**Земляная плотина с паводковым водосбросом**

Г.Г.Круглов, П.М.Богославчик, Н.В.Сурма

**Методическое пособие к курсовому проекту по курсу "Гидротехнические сооружения" для студентов специальности Т19.04. ”Водохозяйственное строительство”**

Министерство образования Республики Беларусь

Белорусская государственная политехническая академия

Кафедра ”Гидротехническое и энергетическое строительство”

Минск 1997

**Введение**

Курсовой проект "Плотина из грунтовых материалов с паводковым водосбросом" выполняется студентами в 7-м семестре при изучении дисциплины "Гидротехнические сооружения". Задачей курсового проекта является составление и расчетное обоснование в соответствии с действующей нормативной литературой проекта плотины из грунтовых материалов с паводковым водосбросом, а также закрепление знаний, полученных студентами при изучении соответствующих разделов курса, и приобретение опыта и навыков проектирования.

**Состав проекта**

В курсовом проекте необходимо разработать следующие основные вопросы:

компоновка сооружений гидроузла;

конструирование поперечного профиля и элементов плотины: гребня, берм, откосов, дренажа, противофильтрационных устройств, креплений верхового и низового откосов и др.;

фильтрационный расчет земляной плотины;

расчет устойчивости низового и верхового откосов плотины;

выбор и обоснование конструкции паводкового водосброса;

гидравлические расчеты водосброса;

выбор схемы пропуска строительных расходов.

Курсовой проект состоит из расчетно-пояснительной записки, иллюстрированной соответствующими расчетными схемами, вычерченными в масштабе на миллиметровой бумаге, и чертежей. На чертежах разрабатывается компоновка гидроузла, поперечные (по русловой и пойменной частям) и продольный разрезы по плотине, план и продольный разрез по оси водосбросного сооружения и его характерные поперечные разрезы.

В расчетно-пояснительной записке приводится краткая характеристика запроектированных сооружений, их обоснование и расчеты.

**2. Компоновка гидроузла**

В настоящее время проектируют и строят гидроузлы комплексного назначения, в состав которых входят сооружения общие (плотины, водосбросы) и специальные (здания ГЭС, судоходные шлюзы, водозаборы и др.). Специальные сооружения изучаются в соответствующих дисциплинах, по которым студенты также выполняют курсовые проекты, вследствие чего в настоящем проекте разрабатываются только два сооружения: плотина из грунтовых материалов и паводковый водосброс.

Так как план стройплощадки студенту задается, то его первой задачей является выбор створа плотины и оси водосбросного сооружения с учетом топографических, инженерно-геологических условий, а также требований охраны окружающей среды.

При прочих равных условиях предпочтение следует отдавать тому варианту компоновки сооружений, который дает минимальную длину плотины и водосбросного тракта, а также исключает возможность опасных размывов берегов и подмыва плотины при сбросе воды в нижний бьеф.

Водосбросные сооружения бывают открытые или закрытые (туннельные и трубчатые).

Трубчатые водосбросы располагают в теле плотины таким образом, чтобы они могли использоваться также и для пропуска строительных расходов в период возведения плотины.

Открытые водосбросы располагают или вне тела плотины, или они прорезают тело плотины в ее береговых частях.

Примеры компоновок гидроузлов с плотинами из грунтовых материалов и береговыми водосбросами приведены в литературе [1,2,3].

**Плотина из грунтовых материалов**

Выбор типа и конструкции .плотины является основным вопросом проектирования, который решается на основании технико-экономического сопоставления различных вариантов исходя из топографических, инженерно-геологических, гидрологических и климатических условий, и прежде всего наличия грунтовых строительных материалов в близлежащих карьерах и максимального использования материалов из полезных выемок.

Земляные насыпные плотины можно возводить из всех грунтов, кроме грунтов, содержащих растворимые включения хлоридных солей более 5% по массе и содержащих не полностью разложившиеся органические вещества также более 5% по массе.

Для строительства однородных плотин чаще всего используются суглинки и супеси, а также мелкозернистые и среднезернистые пески, обладающие достаточной водонепроницаемостью и фильтрационной прочностью.

Песчаные и гравийно-галечниковые грунты применяются для устройства тела (верховый и низовой призм) всех типов земляных плотин.

Противофильтрационные элементы плотины (ядра, экраны, понуры, зубья) устраиваются из маловодопроницаемых грунтов (глинистые грунты, торф, грунтовые смеси) с коэффициентом фильтрации менее 10-4 м/с.

**Конструирование поперечного профиля и элементов плотины**

Основной задачей проектирования поперечного профиля плотины является определение отметки гребня плотины и его ширины, а также назначение заложения и очертания откосов плотины.

1. Гребень плотины обычно используется для устройства автомобильной или железной дороги, размеры которых назначают, руководствуясь требованиями соответствующих нормативных документов. Основные параметры гребня плотины при устройстве на нем автомобильной дороги приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Катего- | Ширина, м | | | |
| рия  дороги | проезжей части | обочин | разделительной полосы | гребня  плотины |
|  | 15,0 | 3,75 | 5 | 27,5 |
|  | 7,5 | 3,75 | - | 15,0 |
|  | 7,0 | 2,5 | - | 12,0 |
|  | 6,0 | 2,0 | - | 10,0 |
|  | 4,5 | 1,75 | - | 8,0 |

При устройстве по гребню железной дороги ширина его должна быть не менее 13...15,5 м.

Если проезд по гребню плотины не предусматривается, минимальная ширина его должна быть 4,5 м. В месте сопряжения земляной плотины с водосбросным сооружением гребень плотины уширяется с целью размещения на нем монтажной площадки (для производства ремонтных и монтажных работ по затворам) и затворохранилища. Длина монтажной площадки назначается равной (1,5...2,5)в где в - ширина водосбросного отверстия.

Для отвода поверхностных вод гребню плотины придается односторонний или двусторонний поперечный уклон (рис.3.1), а на обочинах устраиваются ливнестоки.

Покрытие проезжей части автодороги выбирается в зависимости от ее категории и укладывается на подготовку из гравийно-песчаного или щебеночного грунта. Если гребень плотины сложен из глинистых грунтов, то для его защиты от промерзания укладывается слой несвязного (песчаного) грунта, толщина которого, включая и покрытие гребня, должна быть не менее глубины промерзания грунта в районе строительства.

По краям гребня устраивается ограждение в виде надолб (бетонные столбики размерами 10,30,3 м с шагом 4 м и более). Со стороны верхнего бьефе может устраиваться сплошной волнозащитный парапет.

Отметка гребня плотины назначается на основе расчета необходимого возвышения его над уровнем воды в верхнем бьефе . При этом рассматриваются два случая стояния уровня воды в верхнем бьефе:

1. Нормальный подпорный уровень (НПУ).

2. Форсированный подпорный уровень (ФПУ).

Возвышение гребня плотины hS в обоих случаях определяется по формуле

, (3.1)

где а - запас возвышения гребня плотины, принимаемый для всех классов плотин не менее 0,5 м;

- ветровой нагон воды в верхнем бьефе

 (3.2)

Здесь  - угол между продольной осью водоема и направлением ветра, град;

 - расчетная скорость ветра на высоте 10 м над поверхностью водоема, м/с;

L - длина разгона волны, м;

d - глубина воды в ВБ при расчетном уровне, м;

 - коэффициент, определяемый по табл. 3.2.

Таблица 3.2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| , м/с | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10-6 | 2,1 | 3 | 3,9 | 4,8 |

- высота наката на откос волн обеспеченностью 1%, м.

. (3.3)

Здесь - коэффициенты шероховатости и проницаемости откоса, принимаемые по табл.3.3

Таблица 3.3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Конструкция крепления откоса | Относительная шероховатость  r/h1% | Коэффициент  kr | Коэффициент  kp |
| Бетонные железобетонные  плиты | - | 1 | 0,9 |
| Гравийно-галечниковое, каменное или крепление бетонными  (железобетонны-ми) блоками | Менее 0,002  0,005...0,01  0,02  0,05  0,1  Более 0,2 | 1  0,95  0,9  0,8  0,75  0,7 | 0,9  0,85  0,8  0,7  0,6  0,5 |

Примечание. Размер шероховатости " r " (м) принимается равным среднему диаметру зерен материалов крепления откоса.

