее образование. Первая ступень Специальность 70 04 03 Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов», а также учебно-программной документации образовательных программ высшего образования. Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к современным образовательным технологиям.

Структура электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Гидротехнические сооружения»

Теоретический раздел ЭУМК содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен курсом лекций.

Практический раздел ЭУМК содержит в электронном виде материалы для проведения практических занятий на протяжении одного семестра.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит примерный перечень вопросов, выносимых на зачет, позволяющих определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

Вспомогательный раздел включает учебную программу учреждения высшего образования по учебной дисциплине «Гидротехнические сооружения».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

- при изучении теоретического материала дисциплины, выполнению самостоятельных работ, подготовке к практическим занятиям и зачету, студенты могут использовать конспект лекций и пособия для практической работы;

- практические занятия проводятся с использованием представленных в ЭУМК методических материалов;

- зачет проводится в устном или письменном виде с использованием вопросов, приведенных в разделе контроля знаний.

ЭУМК направлен на повышение эффективности учебного процесса и организацию целостности системы учебно-предметной деятельности по дисциплине «Гидротехнические сооружения». В этом контексте организация изучения дисциплины на основе УМК предполагает продуктивную учебную деятельность.

ЭУМК способствует успешному усвоению студентами учебного материала, дает возможность планировать и осуществлять самостоятельную работу студентов, обеспечивает рациональное распределение учебного времени по темам учебной дисциплины и совершенствование методики проведения занятий.

ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ В КОМПЛЕКСЕ

1 Теоретический раздел

Конспект лекций по дисциплине «Гидротехнические сооружения»

Лекция № 1 Вводная лекция. Водное хозяйство Беларуси.

Лекция № 2 Фильтрация воды под гидротехническими сооружениями.

Лекция № 3 Плотины грунтовые из других местных материалов.

Лекция № 4 Водопропускные сооружения водохранилищных гидроузлов.

Лекция № 5 Каналы и сооружения на них.

Лекция № 6 Русловые процессы и их регулирование.

Лекция № 7 Речные водозаборы.

2 Практический раздел

Электронные методические указания для проведения практических занятий по дисциплине «Гидротехнические сооружения».

3 Раздел контроля знаний

Перечень вопросов к зачету по дисциплине «Гидротехнические сооружения».

4 Вспомогательный раздел

Учебная программа по дисциплине «Гидротехнические сооружения» для студентов специальности 1-70 04 03 «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов».

1 Теоретический раздел
Конспект лекций по дисциплине
«Гидротехнические сооружения»

Лекция № 1

Вводная лекция. Водное хозяйство Беларуси

1. Водные ресурсы и водное хозяйство РБ.
2. Краткие исторические сведения о развитии водохозяйственного строительства.
3. Понятие о гидротехнических сооружениях и их классификация.
4. Особенности и условия работы гидротехнических сооружений.
5. Пруды и водохранилища

1. Водные ресурсы и водное хозяйство Беларуси

Водные ресурсы Земли и ее гидросферу составляют океаны, моря, реки, родники, озера, подземные воды и пары воды. Общий объем этих ресурсов составляет примерно 1,39 млрд. км³, из них 96,4 % приходится на соленую воду, 1,86 % – воду в виде льда, 2,64 % – пресную воду.

Таким образом, запасы пресной воды, столь необходимой для жизни человека, ограничены, и ее надо разумно использовать с учетом все возрастающей в ней потребности.

Республика Беларусь считается средне обеспеченной водными ресурсами. Ведущими направлениями отраслевого использования воды в республике являются: коммунально-бытовое и производственно-техническое водоснабжение, рыбоводство и орошение земель.

В хозяйственном и биологическом обороте интенсивно участвуют поверхностные воды – реки, озера, водохранилища. В Беларуси насчитывается более 20,8 тыс. рек общей протяженностью 90,6 тыс. км. В зависимости от условий года суммарный сток может достигать в очень многоводный год 82,1 км³ или, наоборот, уменьшится в очень маловодный год до 41,6 км³. Примерно 1,5 % территории республики занято озерами и водохранилищами, число которых достигает около 10,8 тыс.

За счет атмосферных осадков в средний по водности год на территорию республики поступает 155,4 км³ воды; из них 119 км³ испаряется, 36,4 км³ уходит на другие территории в виде стока. На территорию нашей республики поступает с соседних территорий 22,8 км³. Таким образом, общие ресурсы поверхностных вод в средний по водности год составляют 56,9 км³. Кроме поверхностных вод Беларусь располагает и подземными водами. Общие эксплуатационные ресурсы подземных вод составляют 44,3 млн. м³/сут, из них используется более 2,7 млн. м³/сут. При общем балансе использования воды из всех источников 4,5 млн. м³/сут подземные воды составляют около 60 %. Распределение поверхностных и подземных вод по территории Беларуси неравномерно. Неравномерное распределение их и в течение года, поэтому приходится прибегать к его регулированию.

Вода, наряду с другими естественными запасами, составляет богатство нашей республики. Использование ее осуществляется водным хозяйством, представляющим собой отрасль народного хозяйства, в задачи которой входит

учет, изучение и комплексное использование поверхностных и подземных вод (включая охрану вод и борьбу с ущербом, причиняемым народному хозяйству наводнениями, селями, а также вопросы водного права).

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

Водное хозяйство включает: гидротехническую (инженерную) мелиорацию (орошение и осушение земель, обводнение пастбищ и сельскохозяйственное водоснабжение); гидроэнергетику; водный транспорт (судоходство и лесосплав); водоснабжение и водоотведение (канализация); использование водных недр (разведение и лов рыбы, добыча солей и пр.); регулирование рек для борьбы с наводнениями и пр.

Водные ресурсы, как правило, используются комплексно с учетом запросов различных отраслей водного хозяйства. Огромное значение при этом приобретают вопросы охраны водных ресурсов от загрязнения отходами промышленности, нерационального их использования и пр.

Повышение эффективности использования огромной площади прудов и водохранилищ, улучшение экологического состояния и освоение естественных водоисточников составляют огромный резерв увеличения товарной рыбной продукции и повышения результативности сельскохозяйственного производства на мелиорированных землях.

2. Краткие исторические сведения о развитии водохозяйственного строительства

Строительство ГТС развивалось в разных странах в соответствии с общим развитием водного хозяйства. Искусство строить ГТС было известно с древнейших времен, причем довольно крупные сооружения создавали уже при рабовладельческом строе. В Египте за 4 тыс. лет до н.э. была построена каменная плотина Кошейн. Относительно сложные сооружения для орошения земель возводились в IX-VIII в.в. до н.э. в Урарту и Хорезме. За 500 лет до н.э. проводились работы по регулированию рек Тигр и Ефрат.

В феодальный период из-за частых войн экономика не могла широко развиваться, гидротехническое строительство свелось к устройству малых сооружений – водяных мельниц, сооружений для водоснабжения городов и замков. Развитие торговли потребовало улучшения судоходных условий рек и в Европе в XVI в. н.э. строят первые судоходные шлюзы. Новый подъем гидротехнического строительства начался в конце XIX - начале XX веков, после изобретения гидравлических турбин и внедрения в промышленность электричества, а также появления бетона и железобетона.

В настоящее время гидротехническое строительство продолжает интенсивно развиваться, чему способствует общий подъем науки и техники. Построены и строятся много выдающихся ГТС. Высота отдельных плотин достигает 200-300 м (высота плотины Вайонт в Италии – 266 м, Нурекской в

Таджикистане – 305 м, Ингурской в Грузии – 271,5 м, Чиркейской в Казахстане – 236 м), объемы работ по гидроузлам достигают нескольких млн. м³ (плотина в Пакистане Тарбела имеет объем грунта 120 млн. м³, а плотина Нью Корнелия Теллина в США – 209 млн.м³, Нурекская в Таджикистане – 58 млн.м³).

В целях освоения природных богатств Сибири началось интенсивное строительство мощных ГЭС – высоких плотин в суровых климатических условиях на крупных Сибирских реках – Оби (Новосибирская ГЭС), Иртыше (Усть-Каменогорская и Бухтарминская ГЭС), Ангаре (Иркутская, Братская, Усть-Илимская ГЭС), Енисее (Красноярская и Саяно-Шушенская ГЭС). Крупные плотины стали возводить на Кавказе (построена земляная плотина высотой около 80 м Мингечаурская ГЭС), Ингурская плотина высотой 271,5 м – самая высокая в мире арочная плотина) и в Средней Азии (иригационные водохранилища Андижанское и Кировское с массивно-контрофорскими плотинами 115 м и 84 с, самая высокая в мире плотина из грунтовых материалов – Нурекская 305 м). Ведутся работы по осушению земель Полесья, Барабинской степи, Прибалтики.

В Беларуси в последние годы построено большое количество прудов, ряд крупных мелиоративных систем и водохозяйственных комплексов: «Любань», «Красная Слобода», «Локтыши», «Селец» и др. Суммарное площадь прудов и водохранилищ отдельных водохозяйственных комплексов составляет 3-5 тыс. га. Действует одна из крупнейших в западном регионе Вилейско-Минская водная система, обеспечивающая переброску стока р. Вилии в водопитающую систему г. Минска. Осуществляется строительство крупных гидротехнических систем и комплексов в бассейне р. Припяти по защите территорий от затопления. При строительстве водохозяйственных комплексов на маловодных источниках впервые в отечественной практике применены водооборотные системы. Принципиальная особенность таких систем заключается в сборе и возврате в водоемы фильтрационных и непроизводственных расходов, что позволяет увеличить производительную мощность объекта и улучшить экологическое состояние водоприемника.

В настоящее время в республике стоит задача, не на мелиорацию земель, а реконструкцию эксплуатируемых водохозяйственных комплексов и мелиоративных систем. Для эффективного их использования необходимы прогрессивные, надежные энерго- и материалосберегающие индустриальные конструкции ГТС.

3. Понятие о гидротехнических сооружениях и их классификация

Отрасль науки и техники по использованию водных ресурсов и борьбе с вредными воздействиями воды при помощи специальных сооружений и оборудования относится к **гидротехнике**. Она включает в себя выбор и обоснование водохозяйственных мероприятий, а также изыскания, проектирование, возведение, эксплуатацию и исследование ГТС. Инженерные сооружения, с помощью которых непосредственно осуществляются

водохозяйственные мероприятия, называют гидротехническими сооружениями.

Наряду с сооружениями, выполняющими какую-либо одну задачу, применяют комплекс ГТС, объединенных по расположению и условиям совместной работы. Такие комплексы называют узлами гидротехнических сооружений (**гидроузлы**). Гидроузлы классифицируются по следующим признакам:

по месту расположения - речные, на каналах, морские, озерные, прудовые;

назначению - водозаборные, энергетические, водно-транспортные, регулирующие сток, рыбохозяйственные, для благоустройства и т. д., а также комплексные.

Гидроузлы бывают безнапорные и напорные. *Напорные* гидроузлы по величине напора подразделяются на низконапорные ($H < 10$ м), средненапорные ($H = 10-50$ м) и высоконапорные ($H > 50$ м).

Гидросистемой или *гидротехническим комплексом* называется комплекс гидротехнических сооружений, объединенных в несколько гидроузлов и имеющих линейные участки (каналы, туннели, участки рек), соединяющие гидротехнические сооружения и гидроузлы, расположенные на значительном удалении друг от друга, но служащие общим водохозяйственным целям. Это могут быть системы водоснабжения, гидроэнергетические, мелиоративные, комплексные и др.

Классифицируются ГТС:

По роду водотока или водоема, на котором они построены, ГТС подразделяются на *речные, морские, озерные* или *прудовые, сетевые* и *подземные*.

По условиям взаимодействия с водной средой и характеру выполняемых функций различают следующие гидротехнические сооружения:

1) *водоподпорные*, которые перегораживают водоток или ограждают водохранилище и воспринимают напор воды. Сюда относятся плотины и дамбы.

Участок водотока, расположенный выше водоподпорного сооружения, называется верхним бьефом, расположенный ниже - нижним бьефом. Разница уровней воды в верхнем и нижнем бьефе называется напором на сооружение;

2) *водопроводящие*, служащие для подачи воды к местам потребления. Сюда относятся каналы, трубопроводы, гидротехнические туннели, лотки и др.;

3) *водозаборные*, служащие для забора воды из водотоков и водоемов;

4) *водопропускные*, предназначенные для сброса излишков воды из верхнего бьефа в нижний (*водосбросы*) и полезных попусков в нижний бьеф для поддержания необходимых санитарных условий в нижнем бьефе, глубин для судоходства и т. д. (*водовыпуски и водоспуски*);

5) *регуляционные*, предназначенные для регулирования взаимодействия потока воды с руслом и защиты берегов от размыва. Сюда относятся струенаправляющие дамбы, берегоукрепительные сооружения и др.

По целевому назначению гидротехнические сооружения разделяют на сооружения общего назначения и специальные. К *сооружениям общего назначения* относятся те, которые используются для различных отраслей хозяйственного комплекса. Это плотины, водосбросы и т. д. К *специальным* относятся сооружения, предназначенные для нужд одной отрасли. Они могут быть мелиоративные (осушительные и оросительные каналы, насосные станции и др.), водно-энергетические (здания гидроэлектростанций, уравнивательные резервуары, деривационные каналы и туннели и др.), лесосплавные, рыбохозяйственные (рыбоходы, рыбоводные пруды), для водоснабжения и водоотведения (водозаборы, насосные станции, каналы, коллекторы, очистные сооружения и др.) и т. д.

По условиям использования гидротехнические сооружения подразделяются на постоянные и временные. *Постоянные* сооружения используются в течение всего периода эксплуатации. *Временные* - только в отдельные периоды, например, во время строительства или ремонта постоянных сооружений.

Постоянные гидротехнические сооружения разделяются на основные и второстепенные. *Основные сооружения* - это такие, разрушение которых приводит к нарушению нормальной работы всего гидроузла. Выход из строя *второстепенных* сооружений может ухудшить условия эксплуатации гидроузла, но не влияет на основные его параметры.

Постоянные гидротехнические сооружения разделяются на четыре класса (I-IV). Класс сооружений устанавливается в соответствии с указаниями СНБ и зависит от значимости сооружения, напора; также принимаются во внимание последствия аварий или нарушений эксплуатации сооружений.

4. Особенности и условия работы гидротехнических сооружений

Гидротехнические сооружения имеют ряд следующих особенностей.

1. Гидротехнические сооружения строятся и эксплуатируются в условиях постоянного взаимодействия с водной средой. Воздействие воды на сооружения может быть механическое, физико-химическое, биологическое.

Механическое воздействие воды проявляется в виде статических и динамических нагрузок на сооружение. Это гидростатическое и гидродинамическое давление воды, давление льда, волновое и фильтрационное давление.

Физико-химическое воздействие воды проявляется в коррозии металлических конструкций, суффозии в грунтах, выщелачивании бетона и др.

Биологическое воздействие связано с жизнедеятельностью имеющихся в воде организмов и проявляется в обрастании водорослями гидротехнических сооружений, затрудняющем их эксплуатацию, а также в коррозии и гниении

конструкций.

2. Гидротехнические сооружения и гидроузлы могут оказывать негативное влияние на прилегающие районы. Так, строительство подпорных сооружений и создание водохранилищ ведет к затоплению больших площадей в верхних бьефах, подтоплениям с последующим заболачиванием в нижних бьефах, нарушению естественных гидрологических режимов прилегающих территорий.

3. Повышенная опасность гидротехнических сооружений, обусловленная серьезностью последствий возможных аварий.

4. Специфика строительства гидротехнических объектов, заключающаяся в необходимости проведения строительных работ в сложных природных условиях, как правило в необжитых районах и при постоянном воздействии водного потока, что требует проведения мероприятий по пропуску строительных расходов.

Основаниями гидротехнических сооружений являются грунты, свойства которых имеют исключительно важное значение для надежности и нормальной эксплуатации этих сооружений. Под воздействием нагрузок, передаваемых сооружениями, в грунтах оснований возникают напряжения, также возможны деформации и осадки. Поэтому проектированию и строительству всегда предшествуют изыскательские работы, целью которых является изучение геологического строения данной местности. Основаниями гидротехнических сооружений могут быть скальные и нескальные породы. К *нескальным* (мягким) грунтам относятся пески (гравелистые, крупнозернистые, среднезернистые и мелкозернистые), супеси, суглинки и глины. *Скальные* основания являются наиболее надежными и позволяют строить гидротехнические сооружения практически при любых напорах. Нескальные (мягкие) грунты обладают большой деформативностью и значительно меньшей прочностью. На них можно строить сооружения напором до 10-30 м. Исключения составляют грунтовые плотины, напор которых на нескальных основаниях бывает до 100 м и более.

5. Пруды и водохранилища

Для аккумуляции воды, регулирования стока и уровней водоисточника в народнохозяйственных целях создаются искусственные водоёмы которые подразделяются по следующим 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. Малые водохранилища – $W_{пол}=1\div 10$ млн. м³ и $F=1\div 2$ км². К крупным водохранилищам относят водоемы, у которых $W_{пол} > 10$ млн. м³ и $F > 2$ км².

2. По местоположению водоемы классифицируют на долинные (русловые), устраиваемые путем затопления русла и долины рек, ручьев, балок; наливные, создаваемые затоплением естественных понижений,

искусственных углублений или участков обвалованной территории; озерные, образуемые путем подпора естественных озер и водоемов.

3. По степени аккумуляирования и регулирования стока водоемы бывают с годовым регулированием и многолетним регулированием.

4. По назначению водоемы подразделяются для рыборазведения, орошения, водоснабжения, благоустройств территорий и др.

Часть водоёма или водотока, примыкающего к водоподпорному сооружению или напорному фронту гидроузла, называют бьефом. Бьеф, расположенный вверх по течению, называют верхним (ВБ), а вниз по течению – нижним (НБ).

По характеру регулирования стока различают водохранилища многолетнего, сезонного (годового), месячного, недельного и суточного регулирования. При многолетнем регулировании в водохранилище аккумулируется сток многоводных лет для его использования в маловодные годы. Наиболее распространено сезонное регулирование, когда аккумулируется сток многоводных периодов года (половодье, дождевые паводки) для его использования в маловодные (межень) периоды, годы. Месячное, недельное и суточное регулирование стока осуществляется чаще всего водохранилищами гидроэлектростанций.

Период аккумуляции речного стока называется наполнением водохранилища, а процесс отдачи накопленной воды - сработкой водохранилища. Наполнение и сработка водохранилища осуществляется в пределах характерных уровней, которые определяются при проектировании любого водохранилища (рис. 1.1).

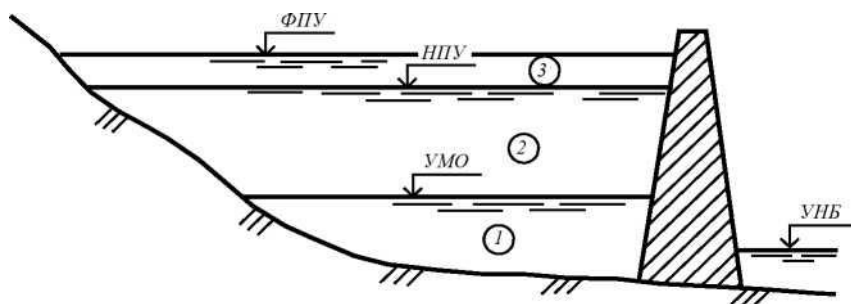


Рисунок 1.1 – Характерные уровни воды в верхнем бьефе

Различают три характерных уровня воды в верхнем бьефе: нормальный подпорный уровень (НПУ), форсированный подпорный уровень (ФПУ), уровень мертвого объема (УМО) (см. рис. 1.1).

Эти три уровня определяют три объема воды в водохранилище:

1) **мертвый объем** - это объем, меньше которого воды в водохранилище не должно быть. Он может быть установлен по различным соображениям, например как запас на заиливание водохранилища, либо по отметке порога водозаборного сооружения и т. д;

2) **полезный объем** - это объем воды в водохранилище, используемой для хозяйственных нужд. Он располагается между НПУ и УМО. В общем случае

отметка НПУ и полезный объем устанавливаются с учетом различных экономических и хозяйственных соображений;

3) резервный объем. Это объем воды между ФПУ и НПУ.

ФПУ - это предельно допустимый уровень, который может установиться на короткое время при пропуске редко наблюдаемого максимального расхода воды через полностью открытые водосбросные отверстия.

Основной характеристикой нижнего бьефа является кривая связи уровней воды и расхода $УНБ = f(Q)$.

Лекция № 2

Фильтрация воды под гидротехническими сооружениями

1. Общие сведения о фильтрационном потоке в грунтах под основанием.
2. Флютбет ГТС и его составные части.
3. Основные законы и расчёты при фильтрации.
4. Основные методы и порядок фильтрационных расчетов ГТС.
5. Приближённые методы фильтрационных расчётов.
6. Фильтрационные деформации грунтов.

1 Общие сведения о фильтрационном потоке в грунтах под основанием

Под фильтрацией понимают движение жидкости в пористых или трещиноватых породах. Область взаимодействующего с сооружением грунтового массива в котором происходит наиболее интенсивный фильтрационный процесс, имеющий практическое значение называют фильтрационной областью. По характеру движения фильтрационный поток может быть:

- установившийся, когда скорость и пьезометрическое давление, а следовательно и расхода не изменяется во времени;

- неуставившийся, когда эти величины изменяются во времени.

Движение фильтрационного потока обусловлено рядом причин:

- разностью давления;
- температурными перепадами;
- разностью электрических потенциалов и т.д.

В водоподпорных сооружениях причиной фильтрации в грунтах основания служит разность уровней в ВБ и НБ. Фильтрационные расчёты выполняются при постоянной разности уровней между бьефами. Для этого принимают расчётную схему с тах значением разности уровней и считают, что фильтрация установившаяся. В основаниях водоподпорных сооружений возникает 2 основных режима фильтрационного потока:

- безнапорный;
- напорный.

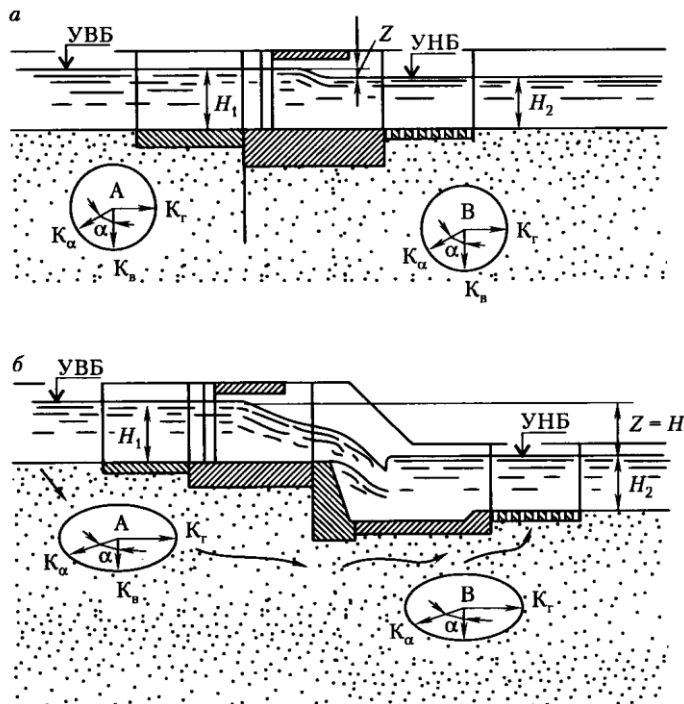


Рисунок 2.1 – Потoki в водоподпорных сооружениях: а – поверхностный поток, в основании однородно-изотропные грунты; б – поверхностный и фильтрационный потоки, в основании однородно-анизотропные грунты; УВБ – уровень верхнего бьефа; УНБ – уровень нижнего бьефа; H_1 – глубина воды в верхнем бьефе; H_2 – глубина воды в нижнем бьефе

Характер их определяется положением уровнем грунтовых вод.

Если он расположен ниже подошвы сооружения, будет безнапорный режим. Если УГВ поднимется до дна НБ, в основании появляется напорный режим. Фильтрационные расчеты водоподпорных сооружений ведут при напорном режиме.

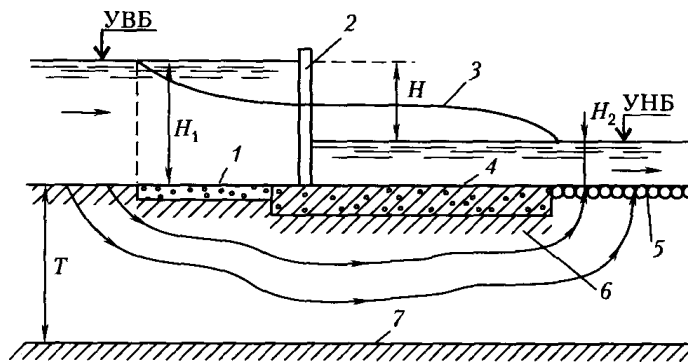


Рисунок 2.2 – Напорное движение фильтрационного потока:
 1 – понур; 2 – затвор; 3 – линия пьезометрических напоров вдоль флюتبета 4 – водобой; 5 – слив (рисберма); 6 – подошва; 7 – водоупор

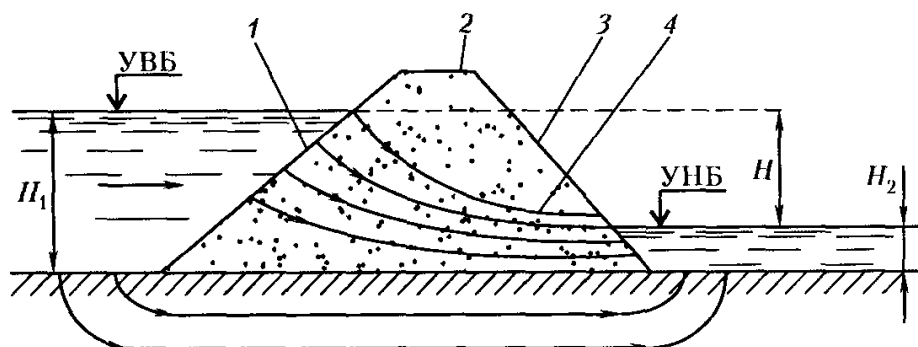


Рисунок 2.3 – Безнапорное движение фильтрационного потока:
 1 – верховой откос; 2 – гребень плотины; 3 – низовой откос; 4 – депрессионная кривая

ГТС строят как на скальных, так и на нескальных основаниях. Теоретические положения напорной фильтрации разработаны только для нескольких грунтов. Важнейшей характеристикой нескальных оснований является водопроницаемость, то есть способность пропускать через себя воду. Показателем водопроницаемости служит коэффициент фильтрации K_f , измеряемый см/с или м/сут. Коэффициент фильтрации изменяется от температуры, давления и зависит от методики определения. В фильтрационных расчетах его обычно принимают постоянным, как осредненное значение. Все грунты являются водопроницаемыми, но степень водопроницаемости их различна. В неоднородном основании на некоторой глубине вода может быть задержана водонепроницаемым слоем грунта (глина, скала). Поверхность такого слоя называют границей водоупора, а сам слой водоупором. За водоупор принимаем ниже расположенный слой грунта, коэффициент фильтрации которого меньше вышерасположенного в 50... 100 раз и более. Иными словами, область фильтрации имеет свои граничные условия. При большой толщине водопроницаемого основания фильтрационную область ограничивают так называемой активной зоной, или условной границей водоупора.

По водопроницаемости все грунты можно разделить на однородные и неоднородные (разнородные). В фильтрационных расчетах для определения однородности грунта используют суммарные (интегральные) кривые гранулометрического состава, в которых частицы расположены по фракциям и выражены в процентах от массы взятого образца. Используя характерные диаметры частиц, определяют коэффициент неоднородности.

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (2.1)$$

где d_{60} - диаметр частиц < которого в грунте содержится 60% по весу частиц (контролирующий диаметр); d_{10} - диаметр частиц < которого в грунте содержится 10% по массе.

При $\eta=1$ – грунт однородный, т.е. все частицы одного диаметра. В строительстве принято считать группы однородными при $\eta \leq 3$, а в остальных случаях – неоднородными.

2 Флютбет ГТС и его составные части

Под флютбетом понимают совокупность частей сооружения, поверх которых протекает вода. В речных сооружениях частями флютбета являются:

1- понур; 2- тело плотины; 3- водобой; 4- рисберма; 5- концевой участок (ковш).

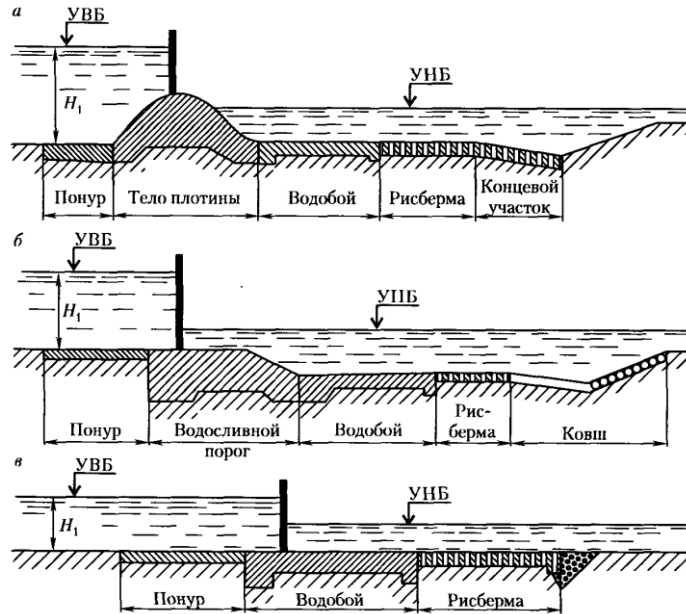


Рисунок 2.4 – Составные части флютбета: а - в высоконапорных и средненапорных сооружениях; б - в сооружениях с низким порогом; в - в гидромелиоративных сооружениях на каналах.

Такой состав флютбета характерен для высокопороговых водосливных плотин. В сооружениях с низкорасположенным порогом вместо тела плотины будет водосливный порог, располагаемый на уровне понура или несколько выше их.

В гидромелиоративных сооружениях на каналах водосливной порог и водобой объединяют в единую массивную плиту. Для таких сооружений считается, что флютбет состоит из трех частей - понура, водобоя и рисбермы. Служит флютбет для безопасного пропуска поверхностного потока из ВБ в НБ и гашение напора фильтрационного потока.

Понур представляет собой водопроницаемое покрытие дна в ВБ и служит для удлинения пути фильтрации и предупреждения размыва грунта поверхностного потока.

Тело плотины воспринимает гидростатическое давление воды и вместе с затвором, расположенным на гребне, создает напор.

Водобой представляет собой водопроницаемую плиту, воспринимающую основное динамическое воздействие поверхностного потока, и защищает русло от размыва.

Рисберма является водопроницаемой частью флютбета и служит для частичного гашения кинетической энергии поверхности потока и выравнивания его скоростей. Для фильтрационного потока рисберма служит местом выхода профильтровавшейся воды через основание сооружения.

Концевой участок встречающийся в речных сооружениях служит для недопущения подмыва рисбермы.

Размеры частей флютбета назначают и определяют из условия пропуска поверхностного потока. Фильтрационные расчеты выполняют при известных размерах флютбета.

Для проведения фильтрационных расчетов необходимо знать подземный контур флютбета, которым называют линию контакта между грунтом основания и подземной частью флютбета. В подземный контур входят контактные линии понура, тела плотин, рисбермы, а также зубья и шпунтовые стенки. Однако в фильтрационных расчетах к подземному контуру относят только водопроницаемые части, на длине которых происходит гашение напора.

Подземный контур вытянутый в одну горизонтальную линию, называют развернутой длиной подземного контура. В подземном контуре различают вертикальные (зубья, шпунты, диафрагмы) и горизонтальные (подошва понура, тела и водобоя) пути фильтрации.

3 Основные законы и расчетные условия при фильтрации

На основе фильтрационных расчетов решают задачи:

1) определяют силы противодействия; 2) проверяют фильтрационную прочность грунта основания; 3) находят потери воды, профильтровавшейся через водопроницаемое основание.

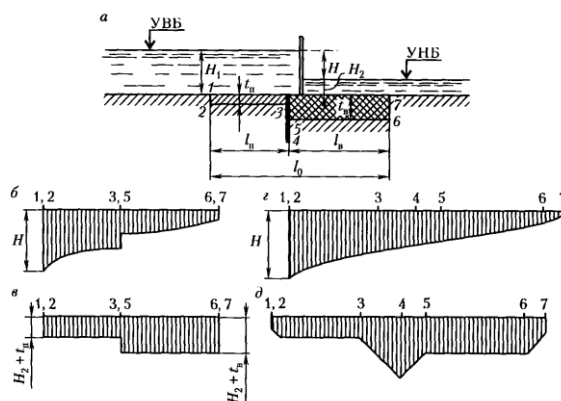


Рисунок 2.5 – Силовое воздействие воды на подземный контур водоподпорных сооружений:

а – 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

Одной из основных величин, влияющих на параметры фильтрационного потока, является длина подземного контура из числа возможных вариантов подземного контура путем сопоставления их принимается наиболее выгодной в технико-экономическом отношении. Такой подземный контур называют рациональным.

Напорный фильтрационный поток характеризуется скоростью движения, удельным и общим расходом, пьезометрическим уклоном (градиент напора), фильтрационным напором (давлением) и противодавлением. Скорость установившегося ламинарного движения фильтрационного потока подчиняется закону Дарси, который служит основой на фильтрационных расчетов грунтов.

$$V = K_{\phi} \cdot I \quad (2.2)$$

где K_{ϕ} - коэффициент фильтрации; I - градиент напора.

Для макротурбулентного движения

$$V \approx K_{\phi} \cdot I^{0.5} \quad (2.3)$$

Фильтрационный расход ламинарного потока

$$Q = W K_{\phi} \cdot I \quad (2.4)$$

где W - площадь сечения фильтрационной области, взятой по нормали к вектору скорости.

При выполнении фильтрационных расчетов сделаны некоторые допущения: 1) принимается плоское движение фильтрационного потока; 2) грунт основания считается однородно-изотропным; 3) заданный напор на сооружение не изменяется во времени, а это значит, что рассматривается установившаяся фильтрация; 4) температура вода не меняется; 5) пористость грунта не изменяется во времени.

4 Основные методы и порядок фильтрационных расчетов ГТС

Существующие методы фильтрационных расчетов можно разделить на три группы.

Первая группа - гидромеханические, основанные на рассмотрении вопроса о движении фильтрационного потока как задачи математической физики.

Вторая группа - экспериментальные методы. Среди них наибольшее распространение получил метод ЭГДА (электродинамических аналогий). При помощи этого метода строят гидродинамическую сетку для любых подземных контуров флюэтета. Применяют также экспериментальный метод исследования фильтрации в грунтовых лотках на моделях ГТС. Наглядную картину движения фильтрационного потока в основании водоподпорных сооружений можно получить в щелевом лотке (гидроинтегратора). Такие исследования основаны на аналогии между фильтрацией в грунте и в щели, образованной параллельными стенками, между которыми дан подземный контур сооружения.

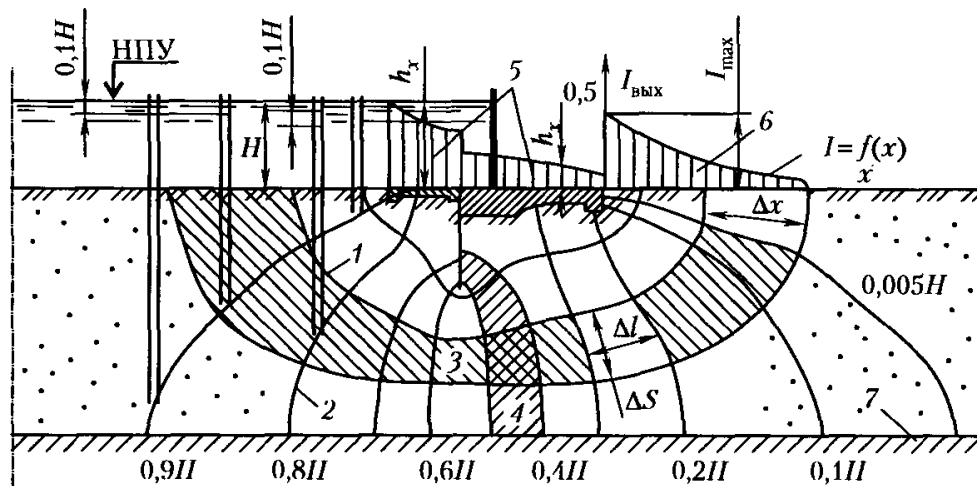


Рис. 2.6. Гидродинамическая сетка.

1, 2 – линии токов и равных напоров; 3 – лента расхода; 4 – пояс давления; 5, 6 – эпюры соответственно фильтрационного противодействия и выходных градиентов фильтрационного потока в нижнем бьефе, построенные по гидродинамической сетке; 7 – водоупор; I – выходной градиент напора

Третья группа - гидравлические методы, основанные на приближенном решении задач. Это наиболее распространенные методы исследования в практических расчетах. В гидравлических методах расчета характер изменения напора между переменными точками флюتبета принимают прямолинейным.

При выполнении фильтрационных расчетов рекомендуется придерживаться следующей последовательности:

- выбрать схему подземного контура и ориентировочно назначить размеры его элементов;
- составить схему к фильтрационному расчету;
- установить активные зоны фильтрации и расчетные положения водоупора;
- построить эпюры фильтрационного и взвешенного давлений;
- определить осредненный и местные максимальные градиенты напора;
- проверить устойчивость грунта основания на общую фильтрационную прочность, суффозию, контактный размыв и выпор, фильтрационный выпор;
- определить расходы фильтрационного потока;
- определить размеры дренажных устройств.

5 Приближённые методы фильтрационных расчётов

1. *Метод удлиненной контурной фильтрации.* В основу метода, разработанного Р.Р.Чугаевым, положено допущение с линейным изменением 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. При определении напоров расчет ведут при $T'_{рас}$, а выходных градиентов при $T''_{рас}$ с использованием виртуальной длины подземного контура $L_{вир}$, определяемой по зависимости:

$$L_{\text{вир}} = L_{\text{д}} + 2 \cdot 0,44 T'_{\text{рас}} \quad (2.5)$$

Графически виртуальная длина получится, если в обе стороны от концов действительной длины развернутого подземного контура отложить отрезки, равные $0,44 T_{\text{ак}}$. Эти отрезки учитывают потери напора на входе и выходе.

2. *Метод Блея*. По методу Блея можно определить допускаемую длину развернутого подземного контура из условия отсутствия фильтрационных деформаций в грунте основания. При этом считают, что наиболее опасный путь фильтрации будет по стыку флютбета с грунтом. Расчетная формула будет:

$$L_{\text{р.к.}} \geq C \cdot H \quad (2.6)$$

где $L_{\text{р.к.}}$ - длина развернутого подземного контура;

C - коэффициент Блея, величина обратная градиенту. В зависимости от грунта он изменяется от 3,5 - 8. По этому методу определяют действительную длину развернутого контура, т.е. $L_{\text{д}} \geq L_{\text{рас}}$. Если действительная длина окажется меньшей, ее увеличивают. После чего строится эпюра напора на развернутом подземном контуре.

6 Фильтрационные деформации грунтов

Фильтрационный поток воздействует на частицы грунта и при некоторых условиях приводит к перемещению их. Такое перемещение называется фильтрационными деформациями, а способность грунта сопротивляться этим деформациям - *фильтрационной прочностью грунта*. Различают безопасные фильтрационные деформации и опасные (сооружение может деформироваться).

Вероятность возникновения фильтрационных деформаций для различных видов грунтов основания и размеров водонепроницаемой части флютбета сооружения различная. Если сила сопротивления частиц грунта его перемещения будет больше фильтрационной силы, то деформаций не будет. Наличие или отсутствие фильтрационных деформаций оценивают по градиентам напора и показателям грунта. В грунтах различают следующие основные понятия, связанные с фильтрационными деформациями: общую фильтрационную прочность грунта основания; суффозию; контактный размыв или выпор (отслоение); фильтрационный выпор.

Общую фильтрационную прочность грунта основания оценивают по формуле:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{ср}}^{\text{кр}}}{K_{\text{н}}} \quad (2.7)$$

где: $I_{\text{ср}}$ - средний градиент напора рассматриваемой области фильтрации;

$I_{\text{ср}}^{\text{кр}}$ - осреднённый расчётный критический градиент напора (для песков $I_{\text{ср}}^{\text{кр}}=0,29$; для средних $I_{\text{ср}}^{\text{кр}}=0,38$; для крупных $I_{\text{ср}}^{\text{кр}}=0,45$; для суглинков $I_{\text{ср}}^{\text{кр}}=0,65$; для глин $I_{\text{ср}}^{\text{кр}}=1,2$);

$K_{\text{н}}$ - коэффициент надёжности (1,05-1,2) определяется по ТКП, в зависимости от сооружения.

По методу коэффициентов сопротивления значение сопротивления $I_{\text{ср}}^{\text{кр}}$ (контролирующий градиент) высчитаем по формуле:

$$I_{\text{ср}}^{\text{кр}} = \frac{H}{T_{\text{расч}} \cdot \Sigma \xi} \quad (2.8)$$

Отсутствие деформации грунта основания обеспечивается условием:

$$I_{\text{ср}}^{\text{кр}} \leq I_{\text{кр}}$$

Суффозия. Различают 2 вида: механическую и химическую.

Механическая суффозия - перемещение мелких частичек грунта через более крупные поры в грунтовом массиве под воздействием фильтрационного потока. Суффозия не может наблюдаться при малых градиентах напора в связных грунтах и в грунтах с коэффициентом неоднородности $\eta=15$.

Химическая суффозия характеризуется растворением содержащихся в грунте водорастворимых солей и выносом их фильтрационным потоком.

Контактный размыв возникает под действием фильтрационного потока движущегося по контакту 2-х слоёв грунта разной крупности.

Контактный выпор – это когда происходит 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 дренаж, или в крупнозернистую прослойку, а также при движении фильтрационного потока через слои обратного фильтра.

Фильтрационный выпор – когда происходит отрыв и перемещение грунта восходящим фильтрационным потоком. Он возникает в месте выхода фильтрационного потока в нижний бьеф, где наблюдаются максимальные градиенты напора.

Отсутствие выпора при фильтрационных расчетах сооружений оценивается условием $I_{\text{вых}} \leq I_{\text{доп}}$. При невыполнении этого условия необходимо снижать фильтрационное давление или выполнить пригрузку грунта в месте выхода фильтрационного потока.

Лекция № 3

Плотины грунтовые и из других местных материалов

1. Общие сведения о грунтовых плотинах и их классификация.
2. Грунты для тела плотины и основания.
3. Выбор створа плотины. Характерные уровни и объемы в водохранилище.
4. Фильтрация в грунтовых плотинах и ее расчет.
5. Расчет устойчивости откосов грунтовых плотин.
6. Общие сведения о плотинах из камня, грунта и камня.
7. Плотины из других местных строительных материалов.

1. Общие сведения о грунтовых плотинах и их классификация

Материалы, добываемые на месте строительства, не требующие планируемых перевозок, называют местными. К этому виду материалов относят и грунты, из которых возводят сооружения или используют в качестве оснований.

Под грунтом понимают естественные образования, расположенные в верхнем слое земной коры, образовавшиеся в результате химического и физического выветривания горных пород. Плотины, возведенные из грунтов, в дальнейшем будем называть грунтовыми. В гидротехнической практике для возведения плотин применяют и камень – местный строительный материал, искусственно получаемый из горных пород путем их дробления. Плотины, возведенные из камня, в дальнейшем будем называть каменными. Плотины, возведенные из грунта и камня, называют каменно – грунтовыми.

Грунтовые плотины представляют собой насыпи в виде трапеции. Их используют как водоподпорные сооружения, не допускающие перелива воды через гребень – глухие плотины.

