



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
"Томский государственный архитектурно-строительный университет"

Гидротехнические сооружения

Методические указания и контрольное задание

Составитель В.К. Махлаёв

Томск 2016

Гидротехнические сооружения: методические указания и контрольное задание / Сост. В.К. Махлаёв. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2016. – 30 с.

Рецензент к.т.н. Б.П. Лашкинский
Редактор А.Ф. Рехтин

Методические указания и контрольное задание для самостоятельной работы по дисциплине БЗ.ДВ.2.1 «Гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения» для бакалавров всех форм обучения по направлению подготовки «Строительство», профилю подготовки 08.03.01-07 «Водоснабжение и водоотведение».

Печатаются по решению методического семинара кафедры водоснабжения и водоотведения, протокол № 7 от 01.03.2016 г.

Срок действия

с 01.05.2016
по 01.05.2021

Оригинал-макет подготовлен автором

Подписано в печать 12.04.2016.
Формат 60x90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс.
Уч.-изд. л. 1,64. Тираж 50 экз. Заказ №

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.

Оглавление

Введение	4
1. Распределение учебной нагрузки	7
2. Основные сведения о гидротехнических сооружениях	8
2.1. Классификация гидротехнических сооружений.....	8
2.2. Плотины, их классификация.....	9
2.3. Грунтовые плотины.....	11
2.4. Каменные плотины.....	12
2.5. Водосбросные и водоспускные сооружения грунтовых и каменных плотин	12
2.6. Бетонные гравитационные плотины	13
3. Примеры решения задач	15
4. Контрольное задание (часть вторая)	26
4.1. Вопросы контрольного задания	27
4.2. Задачи контрольного задания.....	28
Список рекомендуемой литературы	28

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и с учётом рекомендаций ВПО по направлению подготовки бакалавра «Строительство», профилю подготовки 08.03.01-07 «Водоснабжение и водоотведение».

Целями преподавания дисциплины «Гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения» являются:

формирование у студентов знаний по гидрологическим явлениям и процессам, протекающим в естественных водотоках, их генетической основы и влияния на работу водохозяйственных установок;

привитие навыков проведения гидрологических расчётов, необходимых при проектировании гидротехнических сооружений на основе последних достижений науки и техники в тесной взаимосвязи с охраной окружающей среды;

ознакомление с типами и конструкциями гидротехнических сооружений водоснабжения и водоотведения и методами их расчёта на основе современного состояния вопросов о гидрологическом режиме рек, морей, озёр и водохранилищ, методах и способах регулирования стока, применяемых прогрессивных конструкциях гидротехнических сооружений;

формирование навыков работы с нормативной и научно-технической литературой;

развитие инженерного мышления;

выработка умения применять знания, полученные при изучении общетехнических дисциплин.

Задачами изучения дисциплины «Гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения» являются:

подготовка студентов к самостоятельной инженерной деятельности в области использования водных ресурсов и прежде всего – в системах водоснабжения и водоотведения;

выработка у студентов умения самостоятельно выбирать методы гидрологических и водохозяйственных расчётов;

ознакомление студентов с типами и конструкциями гидротехнических сооружений, используемых в системах водоснабжения и водоотведения, и основными положениями по их расчёту и проектированию.

В результате освоения дисциплины формируются следующие, предусмотренные Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС-3), компетенции:

ПК-1: использование основных законов естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применение методов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;

ПК-2: способность выявить естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлечь для их решения соответствующий физико-математический аппарат;

ПК-9: знание нормативной базы в области инженерных изысканий, принципов проектирования зданий, сооружений, инженерных систем и оборудования, планировки и застройки населённых мест;

ПК-17: знание научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по профилю деятельности.

Работа по освоению дисциплины способствует приобретению студентом:

Знаний: методов исследования водных ресурсов и прогнозирования их во времени на основе современного состояния вопросов о гидрологическом режиме рек, озёр, морей и водохранилищ;

конструктивного решения различных типов гидротехнических сооружений, используемых в системах водоснабжения и водоотведения, путей их совершенствования.

Умений: самостоятельно выбирать методы гидрологических и водохозяйственных расчётов;

провести гидрологические и водохозяйственные расчёты с

целью регулирования стока и определения параметров водохранилищ;

провести обработку данных наблюдений за стоком с целью определения расчётных гидрологических характеристик;

выбрать и обосновать конструкции гидротехнических сооружений гидроузлов.

Навыков: владения методикой применения математического аппарата теории вероятности в гидрологических расчётах; применения метода корреляции в гидрологических расчётах;

математического моделирования гидрологических рядов;

владения методами водохозяйственных расчётов по регулированию низкого и высокого стоков;

владения методикой проектирования и проведения приближённых расчётов плотин (гидравлические, фильтрационные, статические расчёты);

выполнения технико-экономических расчётов, владения вариантным методом проектирования гидротехнических сооружений.

Настоящие методические указания имеют целью оказать помощь студентам при изучении раздела «Гидротехнические сооружения» курса «Гидрология, гидрометрия и гидротехнические сооружения».

1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УЧЕБНОЙ НАГРУЗКИ

Форма обучения	Курс	Семестр	Объём часов по ГОС	Объём работы студентов с преподавателями				Самостоятельная работа студентов	Контроль СРС	Курсовая работа	Форма контроля
				всего	из них						
					лекций	лабораторных работ	практических занятий				
очная	3	5	108	36	18	-	18	67	5	-	экзамен

Распределение часов самостоятельной работы студентов

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Количество часов
1	Изучение теоретического материала, подготовка к практическим занятиям	18
2	Выполнение индивидуальных заданий, подготовка к их защите	18
3	Подготовка к коллоквиумам	18
4	Подготовка к экзамену	13
	Всего	67

2. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

2.1. Классификация гидротехнических сооружений

Гидротехническими сооружениями называются инженерные сооружения, с помощью которых осуществляются водохозяйственные мероприятия. Гидротехнические сооружения в отличие от других инженерных сооружений несут свою службу, находясь постоянно в воде, которая оказывает на них механическое, физико-химическое, биологическое воздействия.

