

ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет»

Факультет энергетики и природопользования

Кафедра природообустройства и водопользования

В.Н. Кровоускова

Учебно-методическое пособие

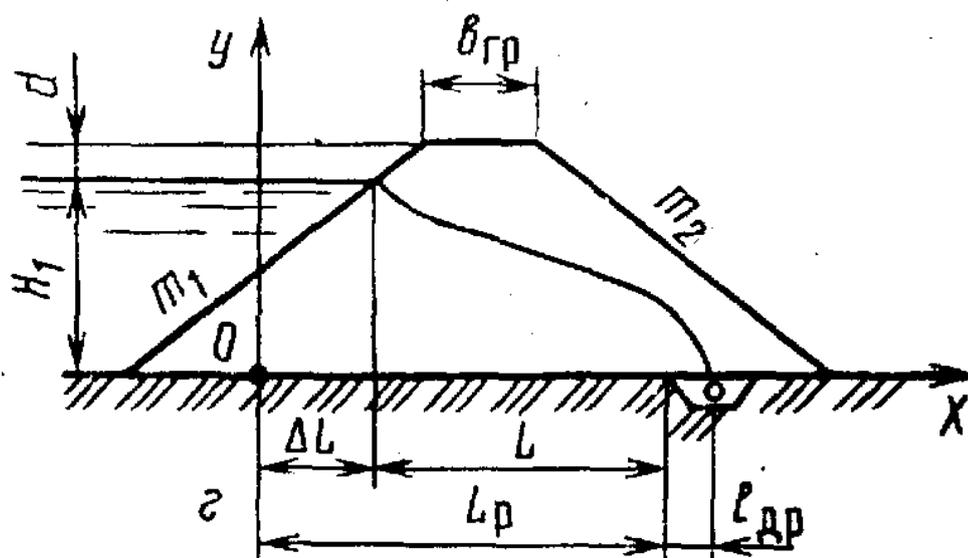
к выполнению курсовой работы

по курсу «Гидротехнические сооружения»

для студентов очной и заочной форм обучения

по направлению подготовки бакалавра

20.03.02 - Природообустройство и водопользование



Брянск – 2015

УДК 626.8(07)

ББК 38.77

К 82

Кровопускова В.Н.. *Учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы по курсу «Гидротехнические сооружения»* для студентов очной и заочной форм обучения. / В.Н. Кровопускова. – Брянск: Издательство Брянский ГАУ, 2015 - 40 с.

В учебно-методическом пособии изложены методические рекомендации к выполнению курсовой работы по дисциплине «Гидротехнические сооружения», составлены задания и основные теоретические вопросы курса для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки бакалавра 20.03.02 «Природообустройство и водопользование»

Рецензенты: К.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и природообустройства (БГИТУ) Е.А. Мельникова

Рекомендовано к изданию учебно-методической комиссией факультета энергетики и природопользования от 16 сентября 2015, протокол №1.

© Брянский ГАУ, 2015

©В.Н. Кровопускова, 2015

Содержание

Введение

- 1 Общие сведения о курсовой работе
- 2 Методические рекомендации по выполнению курсовой работы
 - 2.1 Грунтовые плотины. Область применения и условия работы
 - 2.2 Обоснования выбора створа и типа грунтовой плотины
 - 2.3 Конструирование поперечного профиля плотины
 - 2.4 Определение отметки гребня плотины
 - 2.5 Назначение размеров и отметок берм
 - 2.6 Дренажи грунтовых плотин
 - 2.6.1 Обратные фильтры дренажей
 - 2.7 Противофильтрационные устройства грунтовых плотин
 - 2.7.1 Противофильтрационные устройства в теле плотины
 - 2.7.2 Противофильтрационные устройства в основании плотины
 - 2.8 Фильтрационные расчеты плотин
 - 2.9 Фильтрационная прочность грунтов тела плотины и её основания
- Список литературы

Введение

Водная эрозия вызывает смыв плодородного слоя почвы, рост оврагов и резкое снижение урожайности сельскохозяйственных культур на этих площадях.