Ksp - коэффициент, определяемый по табл.3.4.

Таблица 3.4

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Заложение откоса плотины m1 | 1...2 | 3...5 | Более 5 |
| Коэффициент ksp 20 и более  при скорости 10  ветра , м/с 5 и менее | 1,4  1,1  1,0 | 1,5  1,1  0,8 | 1,6  1,2  0,6 |

krun - коэффициент, определяемый по графику рис.3.2а , в зависимости от пологости волны  на глубокой воде;

h1%- высота волны 1% -й обеспеченности, м

. (3.4)

Здесь k1% - коэффициент, принимаемый по графику рис .3.2б;

 - средняя высота волны, определяемая для глубоководной зоны, которая чаще всего имеет место в ВБ земляных плотин, по верхней огибающей кривой графика рис. 3.2в в зависимости от безразмерных величин  и . Из двух найденных значений  принимают в качестве расчетного меньшее.

При подходе фронта волны к сооружению под углом α величина наката волны на откос уменьшается умножением на коэффициент, определяемый по табл. 3.5.

Таблица 3.5

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Значение угла α, град | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| Коэффициент kα | 1 | 0,98 | 0,96 | 0,92 | 0,87 | 0,62 | 0,76 |

Средняя длина волны  определяется по формуле

 (3.5)

Здесь  период волны, определяемый по графику рис.3.2в. При определении и по формуле (3.1) обеспеченность скорости ветра для расчета элементов волн, наката и нагона при основном сочетании нагрузок и воздействий (при НПУ) принимается для сoopужений I и П классов - 2%, а Ш и IУ классов - 4%. При особом сочетании нагрузок и воздействий (при ФПУ) эти обеспеченности принимаются: для I и П классов-20%, Ш класса - 30%, IУ класса - 50%.

Из двух полученных результатов расчета (при НПУ и ФПУ) выбирается более высокая отметка гребня.

Если на гребне плотины устраивается сплошной волнозащитный парапет (его высота обычно рввна1,2...1,5 м), то возвышение его верха над расчетным уровнем ВБ определяется по формуле (3.1), а отметка гребня плотины в этом случае назначается наибольшей из следующих двух значений: отметка ФПУ или отметка НПУ плюс 0,3 м.

Откосы плотины. Выбор заложения (крутизны) откосов плотины производится на основе опыта строительства и эксплуатации аналогичных сооружений с учетом физико-механических характеристик грунтов тела плотины и основания, действующих на откосы сил, высоты плотины, методов производства работ по возведению плотины и условий ее эксплуатации. Назначенные заложения откосов затем проверяются расчетами статической устойчивости и при необходимости корректируются.

Ориентировочные значения заложений откосов земляных плотин из глинистых и песчаных грунтов при наличии в основании

грунтов с прочностью, не меньшей, чем в теле плотины, приведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Высота плотины, м | Заложение откосов | |
|  | верхового | низового |
| <5 | 2...2,5 | 1,5...1,75 |
| 5...10 | 2,25...2,75 | 1,75...2,25 |
| 10...15 | 2,5...3,0 | 2...2,5 |
| 15...50 | 3...4 | 2,5...4,0 |
| >50 | 4...5 | 4...4,5 |

Приведенные в табл.3.6 данные относятся к средним по высоте значениям заложения откосов. В высоких плотинах откосы могут иметь переменное заложение, увеличивающееся сверху вниз, что позволяет запроектировать более экономичный профиль плотины, обеспечивая устойчивость его откосов.

На откосах высоких и средней высоты плотин устраиваются бермы (рис.3.1). На верховом откосе бермы устраиваются в конце основного крепления, создавая ему необходимый упор и обеспечивая возможность его осмотра и ремонта, и в местах изменения заложения откоса. На низовом откосе бермы служат для сбора и отвода дождевых и талых потоков, предохраняя тем самым. низовой откос от размыва, а также для обеспечения проезда в период строительства плотины. Иногда по бермам низового откоса могут прокладываться автомобильные или железные дороги. Как правило, бермы устраивают в местах изменения заложения откоса и сопряжения тела плотины со строительными перемычками. Расстояние между бермами по высоте плотины принимается равным 10...15 м.

Ширина бермы назначается не менее 3 м, если по ней предусматривается проезд, и не менее 1...2 м, если проезд не предусмотрен.

На внутренней стороне бермы устраивается кювет, служащий для сбора и организованного отвода дождевых и талых вод.

Крепления откосов. Откосы земляных плотин подвержены разрушающим воздействиям ветровых волн, течений воды, льда,

атмосферных осадков и т.д. Для предотвращения их разрушения предусматриваются соответствующие виды креплений.

Наиболее распространенными видами креплений верхового откоса плотины являются:

а) Каменная наброска из несортированного камня. Такое крепление обычно применяется на откосах с заложением m ≥ 2,5...3 при расчетной высоте волны до 2,5...3 м. Необходимая из условия устойчивости масса отдельных камней в тоннах определяется по зависимости:

 , (3.6)

где ρm , ρ - соответственно плотность камня и воды, т/м3;

 - угол наклона откоса к горизонту,

Расчетный диаметр камня в метрах, приведенный к шару, вычисляется по формуле

 (3.7)

В составе наброски из несортированного камня должно быть по объему не менее 50% материала с расчетным диаметром Dш. Толщина покрытия в этом случае принимается

t ≥3D85, (3.8)

где D85 - диаметр камня, масса которого вместе с массой более мелких фракций составляет 85% массы всей каменной наброски;

б) Железобетонные крепления из монолитных или сборных плит.

Монолитные железобетонные плиты используются для крепления откосов плотин на крупных водохранилищах при высоте волны от 2 до 4м. В плане они имеют прямоугольную форму с соотношением сторон 1  2 , где bsl - меньшая сторона, располагаемая

перпендикулярно урезу воды, принимаемая равной 0,4 , но не более 20 м. Швы между плитами могут быть открытыми или закрытыми с уплотнениями в виде резиновых диафрагм, просмоленных деревянных или железобетонных досок.

Толщина монолитных железобетонных плит может определяться из условия их устойчивости по формуле Шанкина П.А.

 , (3.9)

где k - коэффициент, принимаемый равным 0,083 при открытых швах и 0,11 - при закрытых швах;

ρn - плотность материала плиты.

Сборные железобетонные плиты имеют размеры в плане от 1,5×1,5 м до 5×5 м в зависимости от условий их транспортировки и удобства укладки на откос. В процессе укладки плиты омоноличиваются в

секции размером в плане 20×20 м и более. Применяются они обычно при высоте волны до 2,5...3 м.

Толщина сборных плит может быть определена по формуле Шайтана B.C.

 , (3.10)

где  - относительная длина ребра плиты;

ω - коэффициент полноты погружения, определяемый по

табл. 3.7.

Таблица З.7

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 1 | 1,2...1,5 | 2,2...2,8 | 3,5...4,3 | 5 ...6 |
| ω | 1 | 0,75 | 0,67 | 0,6 | 0,5 |

Все виды креплений верхового откоса плотины укладываются на подготовку в виде обратного фильтра, материал, число слоев и толщина которого выбирается в зависимости от грунта откоса и наличия местных строительных материалов.

Обратный фильтр под каменной наброской и плитами с открытыми швами может состоять из одного слоя разнозернистых материалов или двух слоев материалов с различными по крупности частицами, а также из искусственных водопроницаемых материалов (стекловолокна, минеральной ваты и др.). Под плитами с закрытыми швами, как правило, укладывается однослойный обратный фильтр. Минимальная толщина подготовки 35 см. -

Крепление верхового откоса плотины подразделяется на основное (в зоне наиболее интенсивного волнового и ледового воздействий) и облегченное, располагаемое ниже основного крепления.