В зависимости от водохозяйственного назначения гидротехнические сооружения делятся на общие и специальные. Общие сооружения обслуживают все отрасли водного хозяйства, к ним относятся плотины, каналы, туннели, трубопроводы, водозаборы, водосбросы, берегоукрепительные сооружения и т.д. Специальные сооружения обслуживают отдельные отрасли водного хозяйства (гидроэнергетика, водный транспорт, лесосплав, орошение, рыбное хозяйство, водоснабжение). К специальным сооружениям относятся гидроэлектростанции, шлюзы, лесопропускные сооружения, причалы, рыбоходные и рыбоподъёмные сооружения и т.д.

Гидротехнические сооружения, возводимые на реках или использующие речной сток, называются речными, сооружения на морях и озёрах – морскими и озёрными, сооружения на мелиоративных каналах – внутрисистемными.

По условиям использования гидротехнические сооружения подразделяются на постоянные и временные. К временным относятся сооружения, используемые только в период строительства или ремонта постоянных. Постоянные гидротехнические сооружения в зависимости от назначения подразделяются на основные и второстепенные. К основным относят сооружения, разрушение которых приводит к прекращению или уменьшению подачи воды, затоплению и подтоплению территории, разруше-

нию населённых пунктов. К второстепенным относят сооружения, разрушение которых не влечёт последствий, указанных для основных сооружений.

По целевому назначению гидротехнические сооружения подразделяются на следующие виды:

1) водоподпорные, служащие для создания и поддержания напора;

2) водосбросные, предназначенные для пропуска воды из верхнего бьефа в нижний, а также для полезных попусков;

3) водопроводящие, предназначенные для транспортирования воды из одного пункта в другой;

4) сопрягающие, служащие для сопряжения бьефов при сосредоточенном падении местности;

5) водно-транспортные, обеспечивающие движение судов и пропуск их через гидроузлы;

6) гидроэнергетические, предназначенные для получения электроэнергии;

7) гидромелиоративные, обеспечивающие подачу воды для орошения и отвод избыточных вод при осушении;

8) регулиационные, предназначенные для регулирования русел рек, защиты территорий от затопления, защиты берегов от подмыва и т.д.;

9) рыбохозяйственные, используемые для пропуска рыбы через гидроузлы и разведения её в водоёмах.

Все гидротехнические сооружения в зависимости от народнохозяйственного значения, роли в гидроузлах и системах, последствий аварий, срока службы, в целом по капитальности подразделяются на 5 классов.

2.2. Плотины, их классификация

Плотиной называется гидротехническое сооружение, перегораживающее водоток с целью создания разности уровней воды выше и ниже сооружения – напора *H*. Плотины классифици-

руются по назначению, по напорам, по способу пропуска воды, по материалам, по конструктивным особенностям.

По назначению плотины подразделяются на водоподъёмные и водохранилищные. Водоподъёмные плотины располагаются только в русле реки и поднимают уровень воды на небольшую высоту с целью создания более благоприятных условий для забора воды, водного транспорта, борьбы с наносами. Водохранилищные плотины перекрывают всю долину и создают водохранилища большой ёмкости, регулирующие речной сток.

По напорам плотины делятся на три типа: низконапорные (с напором до 10 – 15 м), средненапорные ($H < 25 - 50$ м), высоконапорные ($H > 25 - 50$ м).

По способу пропуска воды плотины бывают глухие и водопропускные. В водопропускных плотинах вода сбрасывается из верхнего бьефа в нижний через специально устроенные в них отверстия или переливается через гребень. В глухих плотинах водопропускных (водосливных) отверстий нет, назначение таких плотин – поддерживать заданный подпорный уровень воды в верхнем бьефе (водохранилище).

По материалам, из которых они выполнены, плотины подразделяются на шесть типов: бетонные, железобетонные, деревянные, грунтовые, каменные, смешанные (из различных материалов).

По конструктивным особенностям плотины разделяются на четыре типа:

1) плотины, напоминающие по своим формам природные преграды, завалы (грунтовые, каменно-набросные);

2) массивные плотины, обладающие большим весом и сопротивляющиеся сдвигающим усилиям со стороны воды силами трения по основанию и силами сцепления с основанием (бетонные гравитационные плотины);

3) контрфорсные плотины, в которых удерживающая сила трения создается за счёт давления воды на наклонную грань плотины, передаваемого через опоры (контрфорсы) основанию;

4) арочные плотины, работающие как арка, опёртая на прочные скальные берега.

2.3. Грунтовые плотины

Грунтовые плотины сооружаются из местных грунтов (гравий, песок, супесь, суглинок, глина) и могут быть только глухими.

По конструкции тела плотин грунтовые плотины подразделяются на следующие основные виды: из однородного грунта, из неоднородного грунта, с экраном из негрунтовых материалов, с экраном из грунта, с ядром, с диафрагмой.

По конструкции протифильтрационных устройств в основании различают следующие плотины: с зубом, с замком, с диафрагмой, с диафрагмой в сочетании с зубом, с понуром, с висячей инъекционной завесой, с инъекционной завесой, возведённой до водоупора.