Развитие водной эрозии тесно связано с рельефом местности. Обычно разрушение почвы начинается при наличии уклона более 1-2⁰. Особенно сильно подвержены эрозионным процессам пойменные земли, на которых ведется нерациональная хозяйственная деятельность. Продольная распашка склонов речной долины, вырубка прирусловой растительности, выпас домашнего скота в водоохраной зоне приводят к интенсивному эродированию как пойменных земель, так и речных берегов.

Агротехнические и лесомелиоративные мероприятия являются мощным средством предупреждения эрозии и борьбы с ней. Однако действие лесомелиоративных средств проявляется не сразу, а обычно через тот или иной срок. Некоторые лесомелиоративные «сооружения» начинают работать на полную мощность только через 10-12 лет.

Применение агротехнических мероприятий ограничено определенной крутизной склонов. Они используются главным образом на склонах до 4-5⁰.

В связи с этим для задержания поверхностного стока воды приходится пользоваться гидротехническими приемами борьбы с эрозией. Одним из действенных мероприятий по борьбе с эрозионными процессами является строительство противоэрозионных прудов.

Студенты очной и заочной форм обучения по направлению подготовки бакалавра 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» в качестве самостоятельной работы по дисциплине «Гидротехнические сооружения» выполняют курсовую работу на тему: «Проектирование противоэрозионного пруда».

В работе отражаются вопросы проектирования низконапорных грунтовых плотин. Разработка курсовой работы предусматривает следующие основные цели:

1. научить студентов самостоятельно выбирать схемы грунтовых плотин, разрабатывать их конструктивные решения;
2. привить навыки применения теоретических знаний в вопросах организации природоохранных мероприятий при проектировании гидротехнических сооружений;
3. научить студентов самостоятельно работать с технической литературой;
4. способствовать совершенствованию графической культуры студентов.

В результате освоения дисциплины «Гидротехнические сооружения» раскрываются следующие компетенции обучающегося:

ПК-12

способностью использовать методы выбора структуры и параметров систем природообустройства и водопользования

ПК-14

способностью осуществлять контроль соответствия разрабатываемых проектов и технической документации регламентам качества

1 Общие сведения о курсовой работе

Курсовая работа состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

Объем расчетно-пояснительной записки – 15 – 25 страниц, она должна содержать описание объекта и принятой схемы грунтовой плотины, а также все необходимые расчеты и обоснование принятых решений.

Рекомендуемый состав курсовой работы может состоять из следующих основных разделов:

Введение

1 Обоснование выбора створа и типа грунтовой плотины

2 Конструирование поперечного профиля плотины

2.1 Определение ширины гребня плотины

2.2 Определение отметки гребня плотины

2.3 Назначение размеров и отметок берм

2.4 Выбор дренажных и противодиффузионных устройств

3 Фильтрационные расчеты

3.1 Определение фильтрационных расходов и построение кривой депрессии

3.2 Проверка фильтрационной прочности грунтовой плотины

Заключение

Литература

Графическая часть работы состоит из чертежей в расчетно-пояснительной записке, выполненных на миллиметровой бумаге или с помощью компьютерных программ, например, AutoCAD или Компас.

В графической части разрабатываются следующие чертежи:

- план водного объекта в горизонталях с нанесением месторасположения основных сооружений;

- профиль водохранилища по створу плотины;

- продольные и поперечные разрезы плотины, а также и другие сооружения.

2 Методические рекомендации по выполнению курсовой работы

2.1 Грунтовые плотины. Общие сведения. Область применения и условия работы

Плотины, возводимые из грунтов как строительного материала, называются грунтовыми. Грунтовые плотины – древнейшие гидротехнические сооружения, известные за много веков до нашей эры в Египте, Индии, Китае и Месопотамии. Широкое распространение грунтовых плотин объясняется следующими их достоинствами:

- материал, для возведения плотин, как правило, местный, не требует предварительной обработки, затраты на добычу минимальны;
- плотины из грунта можно применять в большинстве географических районов;
- грунт, уложенный в тело плотины, не теряет своих свойств со временем;
- грунтовые плотины можно возводить практически любой высоты, все процессы при их возведении высокомеханизированны;
- грунтовые плотины можно строить практически на любых основаниях, за исключением сильно разжиженных илистых грунтов, глубоких торфяников или пород, характеризующихся крайней неравномерностью механических свойств.