Верхней границей основного крепления, как правило, является

гребень плотины. Нижняя граница основного крепления принимается на отметке (рис.3.1), заглубленной на величину Нкр = 2h1% под минимальный уровень воды в водохранилище (УМО). Нижняя граница облегченного крепления принимается на отметке, где донные волновые скорости не превышают размывающих скоростей для грунта откоса плотины. Ориентировочно нижнюю границу облегченного крепления можно принимать на отметке, заглубленной на величину Нкр под нижнюю границу основного крепления.

Часть низового откоса земляных плотин, подверженная воздействию льда и волн со стороны нижнего бьефа, крепится аналогично верховому. Остальная часть низового откоса защищается от разрушения атмосферными осадками, либо посевом трав по слою растительного грунта толщиной 0,2...0,3 м, либо отсыпкой гравия или щебня толщиной 0,2 м.

Противофильтрационные устройства. Противофильтрационные устройства выполняются из материалов значительно менее водопроницаемых, чем материал тела плотины. Это либо слабоводопроницаемые грунты (глины, суглинки и др.) и их смеси, либо негрунтовые материалы (бетон, железобетон, асфальтобетон, полимерные пленки и т.д.).

В земляных плотинах чаще всего применяются грунтовые противофильтрационные устройства в виде экранов, а при глубоком залегании водоупора - экранов в сочетании с понуром и вертикальных ядер (рис. 3.1). Наклонные ядра применяются редко.

Толщина ядер и экранов принимается переменной, увеличивающейся сверху вниз. Минимальная толщина ядра или экрана поверху назначается в зависимости от используемых для их возведения машин и механизмов, но во всех случаях должна быть не менее

0,8 м (при использовании современных средств механизации обычно не менее 3 м). Толщина понизу назначается таким образом, чтобы градиенты фильтрационного потока были меньше их критических значений

, (3.11)

где J - действующий средний градиент напора в ядре или экране;

δня-толщина ядра (экрана) понизу;

Н - напор на плотину;

kн - коэффициент надежности, принимаемый в зависимости от класса капитальности плотины (табл.3.9);

JКр- критический средний градиент напора, принимаемый по табл.3.8.

Таблица 3.8

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Грунт | Значение критических средних градиентов  напора JКр  для | | |
|  | понура | ядра и экрана | тела и призмы плотины |
| Глина, глинобетон | 15 | 12 | 8...2 |
| Суглинок | 10 | 8 | 4...1,5 |
| Супесь | 3 | 2 | 2. ..1 |
| Песок: средний | - | - | 1 |
| мелкий | - | - | 0,75 |

Отметка гребня ядра и экрана должна быть не ниже отметки ФПУ с учетом высоты наката и ветрового нагона уровня воды. Сверху гребень ядра и экрана покрывается защитным слоем песка толщиной не менее глубины промерзания грунта в районе строительства плотины.

Если тело плотины отсыпается из крупнозернистых грунтов (галька, гравий), то по границам с ядром и экраном с верховой и низовой стороны укладывают переходные слои по типу обратного фильтра. .

С верховой стороны экран покрывается защитным слоем. Заложение откосов экрана назначается из условия обеспечения устойчивости на сдвиг защитного слоя по экрану и экрана вместе с защитным слоем по грунту тела плотина. При этом наклон верхового откоса экрана к горизонту должен быть больше угла внутреннего трения грунта тела плотины; заложение верхового откоса принимается не менее 2,5...3.

При глубоком залегании в основании плотины водоупора экран и ядро может устраиваться с понуром. Как правило, понур выполняется из того же материала, что и экран. Длина понура назначается в соответствии с фильтрационными расчетами, чаще всего она равняется Ln = (1...2)Н. Толщина понура определяется из условия (3.11), причем минимальное ее значение должно быть больше 0,5 м. Для обеспечения хорошего сопряжения понура с экраном толщина его увеличивается по направлению к экрану. Сверху понур пригружается защитным слоем из несвязного грунта толщиной не менее 1...2 м.

Если понур укладывается на крупнозернистый грунт или сильно трещиноватую скалу, под ним устраивается обратный фильтр.

. Дренажные устройства. Дренажные устройства в теле земляной плотины предназначены для сбора и организованного отвода в нижний бьеф фильтрационного потока, недопущения его выхода на незащищенный низовой откос плотины и в зону, подверженную промерзанию, а также ускорения консолидации глинистых грунтов и уменьшения порового давления в теле плотины и основании.

Обычно дренаж состоит из двух частей: приемной, которая выполняется в виде обратного фильтра, и отводящей, выполняемой из камня, дренажных труб, пористого бетона и т.д. По длине плотины могут устраиваться дренажи различной конструкции. Наиболее распространенные конструкции дренажей тела земляных плотин приведены на рис.3.3.

Дренажная призма (банкет) устраивается чаще всего на русловых участках плотины. Превышение гребня дренажной призмы над максимальным уровнем воды в нижнем бьефе hs определяется с запасом на волнение и должно быть не менее 0,5 м. Минимальная ширина призмы поверху 1 м. Для предотвращения выноса фильтрационным потоком мелких частиц грунта тела плотины и основания в дренажную призму сопряжение ее с телом плотины и основанием выполняется в виде одного или нескольких слоев обратного фильтра.

Наслонный дренаж применяется, как правило, на участках плотины, перекрывающих затапливаемую пойму. Толщина наслонного дренажа назначается из условий производства работ, но не менее

t = 5 d 85 + tf (3.12)

где tf - толщина обратного фильтра, принимаемая не менее 20 см для каждого слоя.

Превышение гребня наслонного дренажа hs над максимальным уровнем НБ принимается как для дренажной призмы.

Трубчатый дренаж используется на тех участках плотины, где отсутствует вода в нижнем бьефе. Выполняется он из гончарных, перфорированных бетонных или асбестоцементных труб, в также труб из пористого бетона, уложенных с уклоном параллельно подошве низового откоса и обсыпанных обратным фильтром. Поперечное сечение дренажных труб определяется гидравлическим расчетом из условия обеспечения в них безнапорного движения воды. Минимальный диаметр дренажных труб 200 мм. По длине трубчатого дренажа через каждые 50...200 м устраиваются смотровые колодцы.

Сопряжение тела плотины с основанием, берегами и бетонными сооружениями. Для обеспечения надежного контакта тела плотины с основанием предусматриваются следующие мероприятия:

а) При скальном основании с поверхности удаляются аллювиальные отложения и верхний сильнотрещиноватый слой скалы. Крупные тектонические трещины очищаются и заделываются бетоном. Противофильтрационные устройства тела плотины врезаются в основание в виде зуба, а в грунте основания устраивается противофильтрационная завеса (глубина ее обычно равна (0,5..0,8)Н);

б) При нескальном основании удаляется верхний растительный слой грунта, пронизанный корневищами деревьев и кустарников (0,3 ...0,5 м). Сопряжения ядра или экрана с водонепроницаемым основанием выполняется в виде зуба. Если плотина располагается на водопроницаемом слое небольшой мощности, то сопряжение тела плотины или ее противофильтрационных устройств с водоупором осуществляется при помощи глубокого зуба, стенки, шпунта или инъекционной завесы. При значительной мощности водопроницаемого слоя могут выполняться шпунтовые ряды, буробетонные или траншейные стенки, инъекционные завесы или устраивают плотины с экраном и понуром. Противофильтрационные устройства в основании плотины всегда должны сопрягаться с противофильтрационными элементами тела плотины.

Сопряжение тела плотины с берегами осуществляется по наклонным плоскостям, при планировке которых необходимо избегать резких переломов и нависающих участков.