По способу возведения плотины бывают: насыпные, с искусственным уплотнением грунта; насыпные, без искусственного уплотнения грунта с отсыпкой насухо; насыпные, с отсыпкой грунта в воду; насыпные, образованные при помощи направленного взрыва; намывные, возводимые с помощью гидромеханизации.

Грунтовые плотины находятся в тяжёлых условиях эксплуатации. В теле плотины движется безнапорный фильтрационный поток, вызывающий суффозию грунтов. Верховой откос разрушается льдом и ветровыми волнами, образующимися в водохранилище. Низовой откос разрушается атмосферными осадками, ветрами, выклинивающимся фильтрационным потоком. Крепление откосов, строительство дренажей, устройство пологих (пляжных) откосов позволяет предотвратить разрушение грунтовых плотин.

Для грунтовых плотин проводятся фильтрационные расчёты, расчёт осадки тела и основания плотины, расчёт устойчивости откосов.

2.4. Каменные плотины

Каменные плотины выполняются из камней, отвечающих требованиям прочности, водостойкости, морозостойкости и стойкости против выветривания. По характеру укладки камня в тело плотины различают следующие типы плотин: каменно-набросные; из каменной кладки насухо; из каменной кладки на растворе; полунабросные, в которых часть тела плотины со стороны верхового откоса выполняют из сухой кладки, а со стороны низового откоса – из каменной наброски; набросные с бетонной подпорной стенкой; каменно-грунтовые (из каменной наброски и грунта).

Противофильтрационные устройства выполняются в виде гибкого, полужёсткого, жёсткого экрана, диафрагмы или ядра.

Для каменных плотин проводятся фильтрационные расчёты, расчёт устойчивости и осадки плотин.

При устройстве каменных плотин предъявляются несколько повышенные требования к основанию.

Каменные плотины выполняются, как правило, глухими, в отдельных случаях, при небольших напорах – водосливными.

2.5. Водосбросные и водоспускные сооружения грунтовых и каменных плотин

Водосбросные сооружения служат для беспрепятственного пропуска расчётных максимальных расходов весеннего половодья из верхнего бьефа в нижний. Сброс воды чаще осуществляется при форсированном уровне (ФУ) воды в водохранилище, а в некоторых случаях – при нормальном подпорном уровне (НПУ).

Водосбросные сооружения подразделяются на поверхностные и глубинные. К поверхностным относятся водосбросы, уровень воды во входной части которых соприкасается с атмосферой, а отводящая часть может быть как открытой, так и заглубленной в грунт. В глубинных водосбросах входная часть расположена под уровнем воды, а отводящая часть – в толще грунта. Кроме того, водосбросы подразделяются на управляемые, когда расходы и уровень воды регулируется затворами, и неуправляемые, в которых сброс воды происходит при подъёме уровня воды в водохранилище выше НПУ.

Водосбросы бывают береговые, траншейные, трубчатые, шахтные, тоннельные, сифонные. Размеры их определяются гидравлическим расчётом.

Водоспускные сооружения предназначены для полезных попусков воды из верхнего бьефа в нижний, для полного освобождения водохранилища от воды, а также для пропуска строительных расходов. Водоспуски подразделяются на открытые (обводные каналы, шлюзы-регуляторы) и закрытые (трубчатые, тоннельные, башенные). Регулирование расходов осуществляется затворами. Размеры водоспускных сооружений определяются гидравлическим расчётом.

Особое внимание уделяется совместной компоновке глухой плотины, водосбросных и водоспускных сооружений.

2.6. Бетонные гравитационные плотины

Основное преимущество бетонных плотин состоит в том, что они могут быть выполнены как глухими, так и водопропускными.

Водопропускные плотины предназначены для пропуска максимального расхода весеннего половодья и расположены в теле глухой плотины. Пропуск воды осуществляется через специально устроенные в них отверстия или через гребень (водосливные плотины).

Водосливная плотина состоит из флютбета, устоев и быков. Флютбет представляет собой части плотины, поверх которых проходит речной поток, и состоит из понура, тела плотины, водобоя, рисбермы и концевого участка. Тело плотины воспринимает напор воды. Понур представляет собой водонепроницаемое покрытие дна в верхнем бьефе и служит для удлинения пути фильтрации под плотиной и предупреждения размыва грунта. Водобой воспринимает удары падающей через водослив воды, гасит энергию речного потока, используется как путь для гашения энергии фильтрационного потока. Рисберма представляет собой водопроницаемое покрытие дна в нижнем бьефе, она создаёт благоприятные условия для выхода фильтрационного потока, служит для частичного гашения энергии и выравнивания скоростей речного потока, защищает дно от размыва потоком при переходе от повышенных скоростей в конце водобоя к бытовым скоростям в конце рисбермы. Концевой участок защищает рисберму от подмыва. Конструкция флютбета должна обеспечивать надежную эксплуатацию сооружения. Водосливные отверстия могут перекрываться затворами.

Части плотины, при помощи которых она сопрягается с берегами или примыкающими к ней участками грунтовых или каменных плотин, называются устоями. В конструктивном отношении устои представляют собой подпорную стенку. Устои защищают берега и грунтовые плотины от выноса частиц грунта фильтрационным потоком и от размыва поверхностным потоком; воспринимают давление воды, действующее непосредственно на устои и передающееся через затворы; служат опорой для затворов, проезжих и служебных мостов.

Быки представляют собой вертикальные стенки, разделяющие водосливной фронт плотины на отдельные пролеты. Они воспринимают давление воды, служат опорами для затворов, подъёмных механизмов, проезжих и служебных мостов.