Наряду с достоинствами грунтовые плотины имеют недостатки:

- ограниченные возможности сброса максимальных расходов через гребень плотины;
- наличие в теле плотины фильтрационного потока, потенциально создающего условия для фильтрационных деформаций;
- возможность больших потерь воды на фильтрацию, если тело плотины выполнено из грунтов с повышенной водопроницаемостью;
- трудность укладки насыпи при значительных и продолжительных минусовых температурах;
- неравномерность осадок по поперечному профилю плотины.

Форма поперечного сечения грунтовой плотины – трапеция, большая сторона которой – подошва, меньшая – гребень.

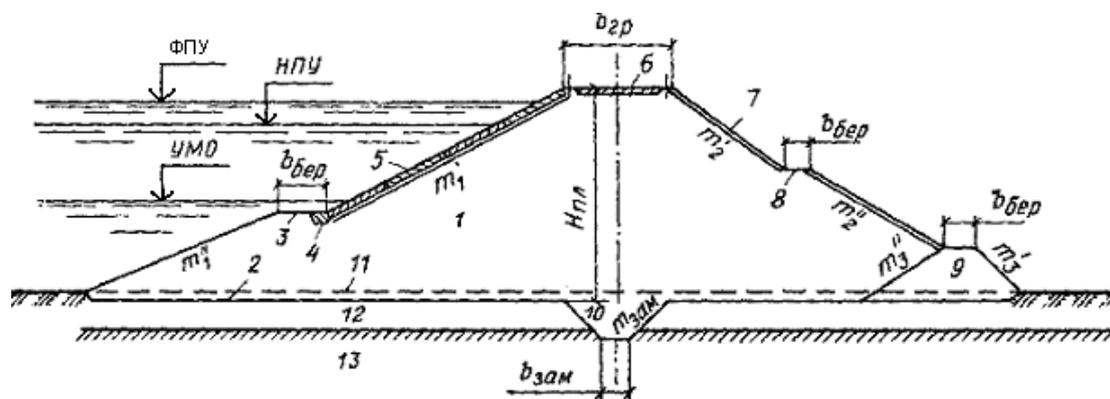


Рисунок 1 – Поперечный профиль земляной плотины

1 — тело плотины; 2 — подошва плотины; 3 — берма верхового откоса; 4 — упор

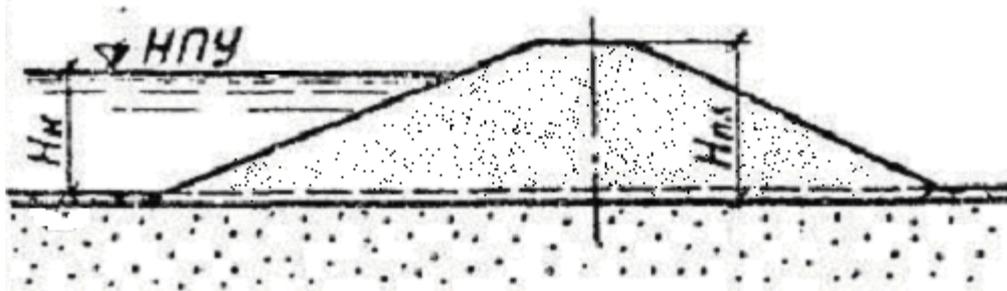
крепления; 5 — крепление верхового откоса; 6 — гребень плотины; 7 — крепление низового откоса; 8 — берма низового откоса; 9 — дренаж; 10 — замок; 11 — естественная поверхность грунта; 12 — водопроницаемый грунт; 13 — водоупор

По способу производства работ грунтовые плотины подразделяются на плотины с отсыпкой насухо пионерным способом, с механическим уплотнением грунта, с отсыпкой грунта в воду, намывные, а также возводимые с помощью направленных взрывов.