Для обеспечения хорошего контакта грунта тела плотины с бетонными сооружениями (плотины, водосбросы, здания ГЭС и т.д.) их примыкающим поверхностях придается уклон в сторону земляной плотины не более чем 10:1. Для борьбы с контактной фильтрацией сопряжение бетонных сооружений с земляной плотиной осуществляется при помощи противофильтрационных диафрагм из бетона, железобетона или металлического шпунта, врезающихся в тело плотины. Диафрагмы располагают в зоне противофильтрационных элементов, а в однородных плотинах - в пределах верхового клина или центральной части плотины.

**3. 2. Фильтрационные расчеты.**

Фильтрационные расчеты земляных плотин выполняются с целью определения положения депрессионной кривой, установления градиентов и скоростей фильтрационного потока и определения фильтрационного расхода.

Для выполнения этих расчетов плотина со всеми элементами вычерчивается на миллиметровой бумаге, устанавливаются коэффициенты фильтрации грунта основания (kос), тела плотины (kт) и противофильтрационного устройства, а также местоположение водоупора. За водоупор принимается грунт, соответствующий условию kт / kос 25. Расчеты выполняются для двух поперечных сечений плотины с различными конструкциями дренажных устройств: в русле (максимальная высота плотины и наличие воды в НБ) и на пойме (при отсутствии воды в НБ). В качестве расчетных уровней воды принимаются: в верхнем бьефе - НПУ; в нижнем бьефе (для руслового сечения) - максимально возможный уровень, но не более 0,2 Нпл (Нпл - высота плотины), т.к. результаты фильтрационных расчетов в дальнейшем будут использоваться для проверки устойчивости откосов плотины.

В соответствии с принятым типом плотины, конструкцией противофильтрационных и дренажных устройств выбирается расчетная схема плотины и соответствующий ей метод фильтрационного расчета. Расчетные схемы и методы приведены в литературе [1,2,4]. Фильтрационные расчеты выполняются на ЭВМ.

**3. 3. Расчеты устойчивости откосов.**

Целью расчета является определение минимальных коэффициентов запаса устойчивости откосов плотины для принятого поперечного профиля. Найденный минимальный коэффициент должен быть равным или большим (но не более чем на 10%) допустимого коэффициента запаса устойчивости откоса, принимаемого по табл. 3.9.

Расчеты устойчивости откосов земляных плотин всех классов выполняются для плоской задачи (на 1 п.м. длины плотины) по методам плоских или круглоцилиндрических поверхностей скольжения.

Таблица 3.9

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сочетание нагрузок | Значение [ K] для плотин класса | | | | | | |
| и воздействий | I | II | | III | IV | | |
| Основное | 1,25 | 1,2 | 1,15 | | | 1,10 |
| Особое | 1,1 | 1,1 | | 1,05 | 1,05 | | |

Расчет устойчивости экрана и защитного слоя. Этот расчет выполняется по методу плоских поверхностей скольжения, проходящих по контакту защитного слоя и экрана (проверка устойчивости защитного слоя) и по контакту экрана и тела плотины (проверка устойчивости экрана вместе с защитным слоем).

Коэффициент запаса устойчивости защитного слоя или экрана вместе с защитным слоем определяется как отношение пассивного ЕП и активного Еа давлений, действующих соответственно слева и справа от вертикали АВ (рис.3.4)

К = , (3.13)

Еа = G1 cosθ1 sinθ1 , (3.14)

ЕП = G1 cos2θ1tgϕ + G2tg(ϕ + θ2) + C(L1cosθ1 + L2cosθ2).(3.15)

Здесь G1 - вес защитного слоя (или экрана с защитным слоем)

справа от вертикали АВ;

θ1 - угол наклона защитного слоя или экрана к горизонту;

ϕ - угол внутреннего трения (не контакте двух грунтов принимается меньшее значение);

G2 - вес части защитного слоя (или экрана с защитным слоем) слева от вертикали АВ, дающий минимальное значение слагаемого G2tg(ϕ+2). Минимальное значение этого слагаемого определяется подбором, задаваясь различными значениями угла θ2 c интервалом 50, начиная c θ2 =0°;

С - сцепление (при расчете защитного слоя С =0);

L1 = BD - длина плоскости скольжения защитного слоя по экрану (или экрана вместе с защитным слоем по телу плотины);

L2 - длина основания защитного слоя (или экрана вместе с защитным слоем) слева от вертикали АB, соответствующая, минимальному значению слагаемого

G2tg(ϕ+2) .

Если G2tg(ϕ+2)min при θ2  = 0, то L2 = ВС.

Расчет устойчивости низового откоса. Расчет устойчивости низового откоса плотины выполняется по методу круглоцилиндрических поверхностей скольжения для основного расчетного случая, соответствующего установившейся фильтрации в теле плотины, когда уровень воды в BБ равен НПУ, а в нижнем бьефе - максимально возможному уровню, но не более 0,2 Нпл.

На миллиметровой бумаге в масштабе вычерчивается поперечное сечение плотины в русловой ее части (рис. 3.5), наносится кривая депрессии, а низовой откос с переменным заложением или при наличии на нем берм усредняется. Из середины этого откоса (точка "с") проводится вертикаль СД и линия СЕ под углом 850 к откосу. Из точек "А" и "В" как из центров очерчиваются две дуги окружности с радиусом R0, которые пересекаются в точке "0". Значение радиуса определяется как

R0 =  (3.16)

Величины RH и RB определяются по табл. 3.10 в долях высота плотины.

Проведя из точки "с" дугу радиусом r = ОС/2 до пересечения с линиями СД и СЕ, находится многоугольник Oedba, в котором располагаются центры наиболее опасных поверхностей скольжения.

Расчетная кривая скольжения радиусом R должна пересекать гребень плотины и захватывать часть основания плотины, если в основании расположен нескальный грунт. В случае скального грунта основания кривая скольжения должна касаться его поверхности.

Таблица 3.10

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Значения радиусов RH и RB | Заложение откоса ,м | | | | | |
|  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | |
| RH/Hпл | 1,1 | 1,4 | 1.9 | 2,5 | 3,3 | 4,3 | |
| RB/Hпл | 2,2 | 2,5 | 3,2 | 4,7 | 5,8 | 6,7 |

Выделенная призма обрушения разбивается на "n" отсеков шириной b = 0,1 R. Разбивку на отсеки начинают с нулевого, середина которого располагается на вертикали, проходящей через центр кривой скольжения,

Коэффициент запаса устойчивости низового откоса определяется по формуле А.А.Ничипоровича

Ks  = , (3.17)

где Gi  - вес грунта и воды в пределах i -го отсека;

Рi - равнодействующая давления воды по подошве i -го отсека;

ϕi - угол внутреннего трения грунта i -го отсека;

αi - угол между вертикалью и линией, соединяющей центр кривой скольжения с серединой i -го отсека;

ci - удельное сцепление грунта i-го отсека по линия кривой скольжения

В общем случае, если в пределах рассматриваемого отсека проходит кривая депрессии, а над отсеком имеется столб воды, вес его определяется по формуле

Gi = (γi +γ нiт.п. +  + hi) bi , (3.18)

где  - высота части отсека, от линии откоса до кривой депрессии, измеренная по его середине;

 - высота части отсека, насыщенного водой (от подошвы плотины до кривой депрессии);

 -высота части отсека от кривой скольжения до подошвы плотины;

hi - высота столба воды над отсеком;

, γ нiт.п.,  - удельный вес грунта естественной влажности и грунта тела плотины и основания насыщенного водой ;

 - удельный вес воды.

Равнодействующая давления воды по подошве отсека определяется как сумма взвешивающего, фильтрационного и порового давления

Рi=PВЗ+РФ+РК  (3.19)

Поровое давление РК необходимо учитывать при расчетах устойчивости откосов плотин высотой более 40м, а также при расчетах плотин высотой менее 40 м в следующих случаях: при намыве грунта или отсыпке его в воду, при возведении плотин из маловодопроницаемого грунта, при наличии в основании плотины глинистых грунтов мягкопластичной, текучепластичной и текучей консистенции.