Водосливные плотины находятся в тяжёлых условиях эксплуатации. Удерживаемая плотиной вода оказывает механиче-

ское воздействие (гидростатическое давление); водный поток с большой скоростью протекает через плотину, образуя в нижнем бьефе гидравлический прыжок; фильтрационный поток в основании плотины оказывает на неё взвешивающее действие, а также приводит к суффозии и выпору грунта.

Для бетонных гравитационных плотин проводятся следующие расчёты:

гидравлический расчёт отверстия водопропускной плотины;

гидравлический расчёт сопряжения потока с нижним бьефом;

фильтрационные расчёты;

статический расчёт тела плотины (проверка прочности грунта в основании и прочности профиля плотины в отдельных горизонтальных сечениях; проверка устойчивости плотины на сдвиг по основанию);

статический расчёт устоев (проверка прочности грунта в основании и прочности профиля устоев в горизонтальных сечениях; проверка устойчивости на сдвиг);

статический расчёт быков (проверка прочности, устойчивости на сдвиг, устойчивости на опрокидывание).

Особое внимание уделяется совместной компоновке грунтовой и каменной плотины с водопропускной бетонной плотинкой, способу возведения этих сооружений.

3. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Построить кривую депрессии и определить фильтрационный расход на 1 пог м тела грунтовой плотины с ядром на водонепроницаемом основании (рис. 3.1, *a*), если известны величины: $v, H, h_0, m_1, m_2, d, K_1, K_2, \delta_y$ (δ_y – средняя толщина ядра).

На миллиметровой бумаге в масштабе вычерчиваем попе-

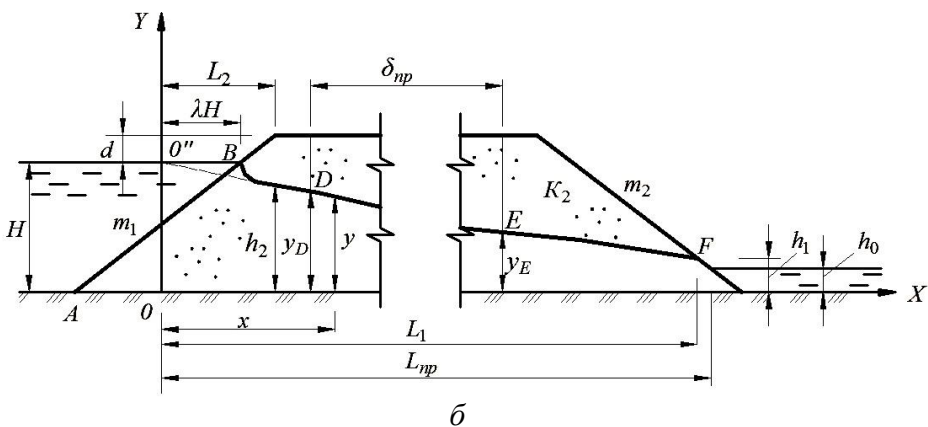
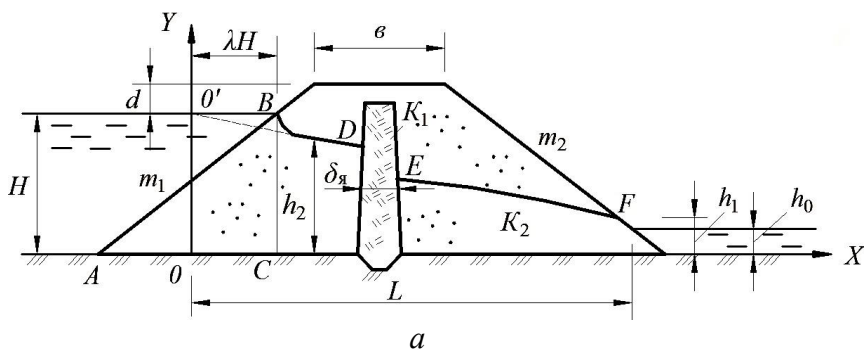


Рис. 3.1. Грунтовая плотина с ядром:
a – исходная плотина; *б* – приведенная однородная плотина

речный профиль плотины.

Ось абсцисс OX располагается по основанию плотины, ось ординат OY (раздельное сечение) располагается на расстоянии λH от верхового откоса (по горизонту воды в верхнем бьефе). Коэффициент λ определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{m_1}{1 + 2m_1}, \quad (3.1)$$

где m_1 – коэффициент заложения верхового откоса.

За начало кривой депрессии принимается точка O' .

Расчёт фильтрации через грунтовую плотину с ядром производится виртуальным способом, который заключается в том, что плотина с ядром с коэффициентом фильтрации ядра K_1 и коэффициентом фильтрации грунта тела плотины K_2 (рис. 3.1, *a*) приводится к однородной плотине без ядра с коэффициентом фильтрации K_2 (рис. 3.1, *б*). Приведённая к грунту тела плотины средняя толщина ядра определяется по формуле:

$$\delta_{np} = \delta_y \frac{K_2}{K_1}, \quad (3.2)$$

где δ_{np} – приведённая толщина ядра, м; δ_y – средняя толщина ядра, м; K_1 – коэффициент фильтрации грунта ядра, м/сут; K_2 – коэффициент фильтрации грунта тела плотины, м/сут.

В полученной однородной плотине верховой клин ABC заменяется эквивалентным ему по фильтрации прямоугольником шириной λH и высотой H , а начало кривой депрессии переносится в точку O' .