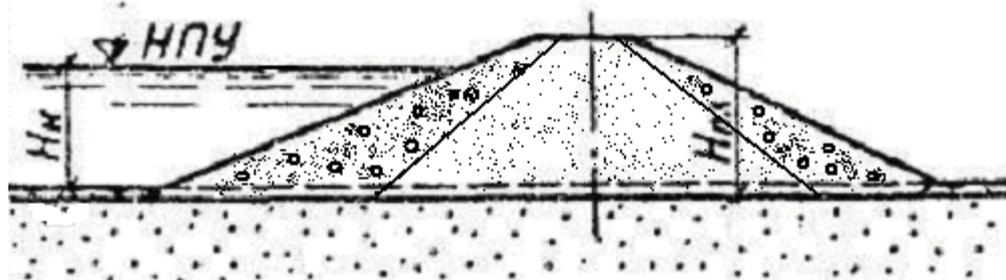
По конструкции тела и противофильтрационных устройств в теле различают следующие виды грунтовых плотин:

- из однородного и неоднородного грунта (рисунок 2а и 2б),
- с экраном из грунтового и негрунтового материала (рисунок 2е и 2ж),
- с ядром из грунтового материала (рисунок 2в и 2г),
- с диафрагмой из негрунтового материала (рисунок 2д).