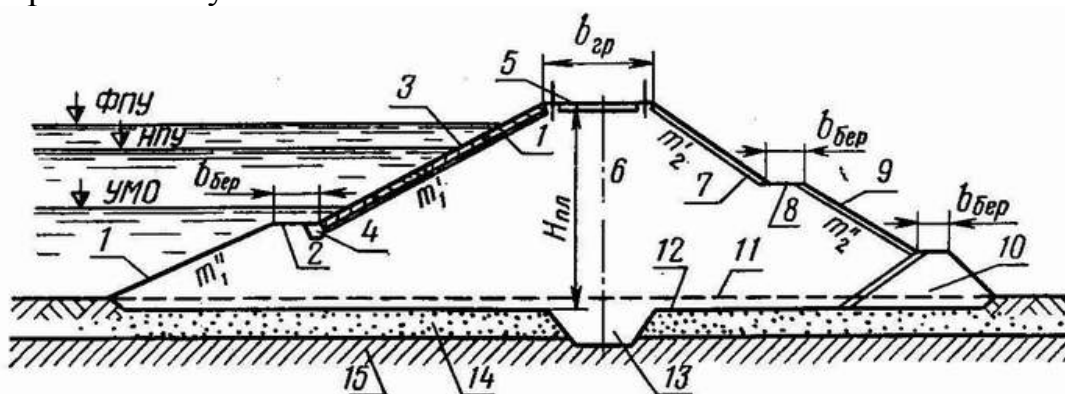


Рисунок 3.1 – Поперечный профиль грунтовой плотины:

- 1 – верховой откос; 2 – берма верхнего откоса; 3 – крепление верхнего откоса; 4 – упор крепления; 5 – гребень плотины; 6 – тело плотины; 7 – низовой откос; 8 – берма низового откоса; 9 – крепление низового откоса; 10 – дренаж; 11 – естественная поверхность грунта; 12 – основание плотины; 13 – замок; 14 – водопроницаемый слой основания; 15 – водонепроницаемый слой основания – водоупор.

Особенность грунтовых плотин состоит в том, что они пропускают через себя воду. В теле плотины движется безнапорный фильтрационный поток, имеющий свободную поверхность – депрессионную поверхность, кривая же свободной поверхности называется депрессионной кривой. Грунтовые плотины находят самое широкое распространение в различных областях строительства (гидроэнергетике, гидромелиорации, водоснабжении, рыборазведении, борьба с наводнениями). Разновидностью грунтовых плотин служат дамбы обвалования, насыпи на каналах, валы, имеющие значительное распространение в гидромелиорации.

Основное и существенное преимущество грунтовых плотин состоит в том, что для их возведения используется местный строительный материал. Они получили широкое распространение благодаря следующим **преимуществам:**

- 1) возведение их возможно в любых географических районах (в сейсмических условиях они не теряют прочности и устойчивости);
- 2) для возведения плотин применимы практически любые грунты;
- 3) все процессы, связанные с укладкой грунта в тело плотины, механизированы;
- 4) грунт тела плотины не теряет своих свойств со временем;
- 5) грунтовые плотины можно возводить практически любой высоты.

Недостатки:

- 1) невозможность сброса воды непосредственно через плотину;
- 2) наличие в теле плотины фильтрационного потока, потенциально создающего условия для деформации тела плотины;
- 3) большие фильтрационные потери воды при некоторых грунтах, что заставляет применять специальные противофильтрационные устройства;
- 4) неравномерная осадка по поперечному профилю плотины.

Грунтовые плотины классифицируют:

По способу возведения: 1) насыпные, с искусственным уплотнением грунта; 2) насыпные, без уплотнения с отсыпкой насухо; 3) с отсыпкой грунта в воду; 4) насыпные, образованные при помощи направленного взрыва; 5) намывные, возводимые с помощью гидромеханизации.

По конструкции тела плотины: из однородного грунта; из неоднородного грунта; с экраном из негрунтовых материалов; с экраном из грунта; с ядром; с диафрагмой.

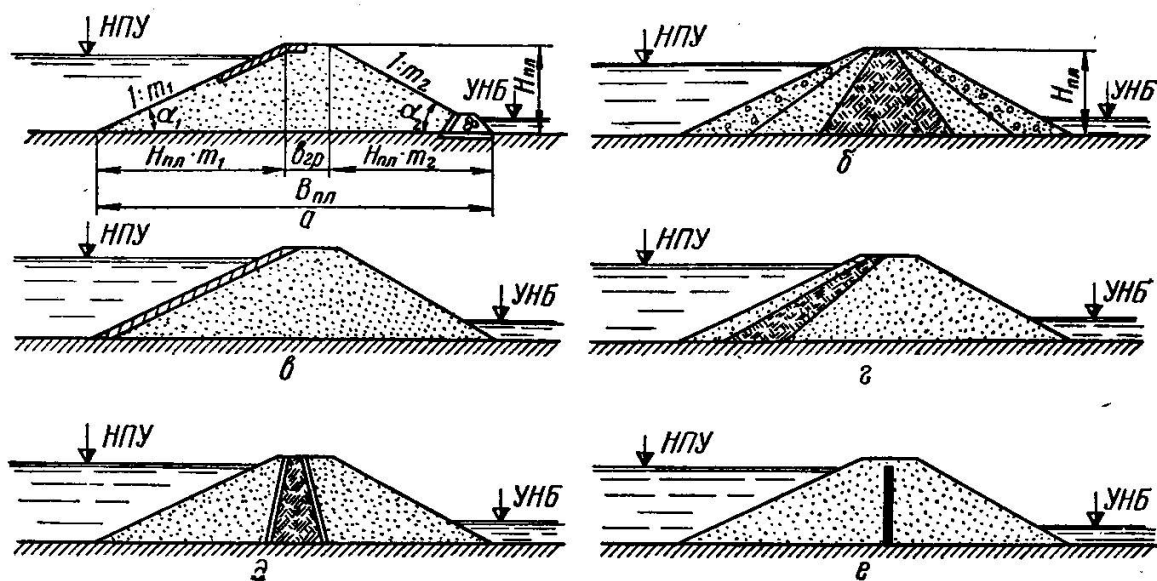


Рисунок 3.2 – Типы грунтовых плотин:

а – из однородного грунта; б – из неоднородного грунта; в – с экраном из негрунтовых материалов; г – с экраном из грунтовых материалов; д – с ядром; е – с диафрагмой.

По конструкции противофильтрационных устройств в основании: с замком, с зубом, с диафрагмой, с зубом и диафрагмой, с инъекционной завесой, с инъекционной висячей завесой, с понуром.

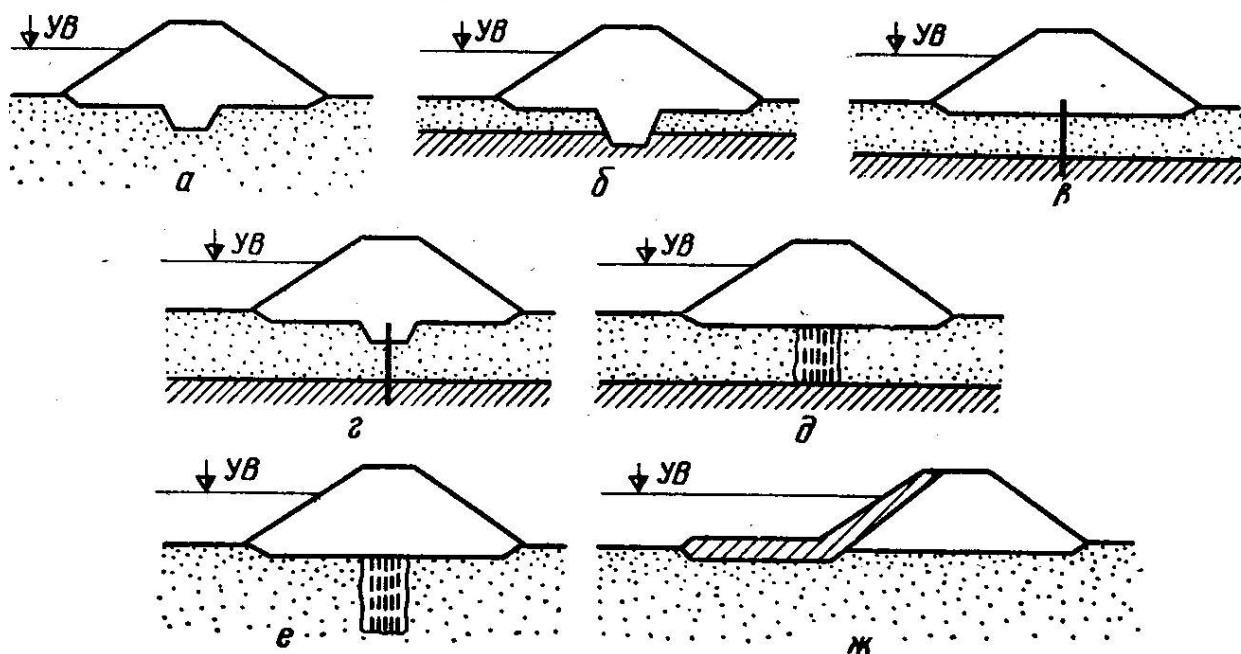


Рисунок 3.3 – Противофильтрационные устройства в основании грунтовых плотин:

а – зуб; б – замок; в – диафрагма (обычно шпунтовая стенка); е – диафрагма в сочетании с зубом; д – инъекционная завеса, возведенная до водоупора; г – висячая инъекционная завеса; ж – понур в сочетании с экраном.

По классу капитальности грунтовые плотины определяются высотой и грунтом основания.

Виды грунтов основания	Классы сооружений			
	I	II	III	IV
	Высота сооружения, м			
Скальные	>100	70 - 100	25 - 70	<25
Песчаные, крупнообломочные, глинистые в твердом состоянии.	>75	35 - 75	15 - 35	<15
Глинистые, водонасыщенные и в пластичном состоянии.	>50	25 - 50	15 - 25	<15

2. Грунты для тела плотины и основания

Грунты, как строительный материал, **должны обладать**: 1) прочностью, характеризующуюся сдвиговыми показателями (угол внутреннего трения φ , сцепление c); 2) водоустойчивостью, характеризующуюся степенью растворения грунта в воде; 3) водопроницаемостью, характеризующуюся коэффициентом фильтрации.

По условиям размещения, в поперечном профиле плотины можно выделить **три характерные части**:

1. Основную часть, выполняющую роль массива, обеспечивающую устойчивость всего водоподпорного сооружения, и поддерживающую заданные уровни воды в верхнем бьефе;

2. Часть поперечного профиля плотины, занятая противofильтрационными устройствами – ядрами, экранами, понурами, замком и др.;

3. Часть поперечного профиля, занятого дренажем.

Грунты каждой из этих частей поперечного профиля плотины, исходя из тех задач, которые они выполняют, должны отвечать различным требованиям. В основной части профиля используют практически все виды нескольких грунтов, а также отходы металлургической промышленности и тепловых электростанций. Для противofильтрационных устройств применяют грунты маловодопроницаемые – суглинки, глины, торф, искусственные грунтовые смеси – глинобетон. Для дренажей применяют несвязные грунты с повышенным K_f – пески, гальку, гравий, щебень, песчано-гравийные смеси, камень.

Грунтовые плотины возводят на любых грунтах, залегающих в основании, при всестороннем учете их свойств. К ним предъявляют такие же требования, как и к грунтам плотины. При залегании в основании иловатых и переувлажненных глинистых грунтов следует предусматривать дренирование, а также ограничить интенсивность возведение плотины. При незначительной их мощности целесообразно такие грунты удалять и плотину возводить на хороших грунтах.

Торф допускается оставлять в основании при степени его разложения не менее 50%, при этом следует учитывать повышенную осадку его при определенном гребне плотины. Грунты с неразложившейся корневой

системой, а также имеющие ходы землеройных животных, удаляют из основания.

3 Выбор створа плотины. Характерные уровни и объемы в водохранилище

На положение створа плотины влияет ряд факторов, к числу которых можно отнести следующие:

- топографические, определяющие длину плотины и ее высоту. При прочих равных условиях створ плотины располагают в наиболее узком месте долины, нормально к горизонталям. В этом случае будет наименьший объем работ;

- инженерно – геологические и гидрогеологические условия, оцениваемые прочностными характеристиками грунтов, их напластованием и водопроницаемостью;

- гидрологические, связанные с решением вопроса о положении водохранилища и расхода, сбрасываемого в период половодья или паводка.

Створ плотины целесообразно выполнять одновременно с трассировкой водосбросного тракта. При выборе створа учитывается и способ пропуска строительных расходов, наличие и возможность устройства дорожной сети, прокладку линий электропередач.

В процессе изыскания намечают несколько створов. Створ будущей плотины выбирают с учетом перечисленных факторов и на основе результатов технико-экономического сравнения вариантов.

Для принятого створа делают продольный профиль с фиксацией отметок поверхности земли на пикетах и промежуточных точках.

При проектировании плотин учитывают и форму речных долин, в которых наблюдается два характерных участка: русловой, где протекает вода в меженное время, и пойменный, затапливаемый в паводок. В горных районах обычно пойменные участки отсутствуют.

В водохранилищах, создаваемых с помощью грунтовых плотин, различают три уровня поверхности воды: **форсированный подпорный (ФПУ), нормальный подпорный (НПУ), и мертвого объема (УМО)**. Отметки этих уровней устанавливаются с помощью водохозяйственных расчетов. Так, ∇ НПУ определяется исходя из требуемого полезного объема водохранилища, топографии чаши, а также объема стока.

Отметка УМО зависит от срока службы водохранилища и интенсивности его заиления, санитарных требований, требуемой отметки командования над орошаемой площадью, от условий рыборазведения.

Форсированные уровни необходимы при наличии автоматических водосбросов, что позволяет уменьшить основные и поверочные расходы водосброса.

Кроме характерных уровней в водохранилище отмечают характерные объемы: полный объем водохранилища, мертвый объем, полезный объем и форсированный.

4. Фильтрация в грунтовых плотинах и ее расчет

Под действием напора, создаваемого плотиной, происходит фильтрация воды из верхнего бьефа в нижний, как через тело плотины, так и через основание, если оно водопроницаемо.

В результате фильтрации часть тела плотины насыщается фильтрующейся водой, свободную поверхность которой называют депрессионной поверхностью, а линию пересечения этой поверхности с вертикальной плоскостью – кривой депрессии.

Ниже депрессионной поверхности 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 подъема воды, высота которой составляет 0,1 – 0,2 м для песков и 0,5 – 2 м и более для глинистых грунтов. Выше капиллярной зоны грунт находится в естественном состоянии.

При высоком положении кривой депрессии и капиллярной каймы, необходимо кривую депрессии понизить, чтобы не допустить переувлажнение низового откоса плотины. Понизить кривую депрессии можно с помощью дренажа.

На основе фильтрационных расчетов определяют:

- потери воды через тело плотины и ее основание (если оно водопроницаемо), а при необходимости и в обход плотины, через берега;
- положение кривой депрессии в теле плотины и при необходимости – в береговых примыканиях;
- градиенты берегового потока в теле плотины и других опасных местах.

При фильтрационных расчетах грунтовых плотин принимают следующие допущения: фильтрацию рассматривают в одной плоскости; грунт тела плотины считают однородным; водоупор считается водонепроницаемым и горизонтальным; положение кривой депрессии не зависит от грунта, а определяется только геометрическими размерами профиля плотины. При фильтрационных расчетах грунтовых плотин используют закон Дарси и формулы Дюпюи.

$$\frac{q}{K_{\phi}} = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2L}, \quad (3.1)$$

где H_1 и H_2 – глубины фильтрационного потока в начальном и конечном сечениях; L – расстояние между этими сечениями.

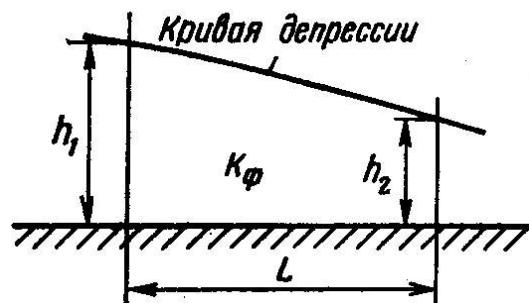


Рисунок 3.4 – Расчетная схема к формуле Дюпюи

Проектный профиль грунтовой плотины приводят к расчетной схеме, в которой исключают отдельные мелкие детали. Уровень воды в верхнем бьефе принимается НПУ, а в нижнем – бытовой глубине в реке. При этом плотина может быть на водоупоре или на водопроницаемом основании, называемом водоупором. Для плотин водоупором обычно считают грунты основания, K_{Φ} которых меньше K_{Φ} тела плотины в 10 и более раз.

При расчете фильтрации используется метод эквивалентного профиля с простыми расчетными операциями. В этом методе принятая расчетная схема плотины заменяется эквивалентной в фильтрационном отношении другой схемой с вертикальным верховым откосом. Находится он на расстоянии ΔL от вертикальной плоскости, проведенной через точку пересечения уровня воды с верховым откосом. Величина ΔL определяется по зависимости:

$$\Delta L = \beta H_1 = \frac{m_1}{2m_1 + 1} H_1, \quad (3.2)$$

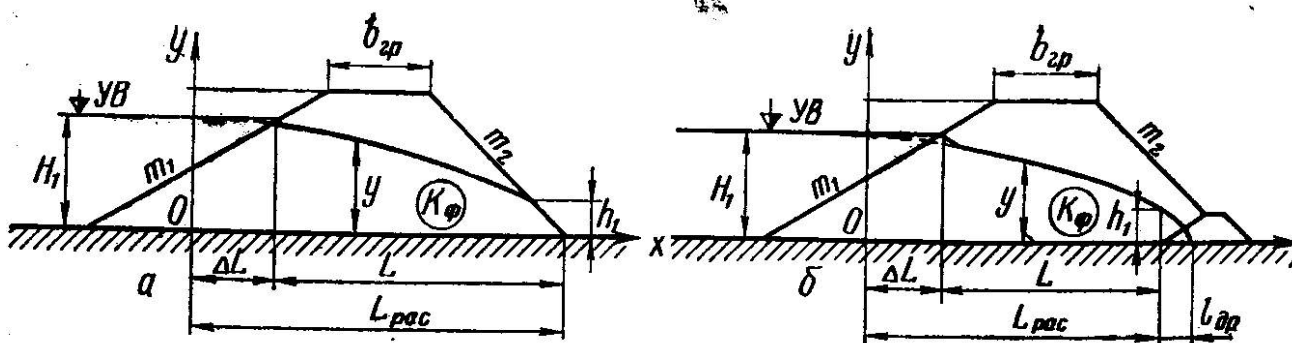


Рисунок 3.5 – Схемы к фильтрационным расчетам:

а) – однородной плотины без дренажа; б) – однородной плотины с дренажем.

Кривую депрессии строят, начиная от плоскости ОУ вертикального откоса, а участок его в примыкании к верховому откосу исправляют визуально так, чтобы он был перпендикулярен у верховому откосу и дальше плавно переходил в депрессионную кривую. Кривую депрессии строят по уравнению Дюпюи, принимая начало координат в точке О.

$$y^2 = H_1^2 - \frac{2q}{K_{\Phi}} X, \quad (3.3)$$

где X изменяется от нуля до $L_{расч} = m_2 H_2$.

При фильтрационных расчетах плотин с ядром или грунтовым экраном используют метод используют **метод виртуальных длин**. Для этого ядро или экран со средней толщиной δ_{CP} и с коэффициентом фильтрации $K_{Я}$ или $K_{Э}$ приводят к призме с коэффициентом K_{Φ} . Виртуальная длина определяется по зависимости:

$$L_{Я} = \delta_{CP} \frac{K_{\Phi}}{K_{Я}} \quad \text{или} \quad L_{Э} = \delta_{CP} \frac{K_{\Phi}}{K_{Э}} \text{Sin } \Theta, \quad (3.4)$$

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

К полученной таким образом схеме применяют решение для однородной грунтовой плотины.

При фильтрационных расчетах однородных плотин без дренажа вычерчивается поперечный профиль плотины, который является исходным материалом к расчету. Должны быть также известны глубины H_1 и H_2 и коэффициент фильтрации грунта тела плотины K_T .

Кривую депрессии строят по уравнению Дюпюи, принимая начало координат в точке О:

$$y^2 = H_1^2 - 2 \frac{q}{K_T} X, \quad (3.5)$$

где X – изменяется от 0 до $L_{\text{РАСЧ}} - m_2 h_1$.

На участке примыкания к верховому откосу кривую депрессии исправляют от руки.

При наличии воды в нижнем бьефе считается, что кривая депрессии выходит на уровень воды в нижнем бьефе.

5. Расчет устойчивости откосов грунтовых плотин

На грунтовую плотину действуют такие же силы, что и на другие ГТС: гидростатическое давление воды, все плотины и различные второстепенные нагрузки, как давление льда, волн и пр. Вес грунтовых плотин настолько значителен, что о ее сдвиге под действием горизонтальной силы не может быть и речи.

Неустойчивыми могут оказаться откосы плотины как сами по себе, так и в связи с недостаточной устойчивостью основания.

Расчет устойчивости откосов ведут при заданных физико-механических характеристиках грунта тела плотины и основания, известных геометрических размерах поперечного профиля плотины и построенной кривой депрессии. В результате расчетов определяют минимальное значение коэффициента устойчивости, который должен быть равен или больше нормативного, значение его определяют классом сооружения.

Как правило, откосы грунтовых плотин не являются однородными по составу. Даже в плотине из однородного грунта, часть последнего, лежащего ниже кривой депрессии, имеет иные физические свойства, чем выше лежащий сухой грунт: иная объемная масса, иное сцепление, наличие фильтрационных сил. Кроме того, в большинстве случаев основание плотины может деформироваться вместе с откосами.

Для расчета устойчивости таких откосов разработано довольно много методов. Нормами допускается расчет устойчивости групповых плотин вести методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Коэффициент запаса устойчивости откосов по этому методу определяют для наиболее опасной поверхности скольжения, при которой он имеет минимальное значение. Эту поверхность находят путем последовательных приближений. Полученный по расчету коэффициент запаса устойчивости при основных

сочетаниях нагрузок не должен превышать больше, чем на 15%, а для высоких плотин – на 30% нормативного.

В этом методе в качестве допущения принимается, что обрушение части грунтового массива происходит по радиальной кривой:

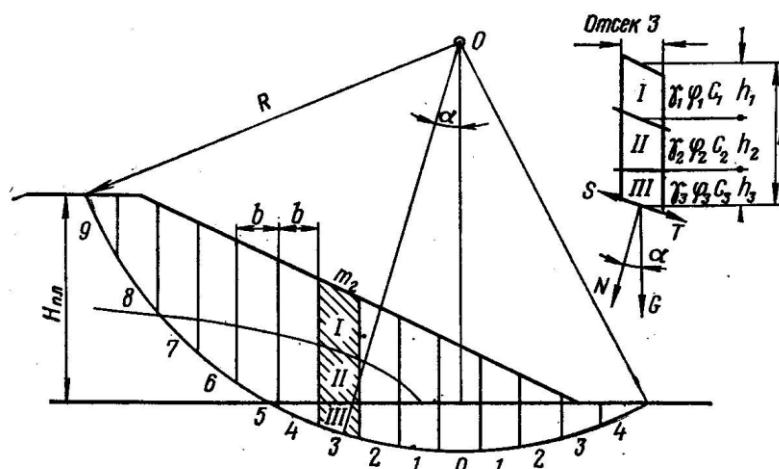


Рисунок 3.6 – Схема к расчету устойчивости откоса методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения. I – грунт тела плотины естественной влажности; II – грунт тела плотины, взвешенный в воде; III – грунт основания плотины, взвешенный в воде.

Устойчивость откоса оценивается коэффициентом запаса, представляющий собой отношение моментов сил удерживающих к моментам сил сдвигающих относительно некоторой точки O, расположенной вне контура плотины выше ее гребня.

$$K_3 = M_{уд} / M_{сд} \geq [K] \quad (3.6)$$

Рассмотрим отрезок плотины длиной 1м с откосом АВ. На плотину действует вода, фильтрующаяся в грунте плотины (кривая депрессии EF). Обозначим через γ_1 - объемная масса грунта плотины выше кривой депрессии; γ_2 - объемная масса грунта плотины, насыщенного водой; γ_3 - объемная масса грунта основания. Соответственно обозначим углы внутреннего трения ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 и силу сцепления C_1, C_2, C_3 .

Выберем произвольную точку O и из нее, как из центра, проводим дугу CMD, захватывающую откос и часть основания. Выделенный массив ABCMD делим вертикальными плоскостями на отсеки. Ширина отсека $b = 0,1R$. Отсеки нумеруются – влево от OM положительные, вправо – отрицательные. Центр нулевого отсека размещают на вертикали OM.

Рассмотрим равновесие некоторого n-го отсека, находящегося под действием веса и бокового давления соседних масс грунта. Его вес равен:

$$G = (\gamma_1 h + \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3) b = \gamma_{пр} h_{пр} b,$$

где $\gamma_{пр}$ - объемная масса грунта, к которому приводится грунт отсека, $h_{пр}$ – приведенная высота отсека.

$$h_{\Pi\Pi} = h_1 \frac{\gamma_1}{\gamma_{\Pi\Pi}} + h_2 \frac{\gamma_2}{\gamma_{\Pi\Pi}} + h_3 \frac{\gamma_3}{\gamma_{\Pi\Pi}} \dots \quad (3.7)$$

Перенеся силу веса по линии ее действия в точку M_{Π} на кривой оползания, разложим G на составляющие: нормальную $N_{\Pi} = G_{\Pi} \cos \alpha_{\Pi}$, направленную по радиусу OM_{Π} и касательную $T_{\Pi} = G_{\Pi} \sin \alpha_{\Pi}$. Сила T_{Π} вызовет скольжение n -го отсека вниз по кривой скольжения, чему будет противодействовать сила трения $S_{\Pi} = N_{\Pi} \operatorname{tg} \varphi_3$ и сила сцепления $C_{\Pi} = C_3 l_{\Pi}$, где l_{Π} – длина участка кривой скольжения в пределах отсека.

Силы бокового давления при суммировании всех отсеков будут равны 0 и являются внутренними для всего массива и в расчете ими пренебрегают.

Коэффициент устойчивости без учета фильтрационных сил выделенного отсека выразим отношением моментов сил S_{Π} и C_{Π} к моменту сил T_{Π} и N_{Π} относительно точки O . Для всего массива будет равен сумме моментов:

$$\begin{aligned} K_e &= \frac{\sum S_{\Pi} R + \sum C_{\Pi} R}{\sum T_{\Pi} R} = \frac{\sum S_{\Pi} + \sum C_{\Pi}}{\sum T_{\Pi}} = \frac{\sum N_{\Pi} \operatorname{tg} \varphi_1 + \sum C_{\Pi} l_{\Pi}}{\sum G_{\Pi} \sin \alpha_{\Pi}} = \\ &= \frac{b \sum h_{\Pi\Pi} \gamma_{\Pi\Pi} \cos \alpha_{\Pi} \operatorname{tg} \varphi_1 + \sum C_{\Pi} l_{\Pi}}{b \sum h_{\Pi\Pi} \gamma_{\Pi\Pi} \sin \alpha_{\Pi}} ; \end{aligned} \quad (3.8)$$

При учете фильтрационных сил в знаменателе формулы прибавляется

$$\Phi \frac{r}{R},$$

где Φ – фильтрационная сила определяемая ниже; r – плечо силы Φ ; R – радиус кривой скольжения.

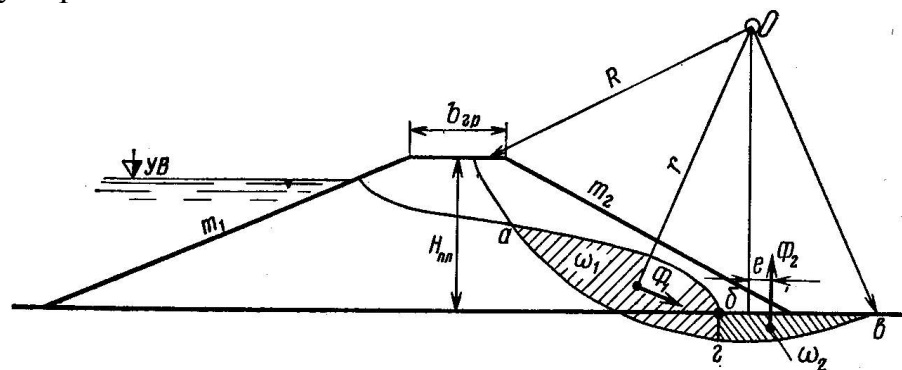


Рисунок 3.7 – Учет фильтрационных сил при расчете устойчивости откосов

Фильтрационную силу можно учитывать по формуле:

$$\Phi = \gamma_B VJ, \quad (3.9)$$

где γ_B – объемная масса воды;

V – объем грунтового массива, в котором отыскивается фильтрационная сила;

J – градиент напора в пределах рассматриваемого объема.

Когда рассчитывается плотина длиной 1 м , то

$$V = \omega = \sum h_{\text{нас}} b . \quad (3.10)$$

Эта площадь может быть разбита на две ω_1 и ω_2 и две фильтрационные силы Φ_1 и Φ_2 . Момент силы Φ_1 определим

$$M_{\Phi_1} = \omega_1 \gamma_B J r = \sum h_{\text{нас}} b \gamma_B J r . \quad (3.11)$$

Момент силы Φ_2 может быть (+) и (-), а его плечо небольшое, ее можно не учитывать.

6 Общие сведения о плотинах из камня, грунта и камня, конструкция и способы их возведения

Плотины из каменных материалов без применения вяжущих веществ являются одним из экономичных типов водоподпорных сооружений в районах, удаленных от дорог и богатых камнем. К их **достоинствам следует отнести:** использование местных стройматериалов, сейсмостойкость, простоту конструкции, возможность возведения в течение всего года при широкой механизации работ, допущения перелива воды через гребень и др. Недостатки – большая трудоемкость работ и значительная осадка плотины после ее возведения. Поэтому чаще такие плотины возводят на скальном основании.





Плотина Оровилл (США), Фото: *imgix.net*

Основные типы таких плотин:

- набросная с экраном из негрунтового материала;
- с экраном из грунтового материала;
- с ядром из грунтового материала;
- с диафрагмой из негрунтового материала;
- полунаброски;
- каменно-грунтовые;
- из сухой кладки.

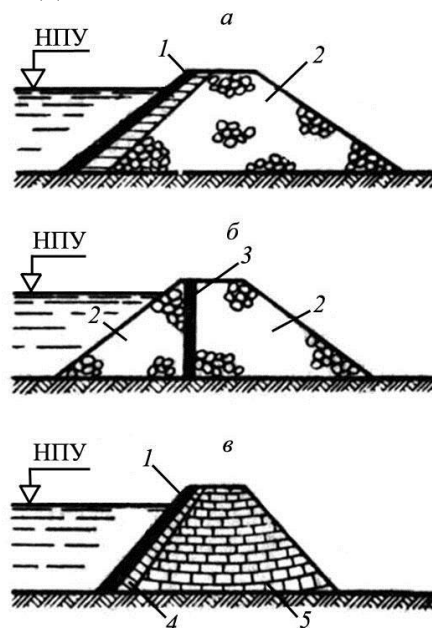
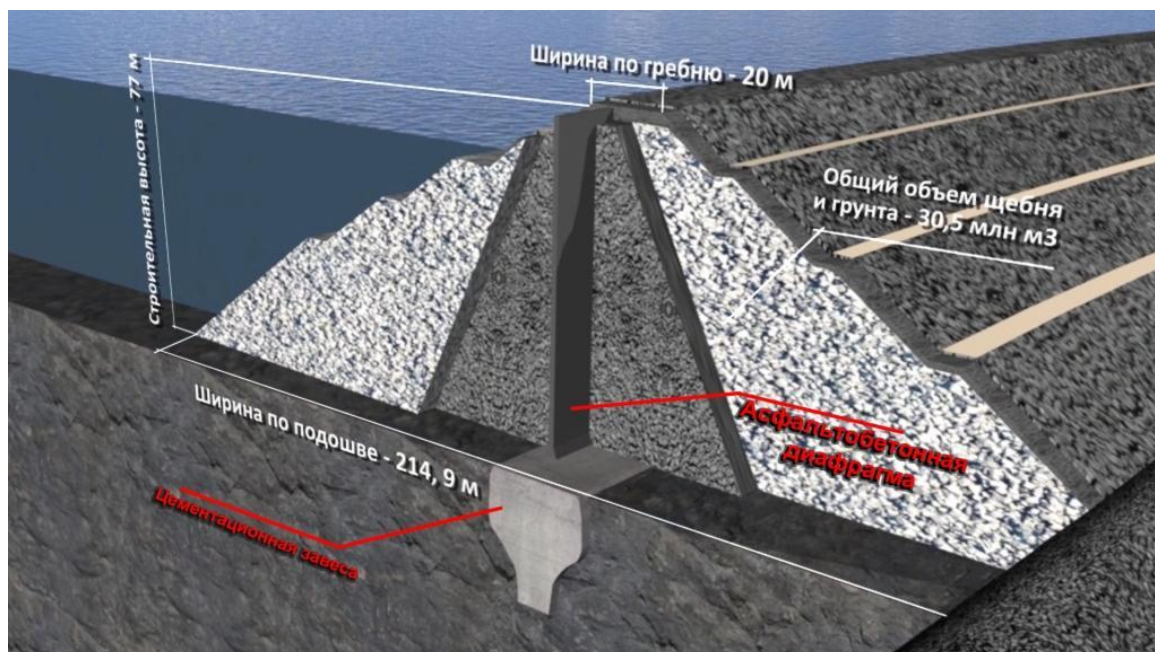


Рисунок 3.8 – Основные типы каменных плотин (схемы): 1 – экран; 2 – наброска; 3 – диафрагма; 4 – кладка на растворе; 5 – сухая кладка



Каменно-набросная плотина и асфальтобетонная диафрагма Богучанской ГЭС,
Фото: rushydro.ru

Если экран или ядро выполняют из грунта, плотину называют каменно-грунтовой, а при использовании негрунтовых материалов для экрана или диафрагмы – каменно-набросной.

Небольшие каменные плотины известны еще за 3тыс. лет до нашей эры (Египет). Особенно широко развернулось строительство каменных плотин в XX веке. Наиболее высокие плотины из камня в мире следующие:

набросные – «Парадела» (110) Португалия, в США – Солт Спрингс (101);

каменно-грунтовые плотины – в Канаде «Майка» (240), в США «Оровилл» (224), в Таджикистане «Нурекская» (300).

Материалом для каменных плотин служит камень, который должен быть достаточно прочным, водостойким, морозостойким и устойчивым против выветривания. Поэтому используют для строительства плотин изверженные породы и частично осадочные.

Размеры камня различные, что способствует его более плотной укладке. Вес крупных камней достигает 0,5– 1,0т. Мелочь делает укладку более плотной, но нагрузку должны принимать более крупные камни, поэтому содержание мелочи для набросных плотин ограничивается. Камень укладывается в тело плотины или наброской со специальных эстакад, или отсыпкой под откос. Высота сбрасывания достигает 20 – 25м, что улучшает уплотнение тела плотины. Пустоты заполняются каменной мелочью.

В СССР разработан и впервые на строительстве Асуанской плотины применен **метод замыва каменной наброски песком**. Коэффициент фильтрации тела такой плотины снижается до коэффициента фильтрации грунта.

Плотины Нурекской и Чарвакской ГЭС созданы отсыпкой под откос с большегрузных автосамосвалов. Отсыпка ведется слоями до 2,5м с

механическим доуплотнением катками после прохода самосвалов и выравнивающих поверхность механизмов.

Ширину гребня плотины принимают как и для земляных в пределах 5 – 10 м в зависимости от класса дороги.

Коэффициент заложения откосов составляет $m_1 = 1,1 - 1,35$, $m_2 = 1,2 - 1,4$. Откосы каменно-земляных плотин несколько положе набросных.

Противофильтрационные устройства в виде экрана, ядра или жесткой диафрагмы должны быть водонепроницаемы, прочны и гибки, устойчивы против суффозии и экономичны. Для набросных плотин их делают из бетона, железобетона, дерева, стали, асфальтобетона, полимерных материалов. Для каменно-земляных плотин выполняются в виде ядра или экрана из грунтового материала. Между грунтом и каменной наброской обязательно делается обратный фильтр из 2-3 слоев гравийно-песчаных материалов, предупреждающих вымыв частиц грунта

Рассмотренные тела плотин относятся к глухим. Водосливные набросные плотины сооружают при небольших (до 10 м) напорах.

В каменных плотинах принято считать, что фильтрационных потерь воды через тело плотины нет, так как по верховому откосу укладывается водонепроницаемый экран. Кривой депрессии не будет, она находится на уровне воды в нижнем бьефе.

В каменных набросных плотинах предельное состояние устойчивости откосов определяется углом естественного откоса, зависящего от формы и размеров камней и способов их укладки и находится, как уже отмечалось, в пределах $m_1 = 1,1 - 1,35$ и $m_2 = 1,2 - 1,4$. Устойчивость их на сдвиг по основанию, как правило, обеспечивается. Вместе с тем, можно отметить, что плотины с экраном более устойчивы, чем с диафрагмами.

В каменно-набросных плотинах кроме осадки плотин рассчитывается и горизонтальное смещение гребня плотины.

По нормам осадку камней наброски, уплотненной водой с помощью гидромонитора рекомендуется принимать равной **1,5%** от высоты плотины. Без уплотнения $\Delta h = 3\%$ от $H_{пл}$. Осадку каменной наброски плотины можно определить по формуле, полученной в результате наблюдения над 11 плотинами.

$$\Delta h = 0,001 H_{пл}^{\frac{3}{2}}. \quad (3.12)$$

Горизонтальное смещение гребня каменно-набросной плотины пока расчетам не поддается. Нормами его рекомендуется принимать равным Δh после наполнения водохранилища.

7. Плотины из других местных строительных материалов

На небольших реках и ручьях могут устраиваться водоподъемные плотины из хвороста или фашины. Напор таких плотин – 2-3 м. По типу они –

водосливные. Низовая (сливная) часть плотины выполняется из слоев хвороста или фашины, пришиваемые к нижележащим слоям или грунту основания жердями и кольями, присыпается песком, гравием или камнем. Последний обязателен у низовой грани.



Верховая часть представляет собой экран из суглинистого грунта с фильтром из соломы, навоза, торфа или др. материала. Эти плотины можно строить и с временным отводом воды из русла в сторону, и с укладкой хвороста или фашины в текущую воду.

Вместо фашины и хвороста для устройства плотин могут быть использованы свежесрубленные деревья вместе с ветвями, хвоей и листвой. Такие плотины называют стланевыми. Деревья в них укладываются вдоль по течению, комлями в сторону низовой грани, на предварительно уложенной по дну хворостном тюфяке или слое гравия.

Стланевые плотины могут строиться высотой до 5м. Они отличаются дешевизной, т.к. для их возведения используются исключительно местные материалы. Плотины эти могут служить долгое время, если выполнены доброкачественно, если обеспечен безаварийный пропуск ледохода и не допускается перелива воды через плотину зимой. Из-за последнего могут образоваться наледи, рост которых приводит при весеннем ледоходе к аварии плотины.

Простейшим типом деревянных плотин, устраиваемых на плотных грунтах не допускающих забивание свай, **является козловая плотина.**

Если такая козловая плотина должна быть водосливной, то низовую грань укрепляют путем укладки между козлами фашин, хвороста, камня по типу

применения в фашинных или стланевых плотинах. Ниже плотины русло должно быть укреплено, как и во всех других водосливных плотинах.

Кроме этих плотины бывают: **свайные плотины, ряжевые, свайно-ряжевые, контрфорсные**. На горных реках часто устраивают габионные плотины.

Эти плотины дают хорошее решение для рек с гравелисто-галечным дном, когда нет крупного камня для устройства невысокой водосливной из каменной наброски или сухой кладки.

Габионы – это сетчатые ящики, заполненные мелким камнем. Плотины из габионов могут иметь профили: многоступенчатый, трапецеидальный или прямоугольный.



Гребень водослива покрывают деревянным настилом, так же как иногда и напорную грань. Водобой устраивается также из габионных тюфяков, покрытых деревянным настилом для защиты от повреждения сеток. Высота габионных плотин может превышать иногда 5м.

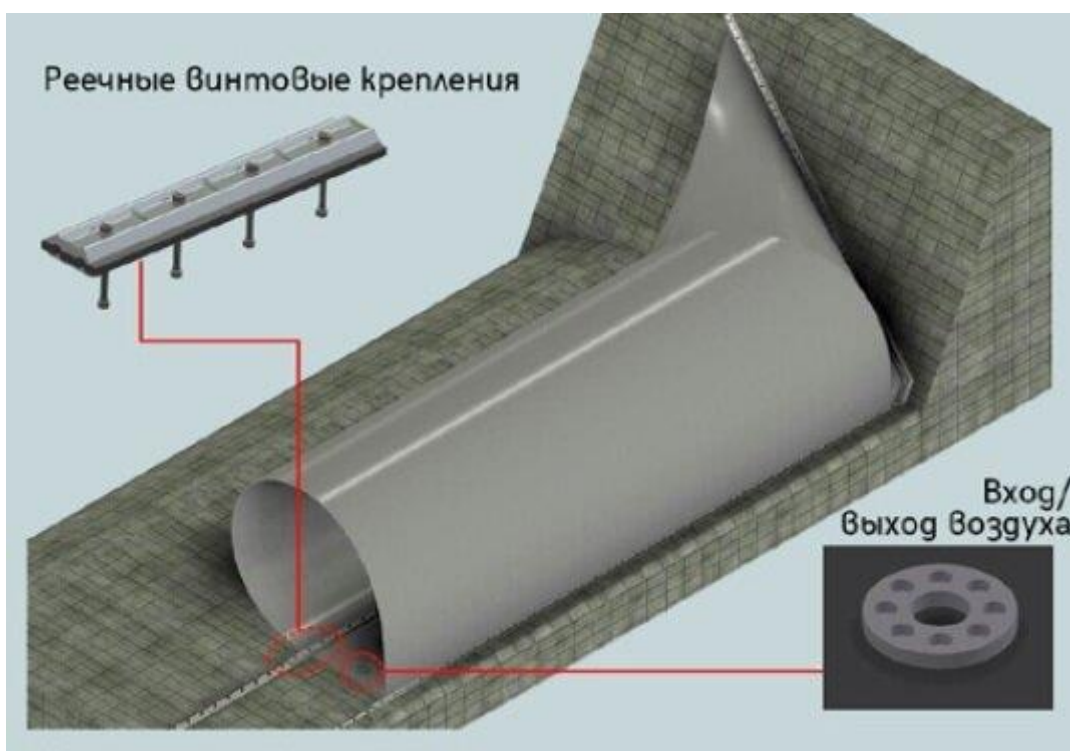
В последнее время нашли применение плотины из мягких материалов. Основным элементом таких сооружений служит мягкая оболочка, способная воспринимать только растягивающие напряжения. Выполняется она главным образом из мягких материалов – материй с воздухо-водонепроницаемым полимерным покрытием из синтетических пленок.

По форме и конструкции плотины из мягких материалов можно разделить на следующие основные **виды**:

1. **Наполняемые** – заанкированные цилиндрические замкнутые оболочки, напрягаемые избыточным давлением газа (воздуха), воды или грунта.



Плотина «Азмак-2» на юге Турции поддерживает уровень воды, необходимый для работы ГЭС



2. **Мембранные** – заанкированные механически напряженные незамкнутые цилиндрические оболочки, имеющие плоскую или изогнутую форму.

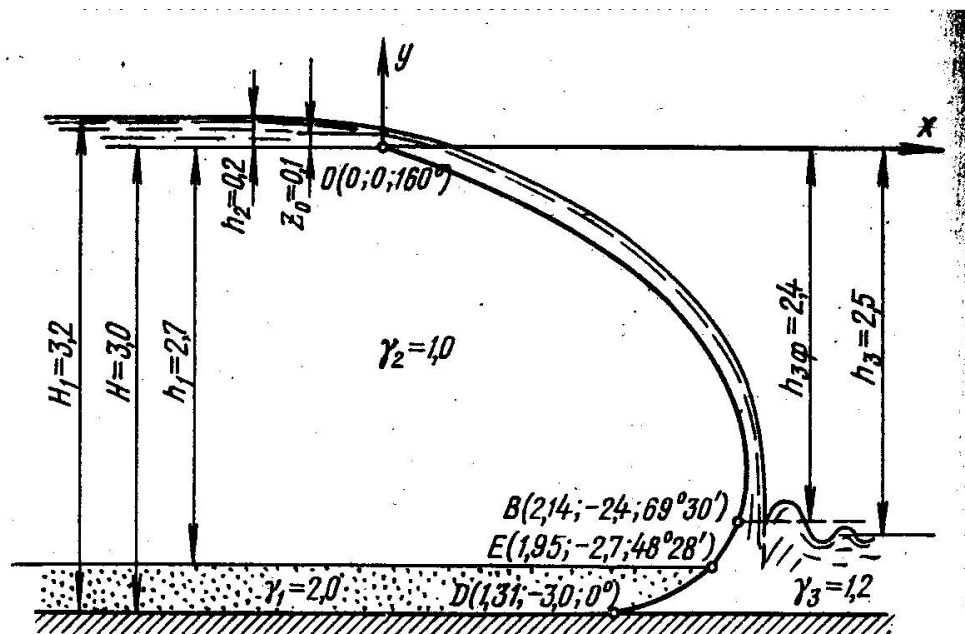


Рисунок 3.9 – Схема к расчету силового пояса мягкой мембранной плотины.