Кривая депрессии строится по уравнению:

$$Y = \sqrt{H^2 - \frac{H^2 - h_1^2}{L_{np}} X}, \quad (3.3)$$

где Y – ордината кривой депрессии, м; X – абсцисса кривой депрессии, м; H – глубина воды в верхнем бьефе, м; L_{np} – приве-

дённая длина, равная расстоянию от начала координат до точки пересечения уровня воды в нижнем бьефе с низовым откосом приведённой однородной плотины, м; значение её вычисляется по формуле:

$$L_{np} = L + \delta_{np}, \quad (3.4)$$

L – расстояние от начала координат до точки пересечения уровня воды в нижнем бьефе с низовым откосом плотины с ядром, м; h_1 – ордината кривой депрессии в месте выхода её на низовой откос, м; определяется по формуле:

$$h_1 = \frac{L_{np}}{m_2} - \sqrt{\left(\frac{L_{np}}{m_2}\right)^2 - (H - h_0)^2} + h_0, \quad (3.5)$$

где m_2 – коэффициент заложения низового откоса; h_0 – глубина воды в нижнем бьефе, м.

Задаваясь различными значениями X в пределах $L_2 \leq X < L_1$, определяем соответствующие значения Y в пределах $h_2 \geq Y > h_1$ (h_2 – ордината кривой депрессии на линии верховой бровки гребня плотины, т.е. значение Y при $X = L_2$). В пределах приведённой толщины ядра δ_{np} кривую депрессии можно не рассчитывать. По полученным точкам строим кривую депрессии. Точку кривой с ординатой h_2 плавно соединяем с урезом воды на верховом откосе, принимая во внимание, что кривая депрессии в месте входа в плотину должна быть нормальной к верховому откосу.

Полученную таким образом кривую депрессии переносим с приведённой однородной плотины (рис. 3.1, б) на плотину с ядром (рис. 3.1, а), учитывая при этом, что на участках BD (до ядра) и EF (после ядра) ординаты кривой депрессии остаются без изменений, а в ядре падение равно разности ($Y_D - Y_E$).

Грунт плотины ниже кривой депрессии находится во взвешенном состоянии.

Фильтрационный расход через верховой клин и среднюю часть плотины определяется по формуле Дарси-Дюпюи:

$$q = K_2 \frac{H^2 - h_1^2}{2L_{np}}, \quad (3.6)$$

где q – удельный фильтрационный расход, т. е. фильтрационный расход на 1 пог м тела плотины, м²/сут.

Задача 2. Построить кривую депрессии и определить фильтрационный расход на 1 пог м тела плотины с экраном на водонепроницаемом основании (рис. 3.2), если известны величины: v , H , h_0 , m_1 , m_2 , d , K_1 , K_2 , δ_e (δ_e – средняя толщина экрана).

На миллиметровой бумаге в масштабе вычерчиваем поперечный профиль плотины.

Расчёт производится по уравнениям:

$$q_1 = K_1 \frac{H^2 - h_e^2 - z^2}{2\delta_e \text{Sin}\alpha}, \quad (3.7)$$

где q_1 – удельный фильтрационный расход через экран, м²/сут; K_1 – коэффициент фильтрации грунта экрана, м²/сут; H – глубина воды в верхнем бьефе, м; h_e – ордината кривой депрессии за экраном, м; δ_e – средняя толщина экрана, м; α – угол наклона экрана к основанию плотины, град; z – проекция толщины экрана на вертикаль, м; определяется она из соотношения:

$$z = \delta_e \text{Cos}\alpha; \quad (3.8)$$

$$q_2 = K_2 \frac{h_e^2 - h_1^2}{2L}, \quad (3.9)$$

где q_2 – удельный фильтрационный расход через тело плотины, м²/сут; K_2 – коэффициент фильтрации грунта тела плотины, м/сут; L – расстояние от начала кривой депрессии до точки пересечения уровня воды в нижнем бьефе с низовым откосом, м;

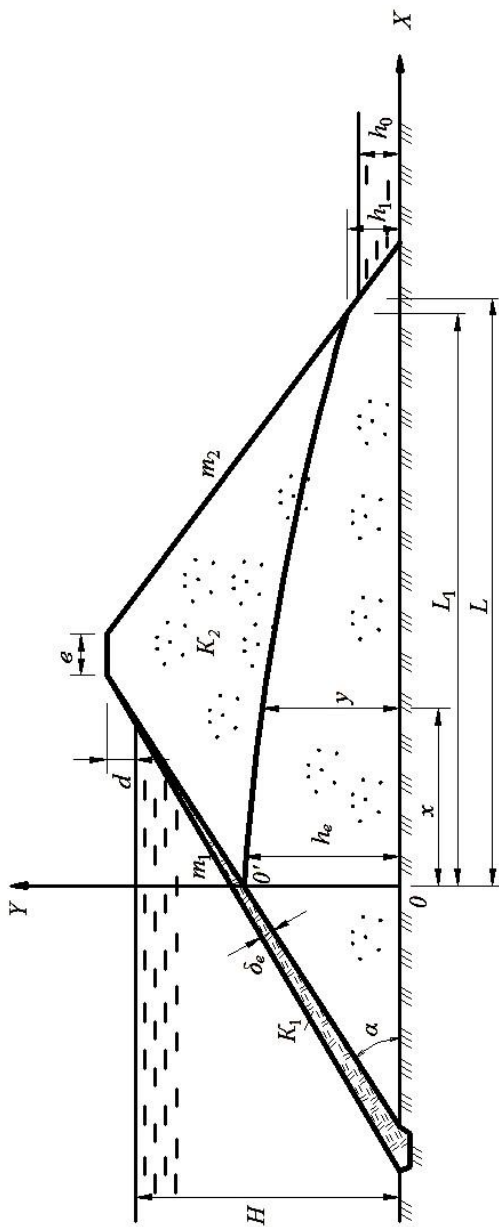


Рис. 3.2. Грунтовая плотина с экраном

h_1 – ордината кривой депрессии в месте выхода её на низовой откос плотины, м; определяется по формуле:

$$h_1 = \frac{L}{m_2} - \sqrt{\left(\frac{L}{m_2}\right)^2 - (h_e - h_0)^2} + h_0, \quad (3.10)$$

где m_2 – коэффициент заложения низового откоса; h_0 – глубина воды в нижнем бьефе, м.