При расчете устойчивости низового откоса в условиях установившейся фильтрации равнодействующая давления воды будет состоять из фильтрационного и взвешивающего давления и определяется по формуле:

Рi =( + )bi/cosαi (3.20)

Расчеты по определению коэффициента запаса устойчивости удобно вести в табличной форме следующего вида.

Таблица 3.11

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  отсеков | sin α | cos α | м | м | м | h,,  м | G,  кН | Pi,  кН | tgϕ | (Gcos α- P)tgϕ  кН | C,  кПа | , кН | Gsin α  кН |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|  | | | | | | | | | | | | | |

Σ(11) Σ(13)Σ(14)

Примечание. При b = 0,1 R величина sin α равна порядковому номеру отсека, деленному на десять.

cos α =  (3.21)

Суммы граф 11, 13, 14 дают соответствующие члены формулы (3.17).

Расчеты устойчивости низового откоса для одной кривой скольжения выполняются вручную, а нахождение минимального значения осуществляется на ЭВМ.

Расчет устойчивости верхового откоса. Расчеты устойчивости верховых откосов однородных земляных плотин и плотин с центральным ядром выполняются тем же методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения, который используется для расчета устойчивости низовых откосов. В качестве основного расчетного принимается случай максимально возможного снижения уровня воды в водохранилище с наибольшей возможной скоростью с учетом сил давления воды при неустановившейся фильтрации.

Коэффициент запаса устойчивости верхового откоса плотин определяется по формуле (3.17), в которой равнодействующая дав-

ления воды по подошве отсека согласно предложению Бишопа вычисляется, как

Рi = (  + hi  - hiru) γw  , (3.22)

где ru - коэффициент порового давления, определяемый по графику (рис.3.6.) в зависимости от плотности скелета грунта и пределов пластичности и текучести.

В этом случае при определении веса отсеков принимается удельный вес грунта, насыщенного водой, а вес столба воды над отсеками не учитывается.

**4. Водосбросное сооружение.**

В составе низко- и средненапорных гидроузлов с земляной плотиной могут устраиваться открытые и закрытые (трубчатые) водосбросные сооружения.

Открытые водосбросные сооружения могут располагаться в теле земляной плотины (это водосбросные плотины, которые здесь не рассматриваются, т.к. они являются предметом второго курсового проекта по гидротехническим сооружениям) и вне теле плотин (на берегу) - это береговые водосбросы.

Выбор типа водосбросного сооружения зависит от типа плотины и напора на ней, величины паводковых и строительных расходов, топографических, геологических и гидрологических условий района строительства, общей схемы организации работ и пропуска строительных расходов и др., и осуществляется на основании технико-экономического сравнения вариантов.

Береговые водосбросы применяются в составе гидроузлов низкого и среднего напоров с грунтовой плотиной при паводковых расходах, не превышающих 5000 м3/с. При тех же условиях и небольших паводковых расходах (до 100 м3/с, иногда больше), а также узких створах целесообразно применение трубчатых башенных водосбросов, т.к. они используются первоначально для пропуска строительных расходов, а в период эксплуатации они служат также и для смыва отложившихся наносов, и для опорожнения водохранилища.

**Башенные водосбросы.**

Башенные водосбросы (рис. 4.1а) состоят из: головной части (башни), одной или нескольких труб и концевого участка в виде водобойного колодца или носка-трамплина, который используется для отброса струи и применяется обычно в случае скального основания. Ось башенного водосброса трассируется по возможности перпендикулярно к оси плотины в русле или в пониженных местах поймы.

В башне размещаются ремонтные и рабочие затворы, перекрывающие входные сеченая труб, сороудерживающие решетки и механизмы для маневрирования ими, а также служебные помещения. Сечение башни в плане может быть круглым или прямоугольным. Размеры ее зависят от диаметра трубопроводов. Толщина стенок башни обычно уменьшается снизу вверх, но она не должна быть меньше 20 см.

Размещать башню можно в зоне подошвы верхового откоса плотины, в средней его части или у гребня плотины, но всегда она должна располагаться на прочном материковом грунте.

Трубы малого диаметра могут быть металлическими или железобетонными. Металлические трубопроводы чаще всего укладываются внутри железобетонных галерей, которые используются в период возведения гидроузла для пропуска строительных расходов.

Снаружи металлические трубопроводы покрываются антикоррозионным покрытием.

Трубы больших поперечных сечений выполняются из железобетона с круглыми, овальными или прямоугольными отверстиями. При устройстве нескольких труб они объединяются в общую многоочковую конструкцию. Внешние поверхности железобетонных труб делаются вертикальными .или наклонными, что целесообразнее с точки зрения сопряжения их с телом плотины. Трубы должны располагаться на плотном грунте основания на уровне подошвы плотины или ниже ее, в траншее. По длине трубы разрезаются температурно-осадочными швами на секции длиной не более I0...15 м. Для предотвращения фильтрации воды через швы они уплотняются шпонками, а для борьбы с контактной фильтрацией воды вдоль трубы, в местах стыков секций устанавливаются противофильтрационные ребра (диафрагмы).

Подходной участок к башенному водосбросу выполняется в виде канала, рассчитанного на пропуск строительного расхода. Дно и откосы его крепятся каменной неброской или бетонными плитами в зависимости от скорости течения.

Пропускная способность напорных башенных водосбросов (Q) определяется по формуле:

Q = μ w , (4.1)

где w - площадь выходного поперечного сечения трубы;

- коэффициент расхода;

g - ускорение свободного падения;

Нq - действующий напор, принимаемый равным разности между расчетным уровнем воды в верхнем бьефе (НПУ) и центром тяжести выходного сечения трубы при незатопленном истечении, и разности НПУ и уровня нижнего бьефа, соответствующего пропуску расчетного расхода, - при затопленном выходном отверстии.

Коэффициент расхода напорного башенного водосброса

μ =  , (4.2)

где  - сумма коэффициентов сопротивлений местных и по длине.

В глубинных водосбросах постоянного поперечного сечения, работающих в напорном режиме, надлежит учитывать следующие виды местных сопротивлений:

- на вход (коэффициент сопротивления для прямоугольного входа ξвх  = 0,42, при криволинейном очертании ( по радиусу) - 0,10, для определения ξвх  других форм оголовков имеются специальные графики [10];

- в пазах плоских затворов при относительной ширине паза

bп/ b <0,1 следует приниматьξп = 0,05, при bп/ b > 0,2 ξп = 0,1. Здесь b - ширина водосбросного отверстия на участке размещения затворов, bп  - ширина паза. Для двух и более последовательно расположенных пазов затворов коэффициенты сопротивлений следует суммировать - на сороудерживающей решетке

ξр = β( )4/3sin α (4.3)

где s - толщина стержня решетки;

bc - величина просвета между стержнями;

β - коэффициент, зависящий от формы стержней ( при круглой форме стержней β = 1,79);

α - угол наклона решетки к горизонту.

Если глубинные водосбросы имеют повороты, сужение, расширение и т.д. коэффициент сопротивления для них определяется по [10].

Коэффициент сопротивления по длине

ξдл. = , (4.4)

где l - длина трубы;

R =  - гидравлический радиус;

χ- смоченный параметр.

Для круглого сечения R = , где d - диаметр трубы.

С - коэффициент Шези, может быть определен по формуле Манинга

С =  , (4.5)

где n - коэффициент шероховатости (для бетонной поверхности , он может быть принят равным 0,012 [10]).

Гидравлический расчет башенного водосброса выполняется в следующем порядке:

На поперечном разрезе земляной плотины выбирают местоположение башни и определяют длину трубы.

Задаются формой и размерами поперечного сечения трубы, ее продольным уклоном и по формуле Шези

Qтр. = wс , (4.6)

находят пропускную способность одной трубы.