3. **Комбинированные** – цилиндрические оболочки со свойствами мембранных и наполняемых с несущими элементами из традиционных материалов



Затвор Обермейера во Франции на реке Соне

Лекция № 4

Водопропускные сооружения водохранилищных гидроузлов

- 1 Общие сведения о водосбросах и их конструкции.
- 2 Расчетные расходы водосбросных сооружений.
3. Водосбросные сооружения гидроузлов.
4. Водоспуски и водовыпуски в низконапорных плотинах.

1 Общие сведения о водосбросах и их конструкций.

В водохранилищных гидроузлах объем водохранилища в большинстве случаев не вмещает поверхностный сток, поступающий с водосбросной площади. После наполнения водохранилища до отметки НПУ излишек воды пропускается или, как говорят, сбрасывается в нижний бьеф плотины, а возможно, 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. В зависимости от этого и других условий применяют тот или другой тип водосброса, под которым понимают комплекс сооружений, задача которых – обеспечить беспрепятственный пропуск расчетных максимальных расходов воды из верхнего бьефа в нижний бьеф плотины. Путь, оборудованный сооружениями, по которому происходит сброс излишков воды из водохранилища, называют водосбросным трактом.

Взаимное расположение сооружений на водосбросном тракте может быть самое различное, 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 входных устройств относительно НПУ различают водосбросы **поверхностные и глубинные**.

К поверхностным относятся водосбросы, уровень воды в которых во входной части соприкасается с 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 затвором, и **неуправляемые**, в которых сброс воды происходит всякий раз, как только уровень воды в водохранилище поднимается выше НПУ.

По месторасположению в составе гидроузла водосбросы делятся на **береговые, русловые и пойменные**.

Каждой группе водосбросов присваивают название. Оно дается в зависимости от конструкции главной (водоприемной) части сооружения. Например, водосбросы автоматического действия подразделяются на следующие типы: шахтные, ковшовые, траншейные. Основным типом

управляемых водосбросов являются водосливная плотина и шлюз, водосливные отверстия которых перекрываются затворами.

В конструктивном отношении водосброс является сложным инженерным сооружением, состоящим из нескольких простейших сооружений, конструктивных узлов и деталей.

В водосбросе можно выделить **четыре основные составные части: подводящая, водоприемная или водосливная, сопрягающая и устройство нижнего бьефа.**

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

Водосливная часть осуществляет прием паводковых вод и отвод их в сопрягающую часть сооружения. Водосливная часть является главной частью сооружения. На управляемых водосбросах через головную часть прокладывают служебный и проезжий мост, на ней устанавливаются затворы, другое механическое оборудование, она может иметь различное конструктивное решение.

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

Устройство нижнего бьефа обеспечивает гидравлическое сопряжение сбросного потока с нижним бьефом, гашение избыточной кинетической водной энергии, защиту сооружения от подмыва и разрушения.

Каждая основная часть водосброса, в свою очередь состоит из ряда более простых узлов и деталей. Например, подводящая часть может включать: подводящий канал или выемку, струенаправляющие дамбы или системы, ледозащитные устройства, сопрягающие открьлки и т.п.

Водосливная часть может иметь различное конструктивное решение. Наиболее типичными решениями являются: **прямолинейная сливная стенка (сливная плотина, сливной порог шлюза), сливной оголовок с замкнутым сливным контуром, сливная траншея.** В свою очередь, в состав сливной части может входить: сопрягающая вставка, стенки-устои, затворы и другие устройства.

Сопрягающую часть делают открытой или лотковой (быстроток, перепад), закрытой или трубчатой.

В устройство нижнего бьефа входят: устройство для сопряжения сбросного потока с нижним бьефом (уступ, консоль, сопрягающая вставка, водобой), устройство для гашения энергии, крепление русла от размыва, струенаправляющие устройства.

2 Расчетные расходы водосбросных сооружений

Расчетная величина расхода воды, пропускаемой через водосброс, определяется на основании гидрологических данных с учетом класса сооружений, трансформации паводка, емкости водохранилища, состава и режима эксплуатации гидроузла.

Сооружения, относящиеся к классу капитальных, рассчитывают на два расчетных расхода для двух эксплуатационных случаев: **основного и поверочного**. Сброс основного расчетного расхода осуществляется, как правило, при уровне воды в верхнем бьефе соответствующем отметке НПУ. Через автоматические водосбросы сброс паводковых вод осуществляется при отметке ФПУ.

При пропуске поверочного расхода допускается подъем уровня воды в верхнем бьефе выше НПУ на предусмотренную проектом величину форсировки.

Расчетная величина основного и поверочного расхода принимается в соответствии с классом сооружения и расчетной ежегодной вероятностью превышения максимальных расходов.

Расчетный случай	Обеспеченность Р %			
	Класс сооружения			
	I	II	III	IV
Основной	1	3	5	10
Поверочный	0,1	0,5	1	5

В расчетном режиме, т.е. при пропуске максимальных расходов принятой обеспеченности, сооружения водосбросного тракта работают редко. Они редко включаются в работу и в течение года. Сброс воды из водохранилища во время весеннего паводка длится несколько дней, а во время ливней летом – несколько часов.

Для водохранилищ на местном стоке возможны случаи, когда объем поверхностного стока будет недостаточным для наполнения водохранилища до расчетного уровня, и тогда водосброс работать не будет. Это возможно и в маловодные годы, когда к началу половодья водохранилище полностью сработано.

В некоторых случаях рационально совмещать водосбросы с другими сооружениями гидроузла. Это даст экономию в затратах, и облегчает их эксплуатацию. (Пример такого совмещения служит шахтный водосброс, совмещенный с водоспуском или строительным водосбросом).

3. Водосбросные сооружения гидроузлов

Открытые береговые поверхностные водосбросы располагают на берегах и склонах долины в обход плеча плотины. Особенность поверхностных водосбросов состоит в том, что входные участки их расположены на высоких отметках.

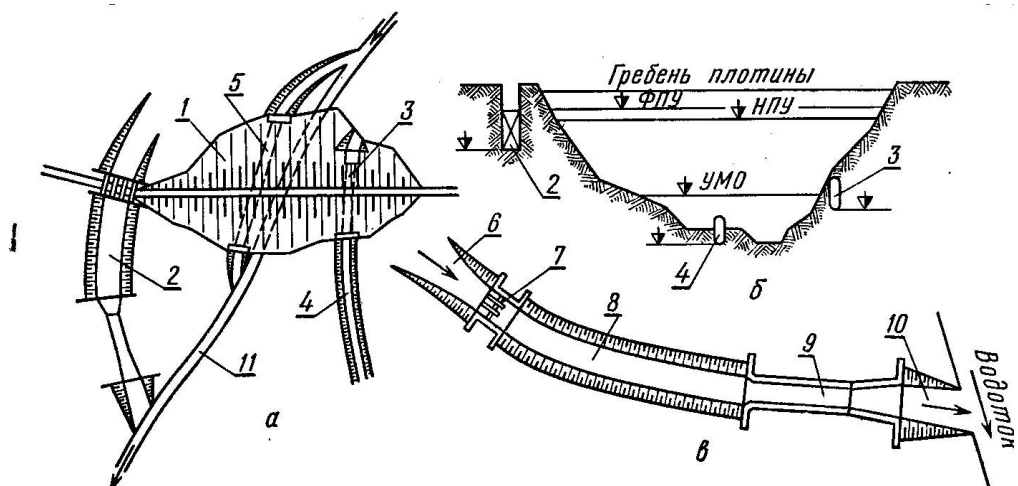


Рисунок 4.1 – Сооружения при плотине из местных материалов.

а – план плотины; б – продольный разрез по оси плотины; в – план водосбросного тракта; 1-плотина, 2- водосбросный тракт, 3- водозабор, 4- магистральный канал, 5- водоспуск, 6- подводящий канал, 7- шлюз-регулятор, 8- сбросной канал, 9- сопрягающее устройство, 10- отводящий канал, 11- русло водотока.

В состав водосбросных трактов в общем случае входят следующие сооружения: (6) – подводящий канал, (7) – регулирующее сооружение, (5) – сбросный канал, (9) – сопрягающее сооружение, (8) – отводящий канал и ледоудерживающие устройства. Нередко отсутствует один из каналов, например, подводящий или сбросной, но возможно отсутствие и двух каналов.

Для недопущения льда на водосбросной тракт в начале подводящего канала или перед шлюзом – регулятором ставят ледоудерживающие устройства, через которые свободно проходит вода, но задерживаются лед и другие плавающие тела.

Для устройства водосбросного тракта сначала выбирается трасса, под которой понимают осевую линию сооружений, проложенную на местности с разбивкой на ней пикетажа. Она может быть как прямолинейной, так и криволинейной (с углами поворота) и проходить на некотором удалении от плеча плотины.

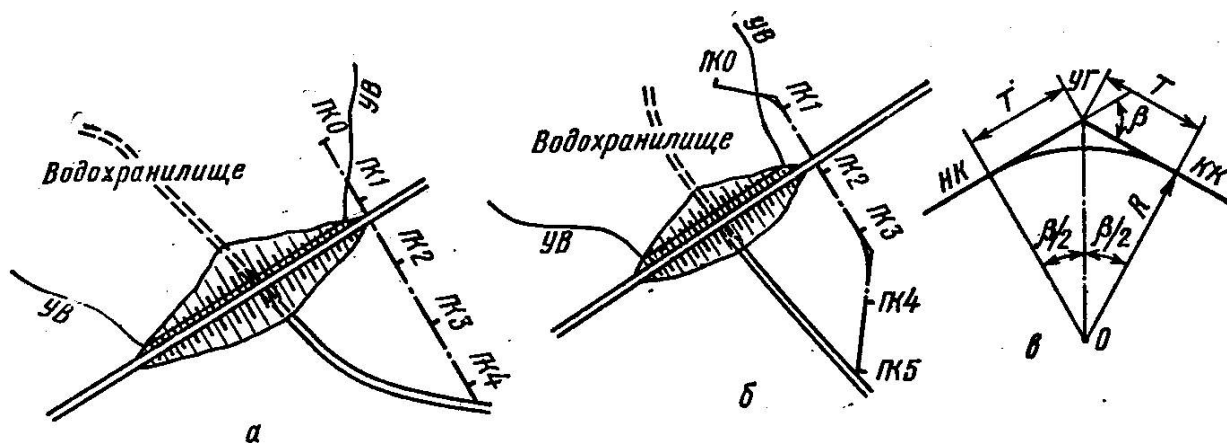


Рисунок 4.2 – Трасса поверхностного водосбросного тракта: а – прямолинейная; б – с углами поворота; в – разбивка кривой на трассе.

Для обеспечения плавного движения воды на водосбросном тракте, когда трасса имеет угол поворота, вписывают кривые с радиусом не менее пятикратной ширины канала по урезу воды.

При разбивке кривых, когда задан угол поворота β , вычисляют T – длину отрезка до начала или конца кривой:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \quad \text{и длину кривой} \quad l_{\text{кр}} = \frac{\pi R \beta}{180^\circ}.$$

Зная T и $l_{\text{кр}}$, определяют пикеты начала и конца кривой.

На криволинейном участке трассы рекомендуется размещать каналы, а другие сооружения относить на прямолинейные участки.

Грунты из выемок водосбросных трактов укладывают в тело плотины, если они пригодны для насыпи. Затраты по гидроузлу при этом сокращаются, но следует учитывать, что глубокие выемки осложняют эксплуатацию сооружений, особенно при пропуске расходов половодья.

Если на водосбросном тракте трудно разместить сооружения в одном месте, их можно рассредоточить, например, вместо одного сопрягающего устройства выполнить два или больше.

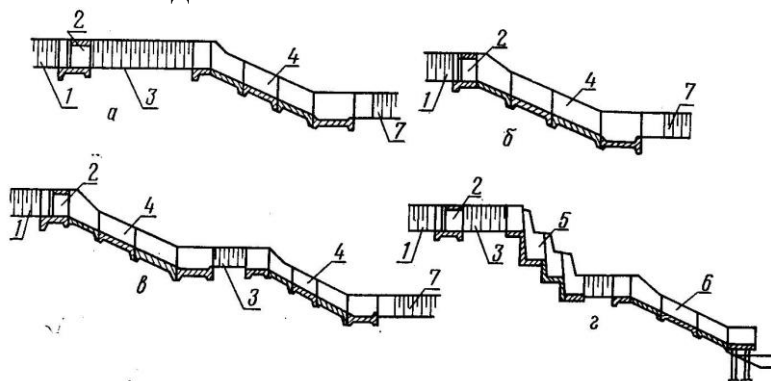


Рисунок 4.3 – Примеры размещения сооружений на поверхностном водосбросном тракте: 1-подводящий канал; 2-шлюз-регулятор; 3-сбросной канал; 4-быстроток; 5-перепад; 6-консольный сброс; 7-отводящий канал.

Открытые нерегулируемые береговые водосбросы

1) **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. Длину порога водосброса определяют исходя из гидравлического расчета (по формуле гидравлики):

$$L = \frac{Q}{\varepsilon m \sqrt{2g H_0^2}} \quad \text{- неподтопленный водослив с широким порогом}$$

$$L = \frac{Q}{\varphi h_{\text{п}} \sqrt{2gZ}} \quad \text{- при подтопленном водосливе.}$$

Нерегулируемые водосбросы могут быть и без фиксирующих порогов при расположении входного порога водосбора на отметке НПУ. Такие сбросы целесообразно применять на коротких трактах, чтобы не устраивать сбросные каналы.

2) Траншейные водосбросы. Применяются при больших сбросных расходах воды и крутых берегах, особенно когда они сложены скальными и полускальными породами. В этих условиях для устройства обычного водосброса потребовалось бы значительно расширить фронт водослива и ширину канала или увеличить напор на пороге.

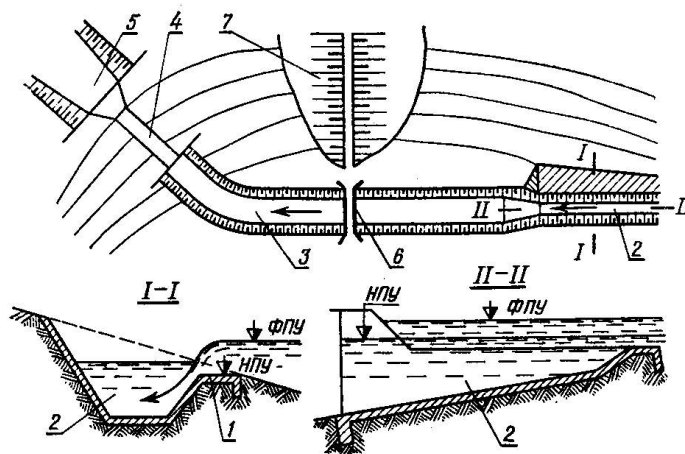


Рисунок 4.4 – Траншейный водосброс: 1- порог (водослив) на отметке НПУ; 2- траншея переменного сечения; 3- сбросной канал; 4- сопрягающее сооружение; 5- отводящий канал; 6- мост через траншейный водосброс; 7- плотина.

Траншейный водосброс является одним из типов открытых водосбросов и состоит из бокового водослива – траншеи с водосливным порогом, расположенным вдоль берега водохранилища на отметке НПУ на расстоянии 20-40м от плотины. Переливающаяся через водослив вода попадает в сбросную траншею переменного сечения, затем поступает в сбросной канал и далее через сопрягающие сооружения и отводящий канал сбрасываются в нижний бьеф. Длину порога, глубину траншеи и размеры всего сбросного тракта определяют гидравлическим расчетом:

$$L = \frac{Q}{m \sqrt{2g} H_0^{\frac{3}{2}}} \text{ – неподтопленный водослив или } L = \frac{Q}{\varphi h_{\Pi} \sqrt{2gZ}},$$

где m – 0,36 коэффициент расхода, φ - коэффициент скорости; h_{Π} – глубина воды на пороге, Z – разность уровней перед порогом и на пороге.

Применяют траншейные водосбросы при плотинах высотой 10– 15м, напорах на водосливе до 1,5м и сбросных расходах воды $100 \frac{M^3}{c}$ и более.

3) Водосбросы с боковым сливом. Применяют на небольших прудах сельскохозяйственного назначения. В них отсутствуют сопрягающие сооружения, являющиеся наиболее дорогими и сложными элементами водосбросов. Вода здесь сбрасывается через земляной боковой порог,

расположенный на концевой части сбросного канала по горизонтали склона балки (схема обратная траншейному).

Сливной порог выполняется в виде горизонтальной площадки шириной 2 – 3 м и укрепляют каменной отмосткой или одерновкой. Порог плавно сопрягают со склоном, по которому тонким слоем и с малыми скоростями стекает и сбрасывается в нижний бьеф вода. Порог по всей длине имеет отметку равную НПУ. Длина сбросного порога в зависимости от сбросного расхода принимается равной 20 – 80 м. Применяется на плотине высотой 4 – 5 м, сбросных расходах воды до 10 – 12 м³/с.

Водосбросы с заглубленными водосбросными трактами.

1) *Шахтно-башенные водосбросы* – в них сливная часть состоит из вертикального ствола башни или шахты. Применяется в составе средне- и низконапорных гидроузлов для автоматического сброса паводковых расходов с водохранилища. В отечественной практике получили распространение серийные (типовые) водосбросы на расход от 20 до 160 м³/с с напором 4 – 12 м.

В тех случаях, когда по условиям рельефа створа – берегов (узкие ущелья и крутые берега), а также геологическое строение грунтов (скальные и полускальные породы), большие сбросные расходы, применяют шахтные водосбросы, состоящие из водослива воронки, переходящего участка вертикальной шахты и отводящего почти горизонтального тоннеля.

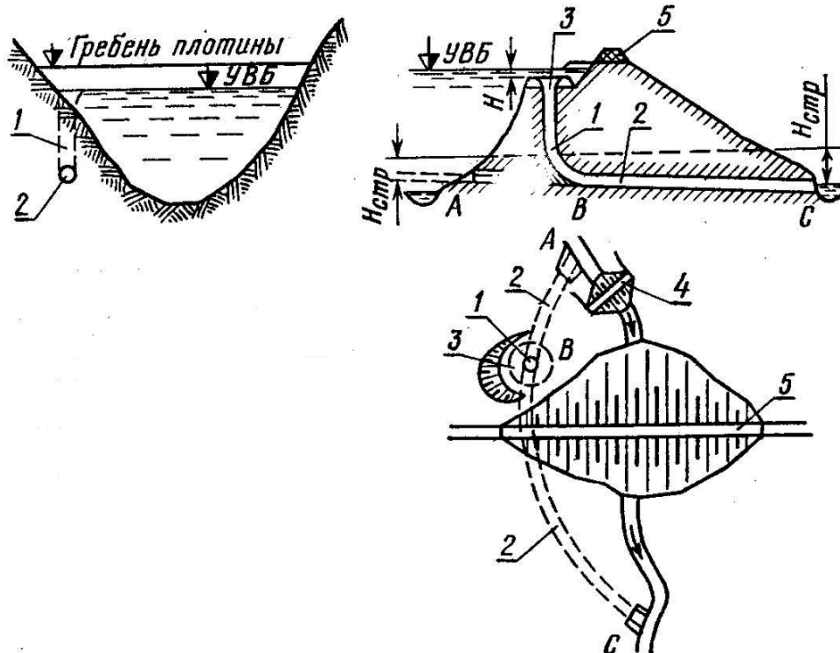


Рисунок 4.5 – схема шахтно-башенного водосброса:

1 – шахта, 2 – тоннель, 3 – воронка, 4 – перемычка, 5 – плотина

Шахтные водосбросы выполняют регулируемые и нерегулируемые. Гидравлический расчет шахтного водосброса состоит из расчета кольцевого водослива и расчета водовода за ним, включая и шахту.

Радиус кольцевого водослива определяют по формуле:

$$R = \frac{Q}{m^2 \pi \sqrt{2g} H_0^{\frac{3}{2}}}$$

Вторая часть расчета состоит в определении пропускной способности всего водосбросного тракта. При напорном режиме по заданному максимальному расходу Q и разности уровней воды в бьефах z определяют поперечное сечение водовода из формулы:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gz_0} ,$$

где μ - коэффициент расхода системы, учитывающий как местные потери, так и по длине.

При безнапорном режиме отводящий тоннель рассчитывается по формуле Шези, из которой при заданном поперечном сечении водовода определяют уклон.

Шахтный водосброс может применяться при больших расходах и больших напорах (например, плотина Болдер – высота 222м, пропускной расход - 5650 м³/с).

2) *Трубчато-ковшовый водосброс.* По условиям работы аналогичен траншейному. Водоприемная часть в нем выполнена в виде ковша, в который с трех сторон сливается вода, как через водослив с тонкой стенкой. Из ковша вода сбрасывается в нижний бьеф по напорному трубопроводу или с помощью сопрягающего сооружения. Отметку порога принимают равной ∇ НПУ водохранилища. Удельный расход ковшового сброса примерно на 15 –17% выше удельного расхода траншейного.

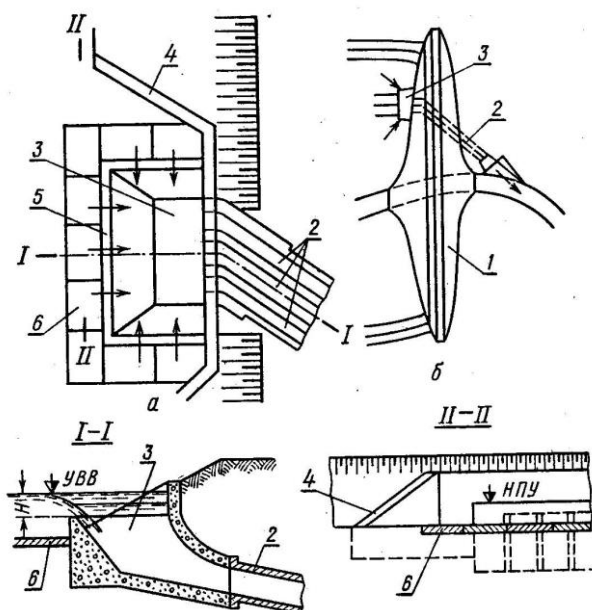


Рисунок 4.6 – Трубчатый водосброс: 1-плотина; 2- трубы водосброса; 3- ковш; 4-ограждающие стенки; 5- водослив; 6- плотина.

Гидравлический расчет сводится к определению ширины водослива, потерь напора в трубах и размеров водобойного колодца.

3) *Сифонные водосбросы.* Их выполняют или в виде самостоятельной конструкции, соединенной с отводной трубой, или в виде дополнения к

глубинным водосбросам. Сифонные водосбросы – это сооружения автоматического действия, гребень их располагают на отметке НПУ.

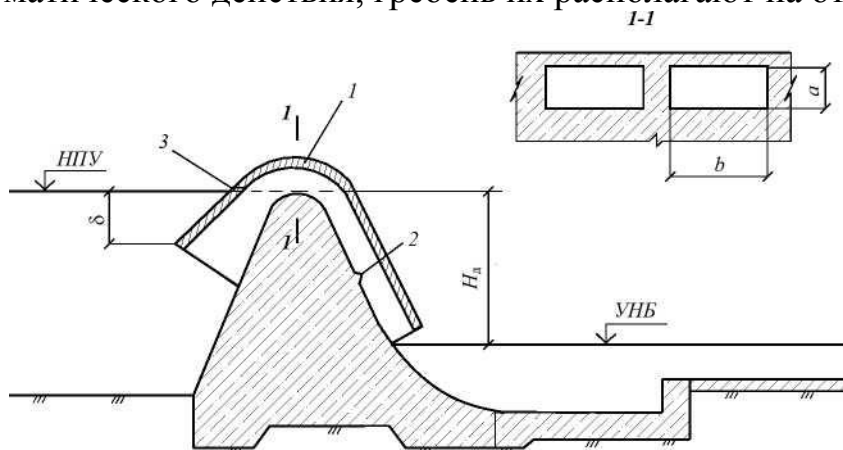


Рисунок 4.7 – Схема бетонной плотины с сифонным водосбросом:
1- капор; 2 - отклоняющий носок; 3 - воздушное отверстие

Работает сифонный водосброс следующим образом. При повышении уровня воды в верхнем бьефе выше отметки НПУ начинается перелив воды через гребень сифона. Стекающая по грани водослива струя воды отбрасывается носком к потолку и герметизирует пространство водовода выше носка, унося при этом с собой воздух. В замкнутом пространстве трубы возникает вакуум. Происходит включение сифона в работу (зарядка). Для включения сифона в работу требуется повышение уровня воды в верхнем бьефе на 10-20 см. Сифон разряжается при попадании воздуха в трубу. Это происходит при снижении уровня воды в верхнем бьефе ниже входной кромки капора. При необходимости выключить сифон на отметке НПУ на ней устраивается воздушное отверстие для срыва вакуума.

Отклоняющий носок располагается на высоте $(0,4-0,5)H$ от выходной кромки капора. Высоту носка рекомендуется назначать не менее 0,1 высоты трубы. Обычно сифонный водосброс состоит из нескольких труб, объединенных в батарею. С целью недопущения одновременного включения всех труб при сбросе небольших паводков гребни отдельных труб и входные кромки капора располагаются на разных отметках, отличающихся друг от друга на 5-10 см.

Сифоны обладают большой пропускной способностью, определяемой по формуле:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gZ} ,$$

в котором $\mu = 0,75 - 0,85$, а разность бьефов Z – как правило значительна.

При больших расходах ставят несколько рядом расположенных сифонов.

В небольших грунтовых плотинах сифоны иногда устраивают в виде гибких труб через тело плотины вблизи примыкания ее к берегу.

4. Водоспуски и водовыпуски в низконапорных плотинах.

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 данной реки;
- для подачи воды потребителям, появившимся после возведения плотины в связи с развитием промышленности и водоснабжения населенных пунктов, расположенных ниже по течению водотока;
- для подачи воды на орошаемые поля (водовыпуски), расположенные за плотинной.

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 низкорасположенными 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.

Исходя из задач, выполняемых водоспусками, их располагают в пониженных местах русла водостока. 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 на более высоких отметках. Но тогда перевод потока воды за выходом из водоспуска в русло водотока происходит при помощи сопрягающего сооружения.

Водоспуски полезно совмещать с другими водопропускными сооружениями, а в некоторых случаях - с водозабором.

Наиболее целесообразно эксплуатационные водоспуски совмещать с водоспусками для пропуска строительных расходов. С этой целью после возведения плотины строительные водоспуски дополнительно переоборудуют в эксплуатационные.

Исходя из задач, выполняемых водоспусками, они работают непрерывно или периодически. Попуски воды из водохранилища для полезных целей осуществляются независимо от времени года. Водоспуски (водовыпуски), предназначенные для этих целей, работают без перерыва при всех уровнях воды в водохранилище. Следовательно, в конструкциях таких водоспусков

полезно иметь две и больше самостоятельно работающие нитки трубопроводов. При необходимости ремонтных работ отключают одну из ниток, обеспечивая непрерывную подачу воды водопотребителю.

Непрерывно работающие водоспуски в период высоких уровней воды в водохранилище находятся под большим напором, для гашения которого требуются мощные гасящие устройства. Кроме того, приходится учитывать появление кавитации и сопутствующей ей кавитационной эрозии.

Регулирование расходов осуществляется затворами, которые устраивают в начале водоводов, в средней части и на выходе, предусматривая для них камеры управления.

В плотинах небольшой высоты (например, для рыбных прудовых хозяйств) устраивают открытые водоспуски, по конструкции представляющие шлюз-регулятор.

В плотинах небольшой высоты распространены также трубчатые водоспуски. Они устраиваются в основании грунтовых или каменно-набросных плотин. В состав трубчатого водоспуска входят следующие части:

- 1 – трубы (одна или несколько), соединяющие водохранилище с нижним бьефом;
- 2 – затворы в верховом и низовом концах труб;
- 3 – устройство для управления затворами в виде надстроек, колодцев или башен;
- 4 – устройство для гашения энергии на выходе в нижний бьеф.

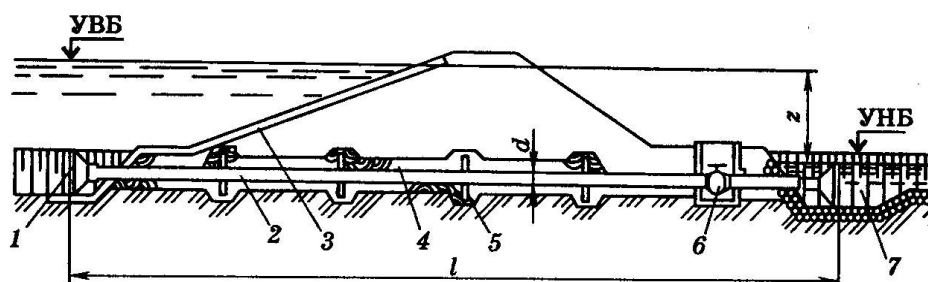


Рисунок 4.8 – Трубчатый водоспуск:

- 1 - металлическая решетка; 2 – стальная или чугунная плита; 3 – крепление верхового откоса; 4 – слой глины; 5 – диафрагма; 6 – задвижка; 7 – водобойный колодец.

При небольших диаметрах труб (до 1 м) применяют чугунные звенья труб (устанавливались в старых плотинах), при больших диаметрах – сварные. В настоящее время получили широкое распространение железобетонные трубы. Бетон применяют иногда для облицовки металлических труб. Форма сечения труб может быть круглая, овальная, прямоугольная.

Трубы водоспусков располагают либо непосредственно в грунте, либо внутри особой галереи. **Первый способ** более дешевый, но он имеет ряд недостатков. Вследствие неравномерной осадки трубы, уложенные на сжимаемом основании, будут деформироваться, могут появиться щели в стыках или трещины в самих трубах, через которые вода будет фильтровать в тело плотины, размягчая грунты, вынося мелкие частицы и создавая опасность аварии. **Второй способ** дороже, но не имеет недостатков первого способа.

Кроме того, имеется возможность осмотреть трубы во время эксплуатации и даже полностью их заменить в случае необходимости.

Во избежание контактной фильтрации вдоль труб устраивают диафрагмы и трубы обкладывают мягкой глиной или обмазывают битумом для лучшей связки с грунтом тела плотины.

Наиболее рациональный тип водоспусков при плотинах низких и средней высоты – это башенный водоспуск. Основные части те же, что и в трубчатом водоспуске, но для управления затворами устраивается башня. Башня может занимать три характерных положения.

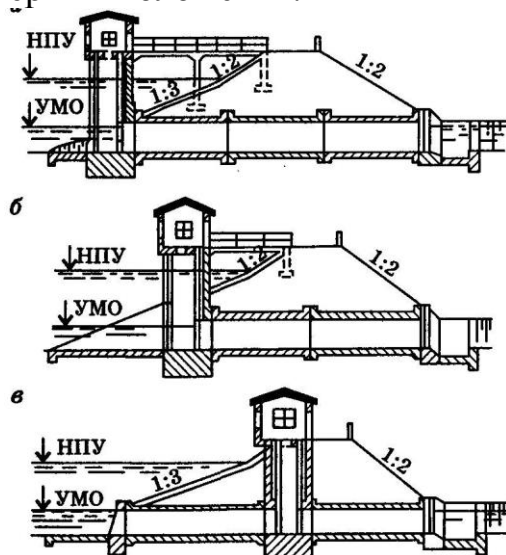


Рисунок 4.9 – Варианты расположения башни: а – у подошвы верхового откоса; б – примерно посередине откоса; в – в примыкании к бровке гребня плотины.

При расположении башни у верхового откоса отсутствует подходный участок, вода может забираться из верхних слоев водохранилища, менее насыщенных наносами. Для этого на лицевой части башни устраивают окна и перекрывают их затворами или устраивают шандорную стенку. Вместе с тем, при таком расположении башни требуется длинный служебный мостик, башня менее устойчива, так как она по всей высоте находится под воздействием волн, льда и ветра.

При расположении башни у гребня плотины отсутствует служебный мостик, устойчивость башни повышается, но появляется длинный напорный подходный участок, забор воды может происходить только из нижних слоев, наиболее насыщенных наносом.

Чаще всего встречается вторая схема расположения башни.

В каменно-набросных плотинах высокого напора и при скальных основаниях применяют тоннельные водоспуски, проложенных на низких отметках в толще основания. Такой водоспуск состоит из горизонтальной или наклонной штольни с расширяющимся входом (воронкой) для уменьшения входных скоростей. Вход в воронку защищают решеткой от захвата мусора. Управление затворами происходит из шахты, пробитой в породе, верх ее располагают на незатопленных отметках.

Лекция № 5

Каналы и сооружения на них

- 1 Общие сведения о каналах.
- 2 Гидравлический расчет поперечного сечения канала.
3. Общие сведения о регулирующих сооружениях.
4. Водопроводящие сооружения.
5. Сопрягающие сооружения.

1. Общие сведения о каналах

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

По назначению их подразделяют на:

1. мелиоративные (осушительные, оросительные),
2. деривационные,
3. водопроводные,
4. судоходные,
5. обводнительные,
6. лесосплавные,
7. рыбоводные и др.

Поперечное сечение каналов выполняют прямоугольным, трапецеидальным, полигональным, сегментным, параболическим (рис. 5.1) 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:

1. очень малые (менее $5 \text{ м}^3/\text{с}$),
2. малые ($5 \dots 35 \text{ м}^3/\text{с}$),
3. средние ($35 \dots 350 \text{ м}^3/\text{с}$),
4. большие ($350 \dots 800 \text{ м}^3/\text{с}$),
5. очень большие (более $800 \text{ м}^3/\text{с}$).

Каналы для питьевого водоснабжения в населенных местах, где возможна организация санитарной зоны, устраиваются открытыми. Каналы для промышленного водоснабжения обычно устраиваются открытыми на всем протяжении. В пределах промышленных площадок эти каналы могут быть закрытыми или в виде трубопроводов.

При проектировании каналов определяют его положение в плане (трассу канала), продольный профиль и поперечное сечение. Поперечное сечение канала является основной его характеристикой. Основные формы поперечных сечений канала – прямоугольная и трапецеидальная. Прямоугольная – в скальных грунтах, а также в пределах населенных мест и промышленных территорий. В последних двух случаях они обычно делаются закрытыми.

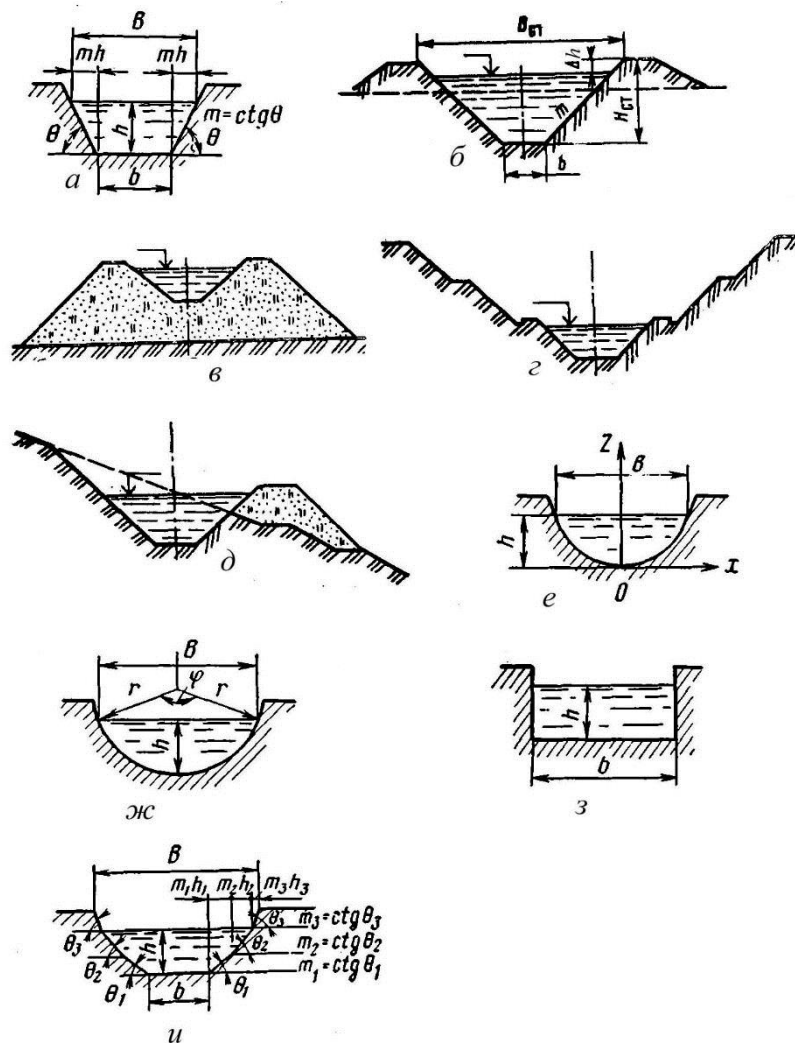


Рисунок 5.1 – Формы и размеры живого сечения каналов:
 а) трапецидальная; б) то же в выемке; в) то же в насыпи; г) то же в глубокой выемке; д) то же на косогоре; е) параболическая; ж) круговая (сегментная);
 з) прямоугольная; и) полигональная.

Размеры каналов определяются гидравлическими расчетами из заданного расхода воды. Водопроводные каналы устраиваются в одну и две нитки. В первом случае во время ремонта канала водоснабжение происходит за счет запасных водохранилищ. Во втором случае каждая из ниток канала на случай ремонта рассчитывается на полную пропускную способность. Заложение откосов каналов (**m**) выбирают исходя из устойчивости откосов. Общее направление канала в плане желательно иметь по прямой линии. Однако в действительности трасса значительно отличается от прямой.

По геологическим условиям канал необходимо трассировать в устойчивых и маловодопроницаемых грунтах.

Уклон отдельных участков определяют по формуле:

$$J = \frac{v_{\text{доп}}^2}{C^2 R},$$

где $v_{\text{доп}}$ - допускаемая скорость, C – коэффициент Шези.

$v_{\text{РАЗМ}} > v_{\text{ДОП}} > v_{\text{ЗАПЛ}}$, R - гидравлический радиус.

2 Гидравлический расчет поперечного сечения канала и проверка на допускаемые скорости течения воды

Виды движения потока и расчетные условия. В каналах различают следующие основные виды движения потока:

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

- **неустановившийся**, при котором скорость во всех точках занятого ею пространства изменяется по значению и (или) направлению во времени.

При установившемся виде движения потока различают следующие режимы:

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

- **неравномерный**, при котором скорости потока воды в живых сечениях по длине русла неодинаковы.

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

Обычно 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, формы и размеров поперечного сечения, а также в случае возникновения волн перемещения, приводящих в движение большие массы воды во время паводков, половодий, при попусках, прорывах и т.д.

На мелиоративных каналах расчетными расходами являются весенние, предпосевные, летне-осенние паводковые, меженные (бытовые). Пропуск расходов воды 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.

Порядок гидравлического расчета каналов следующий: заданными величинами будут – расход воды Q , уклон канала – J и величина заложения откоса – m . Необходимо определить ширину канала по низу b и его глубину h .

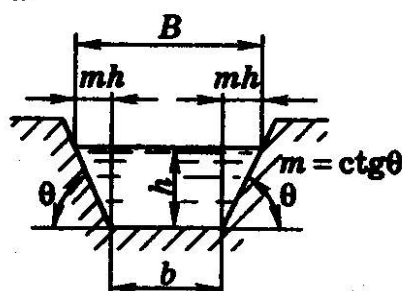


Рисунок 5.2 – Трапецеидальная форма живого сечения канала и его размеры

Первоначально требуют определить гидравлически наивыгоднейшее сечение канала. Для этого пользуются двумя уравнениями:

$$\frac{b}{h} = 2(\sqrt{1 + m^2} - m) \quad (5.1)$$

$$\text{и } R = \frac{h}{2}. \quad (5.2)$$

Эти уравнения дают возможность из уравнения Шези

$$Q = \omega C \sqrt{RJ} \quad (5.3)$$

после ряда преобразований определить глубину канала по формуле:

$$h = \left[\frac{1,6Qn}{J^{\frac{1}{2}} (2\sqrt{1 + m^2} - m)} \right]^{\frac{3}{8}}. \quad (5.4)$$

В уравнении Шези ω - площадь живого сечения, $C = \frac{1}{n} R^y$, где n - коэффициент шероховатости, а R - гидравлический радиус. Показатель степени y может быть определен по Н.И.Павловскому и часто принимается равным $\frac{1}{6}$ (формула Манинга).

Зная глубину канала, можно из уравнения (5.1) определить ширину канала по низу (b).

Однако гидравлически наивыгоднейшее сечение по условиям производства работ не всегда можно выполнить. Так, при разработке канала b_{\min} должно быть (1 - 2)м и более. Задаваясь b , можно из уравнения (5.1) определить h :

$$h = \frac{b_{\min}}{2(\sqrt{1 + m^2} - m)}. \quad (5.5)$$

Если водопроводный канал предполагают использовать для местного транспорта, то глубина канала определяется по формуле:

$$h = h_{\text{ос}} + h_{\text{зап}}, \quad (5.6)$$

где $h_{\text{ос}}$ - глубина осадки судна, а $h_{\text{зап}}$ - необходимый запас под судном.

Тогда b определяется графоаналитическим способом из уравнения Шези (5.3) и увязывают эту ширину с шириной судна. Чаще всего гидравлический расчет каналов ведут графоаналитическим способом по формуле Шези.

После определения поперечного сечения гидравлическим способом, производят его проверку на допустимые скорости на размыв и заиление

$$v_{\text{нрм}} > v_{\text{доп}} > v_{\text{нзл}}.$$

Неразмывающие скорости $v_{\text{нрм}}$ колеблются в зависимости от грунта и рода покрытия в широких пределах. Так, для песка $v_{\text{нрм}} = 0,4 \text{ м/с}$, а для бетонного покрытия $v_{\text{нрм}} = 10 \text{ м/с}$.

Незаиляющая скорость находится в пределах (0,2 - 0,4)м/с.

Заращение канала травяной растительностью происходит у берегов или по всему профилю канала при глубине менее (2 - 1,5) м и понижает

пропускную способность канала. Для того, чтобы избежать этого $v_{ср}$ должно быть не менее $(0,5 - 0,6) м/с$.

3. Общие сведения о регулирующих сооружениях

Управление водой на каналах водохозяйственных систем осуществляется регулируемыми сооружениями, которые имеют общее название – шлюзы-регуляторы. Назначение регулирующих сооружений состоит в распределении воды по каналам, регулировании расходов, поддержании заданных уровней, обеспечении гидравлической промывки каналов от отложившихся в них наносов, а также учете воды, подаваемой потребителю. Регулирующие сооружения используют как на ирригационных, так и на осушительных системах, при этом конструкция их будет одинаковой.

Сооружения на каналах принято **классифицировать** по классам, по назначению, конструктивным особенностям и способу производства работ.

1. По назначению регулирующие сооружения (шлюзы-регуляторы) могут быть *головными, водовыпусками, перегораживающими, сбросными, концевыми, вододелителями, промывными.*

2. По конструктивным признакам различают шлюзы-регуляторы *открытые, диафрагмовые, трубчатые напорные и безнапорные.*

3. По способу производства работ они подразделяются на *монолитные, сборные и комбинированные.*

Нормальные расходы каналов и соответствующие им уровни принимают за расчетные при определении размеров регулирующих сооружений.

Открытые шлюзы-регуляторы

Наиболее часто на водопроводящих каналах используют открытые шлюзы-регуляторы. В конструктивном отношении в шлюзах-регуляторах условно можно выделить три составные части, отделяемые друг от друга деформационными швами:

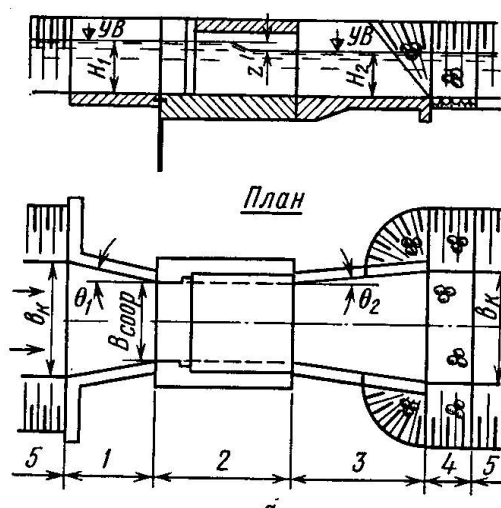


Рисунок 5.3 – Открытый шлюз-регулятор с подтопленным истечением и его составные части: 1-верховой сопрягающий участок; 2-средняя часть – лоток; 3-низовой сопрягающий участок; 4-рисберма; 5-подводящий и отводящий каналы.