Ось абсцисс OX располагается по основанию плотины, положение оси ординат OY определяется на чертеже графически величиной h_e . Началом кривой депрессии является точка O' .

Так как $q_1 = q_2$, то

$$K_1 \frac{H^2 - h_e^2 - z^2}{2\delta_e \sin\alpha} = K_2 \frac{h_e^2 - h_1^2}{2L}. \quad (3.11)$$

Последнее уравнение (3.11) служит для определения величины h_e . Производится это методом подбора следующим образом. Произвольно задаёмся величиной h_e , наносим её на чертеж, графически находим значение L и по формуле (3.10) вычисляем значение h_1 . Затем подставляем в уравнение (3.11) значения всех исходных величин и решаем его. Задаваясь последовательно различными значениями величины h_e , добиваемся равенства левой и правой частей уравнения (3.11). Подбор считается законченным в том случае, когда левая и правая части уравнения отличаются друг от друга менее чем на 5%.

Установив таким образом значение h_e , проводим оси координат OX и OY .

Кривая депрессии строится по уравнению:

$$Y = \sqrt{h_e^2 - \frac{h_e^2 - h_1^2}{L} X}, \quad (3.12)$$

где Y – ордината кривой депрессии, м; X – абсцисса кривой де-

прессии, м.

Задаваясь различными значениями X в пределах $0 < X < L_1$, определяем соответствующие значения Y в пределах $h_e > Y > h_1$. По полученным точкам строим кривую депрессии.

Фильтрационный расход вычисляем по формулам (3.7) или (3.9).

Задача 3. Построить кривую депрессии и определить фильтрационный расход на 1 пог м тела плотины с экраном и понуром на водопроницаемом основании (рис. 3.3), если известны величины: $v=10$ м; $H=26,0$ м; $h_0=3,7$ м; $m_1=3,0$; $m_2=2,5$; $T=80$ м; $P=100$ м; $d=2,5$ м; $K_1=K_2=0,9$ м/сут, $\delta_e=2,2$ м (δ_e – средняя толщина экрана).

На миллиметровой бумаге в масштабе вычерчиваем поперечный профиль плотины.

Расчёт производится по уравнениям:

$$q_1 = K_1 \frac{T}{n} \frac{H - (h_e + h_0)}{P + m_1(h_e + h_0)}, \quad (3.13)$$

где q_1 – удельный фильтрационный расход через основание и тело плотины от начала понура до начала кривой депрессии, м²/сут; K_1 – коэффициент фильтрации грунта основания, м/сут; T – мощность слоя водопроницаемого грунта в основании плотины, м; H – глубина воды в верхнем бьефе, м; h_0 – глубина воды в нижнем бьефе, м; h_e – ордината кривой депрессии за экраном, м; P – длина понура, м; m_1 – коэффициент заложения верхового откоса; n – коэффициент удлинения пути фильтрации;

$$q_2 = \frac{h_e}{L} \left[TK_1 + \left(h_0 + \frac{h_e}{2} \right) K_2 \right], \quad (3.14)$$

где q_2 – удельный фильтрационный расход через тело плотины и основание от начала кривой депрессии до подошвы низового откоса, м²/сут; K_2 – коэффициент фильтрации грунта тела плоти-