Здесь w - площадь живого сечения одной трубы;

С - коэффициент Шези;

R - гидравлический радиус;

J - уклон дна трубы.

Определяют необходимое количество труб для пропуска в безнапорном режиме строительного расхода

n =  (4.7)

По зависимости (4.1) проверяют пропуск расчетного паводкового расхода через найденное ( по условиям пропуска строительного расхода) количество труб. Если принятого количества труб и их размеров оказывается недостаточно для пропуска расчетного паводкового расхода, то увеличивают либо размер поперечного сечения трубы, либо количество труб.

**Береговые открытые водосбросы.**

Открытые береговые водосбросы состоят из подводящего канала, головной части в виде водосливной плотины, регулирующей сбрасываемый расход, сопрягающего сооружения и отводящего канала. Иногда между водосливной плотиной и сопрягающим сооружением устраивается промежуточный канал. Ось водосбросного тракта стремятся трассировать перпендикулярно горизонталям по возможности прямолинейной, что дает минимальную его длину.

Трасса водосброса может быть криволинейной, она может проходить в пределах плеча плотины или вне ее.

По выбранной трассе водосбросного тракта на миллиметровой бумаге в масштабе строится продольный профиль дневной поверхности. На профиль наносятся все элементы водосброса таким образом, чтобы основания всех сооружений располагались на прочном коренном грунте при минимальных объемах земляных работ по устройству котлованов под сооружения водосброса.

Подводящий канал должен обеспечивать плавный подвод воды к водосливу. В плане он обычно имеет криволинейное очертание. При больших глубинах канал может выполнятся с горизонтальным дном, а при малых глубинах - с обратным уклоном, что обеспечивает более равномерный и плавный вход в него воды. Поперечное сечение подводящего канала трапецеидальное с заложением откосов от 1,5 до 2,5 в нескальных грунтах и от 0,5 до вертикальных - в скальных. Если скорость потока в канале превышают допустимые по размыву, дно и откосы его укрепляются каменной наброской или бетонными плитами.

Головная часть представляет собой водосливную плотину с широким порогом прямолинейного очертания в плане. Водосливной фронт плотины делится быками на отдельные водосливные отверстия, перекрываемые рабочими и ремонтными затворами. Стандартные размеры водосливных отверстий приведены в табл.4.1.

Таблица 4.1

|  |  |
| --- | --- |
| Пролет (ширина)  отверстия,  b, м | 0,4 0,6 0,8 1 1,25 1,5 1,75 2 2,25 3 3,5 4 4,5 5 6 7 8 10 12 14 16 18 20 22 24 27 30 |
| Высота отверстия, H, м | 0,6 0,8 1 1,25 1,5 1,75 2 2,5 3 3,5 4 4,5 5 5,5 6 6,5 7 7,5 8 8,5 9 10 11 12 13 14 15 16 |

Гидравлический расчет водосливной плотины с широким порогом состоит в определении размеров (ширины и высоты) водосливных отверстий, их количества и проверки пропускной способности принятых размеров водосливных отверстий по формуле:

Q = σn εmnb (4.8)

где σn - коэффициент подтопления водослива;

ε- коэффициент бокового сжатия;

m - коэффициент расхода водослива;

H0 - напор на водосливе с учетом скорости подхода;

g - ускорение свободного падения;

n - количество водосливных отверстий;

b - ширина водосливного отверстия.

В первом приближении принимают σn = 1,0, ε = 1,0 ,

m = 0,32...0,38 и H0  = H. Величиной H задаются в пределах 2...5 м в соответствии со стандартными размерами отверстий (табл. 4.1).

Подставляя в формулу (4.8) ориентировочные значения σ, ε, m и H определяют величину n.b. По найденной величине, в соответствии со стандартными размерами отверстий (табл. 4.1) и учитывая, что по условиям эксплуатации количество водосливных отверстий следует принимать не менее трех назначают ширину водосливного отверстия и их количество.

После определения высоты (H), ширины (b) и количества водосливных отверстий производится проверка пропускной способности проектируемой плотины.

Для этого необходимо уточнить значения H0, m, ε и σn.

Напор с учетом скорости подхода определяется по зависимости

Н0 = Н + , (4.9)

где g - ускорение силы тяжести, принимаемое равным 9,81 м2/с;

α - коэффициент Кориолиса, равный 1...1,1;

V0 - скорость подхода, равная средней скорости в ВВ в сечении, отстоящем от напорной грани водослива на расстоянии (3...5) Н.

Если непосредственно за головной частью устраивается сопрягающее сооружение (быстроток, перепад и т.д.), то водосливная плотина с широким порогом будет неподтоплена и коэффициент подтопления σn = 1.

Коэффициент бокового сжатия для водосливов с широким порогом рекомендуется определять по А.Р. Березинскому [10]

ε = 1 - , (4.10)

где р - высота водослива;

α = 0,1 - при плавном очертании быков и устоев;

α = 0,19 - при их прямоугольном очертании;

b - ширина водосливного отверстия;

d - толщина бычка.

Толщина неразрезного бычка

d = d0 + 2n, (4.11)

здесь d0 ≥ 0,8 м - толщина суженного пазами перешейка быка;

n =  - глубина паза рабочих затворов;

m = ( ) b - ширина паза рабочих затворов.

В случае разрезного быка толщина его, вычисления по (4.11), увеличивается на 0,5...1,0м.

Формула (4.10) справедлива при

> 0, 2 и <3, при < 2 следует принимать  = 0,2 , а при > 3 - принимать  = 3.

Для водоемов с широким порогом при 2,5 ≤  ≤10 и

0 ≤  ≤ 3 коэффициент расхода определяется по А.Р.Березинскому [10]:

- при закругленном входном ребре

m = 0,36 + 0,01 (4.12)

- при прямоугольном входном ребре

m = 0,32 + 0,01 (4.13)

Уточнив таким образом все выше перечисленные параметры, производят проверку пропускной способности принятых размеров водосливных отверстий

Q = σnmεnb H03/2≥ Qр.п. (4.14)

Если сопрягающее сооружения располагается непосредственно за водосливной плотиной (промежуточный канал отсутствует), то устройство для гашения кинетической энергии сбрасываемого потока не устраивается. При наличии промежуточного канала необходимо выполнить расчет сопряжения бьефов (за бытовую глубину в НБ водослива принимается расчетная глубина воды в канале) и предусмотреть устройства для гашения энергии сбрасываемого потока.

Промежуточный канал проектируется в том случае, когда продольный профиль дневной поверхности по оси водосбросного тракта имеет небольшой уклон и устройство сопрягающего сооружения непосредственно за водосливом ведет к резкому увеличению объемов земляных работ в котлованах сооружений. Уклон дна канала принимается меньше критического, расчет выполняется по формулам равномерного движения воды. Поперечное сечение промежуточного канала трапецеидальное, дно и откосы которого могут крепиться каменной неброской или бетонными плитами в зависимости от скорости потока и геологических условий.

Сопрягающее сооружение в береговых открытых водосбросах низко- и cредненапорных гидроузлов устраиваются в виде быстротоков, быстротоков с усиленной шероховатостью, консольных перепадов и многоступенчатых перепадов.

4.2.1. Быстроток выполняется в виде бетонного или железобетонного лотка с прямоугольным, трапецеидальным или полигональным поперечным сечением (рис. 4.1б). Уклон дна быстротока принимается всегда больше критического и наиболее часто задается в пределах 0,05...0,25. Ширина быстротока может быть постоянной или переменной, что обуславливается как условиями гашения энергии в нижнем бьефе, так и возможностью некоторого сокращения объемов работ.

В быстротоках небольшой ширины на нескальном основании стенки и днища представляют собой монолитную неразрезную конструкцию докового типа. В широких быстротоках боковые стенки отрезаются от днища деформационными швами. Толщина днища принимается 0,3... 0,8 м, стенки и днище по длине лотка разрезаются деформационными швами через 20...25 м.