1 – верховой сопрягающий участок, включающий 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. Применяются схемы и без верхового участка.

2 – средняя, основная часть сооружения, представляющая собой лоток прямоугольного, реже – трапецеидального сечения. В пределах лотка размещаются бычки, пазовые конструкции, затворы, служебные мостики и проезжие мосты.

3 – низовой сопрягающий участок, который служит продлением средней части сооружения и используется для сопряжения с отводящим каналом и размещения на флютбете гасителей энергии. За низовым сопрягающим участком следует рисберма, водопроницаемая часть флютбета.

Примыкание отдельных частей шлюза-регулятора друг к другу, а также к каналам должно быть взаимно увязано и обеспечивать благоприятные гидравлические условия для протекания потока.

Для сопряжения каналов с сооружениями используются обратные стенки, ныряющие стенки, косые плоскости и их комбинации.

Для сопряжения сооружений с берегами служат устои, которые воспринимают силу давления грунта обратной засыпки и одновременно используются для размещения пазовых конструкций и служат опорами для мостов.

Трубчатые шлюзы-регуляторы

Их применение целесообразно в следующих случаях:

1 – при сравнительно небольших глубинах воды в каналах, когда можно использовать трубы заводского изготовления;

2 – при необходимости устройства проезда через сооружение;

3 – при глубоких выемках каналов. В этом случае достигается значительная экономия по единовременным затратам.

4 – в распределительных узлах сооружений, когда число водовыпусков больше трех, разместить в этом случае открытые шлюзы-регуляторы затруднительно.

По гидравлическому режиму трубчатые шлюзы-регуляторы могут быть безнапорными и напорными. Существенной разницы в конструкциях между ними нет. Безнапорные шлюзы-регуляторы применяют при незначительной разнице уровней воды в бьефах, в то время, как с напорным режимом в трубах требуется разница уровней воды.

При нескольких параллельно уложенных трубах расстояние между ними принимают не менее 0,6м. Если предусматривается проезд, то высота засыпки должна быть не менее 0,6м, а при асбестоцементных трубах – до 1м.

Типовые сборные конструкции трубчатых шлюзов-регуляторов составлены на расходы от долей м³ до 10м³/с с действующим напором до 1м.

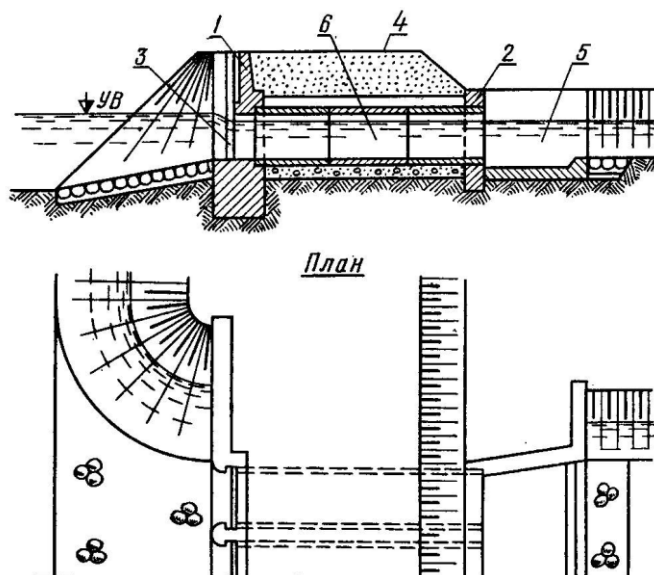


Рисунок 5.4 – Трубчатый шлюз-регулятор типа водовыпуска: 1 – входной оголовок; 2 – выходной оголовок; 3 – затворы; 4 – дорога; 5 – водобойный колодец; 6 – труба.

4. Водопроводящие сооружения

В общем случае под водопроводящим сооружением 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 водопроводящим сооружениям, устраиваемых на гидротехнических каналах, относятся лотки, дюкеры, сепепроводы, трубы на каналах и под каналами, ливнеспуски и гидротехнические тоннели.

Дюкеры

Напорные трубопроводы, устраиваемые на каналах, когда на пути их встречаются препятствия, называют дюкерами. Особенность дюкеров состоит в том, что трубопроводы расположены в них ниже дна канала, вследствие чего поток воды в них всегда напорный.

По расположению дюкеров относительно поверхности земли их можно разделить на два типа:

тип I – проложенные под пересекаемыми препятствиями ниже поверхности земли и засыпанные сверху грунтом. По конструктивным особенностям их можно разделить на **шахтные (колодезные)**, применяемые для небольших напоров (до 3 – 5 м),

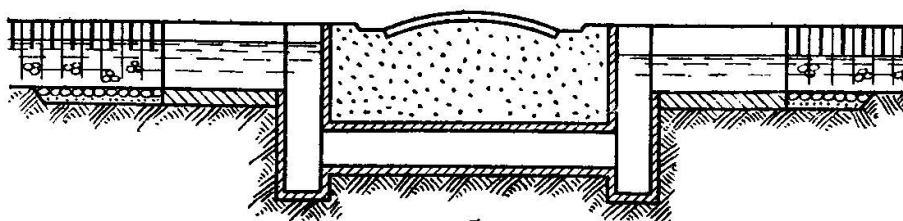


Рисунок 5.5 – Закрытый дюкер колодезного типа

и **криволинейные**, в которых в местах перелома осей трубопроводов делаются криволинейные вставки;

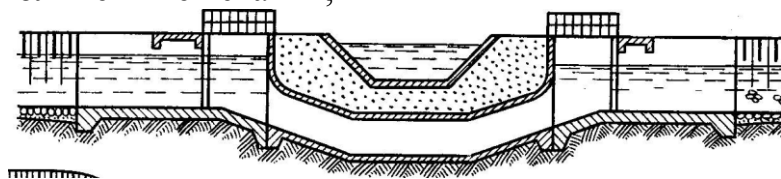


Рисунок 5.6 – Закрытый дюкер, применяемый при пересечении каналом канала (дороги)

тип II – проложенные по склонам и дну глубокой и широкой долины, обычно на всем протяжении находятся выше поверхности земли, а при пересечении русла водотока укладываются по мосту.

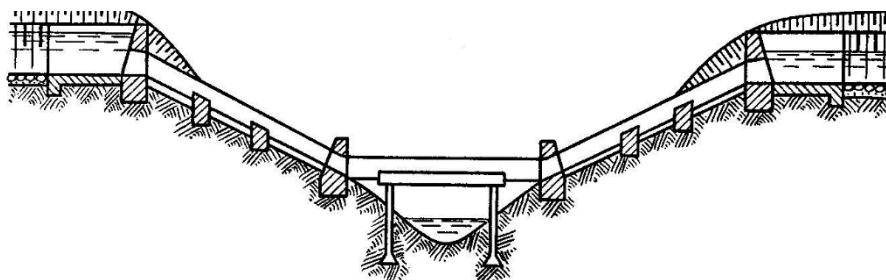


Рисунок 5.7 – Открытый дюкер, устраиваемый при пересечении долины со значительным понижением русла водотока

В месте пересечения двух каналов дюкер устраивают на канале с меньшим расходом. Скорости в дюкерах назначают (1,5 – 4) м/с. Нижний предел скорости связан с незаиленностью труб. Применяются бетонные, железобетонные и металлические трубы. В практике мелиоративного строительства применяют преимущественно трубы круглого и прямоугольного сечения. Дюкеры сборные заводского изготовления выполняют только круглого сечения диаметром до 1,5м. Типовые дюкеры разработаны на расходы до 30м³/с из сборного железобетона.

Трубы на гидромелиоративных каналах

В местах пересечения водотока с каналом устраивают также трубы под каналом. Они более экономичны при небольшой ширине водотока и малой разнице уровней в канале и водотоке.

В местах пересечения каналов с хозяйственными дорогами устраивают переезды. Такие переезды представляют собой трубы, уложенные горизонтально по дну канала и засыпанные сверху слоем местного грунта толщиной до 1м. В большинстве случаев их устраивают бетонными, железобетонными, асбестоцементными и реже – металлическими. Режим потока в трубах задают безнапорный. Из этих условий определяют и сечение труб.

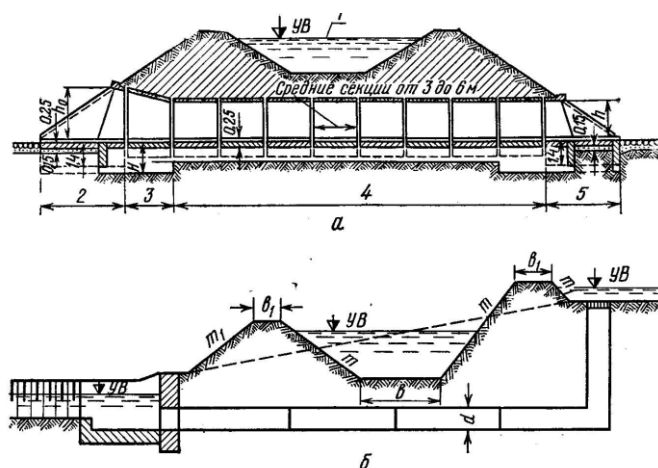


Рисунок 5.8 – Водопрпускные сооружения под каналами:
 а – труба под каналом; б – ливнеспуск под каналом, проложенным по косоугору; 1 – канал;
 2 – входной оголовок; 3 – повышенное звено; 4 – тело трубы; 5 – выходной оголовок.

Конструкция акведуков, селепроводов и лотков

Водопроводящие сооружения, выполняемые в виде мостов или эстакад с лотками или трубами, предназначенными для перевода водоводов через понижения рельефа местности, **называют акведуками**.

Селепроводы (селедуки) представляют собой акведуки, расположенные под каналами, водотоками или другими препятствиями и предназначены для пропуска по ним селей.

Лотки как самостоятельные водопроводящие сооружения заменяют земляные каналы в тех местах, где по топографическим или другим условиям их трудно проложить.

Акведуки применяют при пересечении малых рек, балок, значительной длины, понижений глубиной до 20м, на каналах, где сокращение потерь напора имеет существенное значение. Выполняют их, как правило, из железобетона. По конструкции они подобны мостам. В начале входного участка (в конце выходного) предусматривают бетонный зуб и забивают шпунтовую стенку. Такие вертикальные преграды способствуют отклонению фильтрационного потока к дренажу, расположенному у подошвы откоса.

По конструктивным особенностям пролетного строения акведуки можно разделить на два основных вида.

Первый из них состоит из двух независимых конструкций – моста, подобно проезжому, и лотка, проложенного по нему.

Во втором виде акведуков пролетным строением будет сам лоток, опирающийся на опоры. Сборные конструкции акведуков возводят только второго типа.

Поперечное сечение лотков выполняют прямоугольным, параболическим и полукруглым. По длине разрезаются деформационными швами через (25 – 30)м. Опоры в акведуках применяют рамные (сквозные) и сплошные. По местоположению они могут быть концевые и промежуточные. Фундаменты

опор, расположенные в пределах водотока, заглубляют ниже возможной максимальной глубины размыва.

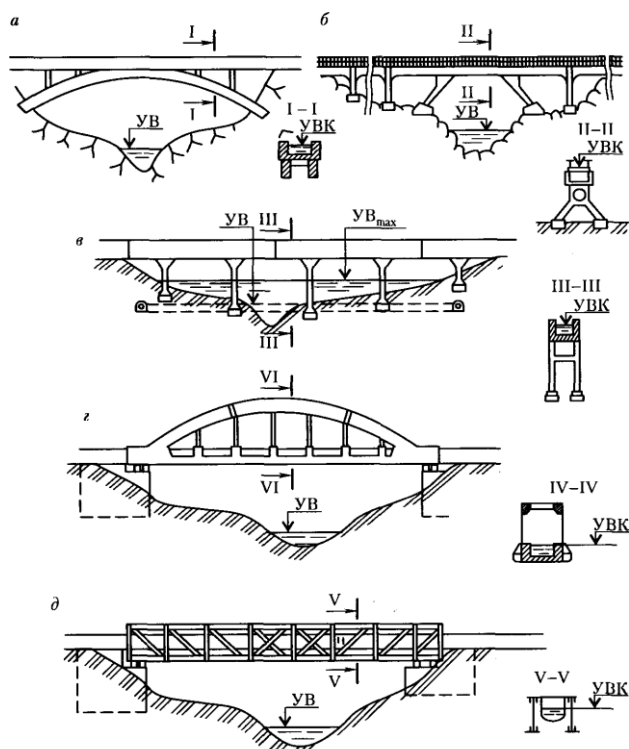


Рисунок 5.9 – Схемы акведуков:

а – арочный; б, в – рамный; г – подвесной; д – опирающийся на деревянную или железобетонную ферму

Селепроводы в конструктивном отношении – это те же акведуки. Особенность их заключается в устройстве струенаправляющих дамб, примыкающих к сооружению, для обеспечения плавного подвода селевого потока.

Лотки в гидромелиоративном строительстве применяют на косогорных участках, в горных и предгорных районах при изрезанном рельефе, на орошаемых площадях, где все каналы заменены лотковой системой. Выполняют их прямоугольного, трапецидального, полуциркульного и параболического сечения. Могут быть монолитными или сборными.

5. Сопрягающие сооружения

Сопрягающие сооружения предназначены для соединения участков каналов, расположенных на разных отметках в местах падения рельефа местности. По условиям движения потока эти сооружения подразделяются на две основные группы:

- 1) сооружения, в которых вода движется без отрыва от их жестких границ (*быстротоки, трубчатые перепады*);
- 2) сооружения, в которых вода часть пути движется по сооружению, а часть - в отрыве от него (*консольные и ступенчатые перепады*) (рис. 5.10 и рис.5.11).

Быстротоки, ступенчатые и консольные перепады по гидравлическим и конструктивным признакам обычно не отличаются от быстротоков и перепадов береговых водосбросов. Эти сооружения являются безнапорными. При очень крутых склонах могут применяться напорные перепады - трубчатый (рис. 5.12) или шахтный (рис. 5.13).

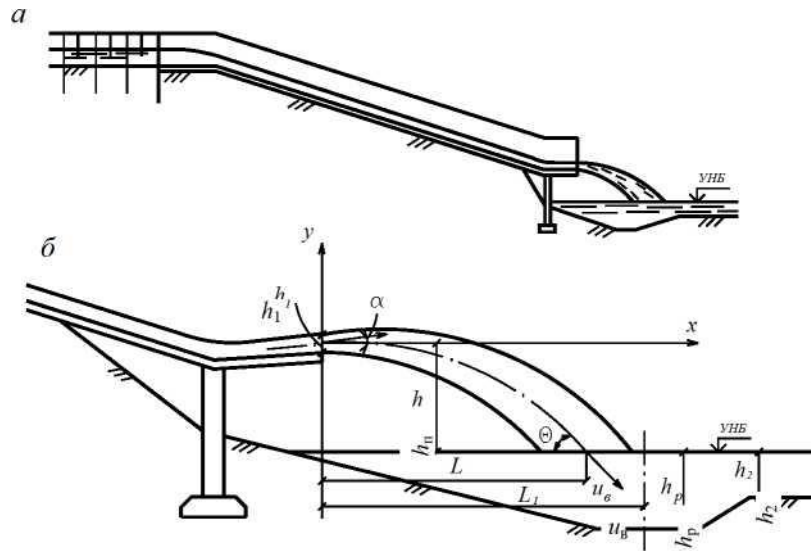


Рисунок 5.10 – Консольный перепад

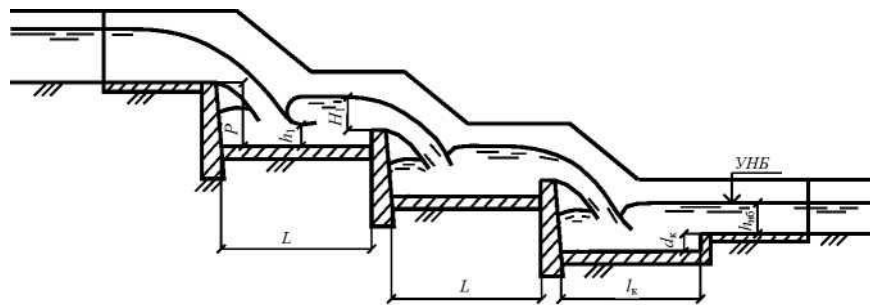


Рисунок 5.11 – Многоступенчатый перепад

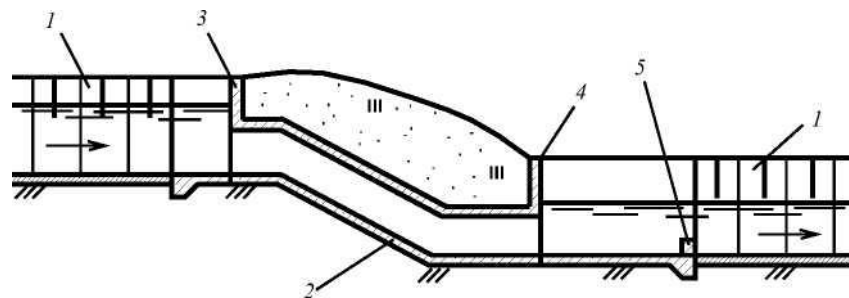


Рисунок 5.12 – Трубчатый перепад: 1 - канал; 2 - труба; 3 - входной оголовок; 4 - выходной оголовок; 5 - водобойная стенка

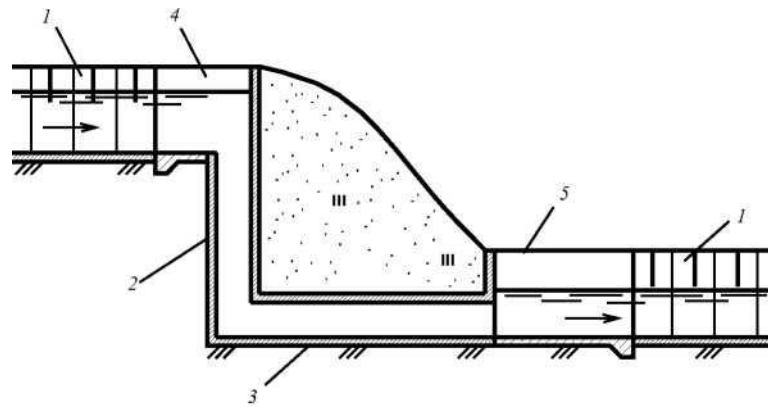


Рисунок 5.13 – Шахтный перепад: 1- канал; 2 - шахта; 2 - горизонтальная труба; 4 - входной оголовок; 5- выходной оголовок

Лекция № 6

Русловые процессы и их регулирование

1. Задачи и виды регулирования русл.
2. Русловый процесс – взаимодействие потока с руслом и транспортирование наносов.
3. Формирование русел и их устойчивость.
4. Методы регулирования русел.

1. Задачи и виды регулирования русел

В естественном состоянии речной поток не всегда может быть использован для различных водохозяйственных целей без изменения его режима; этот же поток является нередко причиной тяжелых повреждений и даже катастроф, от которых страдает народное хозяйство. Сюда относятся наводнения и затопления в период паводков, обрушение берегов, блуждание русла, обильные отложение наносов, выносы селевых потоков.

Борьба со всеми упомянутыми явлениями ведется путем так называемого регулирования их. Поскольку режим реки определяется условиями водного стока и эрозионной деятельности воды в речном русле и на склонах бассейна, постольку и мероприятия по регулированию русел касаются или режима водного стока, или режима эрозии, или того и другого вместе.

а) Мероприятия, изменяющие режим водного стока, т.е. режим расходов воды, относятся к так называемому регулированию стока. Регулирование речного стока включает широкий комплекс водохозяйственных мероприятий и применяется не только для борьбы с вредными проявлениями естественного режима потоков, но и для целесообразного использования его в интересах энергетики, транспорта, ирригации, рыбоводства и т.д. Осуществляется оно, в основном, путем устройства плотин и образования водохранилищ.

б) Мероприятия по борьбе с процессами эрозии (размывами и перемещениями русла, отложениями наносов и т.д.) и возможными последствиями паводков, не изменяющие режима стока, носят названия регулирования (выправления) рек и их русел; правильнее их следовало бы назвать регулированием эрозионной деятельности рек.

Поскольку явление эрозии связаны с прохождением и колебаниями водного стока по реке, постольку всякое изменение режима стока влияет и на режим эрозии; следовательно, мероприятия по регулированию стока одновременно отражаются и на ходе эрозионных процессов.

2. Русловый процесс – взаимодействие потока с руслом и транспортирование наносов

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.

Русловые и пойменные деформации подразделяют на 2 вида:

1) *необратимые*, однонаправленные, медленно развивающиеся и трудно уловимые непосредственными наблюдениями, представляющие собой вековое развитие реки, как элемента общей денудации;

2) *обратимые*, знакопеременные, быстро текущие и легкообнаруживаемые – они непосредственно связаны с транспортированием наносов, осуществляемым путем их переоткладки.

В результате исследований были выделены типичные формы речных русел и пойм, повторяющиеся закономерно в реках, протекающих в разных климатических условиях и имеющих разную водность.

Три главные формы речных русел:

1) **прямолинейные** или слабоизогнутые однорукавные русла; в этих руслах побочни (массивы наносов, причлененные к берегам) располагаются в шахматном порядке;

2) **извилистые и меандрирующие русла;**

3) **разветвленные русла.**

Во многих случаях наблюдается комбинация двух или трех типов руслового процесса на одном и том же участке реки.

В потоке существуют две качественно различные **формы движения наносов:**

1) более крупные и тяжелые частицы (донные наносы) перемещаются по дну; 2) мелкие частицы (взвешенные наносы) находятся в потоке на различных уровнях и переносятся на большие расстояния. Они или смешиваются с донными наносами, или оседают на дно в областях слабых течений и застойных зонах, образуя слоистый наиллок. Деление наносов на донные и взвешенные весьма условно. Наносы в реках образуются в результате водной эрозии. **Различают 2 её вида:**

- **склоновая** (внерусловая водная эрозия на водосборной площади), которая в свою очередь делится на **2 подвида** – плоскостной смыв и линейная эрозия;

- **русловая**, при которой наносы поступают в русло реки в результате русловой деятельности потока (размывы берегов и дна, обрушение берегов, размыв поверхности поймы и т.д.).

Отложение наносов и движущиеся наносы обычно представляют собой смесь частиц различного диаметра. Содержание частиц различной крупности в данной смеси характеризуется кривой гранулометрического состава. Для большинства рек характерно подавляющее преобладание расхода взвешенных наносов над донными и донных над взвешенными в отложениях. (Существует много различных теорий и зависимостей для определения расхода наносов и мутности потока).

3. Формирование русел и их устойчивость

Современная гидрографическая сеть с ее различными формами является продуктом деятельности многих и сложных факторов. Несмотря на это, можно выделить определенные звенья этой сети как разновидности эрозионных форм рельефа - это ложбины, лощины, суходолы и речные долины.

Ложбина – это слабовыраженная вытянутая впадина с пологими задернованными склонами и слабо вытянутым дном с древним эрозионным рвом по оси. Площадь водосбора составляет $(0,1-0,15) \text{ км}^2$ - для районов со слабо расчлененным рельефом и $0,5 \text{ км}^2$ - для районов с глубоким расчленением рельефа.

Лощина – это звено гидрографической сети, располагаемое на более низких отметках бассейна. Склоны также симметричны, но более высокие и крутые. Площадь водосбора от $0,15 \text{ км}^2$ до $(10-15) \text{ км}^2$ для районов со слабо расчлененным рельефом.

Суходол характеризуется плоским широким дном, сильно углубленным руслом временного потока с широкими, похожими на рвы отрогами, доходящими до основания склонов. Площадь водосбора составляет $(5-6) \text{ км}^2$ – при значительном общем уклоне местности и $(20-25) \text{ км}^2$ – при слабо расчлененном рельефе.

Речные долины – это относительно узкая и вытянутая в длину форма рельефа с общим уклоном в направлении течения реки. Долины никогда не пересекаются, они сливаются друг с другом при впадении одних рек в другие. Части склонов речной долины называются террасами. Русло реки располагается в наиболее пониженной части долины.

В последние десятилетия уделялось много внимания определению зависимостей между плановыми элементами потока и факторами руслового режима. **Русло можно считать устойчивым**, если его поперечные размеры и положение в плане за обозримый промежуток времени не претерпевают существенных изменений. В.М.Лохтин предложил оценивать устойчивость русла реки по коэффициенту устойчивости

$$K_y = d/I,$$

где d - средний диаметр частиц, слагающих русло реки, мм; I - падение дна реки на 1 км, м.

Наряду с общей оценкой устойчивости русел рек С.Т.Алтунин предлагает зависимость для ширины устойчивого русла.

$$B = A \cdot Q^{0,5} / I^{0,2},$$

где B - ширина устойчивого русла по урезу воды, м; A - параметр устойчивости (см. данные таблицы 33.1 в ГТС под ред. Розанова Н.Р.);

Q - руслоформирующий расход; I - продольный уклон водной поверхности.

Устойчивость отдельных участков рек С.Т. Алтунин предлагает характеризовать наряду с приведенными выше показателями **параметром кинетичности (числом Фруда)**.

$$F_r = \alpha \cdot V^2 / g \cdot H,$$

где α - коэффициент распределения скоростей по течению;
 V и H - скорость и средняя глубина при руслоформирующем расходе;
 g – ускорение свободного падения.

Таким образом, **каждый участок реки** можно оценивать по **четырем показателям**:

- 1) характеру протекания (уклон, тип участка);
- 2) коэффициенту устойчивости В.М.Лохтина, определяющему устойчивость продольного профиля;
- 3) параметру кинетичности F_r характеризующему энергетическую структуру потока;
- 4) параметру устойчивости поперечного профиля.

Формирование речных русел

Формирование речного русла происходит при взаимодействии сил потока и сопротивления грунта ложа размыву. В естественных руслах в потоке развиваются поперечные циркуляции струй и русло из прямолинейного неизбежно превращается в криволинейное в плане с неравномерным распределением глубин как по поперечному сечению, так и по продольному профилю.

Если рассматривать бассейн реки в целом, то можно отметить, что продольные уклоны в верхнем течении реки являются наибольшими и уменьшаются вниз по течению, приближаясь к нулю в устье. Поэтому в верховьях реки, где скорости наибольшие, преобладает глубинная эрозия, река постепенно врезается в грунт дна и русло понижается. Продукты размыва (наносы) перемещаются потоком вниз по течению.

В нижнем течении, где уклоны и скорости уменьшаются, происходит преимущественно аккумуляция, т.е. общее отложение наносов, принесенных сверху, повышение дна реки, удлинение и искривление русла в плане.

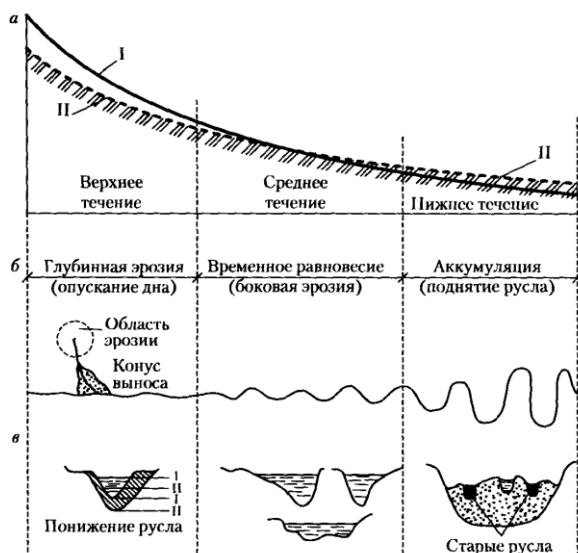


Рисунок 6.1 – Схема эрозионных процессов в реке (по Ф. Шаффернаку):

а – продольный профиль реки; б – план реки; в – форма русла; I – первоначальный профиль русла; II – профиль русла спустя некоторое время

В среднем течении наблюдаются и глубинная эрозия, и аккумуляция; наносы приносятся сверху и сносятся вниз. Наблюдается временное объемное равновесие между отложением и размывом. Боковая эрозия особенно развивается под действием циркуляционных течений.

Боковая эрозия. Основное русло рек обычно имеет извилистую форму в плане, которая образуется в результате боковой эрозии русла. Причинами боковой эрозии служат поперечная циркуляция, свойственная всякому поступательному движению жидкости; центробежные силы, возникающие на изгибах русла; действие силы Кориолиса, связанной с вращением земного шара; неустановившийся характер руслового потока и разные случайные обстоятельства (обвалы берегов, засорение русла, волновые явления и др.).

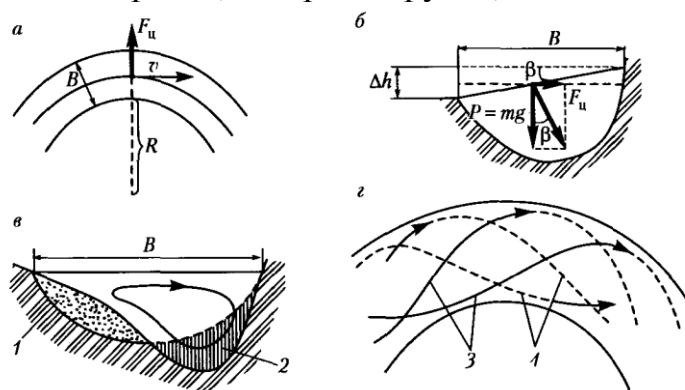


Рисунок 6.2 – Движение потока и формирование русла на криволинейном участке:
 а – действие центробежной силы на изгибе; б – образование поперечного уклона; в – поперечная циркуляция и формирование живого сечения; г – движение поверхностных и донных струй на изгибе русла; 1 – отложение наносов; 2 – размыв; 3 – поверхностные струи; 4 – донные струи

Вследствие указанных причин и ряда других обстоятельств все без исключения русловые потоки представляют собой непрерывный ряд извилин, лишь изредка прерываемых короткими более или менее прямолинейными участками. Следовательно, извилистая форма речных русел в плане естественна и наиболее устойчива.

Иногда начало и конец излучины реки сближаются, образуется прорыв перешейка (происходит естественное спрямление русла), и излучина превращается в староречье (рис. 6.3, а).

Длительными и систематическими промерами русла на размываемых участках установлено наличие общего перемещения извилины в направлении течения (рис. 6.3, б). Это объясняется тем, что наибольший размыв русла у вогнутых берегов наблюдается несколько ниже вершины кривой изгиба и вследствие винтообразного движения потока одновременно с размывом одного берега происходит наращивание другого.

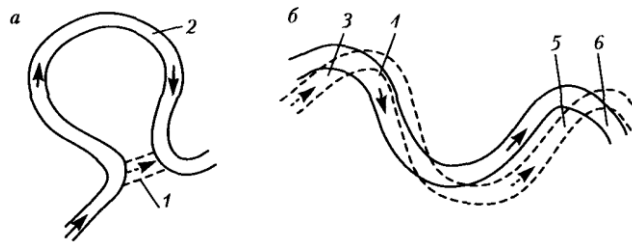


Рисунок 6.3. Деформация русла в плане: а – образование староречья; б – перемещение извилины вниз по течению; 1 – спрямление; 2 – староречье; 3-6 – местоположение вершины кривой

На изгибе русла в плане динамическая ось потока переходит от вогнутого берега к противоположному. Точно так же поток донных наносов переходит от выпуклого берега к противоположному в виде сосредоточенной полосы наносов и их движение в основном происходит вдоль выпуклых берегов.

При пересечении линии фарватера с потоком донных наносов глубина уменьшается и образуется так называемый перекаты. На плесах уклоны меньше, чем на перекатах. В паводок уклон водной поверхности выравнивается, а ступенчатость дна увеличивается из-за углубления плесов и намыва перекаатов. В межень скорости на перекатах возрастают, и они усиленно размываются.

Рассмотренные особенности формирования русел показывают, что продольные и поперечные профили русловых потоков непрерывно изменяются и могут быть самой разнообразной формы.

4. Методы регулирования русел

1) Регулирование первичного стока на водосборе.

Накопление большого количества снега на водосборных площадях обуславливает при его таянии весной интенсивный процесс первичного стока, особенно ускоренный на площадях с 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 нежелательным явлениям на водосборе:

- а) разрушению почвенного покрова и смыва почвы;
- б) выщелачиванию почвы;
- в) развитию отрицательных форм рельефа (рытвины, овраги, ущелья и пр.);
- г) выносу смытого грунта в речные долины;
- д) обмелению рек и заилению водохранилищ;
- е) уменьшению меженного питания рек.

Закрепление поверхности водосбора для перераспределения стока во времени должно обеспечиваться регуляционными **мероприятиями** на водосборе, которые подразделяются на **три группы**:

1 Агротехнические – создание и поддержание структуры почвы (увеличение водопроницаемости) соответствующей обработкой ее и применением севооборотов? вспашкой поперек склона и т.д.

2 Культуртехнические, предназначенные для улучшения культурного состояния поверхности водосборных площадей.

3 Гидротехнические:

а) создание верховых водохранилищ по склонам; б) возведение водозадерживающих валов; в) террасирование склонов; г) устройство безуклоновых канав с посадкой деревьев и кустарников.

2) Борьба с оврагами

Овраги представляют собой крупные промоины обычно с многими ответвлениями. Образуются они вследствие эрозионной деятельности снеговых и дождевых вод. Наиболее распространены в районах, сложенных рыхлыми, легко размываемыми отложениями. Для оврагов характерно V - образное поперечное сечение с крутыми склонами. Овраги – это один из главных источников поступления наносов в реки.

Борьба с оврагами заключается в проведении мероприятий по предотвращению их роста:

а) регулирование первичного стока на водосборной площади;

б) устройство нагорных канав для перехвата поверхностного стока и устройство сопрягающих сооружений для обеспечения безопасности спуска воды на дно оврага;

в) закрепление русла водотока, протекающего по дну оврага порогами различной конструкции. Рекомендуются также искусственное уполаживание откосов оврага их о дерновка и облесение.

3) Укрепление берегов и дна русла (регуляционные работы в русле)

Эти работы проводят для защиты культурных земель, дорог и построек от размыва, для закрепления кромки берега, совпадающей с выправительной трассой, для предотвращения размыва оснований русловых и береговых сооружений.

4) Борьба с селями

Сель – это кратковременный огромный разрушительной силы паводок с очень большим содержанием минеральных частиц и обломков горных пород – до 75% общей массы потока.

Борьбу с селями проводят по нескольким **направлениям:**

а) регулирование первичного стока на водосборе; б) предотвращение возникновения селей, когда фиксируют скопление продуктов эрозии и воды и принимают меры к постепенному, безопасному перебросу их в близлежащие реки; в) строительство селехранилищ с плотинами.

5) Борьба с наводнениями.

Наводнение – это затопление паводковыми водами больших территорий.

К **мероприятиям** по защите прилегающих к реке территорий от наводнений относятся:

а) обвалование – ограждение защищаемого участка системой дамб (валов); его применяют как для защиты земель от затопления, так и для регулирования и управления водным потоком на поймах. **Обвалование** бывает **односторонним и двухсторонним**. Они трассируются по повышенным участкам русла с целью уменьшения их объема.

б) повышение пропускной способности русла – пропуск также паводковых расходов при более низких уровнях. Понижение уровней осуществляется двумя путями: 1) уменьшением гидравлических сопротивлений русла; 2) спрямление петель (меандров).

в) уменьшение расхода на данном участке реки (разгрузка русла) с помощью разгрузочного канала или регулированием паводкового стока (создание водохранилищ).

б) Выправительные работы

В ряде случаев проведение регуляционных работ в русле, возведение берегозащитных, оградительных и других сооружений на небольших по длине участках реки не дает ожидаемого результата. В этих случаях возникает необходимость в выполнении **выправительных работ, т.е. в направленном преобразовании русла реки**. Общая задача исправительных работ заключается в создании русла потока, удовлетворяющего определенным хозяйственным требованиям. Отдельные этапы исправительных работ следующие:

- а) назначение или выбор оси трассы;
- б) проектирование поперечных сечений русла по трассе;
- в) проверочные гидравлические расчеты;
- г) проверка устойчивости запроектированного русла.

В отношении донных наносов русло должно удовлетворять требованиям, чтобы транспортирующая способность запроектированного русла была не меньше транспортирующей способности бытового русла.

Лекция № 7 Речные водозаборы

- 1 Общие сведения о речных водозаборных сооружениях и их классификация.
- 2 Выбор места расположения речного водозаборного узла.
3. Общие условия компоновки водозаборов.
4. Бесплотинные водозаборы и их применение.
5. Типы бесплотинных водозаборов.
6. Расчеты бесплотинных водозаборов.
7. Схемы боковых плотинных водозаборов.
8. Фронтальные водозаборы.
9. Глубинные водозаборы.

1. Общие сведения о речных водозаборных сооружениях и их классификация

Водозаборными сооружениями называют комплекс гидротехнических сооружений, служащих для забора воды из водоемисточника, ее предварительной очистки и подачи под необходимым напором в сеть или на очистные сооружения системы водоснабжения.

Различают водозаборы с *самотечной подачей воды и механическим подъемом*. Мы будем рассматривать только с самотечной подачей воды в водоводы.

Нормативной классификации речных водозаборов нет. В СНиПе имеются только указания, что они подразделяются на *бесплотинные и плотинные*. Этот принцип и будет положен в основу дальнейшего рассмотрения водозаборов. Плотинные водозаборы, кроме того, принято классифицировать по гидравлической структуре потока, влияющего на поступление донных наносов в канал. Исходя из этого признака, различают *боковые, фронтальные и глубинные водозаборы*.

К водозаборам любого типа предъявляются *следующие требования*:

- ✓ обеспечивать бесперебойную подачу воды потребителю;
- ✓ обеспечивать защиту водозаборных сооружений от засорения плавающими телами и наносами;
- ✓ исключить чрезмерные потери воды при пропуске через водозабор;
- ✓ обеспечить возможность отключения всего водозаборного сооружения и его отдельных элементов на время очистки, ремонта и в случае аварии;
- ✓ обеспечить рыбоохрану с помощью рыбозащитных и рыбонаправляющих устройств;
- ✓ водозаборы должны удовлетворять общим требованиям, предъявляемым к ГТС в отношении прочности, устойчивости, долговечности и удобства эксплуатации.

2. Выбор места расположения речного водозаборного узла

Реки в естественном состоянии имеют прямолинейные и криволинейные участки. Водозаборы располагают на обоих участках рек. Криволинейные участки рек или искусственно созданные подводящие русла служат благоприятным местом для размещения как бесплотинных так и плотинных водозаборов. На таких участках рек возникает поперечная циркуляция, используемая для недопущения донных наносов в канал. Водозаборы на криволинейных участках располагают на вогнутом берегу, вдоль которого устойчиво держится стрежень реки, создается максимальная глубина и в наибольшей степени проявляется поперечная циркуляция потока.

При потребных расходах воды, больших предельного водоотбора, или недостаточной глубине воды в реке в водозаборные узлы сооружений приходится включать водоподпорную плотину.

Выбор местоположения водозабора (в особенности для хозяйственно-питьевых целей), а также состав сооружений и оборудование водозабора часто зависят от требуемого качества воды. Так, такой водозабор должен быть расположен в месте, удовлетворяющем санитарные требования, т.е. выше населенных мест, вдали от берега и мест загрязнений и там, где можно организовать необходимые зоны санитарной охраны.

Если мутность воды должна быть меньше мутности воды в реке, то устраивается отстойник.

Иногда возникает необходимость забора воды с глубоких слоев водохранилища. В таких случаях приходится устраивать русловой водозабор с глубинным водоприемником.

При выборе места для водозабора большое внимание следует уделять регулированию русел.

3. Общие условия компоновки водозаборов

Ирригационный водозабор часто представляет собой открытый шлюз-регулятор. Наряду с этим под водозаборами понимают также сочетание ряда сооружений подчиненных общей задаче – подаче воды в магистральный канал. Применяют водозаборы и без шлюза-регулятора, представляющие собой участок плотины с расположенными в ее водосливе галереями, перекрытыми решетками. Сопряжение водозабора с каналом происходит непосредственно или через специальные устройства типа аванкамер, песколовок, гравиеловок или отстойников. Открытый шлюз-регулятор выполняют с подтопленным истечением. Порог шлюза-регулятора в плотинных водозаборах располагают выше дна реки (понуры) не менее чем на 1,5 м. Эта высота является минимальной и в какой-то степени гарантирует минимальное поступление донных наносов в канал. Кроме того, в пороге шлюза-регулятора, входящие в некоторые типы водозаборов, размещают различного рода промывные устройства, необходимые для смыва донных наносов, отложившихся перед водозабором. При повышении порога

создаются благоприятные условия для борьбы с донными наносами, но это ведет к повышению уровней воды в верхнем бьефе.

4. Бесплотинные водозаборы и их применение

Бесплотинными называют водозаборы, в которых вода поступает из реки в канал при бытовом стоянии уровней. По управлению потоком воды, подаваемым в МК, различают *нерегулируемые* и *регулируемые* бесплотинные водозаборы.

Под нерегулируемым водозабором понимают непосредственное соединение канала с рекой; место отвода канала называется головой. В таких водозаборах уровни воды в канале синхронно следуют за уровнем воды в реке, соответственно изменяются и расходы. При минимальном уровне в реке должны поступать расчетные расхода воды в канал.

Нерегулируемые водозаборы имеют много **недостатков**:

1) несовпадение поступающих расходов в канал с расходами потребления, а это значит, что при минимальном потреблении могут поступать в канал максимальные расходы; излишек воды по сравнению с потреблением пропускается по всей системе каналов и сбрасывается в их концевой части;

2) размеры каналов приходится рассчитывать на максимальные расходы, поступающие через водозабор, а не на расход потребления;

3) быстрое заиливание головной части канала, что требует непрерывного удаления осевших наносов и др.

За последнее время нерегулируемые водозаборы устраиваются редко, а переходят на более совершенные регулируемые.

Регулируемые водозаборы имеют в голове или в некотором удалении от нее шлюзы-регуляторы, при помощи которых обеспечивается поступление воды в каналы любое время в соответствии с графиком водопотребления и независимо от изменения уровней воды в реке.

Бесплотинные водозаборы устраиваются в случае, если уровни воды в реке обеспечивают необходимые уровни командования МК при благоприятных топографических, гидрологических и геологических условиях. Наряду с этим, необходимо чтобы график водопотребления вписывался в гидрограф реки:

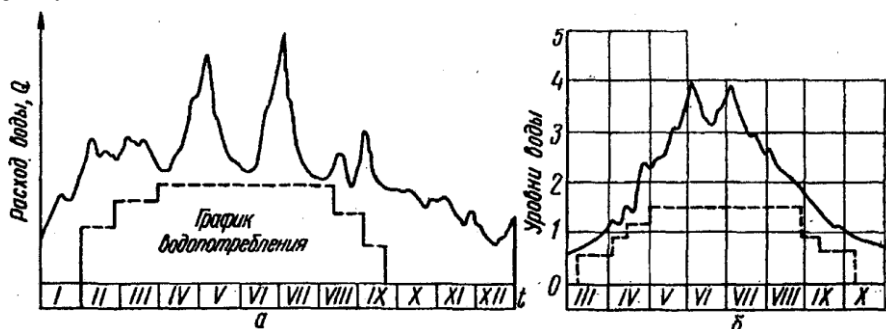


Рисунок 7.1 – Условия применения бесплотинных водозаборов: а - гидрограф реки и график водопотребления; б - график изменения уровней воды в реке и канале.

Очевидно, что не все реки удовлетворяют требуемым условиям. При заборе воды на орошение это будут реки ледникового питания, в которых совпадают максимальные расходы с максимальным водопотреблением.

Бесплотинные водозаборы применяют на участках рек, имеющих невысокие берега. Применяют их также и на реках с неустойчивыми берегами. В случае отхода русла необходимо только выполнить прокоп к новому руслу реки и водозабор снова будет работать.

Бесплотинные водозаборы просты по конструкции и невысокой строительной стоимостью, но они сложны в эксплуатации из-за быстрого заиливания донными наносами головных сооружений и их нельзя применять на всех реках.

Исключить поступление донных наносов в канал при бесплотинном водозаборе практически невозможно, но можно уменьшить их захват, используя различные приемы. Борьбу с донными, наносами ведут различными способами:

- 1) располагают водозаборы на вогнутом берегу реки;
- 2) ограничивают коэффициент водозабора ($K_{заб} = Q_{заб} / Q_{реки}$) значением 0,2;
- 3) применяют направляющие системы профессора М.В.Попанова;
- 4) повышают отметку порога водозабора;
- 5) применяют регулирование русел рек;
- 6) забирают воду из верхних слоев потока, менее насыщенных наносами.