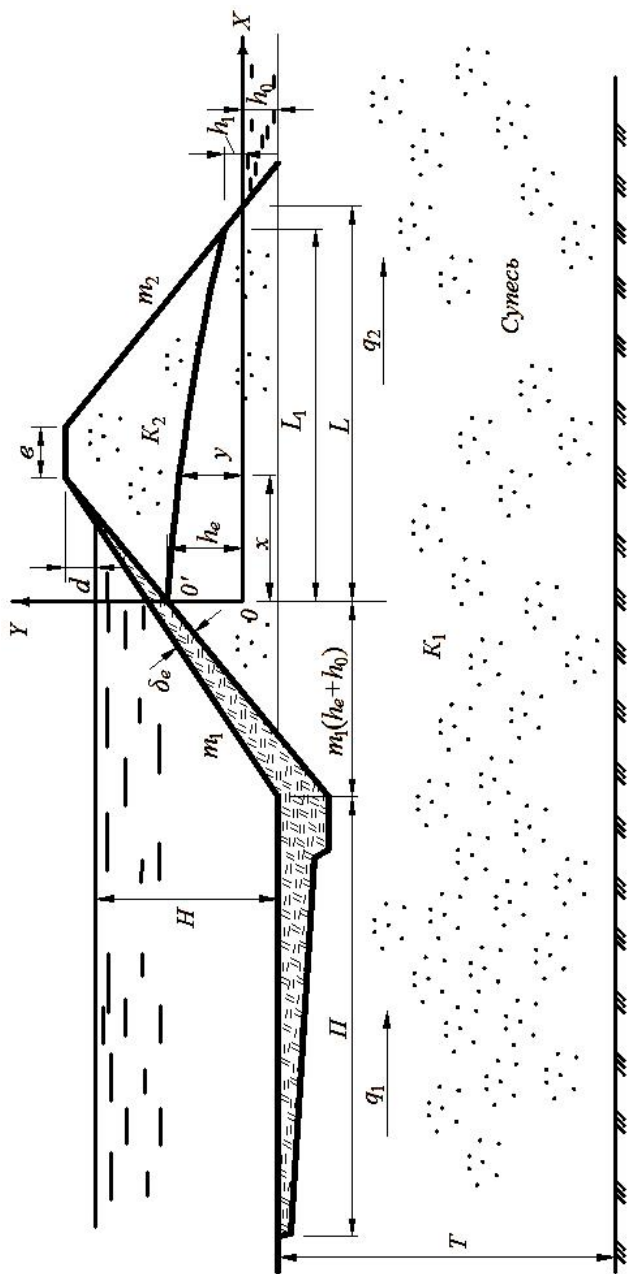


Рис. 3.3. Грунтовая плотина с экраном и понуром

ны, м/сут; L – расстояние от начала кривой депрессии до точки пересечения уровня воды в нижнем бьефе с низовым откосом, м; определяется графически на чертеже (рис. 3.3).

Ось абсцисс OX располагается по уровню воды в нижнем бьефе, положение оси ординат OY определяется на чертеже графически величиной h_e . Началом кривой депрессии является точка O' .

Так как $q_1 = q_2$, то

$$K_1 \frac{T}{n} \frac{H - (h_e + h_0)}{\Pi + m_1(h_e + h_0)} = \frac{h_e}{L} \left[TK_1 + \left(h_0 + \frac{h_e}{2} \right) K_2 \right]. \quad (3.15)$$

Последнее уравнение (3.15) служит для определения величины h_e . Производится это подбором в следующей очерёдности. Произвольно задаёмся величиной h_e , наносим её на чертеж и графически находим значение L . По табл. 3.1 в зависимости от величины $2(\Pi + m_1 h_e) : T$ находим коэффициент удлинения пути фильтрации n .

Таблица 3.1

Значение коэффициента удлинения пути фильтрации

$\frac{2(\Pi + m_1 h_e)}{T}$	20	5	4	3	2	1
n	1,15	1,18	1,23	1,30	1,44	1,87

Затем подставляем в уравнение (3.15) значения всех величин и решаем его. Задаваясь последовательно различными значениями h_e , добиваемся равенства левой и правой частей уравнения. Подбор считается законченным в том случае, когда левая и правая части уравнения отличаются друг от друга менее чем на 5%. Установив таким образом значение h_e , проводим оси координат OX и OY .

В данном примере задаёмся значением $h_e = 8,0$ м. На чертеже графически определяем $L = 108$ м. Находим отношение

$$\frac{2(\Pi + m_1 h_e)}{T} = \frac{2(100 + 3 \cdot 8)}{80} = 3,1.$$

В табл. 3.1 значению отношения 3,1 соответствует $n = 1,29$. Подставляя в уравнение (3.15) все исходные данные, получаем

$$0,9 \frac{80}{1,29} \frac{26 - (8 + 3,7)}{100 + 3(8 + 3,7)} = \frac{8}{108} \left[80 \cdot 0,9 + \left(3,7 + \frac{8}{2} \right) \right];$$

$$5,91 \text{ м}^2/\text{сут} \approx 5,90 \text{ м}^2/\text{сут}.$$

Так как левая и правая части уравнения отличаются на 0,01 м²/сут, что составляет 0,17%, величиной $h_e = 8,0$ м мы задались правильно.

Фильтрационный расход на 1 пог м тела плотины составляет $q = 5,91$ м²/сут.

Кривая депрессии строится по уравнению:

$$Y = \sqrt{h_e^2 - \frac{h_e^2 - h_1^2}{L} X}, \quad (3.16)$$

где Y – ордината кривой депрессии, м; X – абсцисса кривой депрессии, м; h_1 – ордината кривой депрессии в месте выхода её на низовой откос, м; вычисляется по формуле:

$$h_1 = \frac{L}{m_2} - \sqrt{\left(\frac{L}{m_2} \right)^2 - h_e^2}, \quad (3.17)$$

Задаваясь различными значениями X в пределах $0 < X < L_1$, по формуле (3.16) определяем соответствующие значения Y в пределах $h_e > Y > h_1$. По полученным точкам строим кривую депрессии.

В данном примере ордината кривой депрессии в месте выхода её на низовой откос равна:

$$h_1 = \frac{108}{2,5} - \sqrt{\left(\frac{108}{2,5}\right)^2 - 8^2} = 0,75 \text{ м,}$$

а уравнение для построения кривой депрессии (3.16) приобретает вид:

$$Y = \sqrt{8^2 - \frac{8^2 - 0,75^2}{108} X} = \sqrt{64 - 0,59 X}.$$

Задавшись различными значениями абсцисс X , получим соответствующие значения ординат Y . Результаты расчётов сводим в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Координаты точек кривой депрессии, м

X	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Y	7,62	7,22	6,80	6,36	5,87	5,35	4,76	4,10	3,21

Полученные точки наносим на чертёж. Грунт плотины ниже кривой депрессии находится во взвешенном состоянии.

4. КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ (ЧАСТЬ ВТОРАЯ)

Выполняя контрольное задание по разделу «Гидротехнические сооружения», студент должен письменно ответить на два вопроса и решить одну задачу. *Номера вариантов вопросов и задач выбираются по последней цифре шифра зачётной книжки.* Например, если шифр заканчивается цифрой 4, студенту необходимо ответить на вопросы 4.1.4, 4.1.14 и решить задачу, вариант 4; если шифр заканчивается цифрой 0, необходимо ответить на вопросы 4.1.10, 4.1.20 и решить задачу, вариант 0.