В прочных скальных породах бетонная облицовка не устраивается, а в слабых скальных и полускальных породах дно и откосы быстротока покрываются заанкеренной бетонной облицовкой толщиной 0,2... 0,3 м .

В плане быстротокам необходимо придавать прямолинейное очертание, но иногда для уменьшения объемов строительных работ устpaивают быстротоки с виражом. На криволинейном участке дну быстротока придается поперечный уклон, вогнутая боковая стенка его делается большей высоты, чем выпуклая.

В быстротоках большой ширины, а также на криволинейных участках без поперечного уклона дна, для обеспечения устойчивости потока в поперечном направлении устраивают продольные раздельные стенки.

При высоком положении уровней фильтрационного потока по трассе быстротока устраивается дренаж под днищем и за боковыми стенками. Чаще всего применяется трубчатый дренаж.

Превышение боковых стенок быстротока над уровнем воды в нем (кривая свободной поверхности воды в быстротоке устанавливается гидравлическим расчетом) принимается по табл. 4.2.

Таблица 4.2

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Расход в быстротоке, м3/с | 1 | 1…10 | 10…30 | 30…50 | 50…100 |
| Превышение боковых стен над уровнем воды, см | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |

Гидравлический расчет быстротока при заданных параметрах поперечного сечения, длины и уклона дна заключается в построении кривой свободной поверхности потока и определении максимального значения его скорости, а также расчете сопряжения бьефов и выполняется в следующем порядке:

Глубина воды на входе в быстроток (h1) принимается равной критической глубине

h1 = hкр = , (4.15)

где α = 1...1,1;

Q - расход в быстротоке;

bб  - ширина быстротока.

2. Глубина воды на выходе из быстротока определяется из уравнения Б.А. Бахметьева

 = η2  - η1 - (1 - j)[ ϕ(η2) - ϕ(η1)], (4.16)

где i0 - уклон дна быстротока;

l - длина быстротока;

h0 - нормальная глубина (при равномерном движении потока на быстротоке);

η1 =  , η2 =  - относительные глубины в начале и в конце быстротока;

ϕ(η1), ϕ(η2) - функции относительных глубин, определяемые по таблице 9.3 с 111 [6];

j = 

- смоченный периметр.

3. Подбором, задаваясь рядом значений глубины потока на быстротоке, определяют нормальную глубину из условия равенства модуля расхода, вычисленного по зависимостям

k =  (4.17)

k = wc (4.18)

Величина j определяется по средним значениям c, bб и χ в начале и в конце быстротока, принимая в первом приближении глубину в конце быстротока h2  = h0

j =  (4.19)

Гидравлический показатель русла х определяется из соотношения модулей расхода и глубин в начале и в конце быстротока

( , (4.20)

По таблице 9.3 [6] определяются значение функции ϕ(η1)

и все найденные величины подставляются в уравнение (4.16), решая подбором которое определяют значение функции ϕ(η2).

7. По найденному значению ϕ(η2) определяется относительная глубина η2 и находится глубина воды в конце быстротока h2.

8. Максимальная скорость в конце быстротока определяется по зависимости

Vmax = , (4.21)

величина которой не должна превышать допустимого значения, равного 14...15м/с.

9.Глубина в конце быстротока принимается в качестве первой сопряженной (h2 = h') и определяется вторая сопряженная глубина

 (4.22)

Если , где hнб -глубина воды в нижнем бьефе при пропуске расчетного паводкового расхода, (определяется по кривой связи Q = f(h), то гидравлический прыжок будет затоплен и не требуется устанавливать гасители кинетической энергии потока на водобое. Если , то для затопления гидравлического прыжка необходимо запроектировать гаситель кинетической энергии потока (водобойный колодец или стенку).

Глубина водобойного колодца определяется как

dк = - Δz, (4.23)

где Δz - перепад, образующийся при выходе потока из колодца в НБ. На практике величиной Δz можно пренебречь, выполняя расчет с "запасом". Длина водобойного колодца, когда струя входит в колодец не отрываясь от сливной грани (без уступа), определяется по формуле

lк = (0,75...1)lпp , (4.24)

а длина водобоя при отсутствии на нем гасителей кинетической энергии потока равна

l в= (1...1,25)lпp , (4.25)

где lпр - длина гидравлического прыжка

lпр = 5( - h2), (4.26)

На скальных грунтах при значительных скоростях в конце быстротока чаще всего применяются трамплины для отброса струи в НБ.

Быстроток с усиленной шероховатостью. В том случае, когда скорость потока на быстротоке превышает допустимую, а уменьшение его уклона нецелесообразно, устраивается быстроток с усиленной шероховатостью. Искусственная шероховатость выполняется в виде поперечных ребер, прямолинейных, ломаных или зигзагообразных, устраиваемых на дне, а иногда и на боковых стенках лотка быстротока.

Расчет ребристой донной шероховатости квадратного сечения (Δ×Δ) с расстояниями между осями ребер δ = 8Δ и при iкр < i0<0,6 выполняется по методу О.М.Айвазяна. Расчет, ведется для условий равномерного движения по зависимостям:

1 -  = i0 (4.27)

= 0,04 + 2,29i02  + Ki00,1, (4.28)

где Q - расчетный расход,

V- скорость потока на быстротоке;

Δ - высота ребер усиленной шероховатости;

i0  - уклон дна быстротока;

w,χ ,R - соответственно площадь живого сечения, смоченный

периметр и гидравлический радиус потока;

К - опытный коэффициент, зависящий от типа шероховатости (К = 0,88 - для прямолинейных ребер; К = 1,85- для зигзагообразных ребер).

Порядок расчета. Задаются значения скорости потока на быстротоке для условий его равномерного движения v = 6... 8 м/с. По формуле (4.27) находится глубина потока, а по (4.28) вычисляется высота ребер искусственной шероховатости.

Консольный перепад. В состав консольного перепада входят лоток быстротока и консольная часть, служащая для отброса

струи воды на безопасное расстояние с точки зрения подмыва сооружения (рис.4.2б). Чаще всего консоль располагается горизонтально, иногда ей придается обратный уклон от 00 до 150. Длина обычно 1...2 м. В зависимости от геологических условий и размеров консоли конструкция ее опор может быть свайной, стоечной или рамной. Подошва крайних опор назначается ниже дна воронки размыва.

Гидравлический расчет консольного перепада заключается в расчете быстротока, определении дальности полета струи и размеров воронки размыва.

Дальность полета струи при горизонтальной консоли

L1 = 0,45ϕV, (4.29)

где ϕ - коэффициент скорости;

h - глубина воды в конце консоли (принимается равной глубине, вычисленной в конце быстротока h2);

V - скорость в конце быстротока;

р - высота падения струи.

В случае если консоль имеет обратный уклон, дальность полета струи

l1 = ϕ, (4.30)

где β - угол наклона консоли к горизонту.

Скорость входа падающей струи в воду воронки размыва

V0 = , (4.31)

где Vx, Vy  - горизонтальная и вертикальная составляющие скорости входа в воронку размыва, м/с.

Горизонтальная составляющая определяется по формуле

Vx = ϕV, (4.32)

а вертикальная - по формуле

Vу = ϕ. (4.33)

Угол наклона струи, входящей в воронку размыва, к горизонту

tgα = Vу/Vх = . (4.34)

Длина растекания падающей струи в воронке размыва

L = 1,4qlg, (4.35)

где q - удельный расход в месте падения струи в воду воронки размыва, м2/с; Vдоп  - допустимая скорость для грунта в воронке размыва, м/c; К = 0,7...0,8 - коэффициент уменьшения допускаемой скорости.

Наибольшая глубина воды в воронке размыва

t = АКр =  , (4.36)

где А - коэффициент аэрации;

Кр - коэффициент размыва.

Коэффициент аэрации в зависимости от глубины воды (h) и скорости (V) в конце консоли принимается по таблице 4.3.