Избежать поступления взвешенных наносов в каналы невозможно. Единственное эффективное средство борьбы с ними – это устройство отстойников, входящих составной частью в водозаборы.

5. Типы бесплотинных водозаборов

Практика строительства и эксплуатации выработала довольно много схем бесплотинных водозаборов. (Далее рассмотрим только основные, т.к. другие схемы получены на базе их и не изменяют принятого принципиального решения). Основные типы водозаборов рассмотрим в последовательности, соответствующей переходу от простых бесплотинных водозаборов к более сложным.

1) Одноголовый нерегулируемый водозабор. Это простейший тип бесплотинного водозабора, в который поступление воды в канаву происходит по схеме деления потока:

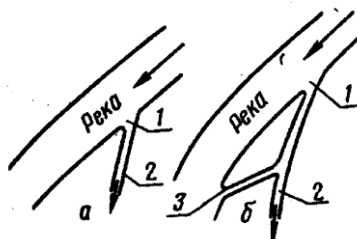


Рисунок 7.2 – Одноголовый нерегулируемый водозабор:

- а) без промывного канала; б) с промывным каналом; 1 - голова водозабора; 2 - магистральный канал; 3 - промывной канал.

Начальный участок МК быстро заиляется наносами. При размывных грунтах голова водозабора подвержена смещению. Поступление расчетных расходов воды в МК возможно при постоянной очистке его от наносов. Некоторые улучшения достигаются при устройстве промывного канала. Гидравлическое условие в месте ответвления промывного канала можно рассматривать как деление потока по следующей схеме:

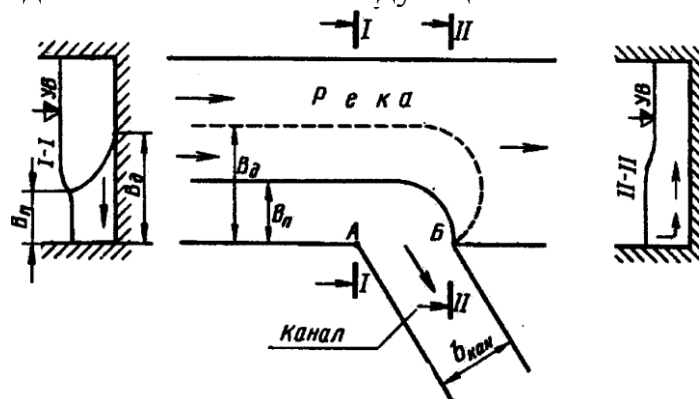


Рисунок 7.3 – Схема деления потока на входе и отвод

На основании опытных данных получены С.А.Бызголовым зависимости для определения ширины зоны отбора по дну V_d и по поверхности воды V_p :

$$V_d = 1,4 (K_{заб} + 0,27) V_k$$

$$V_p = 0,7 (K_{заб} + 0,25) V_k$$

где $K_{заб}$ – коэффициент водозабора; V_k – ширина отводящего канала.

В месте ответвления промывного канала необходимо увеличить зону отбора донных струй.

2) Многоголовной нерегулируемый водозабор

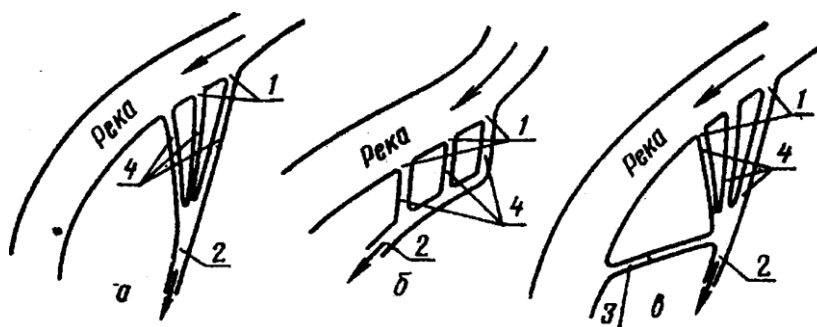


Рисунок 7.4 – Многоголовные нерегулируемые водозаборы:

а) с присоединением водозаборных каналов в одном месте; б) с раздельным присоединением водозаборных каналов; в) с промывным каналом в конце водозаборных каналов; 1 - головы водозаборов; 2 - магистральные каналы; 3 - промывной канал; 4 - водозаборные каналы.

Такой водозабор можно рассматривать как систему, состоящую из параллельно подключенных к МК нескольких одноголовых водозаборов.

Расстояние между головами в многоголовых водозабора принимают (0,5-1,5) км в зависимости от уклона реки.

3) Одноголовый регулируемый водозабор

Такие водозаборы называют ошлюзованными т.к. в них используют шлюз-регулятор, при помощи которого осуществляют изменения подаваемых в МК расходов в соответствии с графиком водопотребления.

Используют 2 схемы расположения шлюзов-регуляторов:

- 1) на берегу реки у уреза воды и
- 2) в некотором удалении от берега реки:

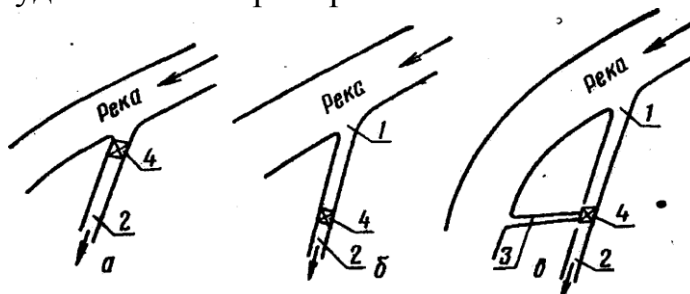


Рисунок 7.5 – Одноголовые регулируемые водозаборы:

- а) со шлюзом-регулятором у уреза воды; б) со шлюзом-регулятором вдали от реки;
- в) со шлюзом-регулятором и промывным каналом; 1 - голова водозабора; 2 -магистральный канал; 3 -промывной канал; 4 -шлюз-регулятор.

Первая схема применима на реках, имеющих прочные берега и устойчивые русла. **Вторая** на реках с блуждающими руслами и легко размываемыми берегами. Второй схеме присущи те же недостатки что и нерегулируемым водозаборами.

4) Многоголовый водозабор с централизованным управлением.

Такой водозабор рекомендуется применять на участках рек с неустойчивыми размываемыми берегами и блуждающим руслом.

Многоголовый водозабор с централизованным управлением состоит из:

- 1) нескольких каналов-прокопов,
- 2) шлюза-регулятора, отдаленного от реки,
- 3) и примыкающего к нему промывного канала.

В шлюзе-регуляторе для каждого канала предусмотрено самостоятельное отверстие, что позволяет подавать воду потребителю из любого канала:

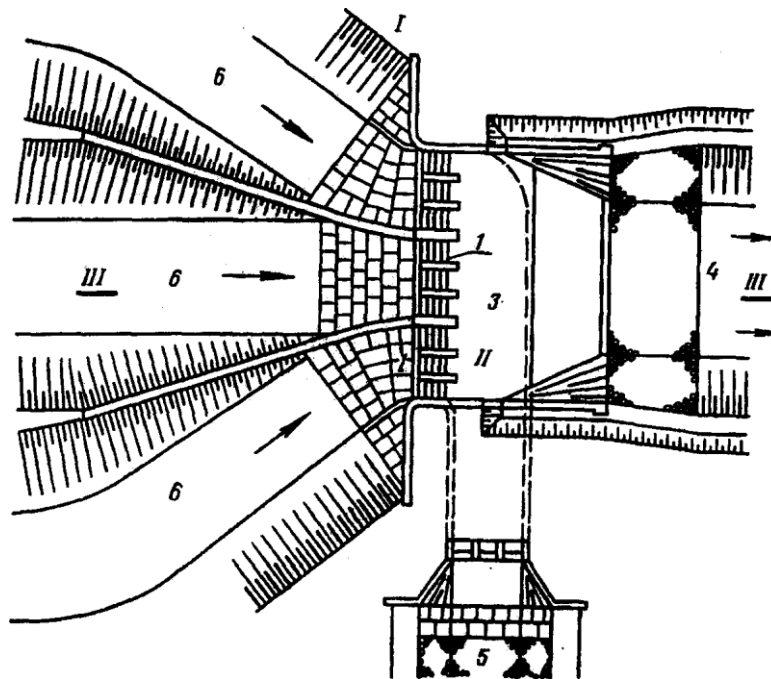


Рисунок 7.6 – Узел сооружений в многоголовом бесплотинном водозаборе с централизованным управлением: 1 - затворы верхних пролетов; 2 - затворы промывных пролетов; 3 - донный промывник; 4 - магистральный канал; 5 - промывной канал; 6 - водозаборные каналы (каналы-прокопы).

Непрерывная подача воды потребителю обеспечивается при включении в работу одного-двух из каналов – прокопов. В это время головы других прокопов закрыты грунтовыми перемычками.

5) Шпорные водозаборы.

Низкие уровни воды в реке при небольших расходах в ней значительно ослабляют работу бесплотинных водозаборов. В отдельные периоды становится вообще невозможной подача воды в канал расчетного расхода. В таких случаях переходят к водозаборам шпорного типа, являющимся своего рода переходной ступенью к плотинным водозаборам:

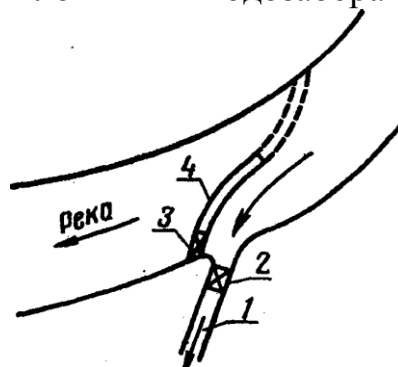


Рисунок 7.7 – Шпорный водозабор:

1 - магистральный канал; 2 - шлюз-регулятор; 3 - промывник для смыва наносов; 4 - шпора.

Шпоры представляют собой криволинейную дамбу, один конец которой примыкает к голове водозабора, а другой упирается в противоположный берег

или не доходит до него. Верх шпоры находится выше минимального УВ. Для сброса излишка воды и частичной промывки русла от наносов в шпоре устраивают промывные отверстия. При прохождении по реке повышенных расходов вода переливается через шпору, причем не исключено ее разрушение. После спада уровней воды шпору восстанавливают.

6 Расчеты бесплотинных водозаборов

Основными сооружениями бесплотинных водозаборов являются каналы, поэтому большую долю расчетов этих водозаборов составляют гидравлические расчеты каналов. Поперечное сечение каналов применяют трапецеидальным, заложение откосов назначают в зависимости от грунтов, в которых канал проходит. Ширину по дну принимают в зависимости от производства работ или назначения каналов. Коэффициент шероховатости принимают 0,03 и более. При расчете каналов имеются свои особенности в зависимости от вида каналов.

а) Каналы-прокопы. Глубина воды в этих каналах ограничена и не превышает **(2,5-3)м**. Если принять в устойчивом русле отношение ширины канала по дну к глубине воды равным *10* и неразмывающую скорость *(1,0- 1,1) м/с*, то расход в одном канале-прокопе будет около *100 м³/с*. Для больших расходов применяют многоголовные водозаборы

б) Промывные каналы. Они работают периодически. Расходы в них равны или больше расходов в МК. Глубина воды в них может быть принята повышенной, при этом не допускается подтопление устья со стороны реки. Скорость в промывных каналах принимают из условия транспортирования наносов. Если они превышают размывающие для грунтов канала, то приходится заключать их в одежды. Основным при гидравлических расчетах является условие незатопляемости.

в) Каналы-прокопы, используемые в качестве отстойников. Ширину этих каналов по дну назначают с учетом возможности передвижения земснарядов на плаву, или же с учетом возможной гидравлической промывки отстойников-каналов. По формулам неравномерного движения при известной глубине воды в конце отстойника находят выше по течению сечение, где скорости будут меньше размывающих. Выше этого сечения наносы удаляют механическими средствами.

Особенности гидравлического и фильтрационного расчета шлюзов-регуляторов. Их гидравлический расчет осуществляется по схеме водослива с широким порогами при подтопленном истечении. Если вода переливается через шандорную стенку, то расчет ведут по схеме истечения через водослив с тонкой стенкой. Коэффициент расхода для такой расчетной схемы определяют в зависимости от высоты шандорной стенки и слоя переливающейся воды.

Фильтрационный расчет выполняют по методам, которые рассматривались ранее (ЛКФ, построение гидродинамической сетки, Н.Н.

Павловского (метод фрагментов)). При этом напор берут при максимальном уровне в реке и при отсутствии воды в нижнем бьефе.

Статические расчеты. Т.к. в бесплотинных водозаборах большую часть сооружений выполняют из грунта, статические расчеты их сводятся к определению устойчивости откосов каналов.

В шлюзах-регуляторах статическими расчетами определяют толщину флютбета, устойчивость устоев как подпорных стенок и устойчивость быков при одностороннем и лобовом действии на них силы гидростатического давления воды (прочность и устойчивость).

Расчетом определяют так же размеры балок служебных и проезжих мостов (обычно используются типовые решения).

7. Схемы боковых плотинных водозаборов

Для обеспечения постоянства уровней в источнике, при которых гарантируется забор воды по графику водопотребления в любое время, устраивают плотинные водозаборные гидроузлы с боковым и фронтальным отводом воды.

В гидроузлах с боковым отводом воды в канал в качестве водозаборного сооружения применяют открытый шлюз-регулятор. Ось шлюза-регулятора располагают под прямым или тупым углом по отношению к направлению основного потока воды. С увеличением этого угла до 180° водозабор становится фронтальным. Для боковых водозаборов этот угол не должен превышать $(130-140)^\circ$. Из существующих водозаборов наибольшее распространение имеют боковые водозаборы $(70-80)\%$. Недостаток старых конструкций боковых водозаборов в том, что при коэффициенте водозабора $0,5-0,6$ до 90% донных наносов поступает в канал. Улучшенные типы боковых водозаборов позволяют значительно сократить поступление донных наносов в канал. По условиям борьбы с поступлением донных наносов в канал боковые водозаборы могут быть подразделены на следующие типы:

1) Боковой водозабор с фронтальной промывкой наносов:

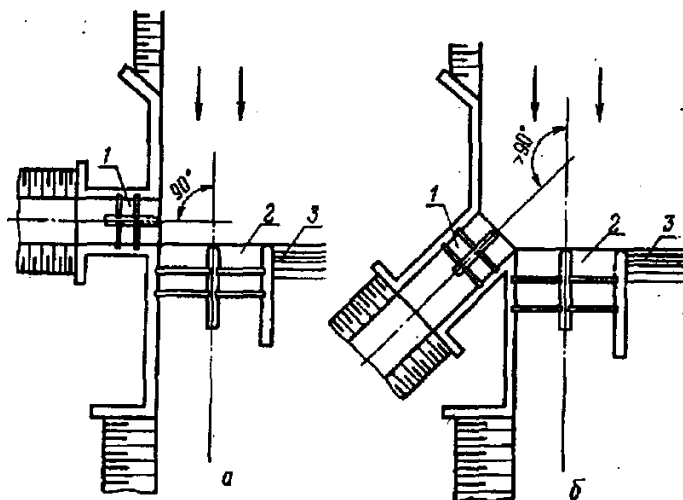


Рисунок 7.8 – Схемы размещения боковых водозаборов в узле:
а) под прямым углом; б) под тупым углом; 1 – водозаборное сооружение – шлюз-регулятор; 2 - промывные отверстия плотины; 3 - водосбросная плотина.

Водозабор этого типа представляет собой шлюз-регулятор, порог которого расположен выше дна реки (понура). Применение боковых водозаборов с фронтальной промывкой наносов было основано на предложении задержания и отложения донных наносов перед шлюзом - регулятором. По мере накопления наносов они смываются в нижний бьеф через промывные отверстия. С увеличением коэффициента водозабора до 0,5 и больше практически все наносы поступают в водозабор. В настоящее время водозаборы с фронтальной промывкой наносов не находят широкого применения. На основе их разработаны усовершенствованные типы водозаборов.

2) Боковой водозабор с горизонтальным полком

По предложению А.В.Троицкого, в конструкцию водозабора предыдущего типа добавляют горизонтальный полк (плиту), опирающийся на колонны (стойки). Верх полка располагают на уровне порога водозабора.

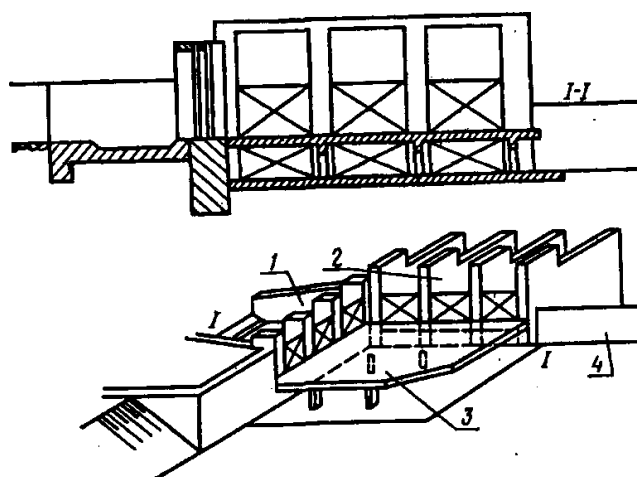


Рисунок 7.9 – Боковой водозабор с горизонтальным полком:

1 - водозаборный шлюз-регулятор; 2 - промывные отверстия плотины; 3 - полк;
4 - водосбросная плотина.

Полк примыкает к шлюзу-регулятору по всей длине его водозаборного фронта и входит в пролеты промывных отверстий плотины, разделяя их на два яруса. Донные наносы при подходе к водозабору попадают под плиту и смываются в нижний бьеф через промывные отверстия плотины. Устраивая в полке прорези-щели параллельные водозаборному фронту, можно значительно уменьшить отложение наносов на полке и тем самым избежать открытия отверстий верхнего яруса промывников для смыва наносов, отложившихся на полке.

3) Боковой водозабор с донными промывными галереями

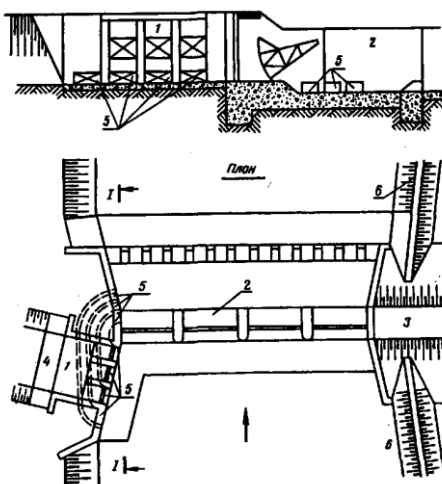


Рисунок 7.10 – Боковой водозабор с донными промывными галереями:
1 - водозаборное сооружение; 2 - водосбросная плотина; 3 - грунтовая плотина;
4 - магистральный канал; 5 - донные промывные галереи; 6 - струенаправляющие дамбы.

Промывные галереи предназначены для смыва наносов, отложившихся перед шлюзом-регулятором. Их входные отверстия размещают в пороге водозабора, в его верхней стенке. Лучшее расположение их устанавливается лабораторными исследованиями. Выходные сечения галерей целесообразно располагать в стенке на участке водобоя. Размеры промывных галерей определяют расчетом из условия пропуска минимальных промывных расходов, при этом скорости промывки должны быть около (4-6) м/с. Для периодического включения галерей в работу во входном сечении ставят затворы.

4) Боковой водозабор с наносоперехватывающими галереями

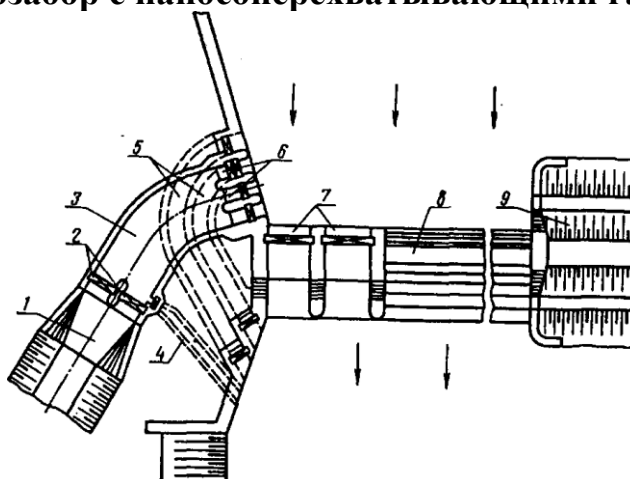


Рисунок 7.11 – Боковой водозабор с наносоперехватывающими галереями:
1 - магистральный канал; 2 - затвор на входе в магистральный канал; 3 - аванкамера;
4 - промывные отверстия аванкамеры; 5 - наносоперехватывающие галереи; 6 - водозабор;
7 - промывные отверстия плотины; 8 - водосбросная плотина; 9 - глухая плотна.

Ответственной частью служат непосредственно галереи. Отличие этих галерей состоит в непрерывном, активном воздействии на формирование гряды наносов перед водозабором и трансформации их в нижний бьеф.

При работе такого водозабора в канал попадает (1,2-1,7) % наносов при коэффициенте водозабора от 0,45 до 0,74. Расходы в пределах (5-150) м³/с при глубине воды перед водозабором (2-8) м. Поперечное сечение наносоперехватывающих галерей рекомендуется делать прямоугольным с размещением их на уровне понура, располагая их близко друг от друга.

5) Бычковые водозаборы

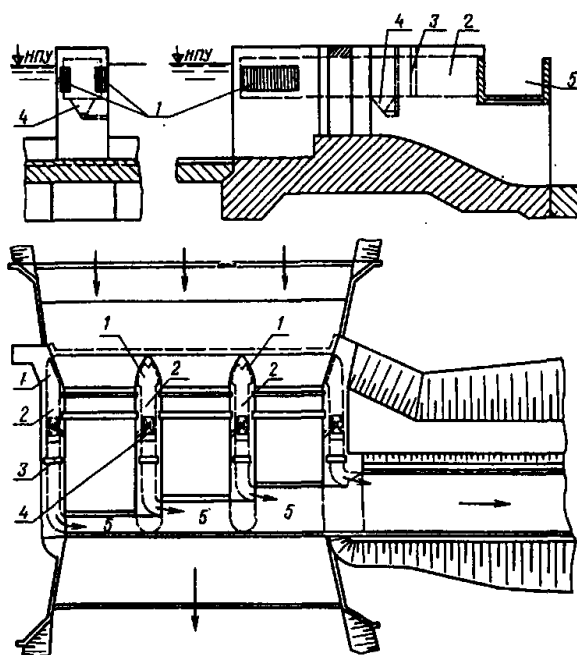


Рисунок 7.12 – Бычковый водозабор с вертикальной решеткой:

- 1 - водозаборные отверстия, перекрытые решеткой; 2 - галереи; 3 - затворы галерей;
4 - гравиеловка; 5 - лотки-акведуки.

Бычковый водозабор состоит из вертикальных входных отверстий, переходящих в галереи, размещенные в быках и устоях. Входные отверстия плавно сопрягаются с галереями, которым придают прямоугольное сечение.

8. Фронтальные водозаборы

Водозаборы, в которых вода поступает в приемные отверстия в направлении основного течения потока воды при подходе к гидроузлу, называют фронтальными.

1) Фронтальный двухъярусный водозабор

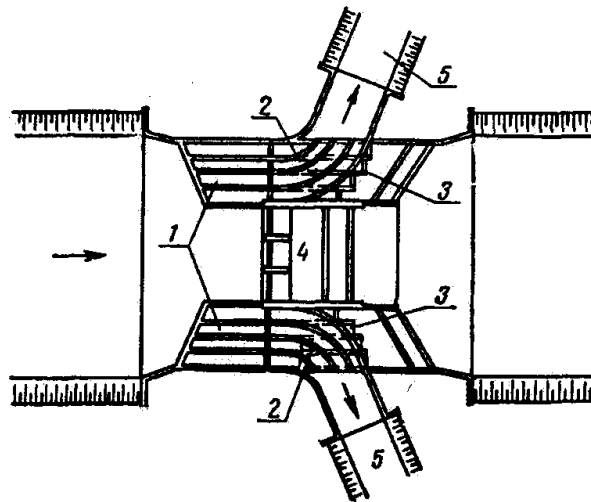


Рисунок 7.13 – Фронтальный двухъярусный водозабор:
 1 - отстойник перед водозаборными пролетами; 2 - водозаборные лотки; 3 - промывные отверстия; 4 - водосбросная плотина; 5 - магистральный канал.

Двухъярусный фронтальный водозабор представляет собой многопролетный шлюз-регулятор, продолжением верхнего яруса которого служит криволинейный лоток с направляющими стенками, примыкающими к бычкам. К конечному сечению лотков примыкает канал или отстойник. Для регулирования расходов воды во входной части каждого яруса ставят затворы, самостоятельно управляемые.

2) Фронтальный водозабор с карманом

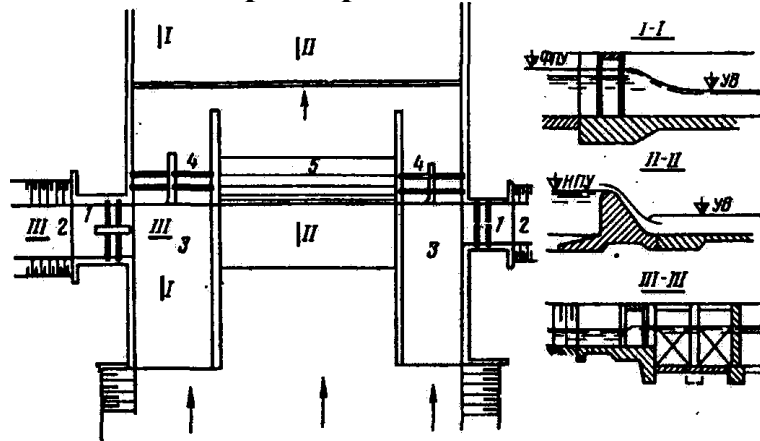


Рисунок 7.14 – Фронтальный водозабор с карманами-отстойниками:
 1 - шлюз-регулятор; 2 - каналы; 3 - карманы-отстойники; 4 - промывные отверстия плотины; 5 - водосливная плотина.

Приемной частью водозабора служит карман, расположенный в верхнем бьефе, в примыкании к берегу. В конце кармана по всей его ширине размещают промывные отверстия, входящие в состав водосбросного фронта плотины. Порог шлюза-регулятора располагают выше дна кармана не менее чем на (1,5-2) м. Для осаждения донных наносов скорость воды в кармане должна быть небольшая – (0,4-0,6 м/с).

3) Ферганский тип водозабора

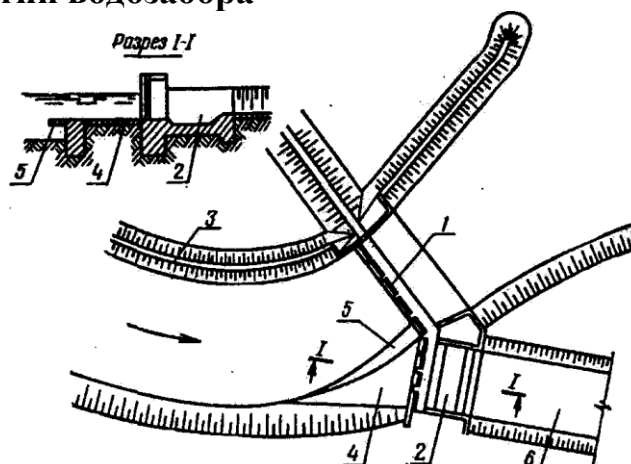


Рисунок 7.15 – Ферганский водозабор:

1 - водосбросная плотина; 2 - водозаборное сооружение; 3 - криволинейная грунтовая дамба; 4 - криволинейный порог водозабора; 5 - выносной полок; 6 - магистральный канал.

В ферганском типе водозабора для недопущения донных наносов в канал используется поперечная циркуляция. Для этого на переходе к гидроузлу русло выполняют криволинейным. Водозаборный фронт располагают нормально к потоку. Порог поднимают выше дна реки на (1,5-2)м. Дополнительно перед порогом устраивают Г - образный порог, в направлении которого обеспечивается продольное движение струй вместе с донными наносами.

9. Глубинные водозаборы

Глубинные водозаборы преимущественно применяют на горных участках рек, имеющих гидрологические особенности. Для них характерно следующее:

а) быстро поступающие и кратковременные паводки;

б) большие скорости потока воды, способные перемещать большое количество наносов, в том числе крупных, растянутость половодья с превышением расхода в это время над меженным в 10-20 раз и больше;

в) возникновение селевых потоков, наступающих быстро и неожиданно;

г) отсутствие ледостава, но вместе с тем большое количество шуги.

В связи с этим порог водозабора приходится располагать на низких отметках, близким к отметкам дна русла реки.

Глубинные водозаборы можно отнести к категории совмещенных, т.к. здесь часть водосбросного фронта одновременно используется и как водозабор. Ту часть плотин, которую используют как водозабор, называют **решетчатой**.

По способу забора воды и конструктивным особенностям глубинные водозаборы можно объединить в три основные группы:

1) глубинные с донными решетками;

2) послойно решетчатые;

3) водозаборы И.Я. Андрейчука.

Особенно много водозаборов первой группы.

Особенность их состоит в том, что они являются составной частью водосбросного фронта плотины и используются одновременно для забора воды и частичного сброса ее в нижний бьеф.

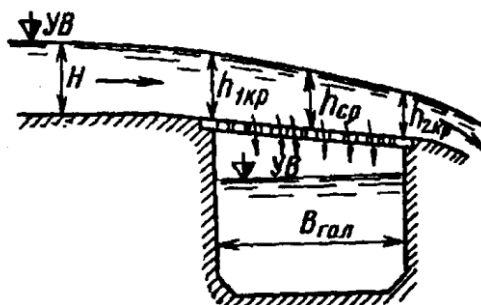


Рисунок 7.16 – Расчетная схема галереи донного водозабора

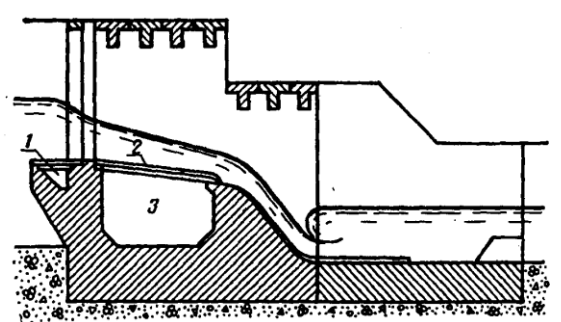


Рисунок 7.17 – Глубинный решетчатый водозабор с наносоперехватывающей траншеей:

1 - наносоперехватывающая траншея, 2 - донная решетка; 3 - водозаборная галерея.

Скорость в галерее должна обеспечивать транспортирование всех наносов, поступивших в нее. Вода из галереи поступает в аванкамеру, примыкающую к береговому устью, а оттуда – в канал.

Решетки, перекрывающие отверстия галереи, выполняют из металла, реже из дерева. Лучшая форма стержней решетки с тонкими верхними кромками, что уменьшает заклинивание отверстий решетки наносами.

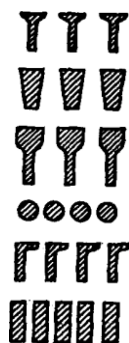


Рисунок 7.18 – Сечения стержней решетки

Гидравлический расчет водозабора с донной решеткой состоит в определении длины решетчатой части плотины и размеров галереи, решетку должен пропускаться расход

$$Q_{\text{реш}} = (1,25 - 1,5) Q_{\text{кан}}$$

где $Q_{\text{кан}}$ – расход канала с учетом расхода, идущего на про отстойника, если он предусмотрен.

Плановые размеры решетки определяются из формулы

$$Q_{\text{кан}} = p \cdot \mu \cdot k_{\text{зас}} \cdot l_{\text{реш}} \cdot b_{\text{реш}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h_{\text{ср}}}$$

где $p = s / (s + d)$ – коэффициент просветов,

s – зазоры между стержнями решетки,

d – толщина стержней решетки,

μ – коэффициент расхода, зависящий от уклона решетки (по Е.А.Замарину при $i=0,1$ коэффициент $\mu = 0,6 - 0,65$, а при $i=0,2$ коэффициент $\mu = 0,55 - 0,60$).

$k_{\text{зас}}$ – коэффициент засорения, определяемый опытным путем,

$l_{\text{реш}}$ и $b_{\text{реш}}$ – длина и ширина решетки,

$h_{\text{ср}}$ – средняя глубина воды по середине решетки.

Для определения $h_{\text{ср}}$ определяют первую и вторую критические глубины

$$h_{1\text{кр}} = 0,47 \cdot q_1^{2/3},$$

где $q_1 = Q_{\text{реш}} / l_{\text{реш}}$.

В конце решетки устанавливают вторую критическую глубину

$$h_{2\text{кр}} = 0,47 \cdot q_2^{2/3},$$

$$q_2 = (Q_{\text{реш}} - Q_{\text{кан}}) / l_{\text{реш}},$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_{1\text{кр}} + h_{2\text{кр}}}{2} \cdot 0,81$$

В формуле (2) две величины неизвестны $l_{\text{реш}}$ и $b_{\text{реш}}$.

В начале можно задать длину решетки, исходя из удельного расхода

$$l_{\text{реш}} = Q_{\text{реш}} / q_{\text{реш}},$$

$$q_{\text{реш}} = (0,5 - 1,0) \text{ м}^3/\text{с}.$$

При известной $l_{\text{реш}}$ определим $b_{\text{реш}}$.

Следует иметь в виду, что $b_{\text{реш}}$ больше (2-2,5) м не рекомендуется принимать. Размеры решетки определяются при НПУ. При ФПУ проводят поверочный расчет и при излишнем расходе разность ($Q_{\text{фор}} - Q_{\text{кан}}$) – должна сбрасываться в нижний бьеф. Вторая часть расчетов состоит в определении размеров галереи и ее уклонов. Разбивают галерею на равные участки и расчет ведут по формуле равномерного движения, относя все расчеты к среднему участку сечения. В результате расчетов определяют уклон, площадь сечения галереи и скорость движения воды в ней.

2 Практический раздел
Электронные методические указания для выполнения
практических работ по дисциплине
«Гидротехнические сооружения»

[Практическая работа №1](#)

«Проектирование и расчет плотин из местных материалов»

[Практическая работа №2](#)

«Проектирование поперечного профиля плотин из местных материалов»

[Практическая работа №3](#)

«Фильтрационный расчёт»

[Практическая работа № 4](#)

«Статический расчёт низового откоса»

[Практическая работа №5](#)

«Проектирование и расчет водопроводящих сооружений»

[Практическая работа №6](#)

**«Проектирование и расчет водопропускных сооружений
водохранилищного гидроузла»**

Практическая работа №1 «Проектирование и расчет плотин из местных материалов»

Цель работы: Дать общую характеристику природно-климатических условий района проектирования. Выбрать створ гидроузла и выполнить компоновку его сооружений. Запроектировать плотину из местных материалов. Определить отметку гребня плотины и его конструкции.

1.1 Общая характеристика природно-климатических условий района проектирования

Район строительства определяется местоположением реки, на которой предусматривается создание водохранилищного гидроузла. Приводится краткая характеристика климатических условий (атмосферные осадки, их распределение по месяцам, среднегодовое и среднемесячное количество осадков; величина снежного покрова, температурный режим, глубина промерзания почвы), геологических (физико-механические свойства грунтов по слоям в соответствии с исходными данными), гидрологических (характеристика водосборной площади, уровенный режим, расходы расчетной обеспеченности).

1.2 Выбор створа гидроузла и компоновка сооружений

Гидроузел представляет собой комплекс гидротехнических сооружений, объединённых совместным местоположением и водохозяйственным назначением. На местоположение створа гидроузла оказывают влияние следующие основные факторы:

- топографические, определяющие длину плотины и ее высоту. При прочих равных условиях створ плотины располагают в наиболее узкой части долины, нормально к горизонталям, что обеспечивает наименьший объем земляных работ;

- инженерно-геологические, оцениваемые прочностными характеристиками грунтов, их напластованием и водопроницаемостью;

- гидрологические, связанные с решением вопроса о наполнении водохранилища и расходах, сбрасываемых в период половодья или паводка в нижний бьеф;

- расположение водосброса, которое существенно сказывается на стоимости узла и оказывает влияние на его эксплуатацию. Наиболее целесообразно выбирать створ плотины одновременно с трассировкой трассы водосбросного тракта.

При выборе створа плотины следует так же учитывать способ пропуска строительных расходов, наличие и возможность устройства дорожной сети, наличие местных строительных материалов, линий электропередач и т.д.

Руководствуясь только топографическими условиями (как в курсовой работе), створ плотины целесообразно располагать в самом узком месте водотока, перпендикулярно направлению горизонталей местности, что снижает объем земляных работ.

Компоновка гидроузла заключается в выборе и обосновании местоположения водопропускных сооружений: водосброса, водоспуска и водозабора.

При разработке проектов строительства водохранилищных гидроузлов на равнинных реках применяют три основные схемы компоновки: русловую, пойменную и полупойменную.

При русловой схеме компоновки водосбросное сооружение располагают в русле реки и, как правило, совмещают с водоспуском, а пойменные участки створа перекрывают грунтовой плотиной. При такой схеме компоновки в качестве водосбросного сооружения целесообразно применять шахтно-башенный водосброс.

Пойменная компоновка гидроузла может применяться в том случае, если в качестве водосбросного сооружения проектируется ковшовый водосброс или водосброс открытого типа. В этом случае водосбросной тракт может включать сопрягающие сооружения (быстроток, перепад и другие).

При небольших напорах и благоприятных топографических условиях ковшовый водосброс и открытый регулятор обеспечивают полупойменную компоновку сооружений гидроузла.

В общем случае водосбросное сооружение и водозабор целесообразно располагать на противоположных берегах, а водоспуск в русле реки на коренных грунтах, одна из схем компоновки гидроузла показана на рисунке 1.1.

К основным отметкам водохранилищного гидроузла относятся: нормальный подпорный уровень ($\nabla_{НПУ}$), уровень мертвого объема ($\nabla_{УМО}$) и форсированный подпорный уровень ($\nabla_{ФПУ}$). Их определяют из условий:

$$\nabla_{НПУ} = \nabla_{Дна} + H_1 \quad (1.1)$$

$$\nabla_{ФПУ} = \nabla_{НПУ} + (0,75 \div 1,0) \text{ м} \quad (1.2)$$

$$\nabla_{УМО} = \nabla_{НПУ} - \Delta h \quad (1.3)$$

$$\nabla_{Дна} = \nabla_{Бер} - H_2 - a_1 \quad (1.4)$$

где: Δh - глубина сработки водохранилища, м;

$(0,75 \div 1,0)$ – превышение форсированного подпорного уровня ($\nabla_{ФПУ}$) над нормальным подпорным уровнем, м;

$\nabla_{Бер}$ – отметка берега, м;

$\nabla_{Дна}$ – отметка дна реки в створе гидроузла, м;

H_1, H_2 – глубины воды в верхнем (ВБ) и нижнем (НБ) бьефах в створе гидроузла, м;

a_1 – превышение отметки берега над уровнем воды в реке, $a_1 = (0,2 \div 0,8)$ м.

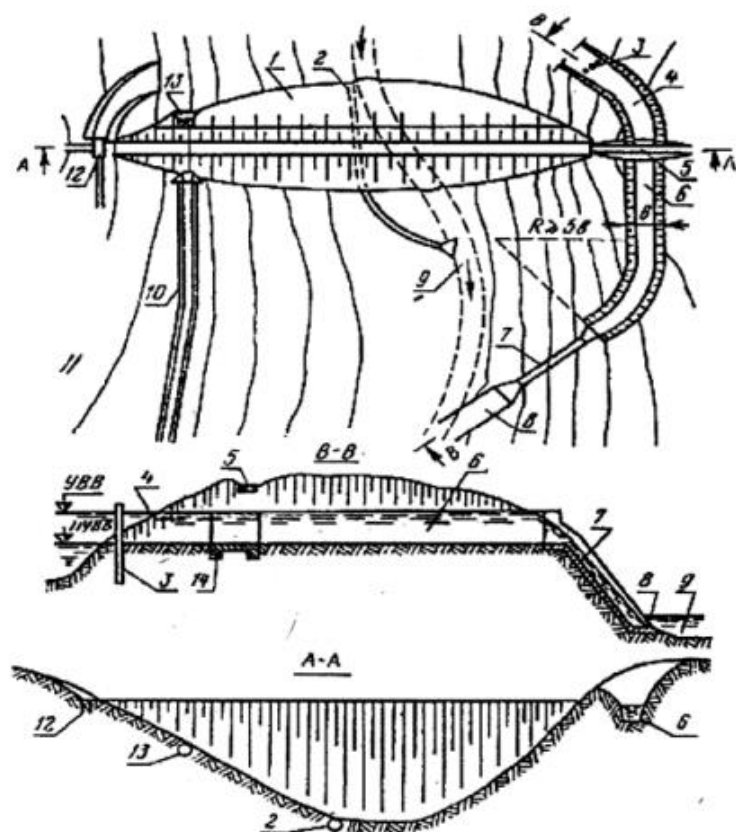


Рисунок 1.1 – Водохранилищный гидроузел: 1 – грунтовая плотина; 2 – водоспуск; 3 – льдорезная свайная стенка; 4 – отводящий канал; 5 – мост; 6 – сбросной канал; 7 – быстроток; 8 – сопрягающий канал; 9 – тальвег; 10 – магистральный канал; 11 – лиманный канал; 12 – водозабор; 13 – водовыпуск; 14 – водосливной порог

1.3 Выбор типа плотины

Грунтовой плотиной называют водоподпорное сооружение, возводимое из однородных или неоднородных по механическому составу грунтов. Поперечный профиль грунтовой плотины показан на рисунке 1.2, где даны также названия отдельных ее элементов.

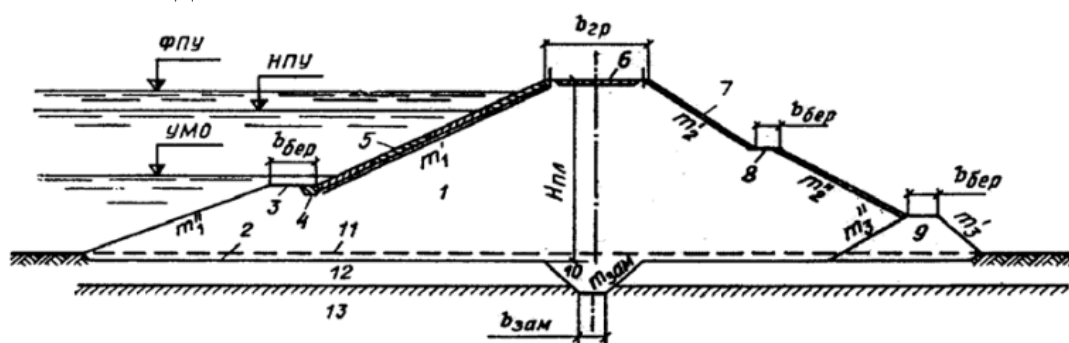


Рисунок 1.2 – Поперечный профиль грунтовой плотины: 1 – тело плотины; 2— подошва плотины; 3 – берма верхового откоса; 4 – упор крепления; 5 – крепление верхового откоса; 6 – гребень плотины; 7 – крепление низового откоса; 8 – берма низового откоса; 9 – дренаж; 10 – замок; 11 – естественная поверхность грунта; 12 – водопроницаемый грунт; 13 – водопупор

Плотины из грунтов находят самое широкое применение в практике гидротехнического строительства. Они являются основным сооружением в

водохранилищных гидроузлах, а также входят в состав речных гидроузлов любого назначения, когда создается разность уровней бьефов.

В качестве материалов для возведения плотины в работе используют любые из связных и несвязных грунтов естественного происхождения, чаще всего суглинки и супеси, а также мелкие и средней крупности пески, обладающие допустимой по водохозяйственным расчетам фильтрационной способностью и достаточной прочностью, за исключением:

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

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

Торф, при степени его разложения не менее 50%, иногда допускается оставлять в основании плотины, давая при этом надлежащее обоснование.

При наличии на месте строительства относительно водонепроницаемых, суглинистых грунтов, устраивают однородные грунтовые плотины. В остальных случаях, для уменьшения фильтрации через тело плотины предусматривают противофильтрационные устройства – ядра или экраны, проектируют неоднородную грунтовую плотину.