4.1. Вопросы контрольного задания

4.1.1. Типы грунтовых плотин.

4.1.2. Определение размеров поперечного профиля грунтовых плотин.

4.1.3. Проектирование противofильтрационных устройств грунтовых плотин.

4.1.4. Назначение и проектирование дренажных устройств в грунтовых плотинах.

4.1.5. Сопряжение тела грунтовой плотины с основанием, берегами и сооружениями из других материалов.

4.1.6. Расчёт устойчивости откосов грунтовых плотин.

4.1.7. Способы возведения грунтовых плотин. Пропуск воды во время строительства плотин.

4.1.8. Типы каменных плотин.

4.1.9. Противofильтрационные устройства каменных плотин.

4.1.10. Способы возведения каменных плотин.

4.1.11. Назначение и типы водоспускных сооружений. Конструкция и расчёт трубчатого водоспуска.

4.1.12. Назначение и типы водосбросных сооружений. Конструкция и расчёт берегового водосброса.

4.1.13. Флютбет бетонной водосливной плотины на не-скальном основании, условия эксплуатации плотины.

4.1.14. Расчёт отверстия бетонной водосливной плотины и разбивка его на пролеты.

4.1.15. Принцип гашения энергии потока в нижнем бьефе водосливной плотины.

4.1.16. Расчёт фильтрации под флютбетом бетонной водосливной плотины на не-скальном основании.

4.1.17. Конструирование флютбета бетонной водосливной плотины.

4.1.18. Расчёт устойчивости бетонной водосливной плотины.

- 4.1.19. Расчёт прочности бетонной водосливной плотины.
4.1.20. Конструкция тела бетонной водосливной плотины.

4.2. Задачи контрольного задания

Построить кривую депрессии и определить фильтрационный расход на 1 пог м тела плотины. Тип плотины и исходные данные приведены в табл. 4.1.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. *Гидротехнические сооружения*. Ч. 1 / под ред Л.Н. Рассказова. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 575 с.
2. *Гидротехнические сооружения*. Ч. 2 / под ред. Л.Н. Рассказова. – М.: Издательство АСВ, 2008. – 527 с.
3. *Гидротехнические сооружения и рыбоводные пруды* [Электронный ресурс]. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 682 с.
4. *Ляпичев, Ю.П.* Гидротехнические сооружения / Ю.П. Ляпичев, Н.К. Пономарёв. – М.: РУДН, 2008. – 302 с.
5. *Нестеров, М.В.* Гидротехнические сооружения / М.В. Нестеров. – Минск: Новое знание, 2006. – 616 с.

Дополнительная литература

1. *Гидрология и гидротехнические сооружения* / под ред. Г.Н. Смирнова. – М.: Высшая школа, 1988. – 472 с.
2. *Гидротехнические сооружения* / под ред. Н.П. Розанова. – М.: Стройиздат, 1985. – 432 с.
3. *Гидротехнические сооружения*. Справочник проектировщика / под ред. В.П. Недриги. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.
4. *Гришин, М.М.* Гидротехнические сооружения. Ч. 1 / М.М. Гришин. – М.: Высшая школа, 1979. – 615 с.
5. *Гришин, М.М.* Гидротехнические сооружения. Ч. 2 / М.М. Гришин. – М.: Высшая школа, 1979. – 336 с.

6. *Кириенко, И.И.* Гидротехнические сооружения. Проектирование и расчёт / И.И. Кириенко, Ю.А. Химерик. – Киев: Вища школа, 1987. – 253 с.
7. *Курсовое и дипломное проектирование* по гидротехническим сооружениям / под ред. В.С. Лапшенкова. – М.: Агропромиздат, 1989. – 447 с.
8. *Чугаев, Р.Р.* Гидротехнические сооружения. Ч. 1 / Р.Р. Чугаев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 318 с.
9. *Чугаев, Р.Р.* Гидротехнические сооружения. Ч. 2 / Р.Р. Чугаев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 302 с.

Таблица 4.1

Исходные данные для решения задач

Номер варианта	Тип плотины	H , м	h_0 , м	m_1	m_2	d , м	K_1 , м/сут	K_2 , м/сут	δ_g , м	δ_x , м	$П$, м	T , м
1	Рис. 2.3	30,0	6,0	3,5	2,5	2,5	0,75	0,75	2,4	-	150	75
2	Рис. 2.3	22,5	3,5	3,5	3,0	2,5	8,0	8,0	1,9	-	100	56
3	Рис. 2.3	18,3	2,5	3,5	2,5	2,5	5,4	5,4	1,7	-	80	45
4	Рис. 2.2	28,5	3,5	3,0	2,5	2,5	0,008	2,9	2,3	-	-	-
5	Рис. 2.2	24,7	3,3	3,0	2,5	2,5	0,01	3,84	2,1	-	-	-
6	Рис. 2.2	20,0	2,7	3,5	2,5	2,5	0,006	10,0	1,8	-	-	-
7	Рис. 2.1	29,1	4,0	4,0	3,0	2,5	0,01	7,0	-	3,2	-	-
8	Рис. 2.1	25,5	3,6	3,5	2,5	2,5	0,03	12,0	-	2,9	-	-
9	Рис. 2.1	19,2	3,1	3,0	2,5	2,5	0,08	1,0	-	2,35	-	-
0	Рис. 2.3	35,0	6,7	4,0	3,0	2,5	1,0	1,0	2,5	-	200	90

Примечание. Ширина гребня плотины применяется равной $e \geq 6$ м.