Коэффициент аэрации А

Таблица 4.3

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| h,м | Значения А при V, м/c | | | | |
|  | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 0,2 | 0,70 | 0,64 | 0,62 | 0,61 | 0,60 |
| 0,5 | 0,88 | 0,71 | 0,66 | 0,63 | 0,52 |
| 0,7 | 1 | 0,90 | 0,70 | 0,66 | 0,64 |

Коэффициент размыва в зависимости от рода грунта и угла наклона струи, входящей в воронку размыва, принимается по таблице 4.4.

Коэффициент размыва Кр

Таблица 4.4.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Род грунта | Значения Кр при α0 | | | | | |
|  | 0 | 12 | 25 | 40 | 60 | 90 |
| Очень слабые грунты (плывуны) | 1,4 | 1,8 | 2,4 | 2,8 | 3,3 | 4,5 |
| Прочие грунты и скала (после длительного размыва) | 1,4 | 1,7 | 2,0 | 2,4 | 2,7 | 3,3 |

Глубина воронки размыва (от дна отводящего канала)

t1 = t – hНБ, (4.37)

4.2.4. Многоступенчатый перепад устраивается при значительных (более 0,25) уклонах местности по трассе водосброса. Многоступенчатый перепад представляет собой ряд ступеней из одинаковых по размерам колодцев, образованных продольными (боковыми) и поперечными (водобойными) стенками (рис.4.2а). Размеры колодцев и высоты водобойных стенок определяются на основании гидравлического расчета из условия полного гашения энергии потока.

Высота ступеней обычно назначается 2...4 м. Для лучшего гашения энергии потока дну колодца может придаваться обратный уклон.

На нескальных и полускальных грунтах продольные и. поперечные стенки отделяются от водобойной плиты вертикальными деформационными швами. Все швы оборудуются противофильтрационными уплотнениями. Толщина водобойной плиты и стенок определяется расчетам на устойчивость, предварительно назначая их в соответствии со следующими рекомендациями:

водобойная плита - 0, 5...1,0 м;

продольная стенка: поверху - 0,3...0,7 м;

понизу - 1...2 м;

водобойная стенка: поверху - 0,5...0,7 м

понизу - 1,2...2,0 м.

В скальных породах водобойные плиты могут не устраиваться или может выполняться выравнивающая облицовка толщиной 0,3…0,4 м.

В многоступенчатых перепадах гидравлический расчет (определение длины ступени и высоты водобойной стенки) выполняется только для первой, второй и последней ступеней (размеры всех остальных ступеней принимаются такими же как, размеры второй ступени) в следующей последовательности:

Глубина на ступени в сжатом сечении (h1) определяется подбором по формуле

Q = ϕh1b (4.38)

и принимается в качестве первой сопряженной глубины 

где Q - расчетный расход;

b - ширина перепада;

Р - высота ступени перепада;

Н0  - напор на ступени с учетом скорости подхода определяется по (4.4)

ϕ - коэффициент скорости, принимаемый в зависимости от высоты ступени по таблице 4.5

Таблица4.5

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Р,м | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ϕ | 0,97...0,96 | 0,95...0,91 | 0,91...0,88 | 0,88...0,86 | 0,86...0,85 |

Сопряженную с() глубину () находят по формуле (4.22)

Глубина воды над порогом водослива в начале следующей ступени (H1) определяется как

H1 = H0 - , (4.39)

где H3/20 =  (4.40)

здесь: V0 =  - скорость подхода;

ε = 0,97 - коэффициент бокового сжатия потока;

М = m = 1,62

Глубина водобойного колодца на ступене равна

d =  - H1 (4.41)

5. Длина ступени перепада (водобойного колодца) равна

L = l1 + lпр, (4.42)

где дальность полета струи

l1 = ϕ. (4.43)

lпр  - длина прыжка, определяемая по формуле (4.26).

При расчете последней ступени перепада глубина водобойного колодца определяется по зависимости (4.23), а длина водобоя по (4.24) и (4.25).

Отводящий канал устраивается между сопрягающим сооружением и руслом реки. Канал выполняется в выемке таким образом, чтобы дно его сопрягалось с дном реки. Дно отводящего канала может быть горизонтальным или ему может придаваться уклон меньше критического. Гидравлический расчет канала производится по формулам равномерного движения воды. Если скорости потока в канале превышают допустимые по размыву, дно и откосы его укрепляются.

**Краткие соображения по пропуску строительных расходов**

Вопросы пропуска речных вод, льда, рыбы, обеспечения судоходства в период строительства гидроузла играют важную роль в выборе типов и конструкций сооружений, их компоновки и очередности возведения. В практике гидротехнического строительства используются три основных способа пропуска строительных расходов:

1. Без отвода реки из ее бытового русла, в котором располагаются основные бетонные сооружения гидроузла.

2. С отводом реки в сторону и пропуском ее по каналу, туннелю или трубам в обход стройплощадки.

3. Комбинированный метод, когда часть основных сооружений возводится без отвода реки в сторону, а другая часть - с отводом.

**Приложение 1**

Осредненные значения физико-механических характеристик

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Грунт | Плотность грунта, | Коэффи-  циент | Порис- тость | Удельное сцепление c, кПа | | Угол внутреннего  трения грунта ϕ | | Коэффициент филь- |
|  | г/см3 | пористости ε | n | естеств. влажности | насыщенного водой | естеств. влажности | насыщенного водой | трации  , см/с |
| Глина | 2,71-2,76 | 0,55-1,05 | 0,35-0,50 | 81-36  57-32  45-29 | 35-20 | 21-14  18-11  15-7 | 16-12 | 10-7 |
| Суглинок | 2,69-2,73 | 0,45-1,05 | 0,35-0,45 | 47-19  39-15  25-12 | 30-15 | 26-20  24-17  19-12 | 20-15 | 10-7-10-5 |
| Супесь | 2,69-2,73 | 0,45-0,75 | 0,30-0,45 | 15-8  13-3 | 5-3 | 30-27  28-21 | 23-20 | 10-6-10-3 |
| Песок:  пылеватый | 2,70 | 0,45-0,75 | 0,38-0,44 | 8-6 | 6-2 | 36-26 | 30-24 | 10-5-10-3 |
| мелкий | 2,66 | 0,45-0,75 | 0,38-0,43 | 6-2 | 4-2 | 38-28 | 32-27 | 10-4-10-2 |
| средний | 2,66 | 0,45-0,65 | 0,35-0,41 | 3-1 | 2-1 | 40-35 | 37-34 | 10-3-10-2 |
| крупный  и гравелистый | 2,65 | 0,45-0,55 | 0,35-0,41 | 2-1 | 1 | 43-38 | 38-35 | 10-2-10-1 |

**Список литературы**

Гидротехнические сооружения/ Под ред. М.М.Гришина.- Ч.1. М.: Высшая школа, 1979.- 615 с.

Гидротехнические сооружения/ Под ред. М.М.Гришина.- Ч.2. М.: Высшая школа, 1979.- 336 с.

Гидротехнические сооружения: Справочник проектировщика/ Под ред. В.П.Недриги.-М.: Стройиздат, 1983.- 543 с.

Р о з а н о в Н.Н. Плотины из грунтовых материалов.-М.: Стройиздат, 1983.- 296 с.

СниП 2.06.05-84. Плотины из грунтовых материалов.-М.: Стройиздат, 1984.- 31 с.

Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: Справочное пособие/ Под ред. Д.Д.Лаппо.-М.: Энергоатомиздат, 1988.- 624 с.

Ч у г а е в Р.Р. Гидротехнические сооружения.-Ч.1. Глухие плотины.-М.: Агропромиздат, 1985.- 318 с.

Гидротехнические сооружения/ Под ред. Н.Р.Розанова.-М.: Агропромиздат, 1985.- 432 с.

СниП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).-М.: Стройиздат, 1982.- 40 с.

10. Справочник по гидравлическим расчетам./ Под ред. П.Г.Киселева.- М.: Энергия, 1972.- 312 с.