1.4 Проектирование грунтовой плотины

При проектировании и возведении грунтовой плотины необходимо учитывать следующие основные требования:

- заложение откосов плотин должно обеспечивать устойчивость сооружения и его основания при всех возможных условиях строительства и эксплуатации;

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

- дренажные устройства должны обеспечивать сбор и организованный отвод фильтрующей воды, предотвращать фильтрационные деформации в теле и основании сооружений;

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

Очертание откосов

Очертание откосов грунтовых плотин необходимо назначить, исходя из условий их статистической устойчивости. Однако, такие расчеты можно выполнить только после того, как задан профиль плотины и на основании фильтрационных расчетов построена кривая депрессии.

Это обстоятельство заставляет предварительно задаваться заложением откосов, а затем расчетом подтвердить их статистическую устойчивость. При предварительном назначении заложения откосов допускается пользоваться данными аналогичных сооружений с последующей проверкой их устойчивости.

Таблица 1.1 – Заложения откосов для плотин IV класса

Откос	При расчетной высоте плотины, м					
	До 5		5...10		10...15	
	При грунтах тела плотины					
	Глинистых	Песчаных	Глинистых	Песчаных	Глинистых	Песчаных
Верховой	2	2...2,5	2,5	2,5...3	3	3
Низовой с дренажем	1,5	2	1,75	2,25	2	2,5
Низовой без дренажа	1,75	2	2	2,25	2,25	2,5

Откосы плотин высотой до 10м принимаются одинаковыми по высоте. При большей высоте принимают ломанное очертание верхового и низового откосов, постепенно увеличивая заложение от гребня плотины к основанию, принимая кратным для верхового откоса 0,5, а для низового 0,25. В местах изменения заложения откосов устраивают горизонтальные площадки - бермы. Бермы располагают через каждые 10м по высоте плотины, как на верховом, так и на низовом откосах. Их устройство вызывается необходимостью производства работ по креплению откосов, а также эксплуатационных целей.

Минимальную ширину бермы назначают 2,0 м и $\geq 3,0$ м, если она предназначена для проезда транспорта.

Определение отметки гребня плотины

Гребень плотины, как правило, используется для проезда автотранспорта. Проезжая часть гребня плотины укрепляется одеждой в зависимости от категории дороги. Она состоит из покрытия и основания. В основании покрытия укладываются песчаные или гравийные грунты. Глинистые грунты тела плотины, в зоне гребня защищают слоем из несвязных грунтов толщиной не менее расчетной глубины промерзания.

В поперечном направлении проезжей части придают уклон 1,5÷4%, уклон обочин на 1÷3% больше. Вдоль гребня плотины с обеих сторон в пределах обочин ставят ограждения в виде столбов, низких стенок или парапетов. Ограждения ставят на расстоянии не более 0,5 м от бровки, а по длине плотины через 4÷6 м.

Превышение отметки гребня плотины над уровнем воды в водохранилище определяется по формуле 1.5.

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{run1\%} + a \quad (1.5)$$

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

$h_{run1\%}$ – высота наката ветровых волн обеспеченностью 1%;

a – конструктивный запас по высоте плотины (принимается равным 0,5 м÷0,6 м).

Расчет выполняется для двух расчетных случаев:

а) когда уровень воды в водохранилище находится на отметке НПУ, тогда определяется превышение $h_s^{НПУ}$ м;

б) когда уровень воды в водохранилище находится на отметке ФПУ, тогда определяется превышение $h_s^{ФПУ}$ м.

Для двух расчетных случаев, по ниже изложенной методике, определяют высоту наката и нагона волны. Окончательную отметку гребня плотины $\nabla_{ГП}$ выбирают как наибольшую из двух случаев.

$$\nabla_{ГП} = \nabla_{НПУ} + h_s^{НПУ} \quad (1.6)$$

$$\nabla_{ГП} = \nabla_{ФПУ} + h_s^{ФПУ} \quad (1.7)$$

Высоту нагона волны определяем по формуле:

$$\Delta h_{set} = k_w \cdot \frac{V_w^2 \cdot L}{g \cdot (H + \Delta h_{set})} \cdot \cos \beta \quad (1.8)$$

где: k_w – коэффициент, принимаемый при $V_w = 20, 30, 40, 50$ м/с соответственно $k_w \cdot 10^6 = 2,1; 3; 3,9; 4,8$ (для промежуточных значений V_w , значение k_w можно определять линейной интерполяцией);

L – длина водохранилища по направлению господствующих ветров, м;

g – ускорение свободного падения;

H – глубина воды в верхнем бьефе, м;

β – угол направления господствующих ветров.

Высоту наката волны определяем по формуле:

$$h_{run1\%} = K_p \cdot K_r \cdot K_{sp} \cdot K_{run} \cdot h_{1\%} \quad (1.9)$$

где: K_p, K_r – коэффициенты шероховатости и проницаемости верхового откоса, определяются по таблице 1.2;

K_{sp} – коэффициент, зависящий от пологости верхового откоса и скорости ветра, определяется по таблице 1.3;

K_{run} – коэффициент, зависящий от параметров волны, определяется по графику рисунок 1.3;

$h_{1\%}$ – высота волны 1% обеспеченности;

r – средний размер шероховатости.

Таблица 1.2 – Значения коэффициентов K_p, K_r

Конструкция крепления откоса	Относительная шероховатость, $r / h_{1\%}$	Коэффициент K_r	Коэффициент K_p
Бетонные (железобетонные плиты)	–	1	0,9
Гравийно-галечное, каменное или крепление бетонными блоками	0,002	1	0,9
	0,005 – 0,01	0,95	0,85
	0,02	0,9	0,8
	0,05	0,8	0,7
	0,1	0,75	0,6
	0,2	0,7	0,5

Таблица 1.3 – Значения коэффициента K_{sp}

Значение $m_1 = \text{ctg } \varphi$	0,4	0,4...2	3...5	Более 5
Коэффициент				
При скорости ветра 20 м/с и более	1,3	1,4	1,5	1,6
При скорости ветра 10 м/с и менее	1,1	1,1	1,1	1,2

Примечание: φ – угол наклона откоса к горизонту, град.

Для определения коэффициента $K_{гун}$ и высоты волны $h_{1\%}$ определяют безразмерные коэффициенты ξ и τ по формулам:

$$\xi = \frac{g \cdot L}{V_w^2} \quad (1.10)$$

$$\tau = \frac{g \cdot t}{V_w} \quad (1.11)$$

где: t – продолжительность действия ветра, равная 6 ч. или 21600 с. По огибающей кривой (рисунок 1.4) находим значения коэффициентов ε и η . По наименьшим их значениям определяют:

– период волны

$$T = \frac{\varepsilon \cdot V_w}{g} \quad (1.12)$$

– высота волны

$$h_{гл} = \frac{\eta \cdot V_w^2}{g} \quad (1.13)$$

– длина волны

$$\lambda_{гл} = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \quad (1.14)$$

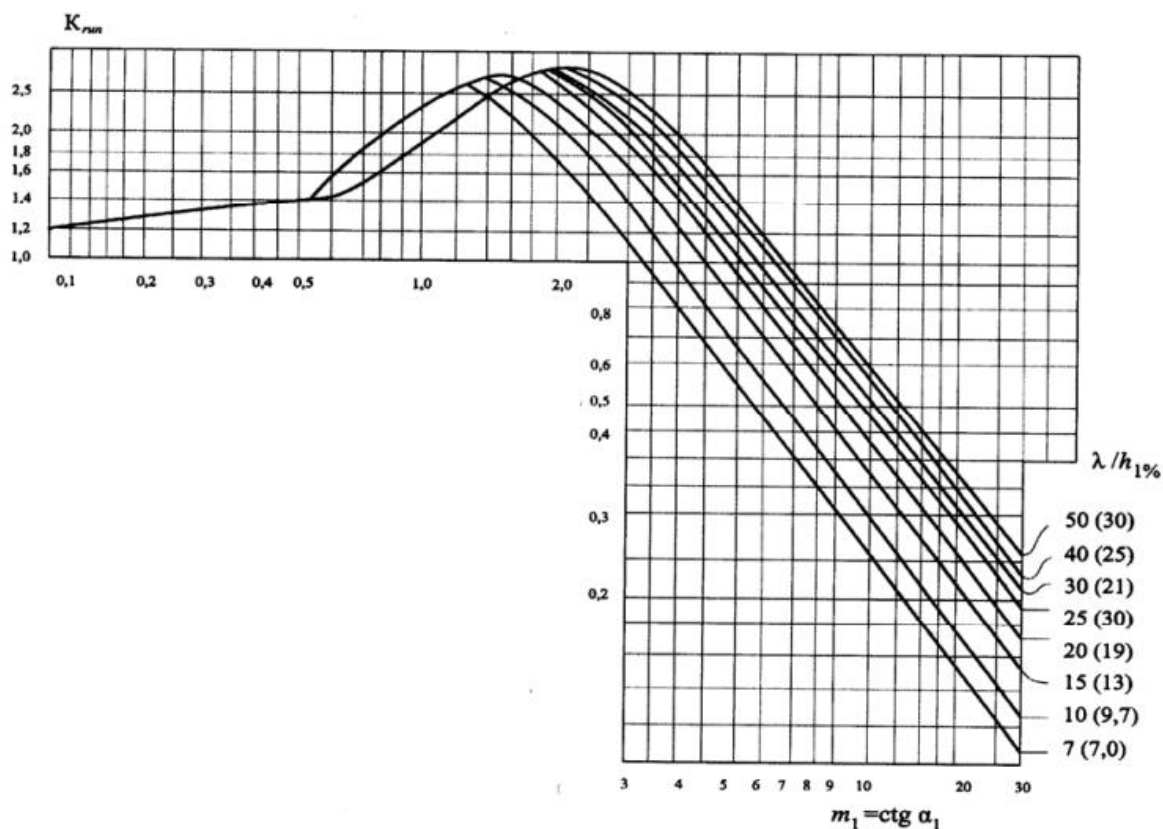


Рисунок 1.3 – График значений коэффициента K_{run}

Для определения $h_{1\%}$ проверяем наличие мелководной или глубоководной зоны.

Если $H \leq 0,5 \cdot \lambda_{гл}$ то зона мелководная и расчетная высота волны, ее средняя длина, определяются по зависимостям:

$$h_{1\%} = \beta \cdot h_{гл} \quad (1.15)$$

$$\lambda = \lambda_{гл} \cdot \alpha \quad (1.16)$$

Значение коэффициентов β и α определяем по графику, рисунок 1.5.

Если $H \geq 0,5 \cdot \lambda_{гл}$ то зона глубоководная, высота волны $h_{1\%}$ и средняя длина волны определяется из условия:

$$h_{1\%} = h_{гл} \cdot K_i \quad (1.17)$$

$$\lambda = \lambda_{гл} \quad (1.18)$$

где K_i – коэффициент, определяемый по графику (рисунок 1.6) в зависимости от значения $\frac{g \cdot L}{V_w^2}$ и расчетной обеспеченности высоты волны.

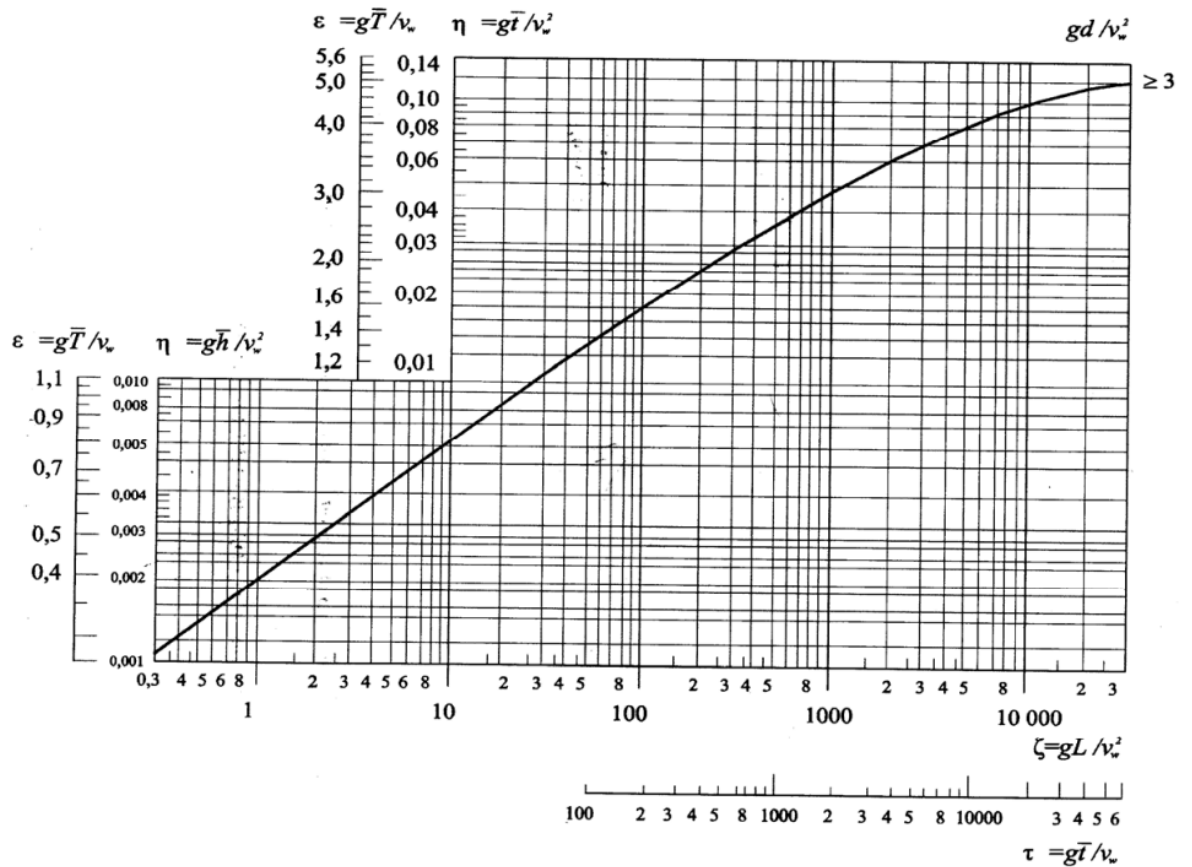


Рисунок 1.4 – График для определения ветровых волн в глубоководной зоне

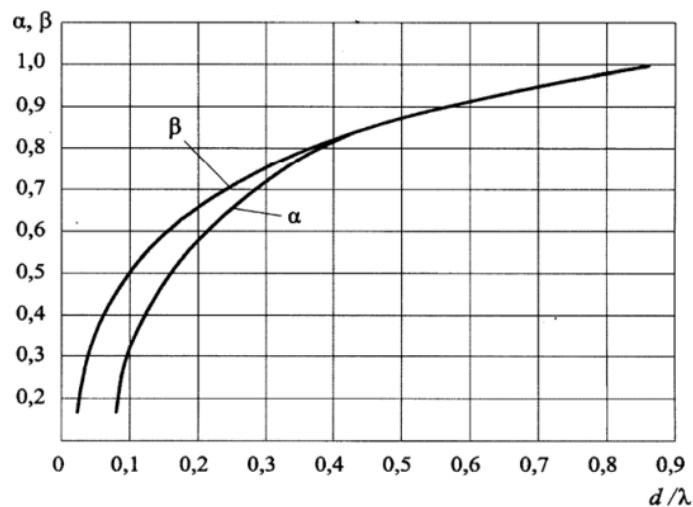


Рисунок 1.5 – Зависимость коэффициентов мелководной зоны

При креплении верхового откоса железобетонными или бетонными плитами, принимается кривая соответствующая 1% обеспеченности, а при креплении каменной наброской или мощением, принимается кривая обеспеченности соответствующая 2% обеспеченности.

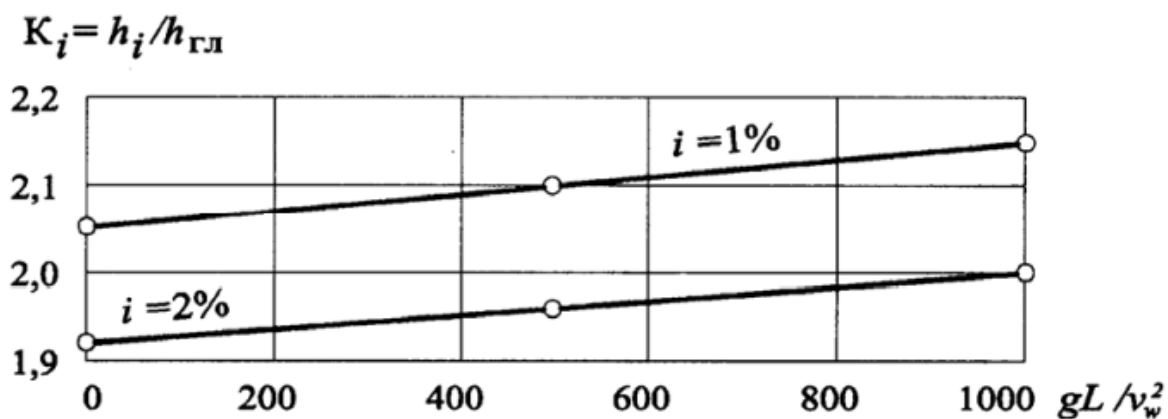


Рисунок 1.6 – График значений K_i

Исходные данные

Вариант	Название реки	Глубина воды в ВБ H_1 , м	Глубина воды в НБ H_2 , м	Угол между осью водохранилища и господствующим направлением ветров β , град	Длина водохранилища по направлению господствующего ветра, м	Глубина сработки водохранилища Δh , м
1	р. Воложинка	8,1	1,5	40	2500	2,0
2	р. Голбица	8,2	1,6	41	2600	2,2
3	р. Мяделка	8,3	1,7	42	2700	2,4
4	р. Усвейка	8,4	1,8	43	2800	2,6
5	р. Птичь	8,5	1,9	44	2900	2,8
6	р. Опита	8,6	2,0	45	3000	3,0
7	р. Бервенка	8,7	2,1	46	3100	2,1
8	р. Радунка	8,8	2,2	47	3200	2,3
9	р. Нища	8,9	2,1	48	3300	2,5
10	р. Исlochь	8,8	2,0	49	3400	2,7
11	р. Клева	8,7	1,9	50	3500	2,9
12	р. Бася	8,6	1,8	49	3600	2,9
13	р. Лучоса	8,5	1,7	48	3700	2,7
14	р. Волма	8,4	1,6	47	3800	2,5
15	р. Быстрая	8,3	1,5	46	3700	2,3
16	р. Гольша	8,2	1,9	45	3600	2,1
17	р. Свечанка	8,1	1,8	44	3500	3,0
18	р. Верхита	8,2	1,7	43	3400	2,8
19	р. Проня	8,3	1,6	42	3300	2,6
20	р. Косолянка	8,4	1,5	41	3200	2,4
21	р. Бобр	8,5	1,6	40	3100	2,2
22	р. Ола	8,6	1,7	41	3000	2,0
23	р. Вабич	8,7	1,8	42	2900	2,2
24	р. Дитва	8,8	1,9	43	2800	2,4
25	р. Изледь	8,9	2,0	44	2700	2,6

Пример расчета

Исходные данные:

1. Название реки – Беседь; 2. Глубина воды в верхнем бьефе при НПУ, $H_1=8,7$ м. 3. Глубина воды в нижнем бьефе, $H_2=1,5$ м. 4. Угол между осью водохранилища и господствующим направлением ветров, $\beta=45^\circ$. 5. Длина водохранилища по направлению господствующего ветра – 3300 м. 6. Глубина сработки водохранилища, $\Delta h=2,6$ м.

1. Общая характеристика природно-климатических условий района проектирования

Река Беседь, левый приток реки Сож, протекает с севера на юг по территории Могилевской и Гомельской областей, беря свое начало на территории Российской Федерации. Район протекания реки Беседь около с. Светиловичи представляет собой плоскую древнеаллювиальную низину с чередованием отдельных гряд и обширных понижений. Подстилающей породой является мел. Над меловыми отложениями расположены послетретичные отложения – пески, суглинки и пестрые глины. В геологическом отношении район проектирования представлен грунтами, физико-механические характеристики представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Физико-механические характеристик грунтов по створу водохранилищного гидроузла

Грунт	Относит. пористость	Плотность, кН/м ³	Объемная масса, кН/м ³	Угол внутр. трения	Сцепление на срез, кН/м ²	Коэф. фильтр., м/сут
Супесь	0,24	24,8	18,9	30	2,5	0,20
Суглинок	0,32	24,7	17,7	27	4,3	0,05

Годовой радиационный баланс для земной поверхности, покрытой травой составляет для района проектирования 41 ккал/см² в год. Баланс достигает максимума в июне-июле (месячная сумма 8-9 ккал/см² месяц) и минимума в декабре-январе (около 0,3 ккал/см² месяц).

Средняя годовая температура на рассматриваемой территории составляет около +6,5 °С, средняя месячная изменяется от -8,2°С в январе до +18,5°С в июле. Самый холодный месяц - январь, наиболее низкий абсолютный минимум -51°С. Самый теплый месяц - июль, абсолютный максимум +48 °С.

Рассматриваемая территория отличается значительным увлажнением. Годовое количество осадков колеблется в пределах 550-600 мм. В течение года осадки распределяются неравномерно. Большая часть их (около 70%) выпадает в теплый период с апреля по октябрь. Число дней с осадками более 0,1 мм колеблется в пределах 160-185 в год, с осадками более 1 мм - от 95 до 110.

Снежный покров в пределах территории характеризуется значительной неустойчивостью. Среднее время его первого появления - конец октября - начало ноября. Максимальная высота снежного покрова наблюдается в начале

марта и составляет около 25-35 см. В лесах, кустарниках и понижениях рельефа высота снежного покрова и запасы воды в нем могут быть в несколько раз больше. Снеготаяние на описываемой территории характеризуется значительной интенсивностью. Устойчивый снежный покров нарушается в конце марта - начале апреля.

Глубина промерзания почвы находится в тесной зависимости от ее механического состава, степени увлажнения, а также от высоты и плотности снежного покрова. Средняя многолетняя глубина промерзания почвы составляет 70 см, наибольшая – 115 см, наименьшая – 25 см. Средняя дата полного оттаивания почвы — начало-середина апреля.

Влажность воздуха сравнительно велика. Число дней, когда относительная влажность превышает 80%, составляет за год 140 дней. Наибольшая влажность наблюдается в декабре в дневные часы 85-88%, наименьшая - в мае (около 50-55%).

Дефицит влажности достигает минимальной величины в зимние месяцы (ноябрь-март) и колеблется в пределах от 0,5 до 0,8 мб, максимальный - в июне (6,5-8,0 мб). В среднем за теплый период (апрель-октябрь) дефицит влажности изменяется от 4,0 до 5,5 мб.

Направление ветра имеет хорошо выраженный годовой ход. В зимние месяцы преобладают ветры юго-западного направления. Весной направление ветра неустойчивое – ветры юго-западных направлений сменяются северо-западными и юго-восточными. Летом преобладают северо-западные, осенью - южные. Скорость ветра в зимние месяцы наибольшая, максимум наступает в феврале и составляет на открытых местах до 10 м/с. В летний период скорость уменьшается и в июле-августе колеблется около 2,5 м/с. Средняя годовая скорость ветра на ровных и открытых местах – 3,5-4,0 м/с.

Река Беседа у створа Светиловичи относится к Припятскому гидрологическому району (подрайон а) и имеет номер 240 по списку наблюдений за речным стоком. Гидрографические характеристики водосбора реки следующие: расстояние от истока реки – 210 км; расстояние от наиболее удаленной точки речной системы – 216 км; средний уклон реки – 0,34 ‰; средневзвешенный уклон реки - 0,23 ‰; площадь водосбора - 5010 км²; средняя высота водосбора – 162 м; озерность – 0 ‰; заболоченность – 6 ‰; заболоченные земли – 3 ‰; лесистость – 26 ‰; распаханность водосбора – 40 ‰. Ближайшая метеорологическая станция г. Гомель.

2. Выбор створа гидроузла и компоновка его сооружений

На местоположение створа гидроузла оказывают влияние следующие основные факторы:

- топографические, определяющие длину плотины и ее высоту. Створ плотины располагаем в наиболее узкой и глубокой части долины, нормально горизонталем, чтобы обеспечить наименьший объем земляных работ.

- инженерно-геологические, оцениваемые прочностными характеристиками грунтов, их напластованием и водопроницаемостью. В

выбранном створе располагаются грунты, физико-механические свойства которых приведены в таблице 1.4.

- гидрологические, связанные с решением вопроса о наполнении водохранилища и расходах, сбрасываемых в период половодья или паводка в нижний бьеф. Гидрологический режим исходной реки-створа изучен достаточно, что позволяет делать прогнозные оценки изменения расходов реки во все гидрологические периоды.

- расположение водосброса, которое существенно сказывается на стоимости гидроузла и оказывает влияние на его эксплуатацию. Поэтому выбираем створ плотины с одновременной трассировкой на местности водосбросного тракта.

Также на выбор местоположения створа гидроузла оказывали свое влияние и другие факторы, такие как способ пропуска строительных расходов (водоспуск), наличие и возможность устройства дорожной сети, наличие местных строительных материалов, линий электропередач и т.д.

Компоновка гидроузла заключается в выборе и обосновании местоположения водопропускных сооружений: водосброса, водоспуска и водозабора.

Так как, по условию задания проектируется ковшовый водосброс, то в нашем случае целесообразно принимать полупойменную схему компоновки, при которой водосбросное сооружение и водовыпуск располагаем на разных берегах реки, а водоспуск - в русле, пойменные участки створа перекрываем грунтовой плотинной.

Подводящий канал водозабора располагаем на уровне отметки УМО для обеспечения постоянного притока воды.

После выбора створа и компоновки гидроузла необходимо определить основные отметки водохранилища, к которым относятся нормальный подпорный уровень $\nabla_{НПУ}$, уровень мертвого объема $\nabla_{УМО}$ и форсированный подпорный уровень $\nabla_{ФПУ}$.

$$\nabla_{НПУ} = \nabla_{Дна} + H_1 = 148,30 + 8,7 = 157,0 \text{ м}$$

$$\nabla_{ФПУ} = \nabla_{НПУ} + 0,8 = 157,80 \text{ м}$$

$$\nabla_{УМО} = \nabla_{НПУ} - \Delta h = 157,0 - 2,6 = 154,40 \text{ м}$$

$$\nabla_{Дна} = \nabla_{Бер} - H_2 - a_1 = 150,0 - 1,5 - 0,2 = 148,30 \text{ м}$$

3. Проектирование плотины из местных материалов

Основное и существенное преимущество грунтовых плотин состоит в том, что для их возведения используется местный строительный материал – грунт. Для получения этого материала требуются только затраты на вскрышные работы в карьере, но они в общей стоимости сооружения незначительны. Грунтовую плотину возводим в виде насыпи, имеющей поперечное сечение в виде трапеции из грунта первого слоя – супесь.

При проектировании грунтовой плотины соблюдены следующие основные требования:

- заложение откосов плотины обеспечивает устойчивость сооружения и его основания при всех возможных условиях строительства и эксплуатации;
- откосы и гребень плотины имеют покрытия, защищающие их от волновых, ледовых и атмосферных воздействий;
- дренажные устройства обеспечивают сбор и организованный отвод фильтрующейся воды и предотвращают фильтрационные деформации в теле грунтовой плотины и в основании;
- строительные и эксплуатационные деформации плотины, ее отдельных элементов и основания не вызывают нарушения нормальной работы гидроузла.

4. Определение отметки гребня плотины и его конструкции

Ширину гребня плотины принимаем равной 8,0 м, так как в районе проектирования проходит автомобильная дорога V категории дорог общего пользования. Это позволит не только улучшить производство работ, обеспечить беспрепятственную эксплуатацию гидроузла, но и даст возможность движения по гребню плотины транспорта.

Для дороги V категории проектируем переходной тип дорожного покрытия, состоящий из слоя песчано-щебеночной смеси, укрепленной портландцементом в количестве 3%, мощностью 10 см.

Дороге, проходящей по гребню плотины, придаем двухсторонний поперечный уклон, проезжей части 20‰, обочинам – 40‰ и по краям дороги устанавливаем низкие оградительные стенки на расстоянии 0,5 м от бровки гребня плотины.

Возвышение гребня плотины над уровнями воды в водохранилище определяем для двух расчетных случаев.

Уровень воды на отметке НПУ

Высоту ветрового нагона волны водохранилища определим по формуле:

$$\Delta h_{set} = k_w \cdot \frac{V_w^2 \cdot L}{g \cdot (H + \Delta h_{set})} \cdot \cos \beta = 2,1 \cdot 106 \cdot \frac{12^2 \cdot 3300}{9,81 \cdot (8,7 + \Delta h_{set})} \cdot \cos 45$$

Сокращая полученное квадратное уравнение и решая его относительно Δh_{set} , получим один положительный корень, т.е. $\Delta h_{set} = 0,008$ м.

Определим значение безразмерных коэффициентов:

$$\xi = \frac{g \cdot L}{V_w^2} = \frac{9,81 \cdot 3300}{12^2} = 225 \quad \tau = \frac{g \cdot t}{V_w} = \frac{9,81 \cdot 21600}{12} = 17658$$

По полученным значениям безразмерных коэффициентов по огибающей кривой графика (рисунок 1.4) определяем значения промежуточных коэффициентов:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= 2,02 & \eta_1 &= 0,024 \\ \varepsilon_2 &= 4,57 & \eta_2 &= 0,097 \end{aligned}$$

К расчету принимаем минимальные значения, т.е. $\varepsilon_1 = 2,02$ и $\eta_1 = 0,024$, тогда определяем:

– период волны

$$T = \frac{\varepsilon \cdot V_w}{g} = \frac{2,02 \cdot 12}{9,81} = 2,47 \text{ с}$$

– высоту волны

$$h_{гЛ} = \frac{\eta \cdot V_w^2}{g} = \frac{0,024 \cdot 12^2}{9,81} = 0,35 \text{ м}$$

– длину волны

$$\lambda_{гЛ} = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} = \frac{9,81 \cdot 2,47^2}{6,28} = 9,53 \text{ м}$$

Так как, $H \geq 0,5 \cdot \lambda_{гЛ}$ т.е. $8,7 > 0,5 \cdot 9,53$, имеем глубоководную зону и высота волны $h_{2\%}$ (2% обеспеченность принята потому что, материал крепления верхового откоса – каменная наброска) и средняя длина волны определяется из условия:

$$h_{2\%} = h_{гЛ} \cdot K_i = 0,35 \cdot 1,93 = 0,68 \text{ м}$$

$$\lambda = \lambda_{гЛ} = 9,53 \text{ м}$$

где K_i – коэффициент, определяемый по графику (рисунок 1.6) в зависимости от значения $\frac{g \cdot L}{V_w^2} = 225$ и расчетной 2% обеспеченности высоты волны.

Зная $\frac{\lambda}{h_{2\%}} = \frac{9,53}{0,68} = 14$ по рисунку 1.3, находим $K_{run} = 1,68$. Коэффициент K_{sp}

для заложения верхового откоса $m_1=3$ и расчетной скорости ветра 12 м/с по таблице 1.5 находим, $K_{sp} = 1,144$. Значения коэффициентов K_p , K_r зависят от типа крепления верхового откоса, при креплении каменной наброской, по таблице 1.4 соответственно находим 0,8 и 0,7. Подставляя все полученные значения, определим высоту наката волны 2% обеспеченности

$$h_{run2\%} = K_p \cdot K_r \cdot K_{sp} \cdot K_{run} \cdot h_{2\%} = 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,144 \cdot 1,68 \cdot 0,68 = 0,73 \text{ м}$$

Превышение отметки гребня плотины над уровнем воды в водохранилище при НПУ определится

$$h_s^{НПУ} = 0,008 + 0,73 + 0,5 = 1,24 \text{ м}$$

Тогда отметка гребня плотины определится

$$\Delta ГП = \Delta НПУ + h_s^{НПУ} = 157,0 + 1,24 = 158,24 \text{ м}$$

Уровень воды на отметке ФПУ

Высоту ветрового нагона волны водохранилища определим по формуле

$$\Delta h_{set} = k_w \cdot \frac{V_w^2 \cdot L}{g \cdot (H + \Delta h_{set})} \cdot \cos \beta = 2,1 \cdot 106 \cdot \frac{9^2 \cdot 3300}{9,81 \cdot (9,5 + \Delta h_{set})} \cdot \cos 45$$

где $H = \text{ФПУ} - \nabla_{\text{Дна}} = 157,80 - 148,30 = 9,5 \text{ м}$.

Сокращая полученное квадратное уравнение и решая его относительно Δh_{set} , получим один положительный корень, т.е. $\Delta h_{set} = 0,0048 \text{ м}$.

Определим значение безразмерных коэффициентов:

$$\xi = \frac{g \cdot L}{V_w^2} = \frac{9,81 \cdot 3300}{9^2} = 400 \quad \tau = \frac{g \cdot t}{V_w} = \frac{9,81 \cdot 21600}{9} = 23544$$

По полученным значениям безразмерных коэффициентов по огибающей кривой графика (рисунок 1.4) определяем значения промежуточных коэффициентов:

$$\varepsilon_1 = 2,40 \quad \eta_1 = 0,031$$

$$\varepsilon_2 = 4,88 \quad \eta_2 = 0,108$$

К расчету принимаем минимальные значения, т.е. $\varepsilon_1 = 2,40$ и $\eta_1 = 0,031$, тогда определяем:

– период волны

$$T = \frac{\varepsilon \cdot V_w}{g} = \frac{2,4 \cdot 9}{9,81} = 2,2 \text{ с}$$

– высоту волны

$$h_{\text{гл}} = \frac{\eta \cdot V_w^2}{g} = \frac{0,031 \cdot 9^2}{9,81} = 0,26 \text{ м}$$

– длину волны

$$\lambda_{\text{гл}} = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} = \frac{9,81 \cdot 2,2^2}{6,28} = 7,56 \text{ м}$$

Так как, $H \geq 0,5 \cdot \lambda_{\text{гл}}$ т.е. $9,5 > 0,5 \cdot 7,56$, имеем глубоководную зону и высота волны $h_{2\%}$ (2% обеспеченность принята потому что, материал крепления верхового откоса – каменная наброска) и средняя длина волны определяется из условия:

$$h_{2\%} = h_{\text{гл}} \cdot K_i = 0,26 \cdot 1,95 = 0,51 \text{ м}$$

$$\lambda = \lambda_{\text{гл}} = 7,56 \text{ м}$$

где K_i – коэффициент, определяемый по графику (рисунок 1.6) в зависимости от значения $\frac{g \cdot L}{V_w^2} = 400$ и расчетной 2% обеспеченности высоты волны. Зная

$\frac{\lambda}{h_{2\%}} = \frac{7,56}{0,51} = 15$ по рисунку 1.3, находим $K_{\text{run}} = 1,73$. Коэффициент K_{sp} для заложения верхового откоса $m_1=3$ и расчетной скорости ветра 9 м/с по таблице 1.5 находим, $K_{\text{sp}} = 1,1$. Значения коэффициентов K_p , K_r зависят от типа крепления верхового откоса, при креплении каменной наброской, по таблице 1.4 соответственно находим 0,8 и 0,7. Подставляя все полученные значения, определим высоту наката волны 2% обеспеченности

$$h_{\text{run}2\%} = K_p \cdot K_r \cdot K_{\text{sp}} \cdot K_{\text{run}} \cdot h_{2\%} = 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 1,73 \cdot 0,51 = 0,54 \text{ м}$$

Превышение отметки гребня плотины над уровнем воды в водохранилище при ФПУ определится

$$h_s^{\text{ФПУ}} = 0,004 + 0,54 + 0,5 = 1,04 \text{ м}$$

Тогда отметка гребня плотины определится

$$\Delta \text{ГП} = \Delta \text{ФПУ} + h_s^{\text{ФПУ}} = 157,80 + 1,04 = 158,84 \text{ м}$$

Окончательно принимаем максимальную отметку гребня плотины из двух полученных значений и округляем к ближайшему целому числу $\nabla \text{ГП} = 159,00 \text{ м}$.

Практическая работа №2
«Проектирование поперечного профиля плотин из местных
материалов»

Цель работы: По данным практической работы №1 выполнить крепление откосов плотины. Принять противофильтрационные устройства. Выбрать дренажные устройства. Выполнить сопряжение тела плотины с основанием и берегами.

2.1 Крепление откосов

Крепление откосов земляных плотин устраивают для защиты их от размыва течением воды или ее волнового действия, разрушения льдом, размыва дождевыми и тальными водами, стекающими по откосам плотины и других разрушающих откосы факторов.

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.

Верхнюю границу основного крепления (ВГК), чаще всего назначают на отметке гребня плотины. В случае значительного возвышения гребня плотины над расчетным уровнем воды, основное крепление заканчивают ниже гребня плотины на отметке высоты наката волны $h_{1\%}$ и далее до гребня доводят крепление в облегченном виде.

Нижнюю границу основного крепления (НГК) назначают ниже минимального уровня сработки водохранилища на глубине, равной двойной высоте волны, соответствующей условиям этого уровня

$$\text{НГК} = \nabla_{\text{УМО}} - 2 \cdot h_{1\%} \quad (2.1)$$

но не меньше чем $1,5t$, где t – толщина ледяного покрова.

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

Для крепления верхового откоса наиболее часто применяют сборные и монолитные железобетонные покрытия, каменную наброску и несколько реже – асфальтобетонное и биологическое крепление.

Сборные крепления применяют при высоте волны 1%-й обеспеченности до 1,5 м и толщине льда не более 0,8 м. Сборные плиты изготавливают толщиной от 8 до 20 см размером 1,5×2,5 до 5×5 м. Если высота волны более 1,5 м, то применяют монолитное покрытие толщиной до 0,5 м. Под плитами предусматривается обратный фильтр из песчано-гравелистых, галечных или щебеночных грунтов, а также из искусственных волокнистых материалов рисунок 7. Толщина одного слоя фильтра при ручной укладке не менее 0,1 м, при механизированной укладке – 0,2 м. Толщина однослойной фильтровой

подготовки под каменной наброской или мощением принимается не менее 0,2 м.

Толщина сборных железобетонных плит крепления определяется из условия:

$$\delta = 0,1 \cdot h_{1\%} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_B}{\gamma_6 - \gamma_B}} \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{m_1 \cdot b}} \quad (2.2)$$

где γ_6 – объемная масса бетона;

γ_B – объемная масса воды;

b – размер плиты в направлении падения откоса;

λ – длина волны 1% обеспеченности.

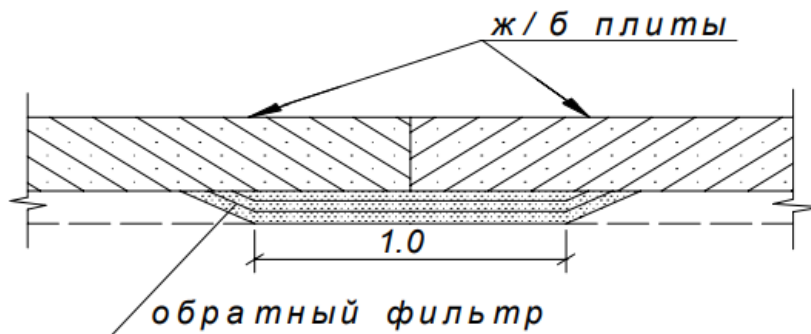


Рисунок 2.1 – Элемент крепления откоса железобетонными плитами

Толщину каменной наброски для предварительных расчетов можно определить по формуле:

$$t_{\text{набр}} \geq (2,5 \div 3,0) \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_k}{52,4 \cdot \gamma_k}} \quad (2.3)$$

где Q_k – расчетная масса отдельного камня в наброске, кг;

γ_k – объемная масса камня, кН/м³.

Вес камня Q_k определяют по формуле П.А. Шанкина:

$$Q_k = K_1 \cdot K_2 \cdot h_{2\%}^3 \cdot \frac{\gamma_k}{\gamma_k - 10} \quad (2.4)$$

где K_1 – коэффициент, зависящий от длины волны, при $\frac{\lambda}{h_{2\%}} \leq 15$, $K_2 = 7,2$, а

если $\frac{\lambda}{h_{2\%}} \geq 15$, то $K_1 = 8,2$;

K_2 – коэффициент, принимаемый в зависимости от заложения верхового откоса, таблица 2.1.

Таблица 2.1 – Значение коэффициента K_2

m₁	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
K₂	39	22	14	9,3	6,9	4,8	3,4

Для крепления откосов применяют также каменное мощение (рисунок 2.2), толщина которого определяется по формуле П.А. Шанкина:

$$t_{\text{мощ}} = 1,7 \cdot h_{1\%} \cdot \frac{\gamma_B \cdot \sqrt{1+m_1^2}}{(\gamma_k - \gamma_B) \cdot (m_1 + 2) \cdot m_1} \quad (2.5)$$

где γ_B , γ_k – объемная масса воды и камня;

$h_{1\%}$ – высота волны;
 m_1 – заложение верхового откоса.

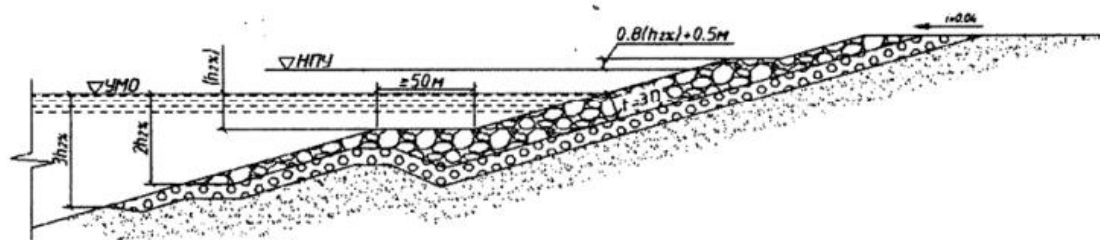


Рисунок 2.2 – Крепление откоса каменным мощением

Низовые откосы плотин чаще всего защищают от атмосферных осадков и ветра посевом многолетних трав, сплошной или одерновкой в клетку. В некоторых случаях, при несвязных грунтах, низовые откосы покрывают слоем 15...20 см из щебня или гравия.

2.2 Противофильтрационные устройства

Основным назначением противофильтрационных устройств грунтовых плотин является уменьшение фильтрационного расхода, недопущения фильтрационных деформаций грунтов тела плотины и ее основания, а также для понижения положения кривой депрессии и повышения устойчивости низового откоса.

Противофильтрационные устройства чаще всего выполняют в виде грунтовых ядер или экранов. Предпочтительнее располагать противофильтрационные устройства в верховом клине плотины, то есть устраивать экран, сопрягая его с водонепроницаемым основанием зубом. Этим значительно понижается кривая депрессии, а, следовательно, увеличивается устойчивость плотины. Для пластичных экранов применяют суглинки и глины. Толщину пластичного экрана поверху назначают не менее 0,8 м, по низу – не менее 0,1 глубины воды в верхнем бьефе. С внешней стороны экран должен быть покрыт защитным слоем из песка или песчано-гравелистого грунта не менее глубины промерзания в районе строительства.

По условиям производства работ и эксплуатации часто предпочитают устраивать вместо экрана ядро, располагая его в центральной части поперечного профиля. Преимущество ядра по сравнению с экраном в том, что оно менее подвержено опасным деформациям, так как опирается непосредственно на основание и как бы сдавливается боковыми призмами плотины, которые хорошо защищают его от внешних воздействий.

Минимальную толщину пластичного ядра поверху назначают не менее 0,8 м, по низу – не менее 0,1 глубины воды в верхнем бьефе.

Верх противофильтрационных элементов (ядер, экранов) назначают выше отметки ФПУ и, в то же время, расстояние до гребня плотины должно быть не менее глубины промерзания.

Выбор противофильтрационного устройства производится на основании технико-экономического сравнения вариантов, наличия строительных

материалов и условий производства работ и в зависимости от схемы сопряжения тела плотны с основанием (см. пункт 4.7 настоящих указаний).

В практической работе противофильтрационное устройство следует принимать в том случае, если грунт тела плотины имеет коэффициент фильтрации более 1 м/сут.

2.3 Дренажные устройства

Грунтовые плотины высотой 6...8 м, как правило, оборудуются дренажами. Они служат для понижения кривой депрессии, предотвращения выхода фильтрационного потока на низовой откос приема и отвода профильтровавшейся воды через тело плотины в нижний бьеф. Исходя из выполняемых задач, дренаж должен иметь две основные части: приемную – в виде обратного фильтра из одного или нескольких слоев, который обеспечивает поступление фильтрационного потока и предупреждает фильтрационные деформации; отводящую – в виде водосборных и водоотводящих элементов. Слои обратного фильтра обычно имеют толщину 0,25...0,3 м.

При наличии на месте строительства камня, дренаж делают в виде призмы из каменной наброски, которая кроме основного своего назначения служит упором низового откоса плотины, рисунок 2.3. Дренаж в виде призмы назначают только в русловой части грунтовой плотины (где имеется вода в НБ), а на тех участках плотины, которые в период эксплуатации не подтапливаются водой со стороны НБ, устраивают трубчатый дренаж.

Верх дренажной призмы должен возвышаться над уровнем воды в НБ на 0,5...1,0 м. Коэффициент заложения внутреннего откоса призмы принимают не менее 1,25, наружного на 0,25 больше. Ширину призмы поверху назначают 1...4 м, в зависимости от транспортного сообщения по нему и эксплуатационных требований.

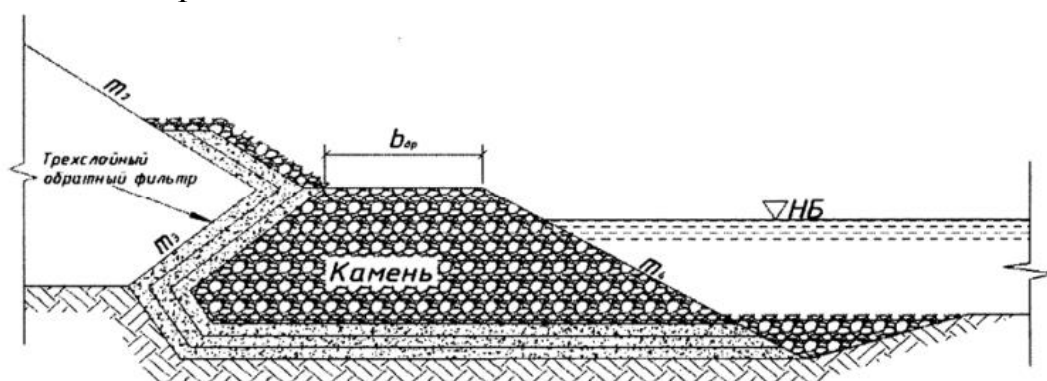


Рисунок 2.3 – Дренажная призма

Трубчатый дренаж выполняют из гончарных перфорированных бетонных или асбестоцементных труб диаметром 15...25 см, уложенных с уклоном параллельно подошве откоса и обсыпанных обратным фильтром и удаленных от низового откоса на расстояние более глубины промерзания для района строительства, рисунок 2.4.

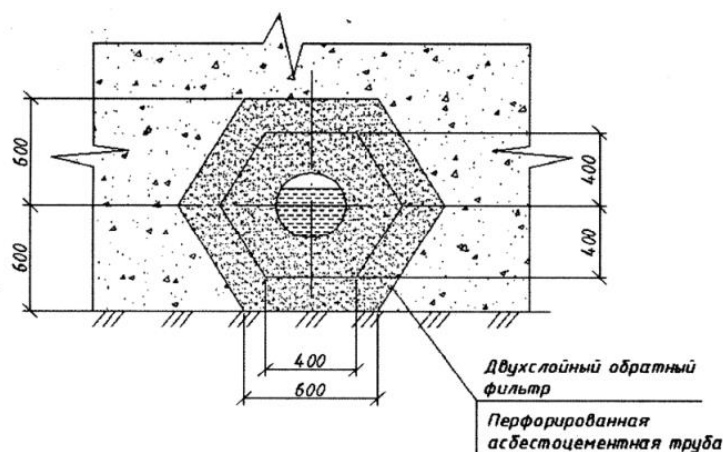


Рисунок 2.4 – Трубчатый дренаж

Фильтрационный поток в продольные дрены поступает через отверстия или прорезы в трубе, а на гончарных трубах – через торцевые зазоры. Выход профильтрованной воды из продольных дрен происходит через поперечные дрены-выпуски, располагаемые примерно через 20...50 м. При большой длине и напоре более 10 м, на дренажной линии через 50...100 м устраивают смотровые колодцы (по типу водопроводноканализационных с внутренним диаметром 100 см) и в этом случае поперечные дрены-выпуски приурочивают к ним.

2.4 Сопряжение тела плотины с основанием и берегами

Сопряжение тела плотины с основанием, берегами и примыкающими бетонными сооружениями должно быть выполнено таким образом, чтобы исключалась возможность фильтрационных деформаций грунтов тела плотины и основания, обеспечивалась статическая устойчивость сооружения, фильтрационные потери из водохранилища не превышали допустимых пределов.

С этой целью предусматривают удаление с поверхности грунта с нарушенной структурой (растительного слоя, слоя грунта, пронизанного корневищами деревьев и кустарников, ходами землеройных животных). Подлежит удалению также слой грунта, содержащего недопустимо большое количество легко растворимых в воде солей или органических включений.

Примыкание тела плотины к берегам осуществляют по наклонным плоскостям, избегая при этом резких переломов, угол наклона соседних участков поверхности берега не должен превышать 100.

Противофильтрационная преграда в основании должна сопрягаться непосредственно с противофильтрационным элементом в теле плотины (ядром, экраном или диафрагмой). Противофильтрационные устройства типа замков, зубьев выполняют при мощности водонапорного слоя в основании плотины до 2,0 м. Если мощность водопроницаемого слоя от 2,0 до 5,0 м, то применяют шпунтовые стенки, с заделкой в водонепроницаемый слой на глубину не менее 0,5 м. При мощности слоя водопроницаемого основания более 5,0 м, эффективнее применять висячую шпунтовую стенку или экран с понуром. Длину понура, назначают в соответствии с фильтрационными расчетами или исходя из условия предотвращения фильтрационных

деформаций при выходе фильтрационного потока в НБ. В первом приближении необходимо, чтобы длина понура составляла от одной до двух глубин воды в ВБ. Толщину понура в начале назначают не менее 0,8 м, постепенно увеличивая к экрану и сопрягается с ним толщиной не менее 0,1 глубины воды в верхнем бьефе. Поверх понура, для защиты его от промерзания, предусматривают пригрузку из песчаных или песчано-гравийных грунтов.

В практической работе принятый поперечный профиль плотины со всеми назначенными выше элементами, вычерчивается на миллиметровой бумаге соответствующего формата в масштабе М 1:200.

Пример расчета

В поперечном разрезе тело грунтовой плотины имеет форму трапеции с двумя наклонными боковыми сторонами, называемыми верховым и низовым откосами, защищенными от действия ветровых волн и других повреждений. Поперечному профилю придают такое очертание, размеры и конструкцию, при которых обеспечиваются устойчивость тела плотины и ее основания при всех возможных условиях работы. В данной практической работе предусматриваем строительство грунтовой насыпной плотины.

Коэффициенты заложения откосов (верхового m_1 и низового m_2) при относительно не большой высоте плотины $H_{пл} = \nabla ГП - \nabla Дна = 159,00 - 148,3 = 10,7$ м назначаем на основании рекомендаций таблицы 1.1 и опыта и эксплуатации грунтовых плотин: $m_1 = 3,0$ и $m_2 = 2,5$. Бермы устраиваются на откосах плотин высотой более 15 м. Так как проектируемая плотина имеет высоту менее 15 м (10,7м), то бермы не предусматриваем.

На основании анализа физико-механических свойств грунтов, по створу гидроузла, а также рекомендаций, изложенных в п.1.3, делаем вывод о том, что наиболее подходящим грунтом для отсыпки плотины в данных условиях, является супесь.

Так как, грунт тела плотины является хорошо водопроницаемым грунтом, коэффициент фильтрации супеси меньше единицы, то для уменьшения фильтрационного расхода через плотину и основание, снижения депрессионной кривой с целью повышения устойчивости низового откоса и уменьшения уклона фильтрационного потока с целью предотвращения фильтрационных деформаций грунта в теле плотины необходимо предусмотреть противофильтрационное устройство. С учетом рекомендаций в теле плотины предусматриваем экран из грунта второго слоя (суглинка), шириной по верху 1,0 м и по низу – 1,5 м. Расстояние от гребня плотины до верхней границы экрана принимаем ниже глубины промерзания для района проектирования, но выше отметки ФПУ, т.е. 0,8 м. Так как, под плотиной располагается хорошо фильтруемый слой супеси, то предусматриваем устройство понура из второго слоя – суглинка.

Толщину понура назначаем 1,5 м, а длину ориентировочно назначаем $2 \cdot H_1$ т.е. $L_{п} = 15$ м.

Со стороны верхового откоса, для предохранения от промерзания и механических повреждений, экран и понур защищаем слоем несвязного грунта (грунта тела плотины) толщиной 1,0 м.

С целью приема и организованного отвода в нижний бьеф фильтрационной воды и исключения деформации грунта тела плотины и основания в русле реки в НБ предусматриваем дренажную призму, а на тех участках плотины, которые в период эксплуатации не подтапливаются со стороны НБ, устраиваем трубчатый дренаж.

Приемная часть дренажной призмы представлена обратным фильтром, а отводящая – в виде каменной наброски. Размеры дренажной призмы принимаем: ширина поверху 3,0 м; заложение откосов $m_3 = 1,25$, $m_4 = 1,5$. Так как, превышение отметки берега над уровнем воды в НБ составляет только 0,2 м, то отметку верха дренажной призмы назначаем выше отметки берега реки на 0,5 м, т.е. $\nabla_{\text{Др}} = 150,50$ м.

Для защиты верхового откоса от размыва предусматривается крепление в виде каменной наброски, которое выполняется из отсортированного камня. Толщину каменной наброски для предварительных расчетов определим по формуле:

$$t_{\text{набр}} \geq (2,5 \div 3,0) \cdot \sqrt[3]{\frac{Q_k}{52,4 \cdot \gamma_k}} = 2,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{36,4}{52,4 \cdot 25}} = 0,76 \text{ м}$$

где γ_k – объемная масса камня, $\gamma_k = 25$ кН/м³,

Q_k – расчетная масса отдельного камня в наброске, кг

$$Q_k = K_1 \cdot K_2 \cdot h_{2\%}^3 \cdot \frac{\gamma_k}{\gamma_k - 10} = 7,1 \cdot 0,0093 \cdot 0,68^3 \cdot \frac{25}{25 - 10} = 34,6 \text{ кг}$$

Под слоем каменной наброски предусматриваем обратный фильтр, толщиной 20 см, т.е. вся толщина крепления верхового откоса, составит около 100 см.

Верхнюю границу крепления устраиваем до гребня плотины, а нижнюю – ниже подводной кромки льда на 0,3 м, т.е. на отметке 153,40 м.

Низовой откос защищаем посевом многолетних трав по всей его площади. Примыкание тела плотины к берегам осуществляется по наклонным плоскостям, угол наклона соседних участков поверхности берега не превышает 10°.

Практическая работа №3
«Фильтрационный расчёт»

Цель работы: По данным практической работы №1 и №2 выполнить фильтрационный расчёт грунтовой плотины из местных материалов.

Под действием напора, создаваемого плотиной, происходит фильтрация воды через тело плотины и ее основание из верхнего бьефа в нижний. Свободная поверхность грунтового потока называется депрессионной поверхностью, а линия пересечения этой поверхности с вертикальной плоскостью – депрессионной кривой.

Задачами фильтрационных расчетов являются: определение потерь воды через тело грунтовой плотины и ее основание, если оно водопроницаемо; определение положения кривой депрессии и выходных градиентов напора. При фильтрационных расчетах грунтовых плотин принимают следующие допущения:

- фильтрацию рассматривают в одной плоскости;
- грунт тела плотины считают однородно-изотропным;
- водупор считают теоретически водонепроницаемым, положение кривой депрессии однородной плотине не зависит от качества грунта, а определяется только геометрическими размерами профиля плотины.

Проектный профиль грунтовой плотины приводит к расчетной схеме, в которой исключают отдельные мелкие детали и не учитывают потери напора в пригрузке из крупнопористых грунтов, уложенных поверх водонепроницаемых элементов – экранов или понуров. В верхнем бьефе за расчетный уровень принимают НПУ, в нижнем бьефе – уровень воды, соответствующий бытовому уровню, при котором будет установившийся расход фильтрационного потока в теле плотины.

Вначале находят положение раздельного сечения ΔL по формуле Г.К. Михайлова.

$$\Delta L = \frac{m_1}{2 \cdot m_1 + 1} \cdot H_1 \quad (3.1)$$

Положение кривой депрессии определяют по уравнению:

$$y^2 = H_1^2 - 2 \cdot \frac{q_m}{k_m} \cdot x \quad (3.2)$$

где q_m – удельный фильтрационный расход через тело плотины;

k_m – коэффициент фильтрации тела плотины.

Величину удельного фильтрационного расхода q_m находят из уравнения:

$$\frac{q_m}{k_m} = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2 \cdot L_{\text{расч}}} \quad (3.3)$$

где $L_{\text{расч}}$ – проекция кривой депрессии на плоскость основания, для однородной плотины $L_{\text{расч}} = L + \Delta L$.

При определении координат кривой депрессии задаются рядом значений (не менее пяти) x и определяют положение кривой депрессии. Для значения $x = 0$ ордината равна H_1 , а при $x = L_{\text{расч}}$ ордината равна H_2 . После определения

координат кривой депрессии, оценивают фильтрационную прочность грунтов основания и тела плотины по величине выходного фильтрационного градиента:

$$I_{\text{вых}} = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{y_{n-1} - y_n}{x_n - x_{n-1}} \leq I_k \quad (3.4)$$

где Δh – падение напора фильтрационного потока на линейном участке Δl .

Значение выходного градиента должно быть меньше чем значение градиента критического, который определяется строительными нормами, таблица 3.1. Если условие не выполняется, то необходимо пересмотреть принятые размеры элементов поперечного профиля грунтовой плотины, увеличить заложение низового откоса или размеры противофильтрационного устройства.

Таблица 3.1 – Значения критического среднего градиента

Грунт	Критический градиент напора, I_k
Песок: мелкий	0,32
– средней крупности	0,42
– крупный	0,48
Супесь	0,60
Суглинок	0,80
Глина	1,35

Если плотина не однородная, то при выполнении фильтрационных расчетов используют метод виртуальных длин, позволяющий виртуально заменить противофильтрационное устройство (экран или ядро) эквивалентным слоем и дальнейшие расчеты проводить как для однородной плотины.

Мощность эквивалентного слоя для плотины с ядром, определяют из условия:

$$L_{\text{я}} = \frac{\delta_{\text{в}} + \delta_{\text{н}}}{2} \cdot \frac{k_m}{k_{\text{я}}} \quad (3.5)$$

Плотины с экраном:

$$L_{\text{э}} = \frac{\delta_{\text{в}} + \delta_{\text{н}}}{2} \cdot \frac{k_m}{k_{\text{э}}} \cdot \sin\theta \quad (3.6)$$

где $\delta_{\text{в}}$, $\delta_{\text{н}}$ – толщина противофильтрационного устройства в верхней и нижней частях;

$k_{\text{я}}$, $k_{\text{э}}$, – коэффициенты фильтрации ядра и экрана;

θ – угол наклона средней линии экрана к основанию плотины.

Тогда, для плотины с ядром $L_{\text{расч}} = L + \Delta L + L_{\text{я}}$, а для плотины с экраном $L_{\text{расч}} = L + \Delta L + L_{\text{э}}$.

Пример расчета

Под влиянием напора, создаваемого плотиной, из верхнего бьефа в нижний происходит фильтрация через тело плотины и ее основание. Основными задачами фильтрационных расчетов, являются определение удельного и общего расхода фильтрации, положения кривой депрессии и оценка фильтрационной прочности грунтов основания и тела плотины.

При фильтрационных расчетах принимаем следующие допущения: фильтрацию рассматриваем в одной плоскости, грунт тела плотины считаем однородно-анизотропным, водоупор считается теоретически водонепроницаемым, положение кривой депрессии не зависит от качества грунта, а определяется только геометрическими размерами тела плотины.

Запроектированный поперечный профиль грунтовой плотины, приводим к расчетной схеме (см. рисунок 3.1), в которой исключаем отдельные мелкие детали (допустим, наличие и вид противофильтрационного устройства, отметку гребня плотины, конструкцию крепления верхового откоса и т.п.). В верхнем бьефе за расчетный принимаем $\nabla_{НПУ} = 157,0$ м, а в нижнем бьефе – бытовой уровень воды на отметке $\nabla_{НБ} = 149,80$ м, при котором будет наблюдаться установившийся расход фильтрационного потока в теле плотины.

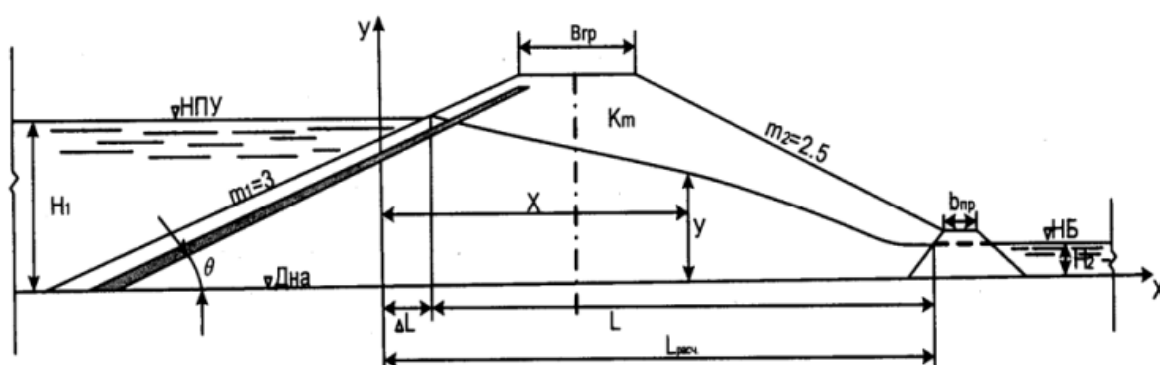


Рисунок 3.1 – Расчетная схема к фильтрационному расчету

Расчет выполняем в соответствии с методикой в следующей последовательности:

1. Находим положение раздельного сечения по формуле Михайлова:

$$\Delta L = \frac{m_1}{2 \cdot m_1 + 1} \cdot H_1 = 3,73 \text{ м}$$

2. Аналитическим расчетом, по расчетной схеме к фильтрационному расчету (см. рисунок 3.1), определяем длину проекции кривой депрессии на горизонтальную ось:

$$L = (\nabla_{ГП} - \nabla_{НПУ}) \cdot m_1 + B_{гр} + (\nabla_{ГП} - \nabla_{Др}) \cdot m_2 - (\nabla_{Др} - \nabla_{НБ}) \cdot m_3 = (159,0 - 157,0) \cdot 3,0 + 8,0 + (159,0 - 150,5) \cdot 2,5 - (150,5 - 149,8) \cdot 1,25 = 38,11 \text{ м}$$

3. Так как в теле плотины имеется противофильтрационное устройство – экран, то приводим плотину к однородной (метод виртуальных длин). Для этого определим размеры эквивалентного слоя:

$$L_э = \frac{\delta_B + \delta_H}{2} \cdot \frac{k_m}{k_э} \cdot \sin \theta = 7,35 \text{ м}$$

Тогда виртуальная длина проекции кривой депрессии на основание:

$$L_{расч} = \Delta L + L + L_э = 3,73 + 38,11 + 7,35 = 49,19 \text{ м}$$

4. Величину удельного фильтрационного расхода q_m находят из уравнения:

$$\frac{q_m}{k_m} = \frac{H_1^2 - H_2^2}{2 \cdot L_{\text{расч}}} = 0,746$$

Тогда $q_m = 0,746 \cdot k_m = 0,746 \cdot 0,2 = 0,149 \text{ м}^3/\text{сут}$

5. Положение кривой депрессии определяют по уравнению:

$$Y^2 = H_1^2 - 2 \cdot \frac{q_m}{k_m} \cdot x$$

Для построения кривой депрессии находим координаты точек, расчет сводим в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Расчет координат депрессионной кривой

$X, \text{ м}$	49,19	45	42	39	36	33	30	27	24	21
$Y, \text{ м}$	1,5	2,92	3,61	4,18	4,69	5,14	5,56	5,95	6,32	6,67

По полученным координатам строим кривую депрессии (см. рис. 3.2).

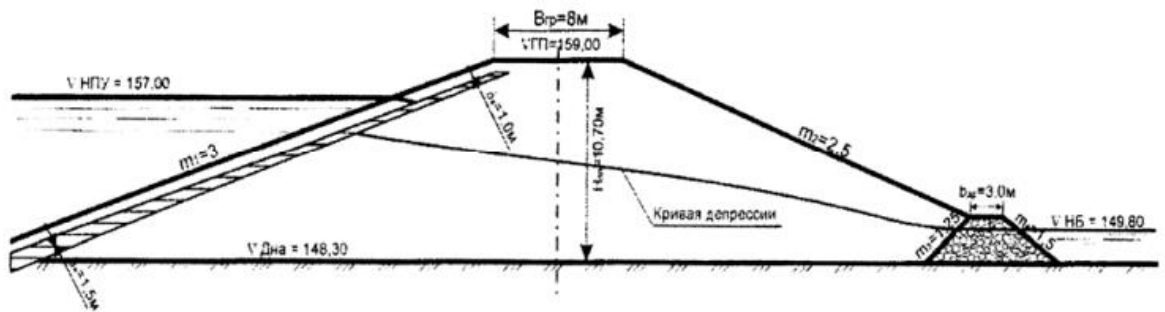


Рисунок 3.2 – Поперечный профиль запроектированной грунтовой плотины

6. Проверим фильтрационную прочность грунтов тела плотины и основания по значению выходного градиента:

$$I_{\text{вых}} = \frac{\Delta h}{\Delta l} = \frac{y_{n-1} - y_n}{x_n - x_{n-1}} = 0,34 \leq I_k = 0,6$$

Так как условие выполняется, то фильтрационная прочность грунтов тела плотины и основания будет обеспечена.

Практическая работа №4 «Статический расчёт низового откоса»

Цель работы: По данным практической работы №1, №2 и №3 выполнить статический расчёт низового откоса грунтовой плотины из местных материалов.

Низовой откос грунтовой плотины, за счет постоянного действия фильтрационного потока, атмосферных осадков и других нагрузок, имеет высокую вероятность потери устойчивости. Расчет его устойчивости ведут при заданных физико-механических характеристиках грунта тела плотины и основания, известных геометрических размерах поперечного профиля плотины и построенной по результатам фильтрационных расчетов кривой депрессии. Нормами проектирования допускается проведение расчета устойчивости низового откоса методом кругло-цилиндрических поверхностей скольжения. В результате расчета определяется минимальное значение коэффициента устойчивости K_y , который должен быть равен или больше нормативного.

$$K_y = \frac{\sum M_{уд}}{\sum M_{сд}} \geq K_n \quad (4.1)$$

где $\sum M_{уд}$, $\sum M_{сд}$ – сумма моментов удерживающих и сдвигающих сил;

K_n – нормативный коэффициент устойчивости, зависит от сочетания нагрузок и воздействий, а также класса капитальности сооружения, в работе принимается $K_n = 1,1 \div 1,05$.

Расчет выполняется в условиях плоской задачи, когда рассматривается отрезок плотины длиной равной единице. Для определения коэффициента устойчивости все силы, кроме фильтрационной имеющей, объемную характеристику переносим на поверхность скольжения. Подсчет действующих сил, выполняем графоаналитическим способом. Для определения центра кривой скольжения, проводим среднюю (осреднение производится в случаях наличия на откосе бERM или разных заложений откоса) линию низового откоса до пересечения ее с плоскостью основания в точке В. Из точки В опускаем перпендикуляр, на котором откладываем отрезок, равный высоте плотины $H_{пл} = \nabla_{ГП} - \nabla_{Дна}$. Из точки С, параллельно плоскости основания плотины откладывается отрезок $МС = 5 \cdot H_{пл}$. Из точки М, через точку А гребня плотины со стороны низового откоса проводим луч, на котором и вокруг которого выбираем точку О и радиусом R проводим кривую скольжения таким образом, чтобы она проходила между точкой А и осевой линией плотины, захватывая при этом часть основания в зоне дренажа (в практической работе допускается определение коэффициента устойчивости для одного центра скольжения).

Массив предполагаемого обрушения, ограниченный снизу кривой скольжения, а сверху – линией откоса, разбиваем на отдельные полосы шириной $b = 0,1R$. Каждой полосе присваивается номер. Для определения

нулевой полосы из центра кривой скольжения О, опускается перпендикуляр на линию скольжения. Подсчет действующих сил проводим в таблице 4.1, порядок заполнения которой следующий:

1. Синус α для рассматриваемой полосы равен ее порядковому номеру, поделенному на 10. Для полос, расположенных от нулевой полосы влево, $\sin \alpha$ положительные, а для полос, расположенных вправо – отрицательные. При этом для первой и последней полос $\sin \alpha$ принимается в зависимости от доли полосы по отношению к полной ее ширине.

Таблица 4.1 – Подсчёт действующих сил

Номер полосы	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	h_1 , М	$h_{нас1}$, М	$h_{пр}$, М	$h_{пр} \cdot \sin \alpha \cdot \gamma_{гр}$	$h_{пр} \cdot \cos \alpha \cdot \gamma_{сп}$
1	2	3	4	5	6	7	8
				Σ		Σ	

продолжение таблицы 4.1

φ	$\cos \alpha$	$h_{пр} \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \gamma_{гр}$	C,	l,М	C/l
9	10	11	12	13	14
		Σ			Σ

2. Косинус α вычисляется по формуле:

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} \quad (4.2)$$

3. Грунты в пределах полосы имеют различные характеристики, поэтому: h_1 – мощность грунта, находящегося в естественном состоянии, до линии депрессии; $h_{нас1}$ – мощность грунта во влажном состоянии, ниже линии депрессии. Если грунт тела плотины и основания разные, то в пределах полосы возможно от плоскости основания до кривой скольжения определяется $h_{нас2}$.

4. Приведенную высоту полосы определяют по формуле:

$$h_{пр} = h_1 + h_{нас1} \cdot \frac{\gamma_{нас1}}{\gamma_{гр}} + h_{нас2} \cdot \frac{\gamma_{нас2}}{\gamma_{гр}} \quad (4.3)$$

где $\gamma_{гр}$ – объемная масса грунта тела плотины при естественной влажности; $\gamma_{нас1}$, $\gamma_{нас2}$ – объемная масса взвешенного и насыщенного грунта тела плотины и грунта в основания

$$\gamma_{нас} = (1-n) \cdot (\gamma_{гр} - \gamma_{в}) \quad (4.4)$$

где n – относительная пористость соответствующего грунта.

5. Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление C принимаются по зонам соответственно состоянию и физико-техническим характеристикам грунтов. В практической работе, для зон, лежащих ниже линии кривой депрессии, значения φ и C необходимо уменьшить на 30%.

6. Длина дуги кривой скольжения характерной зоны определяется по формуле:

$$l_i = \frac{\pi \cdot R \cdot \beta_i}{180} \quad (4.5)$$

где β_i – центральный угол дуги скольжения i -ой характерной зоны.

Коэффициент устойчивости, с использованием результатов расчетов таблицы 4.1, определяется по развернутой формуле:

$$K_y = \frac{b \cdot \sum h_{\text{пр}} \cdot \cos \alpha \cdot \text{tg} \varphi \cdot \gamma_{\text{гр}} + \sum C \cdot l}{b \cdot \sum h_{\text{пр}} \cdot \sin \alpha \cdot \gamma_{\text{гр}} + \Omega \cdot I_{\text{вых}} \cdot \frac{r}{R}} \quad (4.6)$$

где Ω – площадь фильтрационного потока в зоне сползаемого массива, определяется $\Omega = \sum h_{\text{нас}} \cdot b$, r – плечо действующей гидродинамической силы определяется графически по расчетной схеме.

Пример расчета

Низовой откос плотины больше всего является подверженным обрушению (сползанию), поэтому необходимо выполнить статический расчет его устойчивости. Для этого вычерчиваем поперечный профиль плотины в одинаковом вертикальном и горизонтальном масштабе (1:400) с указанием положения кривой депрессии (рисунок 4.1).

Расчет устойчивости откоса ведем на 1 м длины плотины. При определении коэффициента запаса все силы переносим на поверхность скольжения, кроме фильтрационной, которую учитываем, как объемную. Расчет выполняем методом кругло-цилиндрических поверхностей скольжения графоаналитическим способом в следующей последовательности:

1. Продлеваем линию низового откоса до пересечения с основанием – линия АВ.

2. Из точки В опускаем вниз вертикальную прямую и откладываем на ней расстояние равное высоте плотины $H_{\text{пл}} = \nabla \text{ГП} - \nabla \text{Дна} = 159,00 - 148,30 = 10,70$ м и фиксируем его точкой С.

3. Через точку С, в сторону верхового откоса проводим горизонтальную линию и откладываем на ней расстояние равное $5 \cdot H_{\text{пл}} = 5 \cdot 10,7 = 53,5$ м, фиксируя его точкой М.

4. Затем через точку М и точку А, расположенную на бровке низового откоса проводим луч ММ, на котором выбираем центр скольжения О и радиус кривой скольжения таким образом, чтобы кривой скольжения был захвачен весь низовой откос и частично грунт основания. Причем, кривая скольжения должна проходить между осью плотины и бровкой низового откоса. Значение радиуса кривой скольжения определяем графически по расчетной схеме, рисунок 4.1, $R = 30$ м. Разбиваем полученный сектор обрушения на отсеки шириной $b = 0,1R = 3,0$ м. Счет ведем от нулевого отсека, расположенного симметрично относительно перпендикуляра, опущенного из центра скольжения точка О к плоскости основания.

Подсчет действующих сил проводим в таблице 4.2. Например, приведенная высота для полосы №6 определится из условия:

$$h_{\text{пр}} = h_1 + h_{\text{нас1}} \cdot \frac{\gamma_{\text{нас1}}}{\gamma_{\text{гр}}} = 5,15 \text{ м}$$

где $\gamma_{\text{гр}}$ – объемная масса грунта тела плотины при естественной влажности, $\gamma_{\text{гр}} = 18,9 \text{ кН/м}^3$;

$\gamma_{\text{нас1}}$ – объемная масса водонасыщенного грунта полосы №6 тела плотины

$$\gamma_{\text{нас}} = (1 - n) \cdot (\gamma_{\text{г}} - \gamma_{\text{в}}) = (1 - 0,24) \cdot (24,8 - 10) = 11,25 \text{ кН/м}^3;$$

n – относительная пористость грунта тела плотины, $n = 0,24$.

Угол внутреннего трения φ и удельное сцепление C принимаются по зонам соответственно состоянию и физико-техническим характеристикам грунтов. Начиная с полосы №6, где кривая скольжения проходит по влажным грунтам, угол внутреннего трения φ и удельное сцепление C уменьшаем на 30%, соответственно получим $\varphi = 21^\circ$ и $C=1,75$.

По линии кривой скольжения выделяется две характерные зоны, это дуга кривой скольжения проходящая в грунтах естественного состояния (до кривой депрессии) и часть кривой скольжения ниже кривой депрессии. Центральные углы $\beta_1 = 16,4^\circ$ и $\beta_2 = 59,6^\circ$, определяем графически (см. рисунок 4.1). Длины дуг кривой скольжения определяются из зависимости:

$$l_1 = \frac{\pi \cdot R \cdot \beta_1}{180} = 8,58 \text{ м}$$

$$l_2 = \frac{\pi \cdot R \cdot \beta_2}{180} = 31,19 \text{ м}$$

Площадь фильтрационного потока в зоне массива обрушения, определяется как $\Omega = \sum h_{\text{нас}} \cdot b = 27,47 \cdot 3,0 = 82,41 \text{ м}^2$.

Коэффициент устойчивости грунтового массива обрушения по кривой скольжения, а значит и низового откоса в целом, определится из выражения:

$$K_y = \frac{3,0 \cdot 271,03 + 157}{3,0 \cdot 274,33 + 82,41 \cdot 0,34 \cdot \frac{28,1}{30,0}} = 1,14$$

где r – плечо действующей гидродинамической силы, определяется графически по расчетной схеме (см. рисунок 4.1), $r = 28,1\text{м}$; выходной градиент принят из результатов фильтрационного расчета, $I_{\text{вых}} = 0,34$.

Полученное значение устойчивости $K_y = 1,14$ больше допустимого, следовательно грунтовая плотина запроектирована правильно, устойчивость ее будет обеспечена.

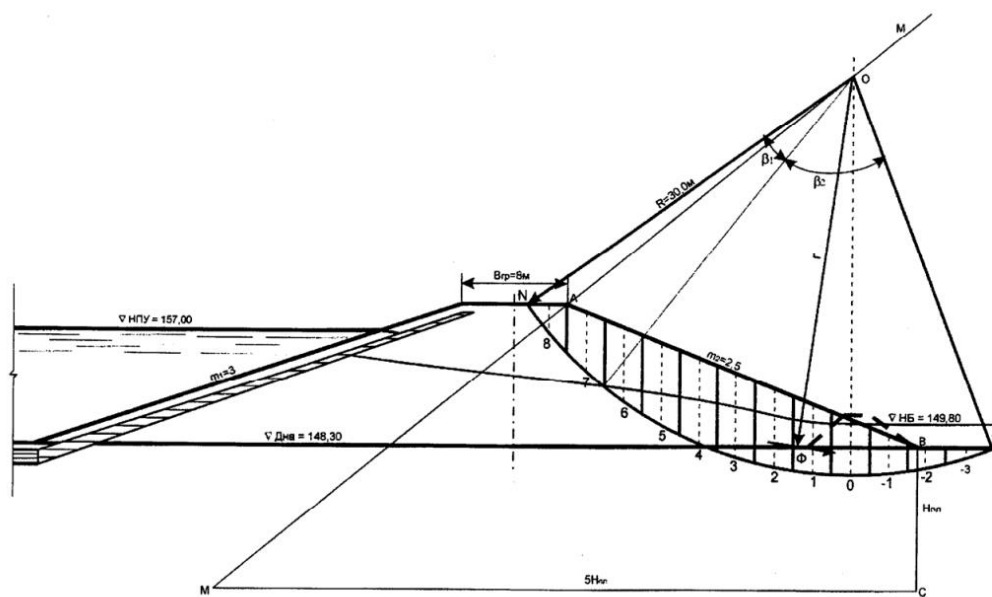


Рисунок 4.1 – Расчетная схема к статическому расчету низового откоса плотины

Таблица 4.2 – Определение действующих сил на низовой откос плотины

№ полосы	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	h_1 , м	$h_{нас1}$, м	h_{np} , м	$h_{np} \cdot \sin \alpha \cdot \gamma_{сп}$	$h_{np} \cdot \cos \alpha \cdot \gamma_{сп}$	φ	$\operatorname{tg} \varphi$	$h_{np} \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \gamma_{сп}$	C,	I,м	C·I
8	0,8	0,60	2,00	-	2,00	30,24	22,68			13,09			
7	0,7	0,71	4,38	-	4,38	57,95	58,78	30	0,58	33,91	2,50	26,17	65,42
6	0,6	0,80	4,50	1,10	5,15	58,45	77,94			29,90			
5	0,5	0,87	3,78	2,35	5,18	48,94	85,15			32,67			
4	0,4	0,92	3,05	3,35	5,04	38,13	87,70			33,65			
3	0,3	0,95	2,39	3,94	4,73	26,85	85,01			32,62			
2	0,2	0,98	1,95	3,889	4,27	16,12	79,00			30,11			
1	0,1	0,99	1,25	3,83	3,53	6,67	66,04			25,34			
0	0	1,0	0,15	4,00	2,53	0,00	47,83			18,35			
-1	-0,1	0,99	-	2,78	1,65	-3,13	30,96			11,88			
-2	-0,2	0,98	-	1,45	0,86	-3,26	15,98			6,13			
-3	-0,3	0,95	-	0,78	0,46	-2,63	8,33	21	0,38	3,20	1,75	52,33	91,58
сумма				27,47		274,33				271,03			157

Практическая работа №5
«Проектирование и расчет водопроводящих сооружений»

Цель работы: Выполнить гидравлический расчёт подводящего и отводящего каналов водоспуска для шахтно-башенного водосброса.

Каналы относятся к водопроводящим сооружениям и являются обязательным элементом водопропускных сооружений. Наиболее распространена трапецеидальная форма живого сечения канала. При равномерном движении воды площади живых сечений и их форма по всей длине потока, скорости – одинаковы. Движение воды описывается уравнением:

$$Q = \omega \cdot c \cdot \sqrt{R \cdot I} \quad (5.1)$$

К рассчитываемым параметрам трапециидального канала относят:

- площадь живого сечения $\omega = (b_k + m \cdot h) \cdot h$
- смоченный периметр $\chi = b_k + 2h\sqrt{1 + m^2}$
- гидравлический радиус $R = \frac{\omega}{\chi}$
- коэффициент Шези $c = \frac{1}{n} R^{1/6}$

где m – заложение откосов, принимается по таблице 5.1; h – глубина наполнения канала; n – коэффициент шероховатости, принимается по таблице 5.2; I – продольный уклон канала по дну, в практической работе рекомендуется назначать в пределах $I = 0,0002 \div 0,0006$.

Размеры поперечного сечения канала устанавливают на основании гидравлического расчета. Расчет может проводиться графоаналитическим способом, когда при известном расходе, уклоне и глубине наполнения канала, необходимо определить ширину канала по дну и скорость движения воды. Задача решается подбором, вначале находят расходную характеристику:

$$K_p = \frac{Q}{\sqrt{I}} \quad (5.2)$$

Далее, задавая ряд значений ширины канала по дну, вычисляют соответствующие значения K_i до тех пор, пока вычисленное значение K_i не будет равно требуемому K_p . Вычисления рекомендуется проводить в табличной форме.

Таблица 5.1 – Заложения откосов каналов в выемке

Грунты	При наполнении, м		
	1	1...2	2...3
Глина, суглинок тяжелый	1.00	1.00	1.25
Суглинок легкий	1.25	1.25	1.5
Супесь	1.5	1.5	1.75
Песок	1.75	2.00	2.25

Таблица 5.2 – Значения коэффициентов шероховатости каналов

№ п/п	Характеристика русла	n	$\frac{1}{n}$
1	Каналы, покрытые толстым илистым слоем	0,014	55,6
2	Каналы в лесе, плотном гравии	0,020	50,0
3	Каналы плотной глине, условиях выше средних	0,0225	44,4
4	Каналы в плотных грунтах, средние условия содержания	0,025	40,0
5	Каналы в условиях содержания ниже средних	0,0275	36,4
6	Каналы в плохих условиях содержания	0,03	33,3

Таблица 5.3 – Расчет параметров поперечного сечения канала

b_k	h	ω	χ	R	C	$C\sqrt{R}$	$K = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R}$

Рассчитанные размеры канала должны создавать такую среднюю скорость движения воды, чтобы обеспечивалось выполнение условия:

$$V_{\text{заил}} < V_{\text{факт}} < V_{\text{разм}} \quad (5.3)$$

где $V_{\text{заил}}$ – минимальная скорость, обеспечивающая не заиливание канала, определяется по формуле О.А. Гиршина, но во всех случаях принимается не менее 0,3 м/с; $V_{\text{разм}}$ – не размывающая скорость

$$V_{\text{заил}} = A \cdot Q^{0.2} \quad (5.4)$$

$$V_{\text{разм}} = K \cdot Q^{0.1} \quad (5.5)$$

где A – коэффициент, равный 0,33 - 0,55; K – коэффициент, определяемый по таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Значения коэффициента K

Грунты	K
Песок мелкий	0.40-045
▪ средний	0.45-0.50
▪ крупный	0.50-0.60
Супесь	0.53
Суглинок легкий	0.57
▪ средний	0.62
▪ тяжелый	0.68
Глина	0.75
Глина тяжелая	0.83

Если условие (5.3) не выполняется, т.е. фактическая скорость $V_{факт}$ в запроектированном в канале больше $V_{разм}$, то необходимо изменить параметры канала, либо предусмотреть крепление откосов и дна в соответствии с рекомендациями таблицы 5.5.

Таблица 5.5 – Допускаемая скорость на размыв для закрепленных русл

№ п/п	Тип крепления	Допускаемая скорость, м/с
1	Одиночная мостовая	2.5 - 4.0
2	Дерновка плашмя	1.0 - 1.5
3	Хворостяное фашинное покрытие	1.5 - 2.0
4	Бетонная одежда	6.0 - 10.0

Исходные данные

Вариант	Максимальный расчетный сбросной расход Q , м ³ /с	Тип водосброса	Расход опорожнения $Q_{опор}$, м ³ /с
1	20	Шахтно-башенный	2,0
2	21	Шахтно-башенный	2,1
3	22	Шахтно-башенный	2,2
4	23	Шахтно-башенный	2,3
5	24	Шахтно-башенный	2,4
6	25	Шахтно-башенный	2,5
7	26	Шахтно-башенный	2,6
8	27	Шахтно-башенный	2,7
9	28	Шахтно-башенный	2,8
10	29	Шахтно-башенный	2,9
11	30	Шахтно-башенный	3,0
12	31	Шахтно-башенный	3,1
13	32	Шахтно-башенный	3,2
14	33	Шахтно-башенный	3,3
15	34	Шахтно-башенный	3,4
16	35	Шахтно-башенный	3,5
17	36	Шахтно-башенный	3,6
18	37	Шахтно-башенный	3,7
19	38	Шахтно-башенный	3,8
20	42	Шахтно-башенный	2,5
21	25	Шахтно-башенный	2,6
22	51	Шахтно-башенный	2,7
23	38	Шахтно-башенный	2,8
24	19	Шахтно-башенный	2,9
25	43	Шахтно-башенный	3,0
26	33	Шахтно-башенный	4,0
27	28	Шахтно-башенный	3,8
28	35	Шахтно-башенный	2,8
29	41	Шахтно-башенный	3,5
30	22	Шахтно-башенный	2,6

Пример расчета

Исходные данные:

1. Расход опорожнения, $Q_{опор} = 2,8 \text{ м}^3/\text{с}$; 2. Тип водосброса – шахтно-башенный; 3. Максимальный расчетный сбросной расход, $Q = 27 \text{ м}^3/\text{с}$.

1. Гидравлический расчет подводящего канала

Подводящий канал принимаем трапецеидального сечения, с уклоном $i = 0,0003$. Расчет выполняем в соответствии с требованиями на пропуск расхода опорожнения водохранилища $Q_{опор} = 2,8 \text{ м}^3/\text{с}$. Канал располагается на отметке дна 148.30 м в первом слое грунтов – супеси, заложение откосов $m = 1,5$, а коэффициент шероховатости для средних условий содержания $n = 0,025$. Принимаем глубину канала $h = 1,2 \text{ м}$, тогда:

$$K_p = \frac{2,8}{\sqrt{0,0003}} = 162$$

Результаты вычислений приводятся в таблице 5.6.

Таблица 5.6 – Расчет параметров водоподводящего канала водоспуска

b_k	h	ω	χ	R	C	$C \sqrt{R}$	$K = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R}$
0,6	1,2	2,88	4,92	0,59	36,6	28,1	81
1,0	-	3,36	5,32	0,63	37,0	29,4	99
1,4	-	3,84	5,72	0,67	37,4	30,6	118
1,8	-	4,32	6,12	0,71	37,8	31,9	138
2,2	-	4,80	6,52	0,74	38,0	32,7	157
2,4	-	5,04	6,72	0,75	38,1	33,0	166

Для определения расчетной ширины канал по дну, строится график зависимости, рисунок 5.1, по которому находим, что для расчетного значения $K_p = 162$, ширина канала $b_k = 2,31 \text{ м}$, с округлением принимаем $b_k = 2,4 \text{ м}$.

Фактическая скорость воды в канале:

$$V_{факт} = C \sqrt{RI} = 33,0 \cdot \sqrt{0,75 \cdot 0,0003} = 0,5 \text{ м/с}$$

$$V_{заил} = 0,33 \cdot 2,8^{0,2} = 0,41 \text{ м/с}$$

$$V_{разм} = 0,53 \cdot 2,8^{0,1} = 0,58 \text{ м/с}$$

Условие 5.3 выполняется, значит размеры подводящего канала водоспуска определены правильно и крепление дна и откосов канала не требуется.

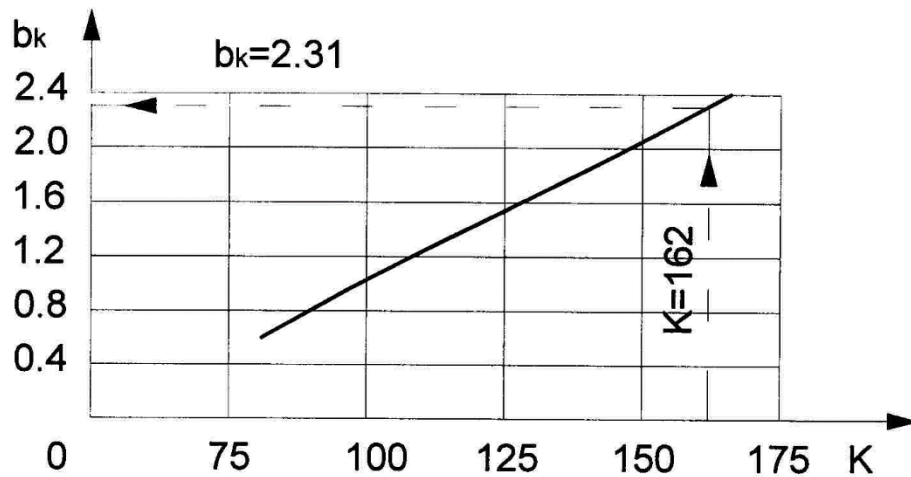


Рисунок 5.1 – Зависимость расходной характеристики и ширины подводящего канала водоспуска по дну

2. Гидравлический расчет отводящего канала

Отводящий канал также принимаем трапециевидного сечения, с продольным уклоном дна $i = 0.0003$. Расчет выполняем графоаналитическим способом в соответствии с требованиями, на пропуск максимального расчетного сбросного расхода $Q = 27 \text{ м}^3/\text{с}$. Канал располагается в первом слое грунтов – супеси, заложение откосов $m = 1,5$, а коэффициент шероховатости для условий содержания выше средних, $n = 0,0225$. Принимаем глубину наполнения канала $h = 1,5 \text{ м}$, тогда:

$$K_p = \frac{27}{\sqrt{0,0003}} = 1559$$

Результаты вычислений приводятся в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Расчет параметров водоотводящего канала водосброса

b_k	h	ω	χ	R	C	$C \sqrt{R}$	$K = \omega \cdot C \cdot \sqrt{R}$
10	1,5	18,38	15,41	1,19	45,7	49,9	916
14	1,5	24,4	19,41	1,26	46,1	51,7	1263
16	1,5	27,4	21,41	1,28	46,3	52,4	1436
17	1,5	28,8	22,45 1	1,29	46,3	52,6	1515
18	1,5	30,38	23,41	1,30	46,4	52,9	1607

По графику 5.2 находим, что для расчетного значения $K_p = 1569$, ширина канала $b_k = 17,5 \text{ м}$, с округлением принимаем $b_k = 18 \text{ м}$. Фактическая скорость воды в канале:

$$V_{\text{факт}} = C \sqrt{RI} = 46,4 \cdot \sqrt{1,30 \cdot 0,0003} = 0,92 \text{ м/с}$$

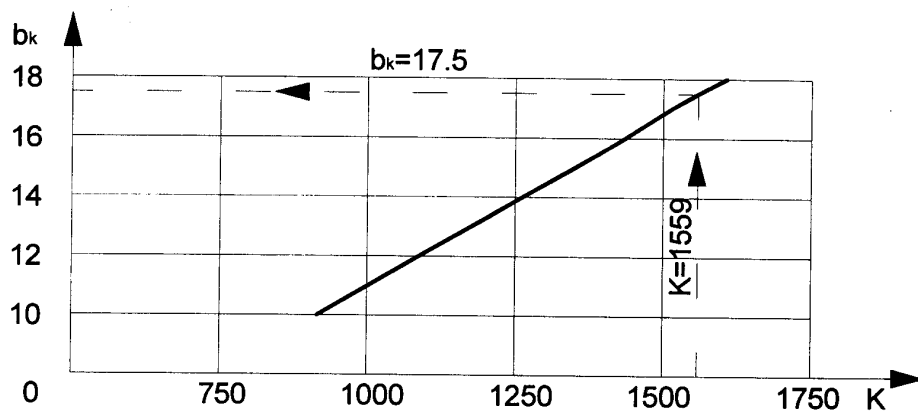


Рисунок 5.2 – Зависимость расходной характеристики и ширины отводящего канала водоспуска по дну

$$V_{\text{заи}} = 0,33 \cdot 27^{0,2} = 0,64 \text{ м/с}$$

$$V_{\text{раз}} = 0,53 \cdot 27^{0,1} = 0,74 \text{ м/с}$$

Так как условие 5.3 не выполняется, фактическая скорость больше скорости на размыв, то в соответствии с рекомендациями таблицы 5.5 предусматриваем крепление дна и откосов канала дерновкой плашмя.

Практическая работа №6
«Проектирование и расчет водопропускных сооружений
водохранилищного гидроузла»

Цель работы: Выполнить проектирование и расчёт водоспуска по данным практической работы №5. Выполнить проектирование и расчет шахтно-башенного водосброса.

Шахтно-башенный водосброс включает следующие основные части: башню, водоподводящую трубу (водоспуск), водоотводящую трубу и устройство нижнего бьефа.

Башня обеспечивает автоматический сброс воды через водослив и размещение затворов, оборудования и служебного мостика, из которого осуществляется управление режимом работы водоспуска и отводящего водовода. В плане водослив башни выполняют круглой, прямоугольной, эллипсоидальной и полигональной форм.

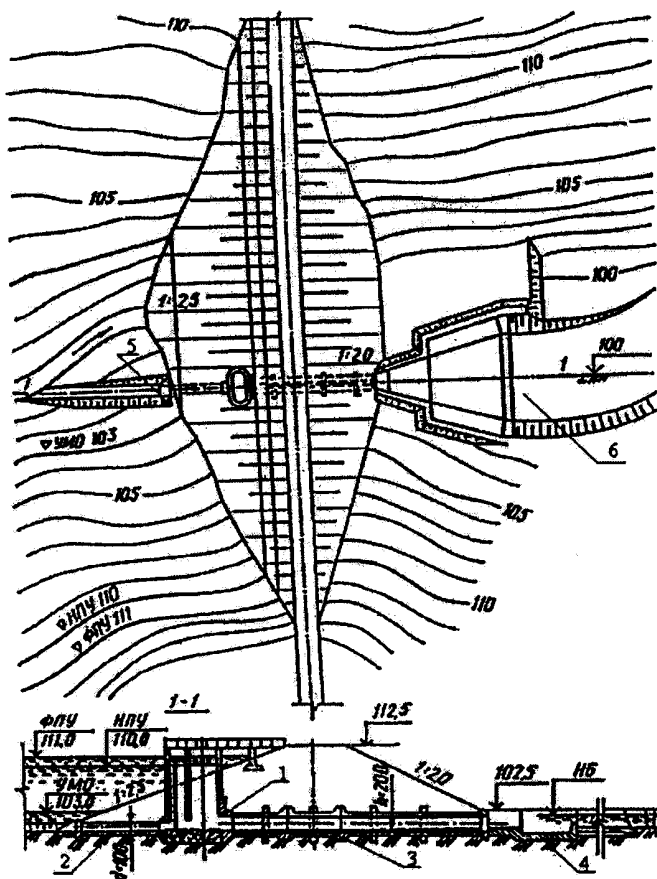


Рисунок 6.1 – Шахтно-башенный водосброс:

- 1 – башня; 2 – водоспуск; 3 – водоотводящая труба; 4 – водобойный колодец;
5 – водоподводящий канал; 6 – водоотводящий канал

Гребень башни оформляют по типу водослива с тонкой стенкой и оборудуют крупноячеистой сорорудерживающей решеткой, а на рыбоводных прудах применяют рыбозаградительные съемные мелкоячеистые решетки. Длина водосливного порога определяется из формулы пропускной

способности водослива с тонкой стенкой, толщину которой с конструктивных соображений принимаем 0.3...0.4 м.

$$L = \frac{Q}{m \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{3/2}} \quad (6.1)$$

где Q – расчетный расход водосброса; m – коэффициент расхода, $m = 0.42$; H – напор на водосливном пороге $H = \nabla \Phi ПУ - \nabla НПУ$; h_n – глубина подтопления, принимается 0.2...0.3 м; σ_n – коэффициент подтопления, определяется по таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Значение коэффициента подтопления

$\frac{h_n}{H}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
σ_n	0.99	0.98	0.97	0.96	0.94	0.9	0.83	0.73	0.57

Порог водосливных стенок назначают на отметке НПУ. Ширина порталной стенки ковша должна быть не менее ширины входного фронта сооружения:

$$L_n \geq L_\phi = n \cdot d + (n - 1) \cdot t + 2 \cdot a \quad (6.2)$$

где d – внутренний диаметр (ширина) отводящей трубы; n – число нитей трубопровода; t – ширина разделительных стенок, $t = 1.0...1.2$ м; a – конструктивный запас, обеспечивающий плавность входа потока в крайние трубы и надежность сопряжения трубы с оголовком, $a = 1.0...1.2$ м.

Для создания более равномерного подвода и сброса воды в шахту, выравнивания подходных скоростей сбросного расхода, а также улучшения условий обслуживания вокруг башни предусматривают берму (см. рисунок 6.4), шириной $l_1 = 2,0; 3,0$ или $4,0$ м.

Вертикальная часть башни выполняется из монолитного или сборного железобетона. Толщина стен в верхней части $t_6^e = 0,3...0,6$ м, а ниже отметки бермы $t_6^e = 0,4...1,0$ м. Днище башни выполняют из монолитного железобетона. Его толщина, жесткость и плановые размеры должны обеспечивать надежность конструкции динамическому и взвешивающему воздействию потока, $\nabla 1 = \nabla Дна . - (1,0... 1,5)$ м.

Водоспуск состоит из водоподводящей трубы, входного оголовка и затвора, расположенного внутри башни и служащего для управления режимом работы водоспуска. Входной оголовок содержит сороудерживающую решетку и подпорную стенку толщиной 0,5 м. Сопряжение водоспуска с подводящим каналом выполняют через зуб из каменной наброски шириной 1,0 м и участка понура $l_4 = (2,0...3,0)h$. Для обеспечения плавного входа потока предусматривают раструб длиной $l_5 = (3,0...5,0)$ м выполненный из монолитного железобетона. Трубы выполняются из сборного железобетона или металла диаметром не менее 0,4...0,6 м, рисунок 5.2.

Количество ниток и поперечные размеры труб, работающих в напорном режиме при переменном уровне воды в верхнем бьефе, определяются из уравнения:

$$Q = \mu \cdot \omega \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \quad (6.3)$$

где ω – площадь сечения трубопровода; z – геометрический напор на сооружение, принимается как среднее арифметическое значение $z = (\nabla_{ВБ} - \nabla_{НБ}) \cdot 0.5$; μ – коэффициент расхода,

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{\Sigma \xi + \frac{\lambda_{тр} \cdot l_{водопуска}}{4 \cdot R}}} \quad (6.4)$$

где: $\Sigma \xi$ – сумма коэффициентов сопротивлений на входе, выходе и затворе, в практической работе принимаем $\Sigma \xi = 1,7$; $\lambda_{тр}$ – коэффициент сопротивления по длине в трубах, определяется по справочно-нормативной литературе, в практической работе допускается принимать $\lambda_{тр} = 0.02 \dots 0.03$; R – гидравлический радиус, $l_{водопуска}$, $d_{водопуска}$ – длина и диаметр водоподводящей трубы.

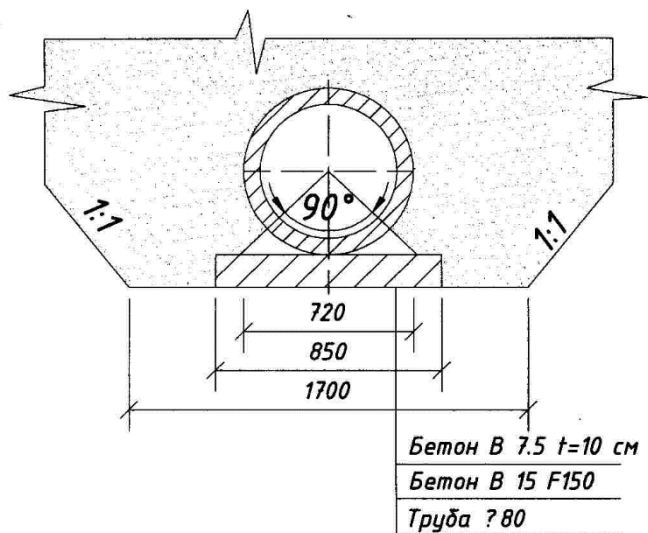


Рисунок 6.2 – Труба водоспуска

Водоотводящая труба служит для отвода воды из шахты, поступившей через водосливной порог шахты и водоспуск. Число нитей и размеры поперечного сечения водоотводящей трубы определяют на основании гидравлического расчета, из условия равенства геометрического напора на сооружение $H_c = \nabla_{ВБ} - \nabla_{НБ}$ алгебраической сумме потерь напора h_w в водоотводящей трубе:

$$h_w = \frac{v^2}{2g} (\xi_{вх} + \xi_{дл} + \xi_{вых}) \quad (6.5)$$

где v – скорость движения воды в трубе; $\xi_{вх}$, $\xi_{дл}$, $\xi_{вых}$ – коэффициенты сопротивления при входе, по длине и выходе:

$$\xi_{вх} = \xi'_{вх} \cdot \left(\frac{v_{вх}}{v} \right)^2 \quad (6.6)$$

$$\xi_{дл} = \frac{\lambda_{тр} \cdot L_{вод}}{4 \cdot R} \quad (6.7)$$

$$\xi_{\text{вых}} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \quad (6.8)$$

где $\xi'_{\text{вх}}$ – коэффициент, зависящий от очертания кромки входа, $\xi'_{\text{вх}} = 0,2$; $v_{\text{вх}}$ – скорость потока на входе; ω_1, ω_2 – площадь живого сечения потока соответственно в трубе и в водобойном колодце; R – гидравлический радиус; $L_{\text{тр}}$ – длина водоотводящей трубы.

В типовых сооружениях отводящие трубы устраивают из сборных унифицированных железобетонных изделий круглого или прямоугольного профиля. Наиболее широко применяют сборные трубы диаметром 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8 м. Трубы прямоугольного сечения делают из унифицированных блоков высотой 1,4...2,0 м, с шириной меньше высоты не менее 0,2 м.

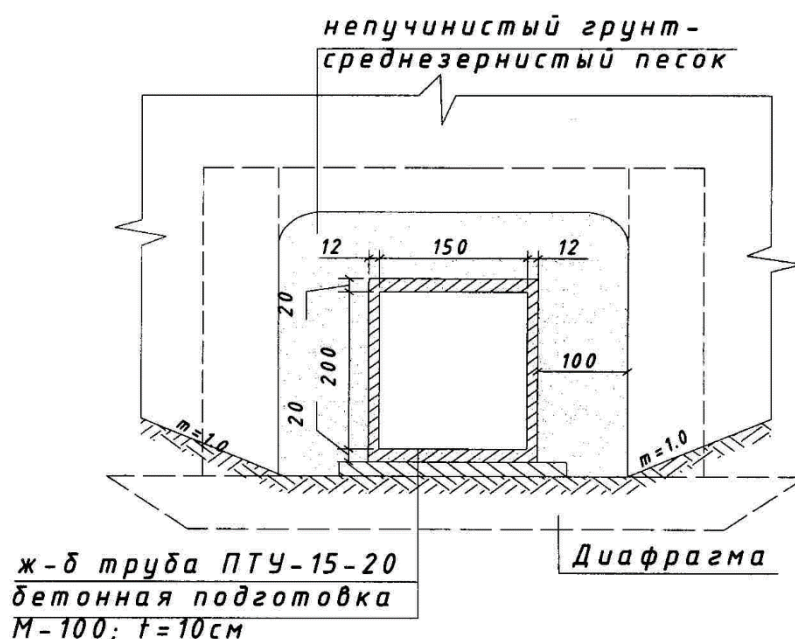


Рисунок 6.3 – Водоотводящая труба шахтно-башенного водосброса

Устройство нижнего бьефа (см. рисунок 6.4) должно обеспечить гашение кинетической энергии потока. Тип и размеры устройств, принимаются на основании гидравлического расчета и технико-экономического сравнения вариантов. За башенными водосбросами чаще всего устраивают водобойный колодец длиной $b_k = h$ и шириной L_n , а также водобойную плиту длиной $l_2 = (6...8)h$, на которой размещают в шахматном порядке гасители энергии. Тип и размеры элементов гасителя, место их установки определяют гидравлическим расчетом и лабораторными исследованиями.

За водобойной плитой устраивается рисберма длиной $l_3 = (3...4)h$, которая сопрягается с отводящим каналом через зуб из каменной наброски шириной 1,0 м.

При выполнении статического расчета учитываются следующие виды нагрузок и воздействий:

- собственный вес шахты;

- давление грунта и силы трения в строительный и эксплуатационный периоды (с учетом наличия воды);
- давление воды при максимальном форсированном уровне;
- взвешивающее давление воды.

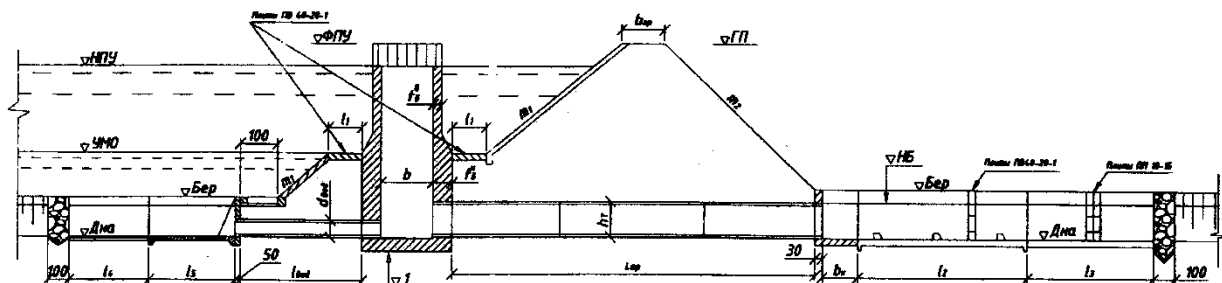


Рисунок 6.4 – Расчетная схема шахтно-башенного водосброса

Пример расчета

1. Проектирование и расчет водоспуска

Размеры и количество нитей труб водоспуска определяем из уравнения 6.3 и 6.4. Глубину наполнения отводящего канала при пропуске $Q_{опор} = 2,8$ м³/с определим по кривой связи, рисунок 6.5. Координаты кривой связи вычисляют по уравнению равномерного движения воды в трапецидальном канале.

Таблица 6.2 – Определение координат кривой связи

h	ω	χ	R	C	$Q = \omega \cdot c \cdot \sqrt{R \cdot l}$
0,4	7,44	19,44	0,32	37,8	3,0
0,8	15,36	20,88	0,74	42,2	9,66
1,0	19,50	21,60	0,90	43,6	14,0
1,2	23,76	22,32	1,06	44,8	19,0
1,5	30,38	23,40	1,30	46,4	27,8

По графику 6.5 находим, что при пропуске расхода опорожнения водохранилища, в отводящем канале установится глубина равная 0,38 м, а $\nabla_{НБ} = \nabla_{Дна} + 0,38 = 148,30 + 0,38 = 148,68$ м. Тогда геометрический напор $Z = (154,40 - 148,68) \cdot 0,5 = 2,86$ м. Где $\nabla_{154,4}$ м, эта отметка уровня мертвого объема.

Из расчетной схемы (см. рисунок 6.4) аналитически находим длину трубы водоспуска:

$$l_{вод} = l_1 + (\nabla_{УМО} - \nabla_{Бер}) \cdot m_1 + 1,0 + 0,5 + t_g^H = 3 + (154,40 - 150,00) \cdot 3,0 + 1,0 + 0,5 + 1,0 = 18,7 \text{ м}$$

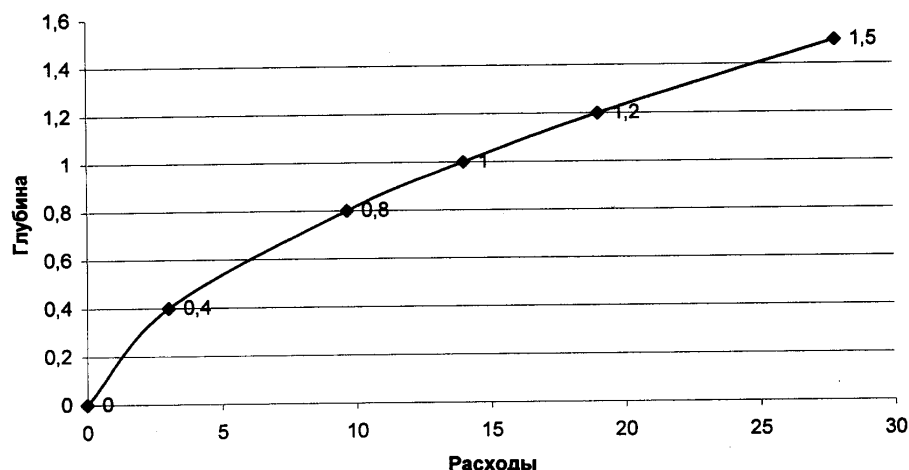


Рисунок 6.5 – Кривая связи расходов и уровней воды в отводящем канале

Принимаем значение коэффициента расхода $\mu = 0,68$, тогда из уравнения 6.3 находим площадь живого сечения:

$$\omega = \frac{2,8}{0,68 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2,86}} = 0,55$$

Диаметр трубопровода $d = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega}{3,14}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,55}{3,14}} = 0,85 \text{ м}$. Принимаем стандартные трубы диаметром 0,9 м. Уточним значение коэффициента расхода по формуле 6.4:

$$\mu = \sqrt{\frac{1}{1,7 + \frac{0,021 \cdot 18,7}{4 \cdot 0,225}}} = 0,69$$

Процент отклонения рассчитанного и принятого коэффициента расхода составит $\delta = \frac{0,69 - 0,68}{0,69} \cdot 100 \% = 1,45$, что меньше допустимого $\delta_{\text{доп}} = 5\%$.

Принимаем одну нить труб водоспуска диаметром 0,9 м и длиной 18,7 м.

2. Проектирование и расчет водосброса

Длина водосливного порога определяется из формулы (6.1) пропускной способности водослива с тонкой стенкой, толщину которой с конструктивных соображений принимаем $t_6^e = 0,3 \text{ м}$, поэтому $m = 0,42$. Коэффициент подтопления для $\frac{h_n}{H} = 0,2$ по таблице 6.1 принимаем, $\sigma_n = 0,98$. Тогда:

$$L = \frac{Q}{m \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2g \cdot H}^{3/2}} = \frac{27}{0,42 \cdot 0,98 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,8}^{3/2}} = 20,6 \text{ м}$$

Число нитей и размеры поперечного сечения водоотводящей трубы определяют на основании гидравлического расчета, из условия равенства геометрического напора на сооружение

$H = \nabla ВБ - \nabla НБ = 157,00 + 0,2 - 149,8 = 7,4 \text{ м}$ алгебраической сумме потерь напора h_w в водоотводящей трубе. Отметка уровня воды в нижнем бьефе водосброса определится из условия $\nabla НБ = \nabla Дна + h = 148,3 + 1,5 = 149,8 \text{ м}$. Для создания более спокойного движения воды к шахте, отметка уровня воды в верхнем бьефе принимается на 0,2 м выше водосливного порога.

В первом приближении назначаем две нити труб прямоугольного сечения $b_{тр} \times h_{тр} = 1,0 \times 1,4$. Площадь живого сечения одной нити:

$$\omega_1 = 1,0 \cdot 1,4 = 1,4 \text{ м}^2$$

Скорость движения воды в трубопроводе:

$$V = \frac{27}{2 \cdot 1,4} = 9,64 \text{ м / с}$$

Для обеспечения плавного входа потока в трубопровод, предусматриваем раструб $b_{тр} \times h_{тр} = 1,2 \times 1,6$, тогда скорость на входе:

$$V_{вх} = \frac{Q}{n \cdot \omega_{вх}} = \frac{27}{2 \cdot 1,2 \cdot 1,6} = 7,03 \text{ м / с}$$

Коэффициент сопротивления на входе:

$$\xi_{вх} = 0,2 \cdot \left(\frac{7,03}{9,64} \right)^2 = 0,11$$

Коэффициент сопротивления по длине трубопровода:

$$\xi_{дл} = \frac{\lambda_{тр} \cdot L_{тр}}{4 \cdot R} = \frac{0,025 \cdot 48,6}{4 \cdot 0,291} = 1,04$$

Длину отводящей трубы шахтно-башенного водосброса, определяем из расчетной схемы, рисунок 6.4.

$$L_{тр} = l_1 + (\nabla ГП - \nabla УМО) \cdot m_1 + b_{зр} + (\nabla ГП - \nabla Бер) \cdot m_2 + 0,3 + t_6^H = 3,0 + (159,00 - 154,40) \cdot 3,0 + 8,0 + (159,00 - 150,00) \cdot 2,5 + 0,3 + 1,0 = 48,6 \text{ м}$$

$$\text{Гидравлический радиус: } R = \frac{\omega_1}{\chi} = \frac{1,4}{2 \cdot (1,0 + 1,4)} = 0,291 \text{ м}$$

Коэффициент сопротивления на выходе из трубопровода:

$$\xi_{вых} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2 = \left(1 - \frac{1,4 \cdot 2}{7,5} \right)^2 = 0,39$$

Площадь живого сечения на выходе из трубопровода зависит от глубины воды в отводящем канале $h=1,5 \text{ м}$ и ширины водобойного колодца. Как правило, ширину водобойного колодца назначают равную ширине порталной стенки ковша, формула (6.2).

$$L_n \geq L_\phi = n \cdot d + (n - 1) \cdot t + 2 \cdot a = 2 \cdot 1,0 + (2 - 1) \cdot 1 + 2 \cdot 1,0 = 5 \text{ м}$$

Так как вся длина водосливного порога составляет 20,6 м, то для прямоугольного очертания башни в плане длина двух боковых стенок составит 10,6 м, каждая по 5,3 м. Площадь живого сечения на выходе из трубопровода:

$$\omega_2 = L_n \cdot h = 5,0 \cdot 1,5 = 7,5 \text{ м}^2$$

Тогда полные потери напора определяются как:

$$h_w = \frac{v^2}{2g} (\xi_{вх} + \xi_{дл} = \xi_{вых}) = \frac{9,64^2}{2 \cdot 9,81} (0,11 + 0,39 + 1,04) = 7,28 \text{ м}$$

Процент отклонения рассчитанного и принятого коэффициента расхода составит: $\delta = \frac{7,4 - 7,28}{7,4} \cdot 100 \% = 1,6\%$, что меньше допустимого $\delta_{доп} = 5\%$.

Принимаем две нити отводящих труб прямоугольного сечения $b_{тр} \times h_{тр} = 1,0 \times 1,4$.

3 Раздел контроля знаний

Перечень вопросов, выносимых на зачет по дисциплине «Гидротехнические сооружения»

1. Водные ресурсы и водное хозяйство РБ.
2. Краткие исторические сведения о развитии водного хозяйства.
3. Понятие ГТС и их классификация.
4. Общие сведения о прудах и водохранилищах.
5. Взаимодействие водного потока с ГТС.
6. Общие сведения о фильтрационном потоке в грунтах под основанием.
7. Флутбет ГТС и его составные части.
8. Основные законы и расчеты при фильтрации.
9. Основные методы и порядок фильтрационных расчетов ГТС.
10. Приближенные методы фильтрационных расчетов.
11. Фильтрационные деформации грунтов.
12. Фильтрация в обход ГТС.
13. Общие сведения о грунтовых плотинах.
14. Классификация грунтовых плотин.
15. Грунты для тела плотины и основания.
16. Выбор створа плотины. Характерные уровни и объемы в водохранилище.
17. Проектирование поперечного профиля грунтовой плотины.
18. Крепление откосов грунтовых плотин.
19. Противофильтрационные и дренажные устройства в теле и основании грунтовых плотин.
20. Сопряжение тела плотины с основаниями и берегами. Особенности возведения грунтовых плотин.
21. Фильтрация в грунтовых плотинах и ее расчет.
22. Расчет устойчивости откосов грунтовых плотин.
23. Общие сведения о плотинах из камня, грунта и камня, конструкция и способы их возведения.
24. Плотины из других местных строительных материалов.
25. Накопители вторичных материальных ресурсов.
26. Общие сведения о водосбросах и их конструкции.
27. Расчетные расходы водосбросных сооружений.
28. Сооружения при плотине из местных материалов.
29. Открытые береговые регулируемые поверхностные водосбросы.
30. Открытые нерегулируемые береговые водосбросы.
31. Водосбросы с заглубленными водосбросными трактами.
32. Общие сведения о водоспусках и водовыпусках.
33. Общие сведения о каналах.
34. Гидравлический расчет поперечного сечения канала.
35. Потери воды из каналов на испарение и фильтрацию.
36. Общие сведения о регулирующих сооружениях.

37. Водопроводящие сооружения.
38. Сопрягающие сооружения.
39. Общие сведения о речных водозаборных сооружениях и их классификация.
40. Выбор места расположения речного водозаборного узла.
41. Общие условия компоновки водозаборов.
42. Бесплотинные водозаборы и их применение.
43. Типы бесплотинных водозаборов.
44. Боковой водозабор с фронтальной промывкой наносов.
45. Боковой водозабор с горизонтальным полком.
46. Боковой водозабор с донными промывными галереями.
47. Боковой водозабор с наносоперехватывающими галереями.
48. Бычковые водозаборы.
49. Фронтальный двухъярусный водозабор.
20. Фронтальный водозабор с карманом.
51. Глубинные водозаборы.

4 Вспомогательный раздел
Учебная программа по дисциплине
«Гидротехнические сооружения» для студентов специальности 1-70
04 03 – «Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов»

Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор БрГТУ

_____ А.М.Омельянюк
«14» _____ июля _____ 2020 г.

Регистрационный № УД-20-1-170/уч.

«Гидротехнические сооружения»

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной
дисциплине для специальности:
1-70 04 03 Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов

2020

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 1-70 04 03-2019, учебного плана специальности 1-70 04 03 Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов

СОСТАВИТЕЛИ:

Водчиц Н.Н., доцент кафедры природообустройства, кандидат технических наук, доцент

Дашкевич Д.Н., старший преподаватель кафедры природообустройства

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Страпко В.П., первый заместитель генерального директора ГО «Брестмелиоводхоз»

Белов С.Г., заведующий кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов учреждения образования «Брестский государственный технический университет», кандидат технических наук, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой природообустройства

Заведующий кафедрой

О.П.Мешик

(протокол № 12 от 12 июня 2020 г.);

Методической комиссией факультета инженерных систем и экологии

Председатель методической комиссии

А.А.Волчек

(протокол № 5 от 25 июня 2020 г.);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № 5 от 14 июля 2020 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Место учебной дисциплины

«Гидротехнические сооружения» – одна из обязательных дисциплин, которая в наибольшей степени отвечает принципам комплексного университетского образования в сфере водохозяйственного профиля. Курс направлен на формирование у студентов знаний проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений систем водоснабжения и водоотведения, на основе достижений науки и передовых технологий.

Основная задача курса – ознакомление с теоретическими основами проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений, также экологического подхода к использованию водных ресурсов в целях водообеспечения отраслей народного хозяйства.

Завершается изучение дисциплины зачетом.

Цель преподавания учебной дисциплины:

- дать будущим инженерам водохозяйственного профиля знания и навыки, необходимые для проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений, применяемых в системе водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий и населенных пунктов.

Задачи учебной дисциплины:

- изучить конструкции гидротехнических сооружений;
- изучить основные методы их расчетов.

В результате изучения учебной дисциплины «Гидротехнические сооружения» формируются следующие **компетенции**:

УК-4. Владеть культурой мышления, быть способным к восприятию, обобщению и анализу философских, мировоззренческих и психолого-педагогических проблем в сфере межличностных отношений и профессиональной деятельности.

УК-6. Владеть навыками здоровьесбережения.

БПК-4. Знать основополагающие методы и способы оценки экологической безопасности объектов водного хозяйства, способы повышения энергоэффективности строительного производства.

БПК-6. Владеть знаниями о законах движения жидкости, методах математического и физического моделирования гидравлических процессов, владеть методами гидравлических, фильтрационных расчетов гидротехнических

сооружений и уметь применять их на практике.

БПК-7. Знать законы статики, кинематики и динамики и уметь использовать полученные знания при выполнении практических расчетов, владеть методами расчета элементов строительных конструкций на прочность, жесткость и устойчивость.

БПК-8. Владеть основными методами расчета элементов строительных конструкций и сооружений на прочность, жесткость и устойчивость, уметь применять полученные знания на практике.

БПК-9. Знать основные виды строительных материалов, технологию их изготовления и область применения, владеть методами изучения свойств строительных материалов и изделий.

БПК-18. Быть способным применять основные положения юридической, нормативной, справочной литературы и законодательства о труде в области водопотребления.

СК-16. Знать состав гидротехнических сооружений, методы проектирования и расчет конструкций, а также технологию их возведения.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- методы фильтрационных расчетов и борьбы с фильтрацией при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений;
- особенности проектирование и расчет грунтовых плотин из местных материалов;
- методы проектирование и расчет водопроводящих сооружений;
- конструкцию и условия применения водозаборов поверхностных вод;
- русловые процессы и методы их регулирование.

уметь:

- ставить и решать задачи, связанные с проектированием и расчетом гидротехнических сооружений с учетом требований по охране окружающей среды и рационального использования водных ресурсов;
- строить и эксплуатировать отдельные гидротехнические сооружения;
- разрабатывать и внедрять инновационные технологии проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений с минимальными ущербами для окружающей среды.

владеть:

- методами по определению основных параметров водопропускных сооружений;
- методикой выбора конструкции водозаборного узла и состава сооружений;
- передовыми методами экологических технологий и технико-экономического обоснования водобалансовых и водохозяйственных расчетов.

Связи с другими учебными дисциплинами: механика жидкости и газа, рациональное использование и охрана водных ресурсов

План учебной дисциплины для дневной формы получения высшего образования

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70 04 03	Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов	3	6	120	3	50	16		34			зачет

План учебной дисциплины для заочной формы получения высшего образования, интегрированного со средним специальным образованием

Код специальности (направления специальности)	Наименование специальности (направления специальности)	Курс	Семестр	Всего учебных часов	Количество зачетных единиц	Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО)					Академических часов на курсовой проект (работу)	Форма текущей аттестации
						Всего	Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинары		
1-70 04 03	Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов	3	6	120	3	50	4		8			зачет
1-70 04 03	Водоснабжение, водоотведение и охрана водных ресурсов	4	7	123	3	50	4		8	50		экзамен

1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Вводная лекция. Водное хозяйство и его функции. Комплексное использование водных ресурсов. Краткий исторический обзор водохозяйственного строительства. Общие сведения о гидротехнических сооружениях в системах водоснабжения и канализации, условиях их работы.

Классификация ГТС. Особенности и условия работы гидротехнических сооружений, нагрузки и воздействия.

Фильтрация воды под гидротехническими сооружениями. Явление фильтрации и задачи фильтрационного расчета сооружений. Напорное и безнапорное движение фильтрационного потока. Флюэтбет, его основные элементы и размеры. Гидромеханические методы расчета фильтрации. Приближенные гидротехнические методы фильтрационных расчетов - метод фрагментов, коэффициентов сопротивления и др. Фильтрационные деформации грунтов, их виды. Контактный размыв, суффозия, фильтрационный выпор. Способы оценки общей прочности грунтов по средним контролирующим градиентам.

Плотины грунтовые из других местных материалов. Классификация грунтовых плотин. Основные требования, предъявляемые к земляным плотинам. Элементы поперечного профиля. Противофильтрационные элементы в теле плотин и в основании. Дренаж тела плотины и берегов, крепление откосов. Фильтрация через тело плотины и основание. Методы фильтрационных расчетов. Устойчивость откосов. Особенности проектирования. Накопители отходов производства и промышленных отходов. Водопрпускные сооружения при глухих плотинах, состав, назначение.

Водопрпускные сооружения водохранилищных гидроузлов. Водозаборы и водоспуски, конструкции, расчет. Шахтно-башенный водосброс. Ковшовый водосброс. Управляемые водосбросы с затворами.

Каналы и сооружения на них. Классификация каналов, формы и размеры поперечных сечений. Потери воды из каналов, методы борьбы с ними. Регулирующие сооружения на водопроводных каналах. Типы и конструкции регулирующих сооружений. Открытый регулятор. Закрытый регулятор. Проектирование и расчет.

Акведуки, условия применения. Схема сооружения, сопряжение с бьефами. Конструкции лотка, входа и выхода. Принципы гидравлического и статического расчетов.

Дюкеры, их типы и конструкции, условия применения. Принципы гидравлического и статического расчетов.

Сопрягающие сооружения, их классификация. Быстротоки, типы. Конструкции лотка. Дренаж. Расчеты быстротоков.

Перепады, перепады-быстротоки. Конструкции перепадов. Расчеты входа, ступеней и выхода перепада. Конструктивные особенности ступеней и выхода. Выбор типа сопрягающих сооружений

Русловые процессы и их регулирование. Формирование русел рек и их устойчивость: продольные и поперечные профили, боковая эрозия, виды деформаций русел. Регуляционные сооружения, строительные материалы, элементы регуляционных сооружений. Продольные и поперечные массивные регуляционные сооружения. Условия работы, типы и конструкции. Струенаправляющие сооружения.

Речные водозаборы. Назначение и классификация водозаборных сооружений. Выбор места расположения речного водозаборного узла. Выбор типа водозабора. Состав сооружений и их компоновка. Бесплотинные водозаборы. Нерегулируемые, регулируемые водозаборы. Головные сооружения бесплотинных водозаборов, их местоположение, конструкции. Гидравлические расчеты: определение основных размеров.

Плотинные поверхностные водозаборы. Боковой водозабор с наносоперехватывающими галереями. Фронтальные водозаборы с фронтальной промывкой наносов. Особенности работы, условия применения. Фронтальные водозаборы с боковыми промывками донных наносов. Рыбозащитные устройства, типы и условия применения.

1.1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1. Вводная лекция.
2. Фильтрация воды под гидротехническими сооружениями.
3. Плотины грунтовые из других местных материалов.
4. Водопрпускные сооружения водохранилищных гидроузлов.
5. Каналы и сооружения на них.
6. Русловые процессы и их регулирование.
7. Речные водозаборы.

1.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ (СЕМИНАРСКИЕ) ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1. Проектирование и расчет плотин из местных материалов.
2. Проектирование поперечного профиля плотин из местных материалов.
3. Фильтрационный расчет.
4. Статический расчет низового откоса.
5. Проектирование и расчет водопрпускных сооружений водохранилищного гидроузла.
6. Проектирование и расчет водопроводящих сооружений.

2. ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ (РАБОТЕ)

Тема: Водохранилищный гидроузел в составе: плотин из местных материалов, водосброса, водоспуска и водозабора.

Реферат.

Введение.

Содержание.

1. Общая характеристика природно-климатических, хозяйственных и геологических условий района строительства.
2. Проектирование и расчет плотины из местных материалов.
 - 2.1 Определение отметки гребня плотины.

- 2.2 Проектирование поперечного профиля плотины.
 - 2.3 Фильтрационный расчет грунтовой плотины.
 - 2.4 Статический расчет низового откоса.
 - 3. Проектирование и расчет водозабора.
 - 3.1 Гидравлический расчет подводящего (отводящего) канала.
 - 3.2 Гидравлический и конструктивный расчеты.
 - 4. Проектирование и расчет водосбросного сооружения.
 - 4.1 Гидравлический расчет подводящего (отводящего) канала.
 - 4.2 Гидравлический и конструктивный расчеты.
 - 4.3 Статический расчет.
 - 5. Проектирование и расчет водоспуска.
 - 5.1 Гидравлический расчет подводящего (отводящего) канала.
 - 5.2 Гидравлический и конструктивный расчеты.
- Заключение.
- Литература.

3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ для дневной формы получения высшего образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
1.	Введение.	2				3	
2.	Фильтрация воды под гидротехническими сооружениями.	2		4		10	Письменные отчеты по практическим упражнениям
3.	Плотины грунтовые из других местных материалов.	2		8		12	Письменные отчеты по практическим упражнениям
4.	Водопропускные сооружения водохранилищных гидроузлов.	4		6		12	Письменные отчеты по практическим упражнениям
5.	Каналы и сооружения на них.	2		8		14	Письменные отчеты по практическим упражнениям
6.	Русловые процессы и их регулирование.	2		4		9	Письменные отчеты по практическим упражнениям
7.	Речные водозаборы.	2		4		10	Письменные отчеты по практическим упражнениям
Всего:		16		34		70	Зачет

3.2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**для заочной формы получения высшего образования,
интегрированного со средним специальным образованием – 4 курс**

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
1.	Введение.					3	
2.	Фильтрация воды под гидротехническими сооружениями.	2		2		10	Письменные отчеты по практическим упражнениям
3.	Плотины грунтовые из других местных материалов.			2		12	Письменные отчеты по практическим упражнениям
4.	Водопропускные сооружения водохранилищных гидроузлов.	2		2		12	Письменные отчеты по практическим упражнениям
5.	Каналы и сооружения на них.			2		14	Письменные отчеты по практическим упражнениям
6.	Русловые процессы и их регулирование.					10	Собеседование
7.	Речные водозаборы.					12	Собеседование
Всего:		4		8		73	Курсовой проект, экзамен

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
для заочной формы получения высшего образования,
интегрированного со средним специальным образованием – 3 курс

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов				Количество часов самост. работы	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные занятия	Практические занятия	Семинарские занятия		
1.	Введение.					3	
2.	Фильтрация воды под гидротехническими сооружениями.	2		2		10	Письменные отчеты по практическим упражнениям
3.	Плотины грунтовые из других местных материалов.			2		12	Письменные отчеты по практическим упражнениям
4.	Водопропускные сооружения водохранилищных гидроузлов.	2		2		12	Письменные отчеты по практическим упражнениям
5.	Каналы и сооружения на них.			2		14	Письменные отчеты по практическим упражнениям
6.	Русловые процессы и их регулирование.					9	Собеседование
7.	Речные водозаборы.					10	Собеседование
Всего:		4		8		70	Экзамен

4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

4.1. Перечень литературы (учебной, учебно-методической, научной, нормативной, др.)

Основная:

1. Нестеров, М.В. Гидротехнические сооружения. – Мн, 2006.
2. Волков, И.Л., Кононенко, П.Ф., Федичкин, И.К. Проектирование гидротехнических сооружений. – М.: Колос, 1977.
3. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-169-2009 (02250). Гидротехнические сооружения.
4. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-150-2009 (02250). Плотины из местных материалов.

Дополнительная:

1. Щавелев, Д.С. Использование водной энергии. – Л., Энергия, 1976.
2. Яковлев, С.В. Рациональное использование водных ресурсов. – М.: Высшая школа, 1991.
3. Обрезков, В.И., Гохман, А.М. Гидроэлектрические станции в электроэнергетических системах. – М.: Энергия, 1973.
4. Потапов, Б.М., Ткаченко, П.Е., Юшманов, О.Л. Использование водной энергии. – М.: Колос, 1972.

4.2. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся по учебной дисциплине

Для организации эффективной управляемой самостоятельной работы (УСР) необходимо соответствующее научно-методическое обеспечение учебной дисциплины: перечни заданий и контрольных мероприятий; список рекомендуемой учебной, научной, справочной, методической литературы; учебно-методические комплексы, в том числе электронные; доступ к библиотечным фондам, электронным средствам обучения, электронным информационным ресурсам (локального, удаленного доступа) по учебной дисциплине; фонды оценочных средств, разработанные специализированной кафедрой: типовые задания, контрольные работы, тесты, алгоритмы выполнения заданий, примеры решения задач, тестовые задания для самопроверки и самоконтроля, тематика рефератов, методические разработки по инновационным формам обучения и диагностики компетенций и т.п.

Основными видами УСР студентов являются: формирование и усвоение содержания конспекта лекций на базе рекомендованной лектором учебной литературы, включая информационные образовательные ресурсы (электронные учебники, электронные библиотеки и др.; написание рефератов, эссе; разработка тематического портфолио; подготовка мультимедийных презентаций и докладов; выполнение микроисследований по заданной проблеме; подготовка к семинарам и практическим работам; практические разработки и выработка рекомендаций по решению проблемной ситуации; выполнение домашних заданий в виде решения задач, проведения типовых расчетов, расчетно-компьютерных и индивидуальных работ по отдельным темам; компьютерный текущий самоконтроль и контроль успеваемости на базе электронных обучающих и аттестующих тестов.