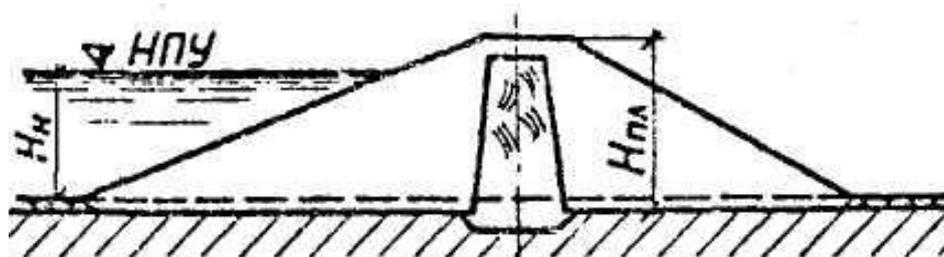
а



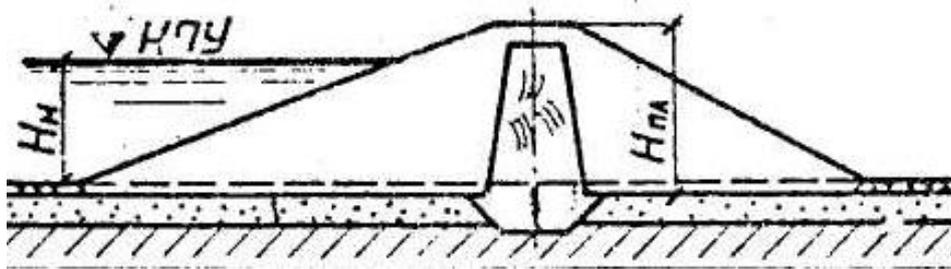
б



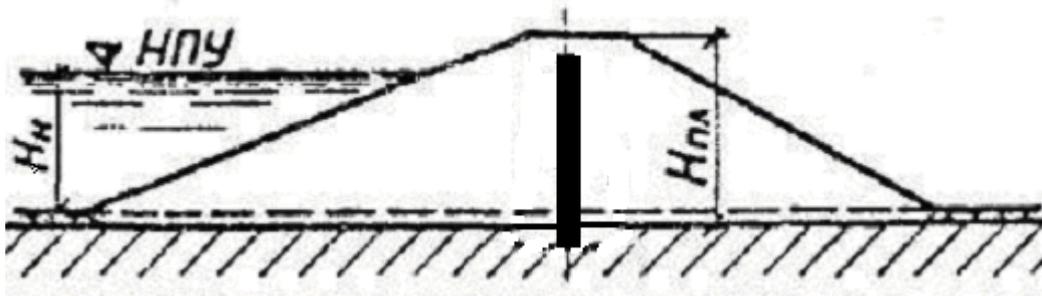
в



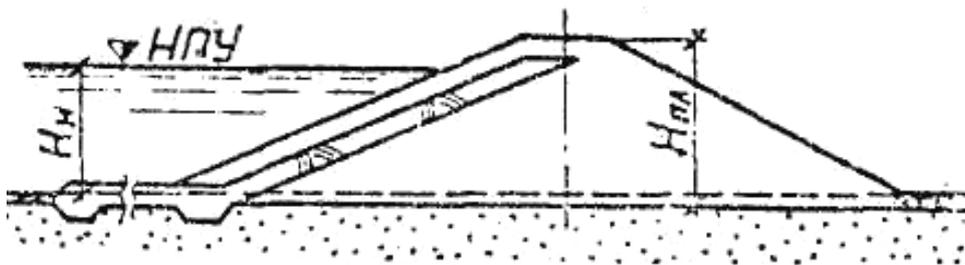
Г



Д



е



ж

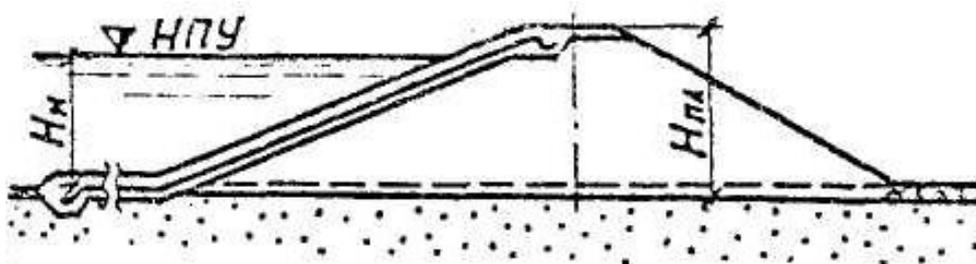
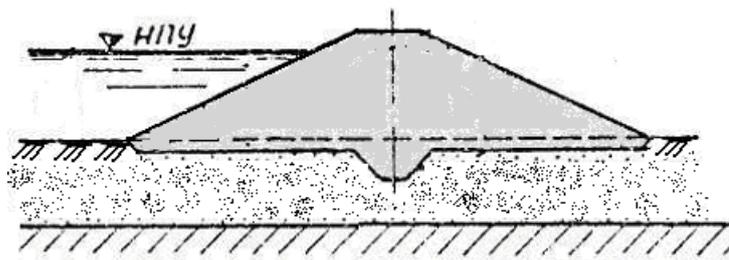


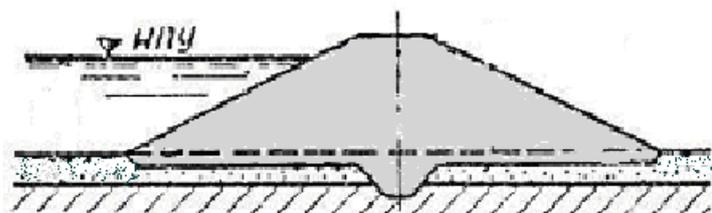
Рисунок 2 – Принципиальные схемы основных противодиффузионных устройств в теле грунтовых плотин

По противодиффузионным мероприятиям в основании различают плотины с зубом и замком (рисунок 3а), со шпунтовой стенкой (3б), с комбинацией шпунтовой стенки с зубом (3в), с инъекционной завесой (доведенной до водоупора или висячей) (3г), с понуром (2е).

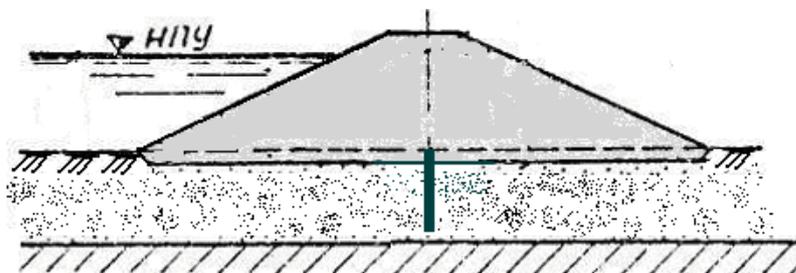
а



б



в



д

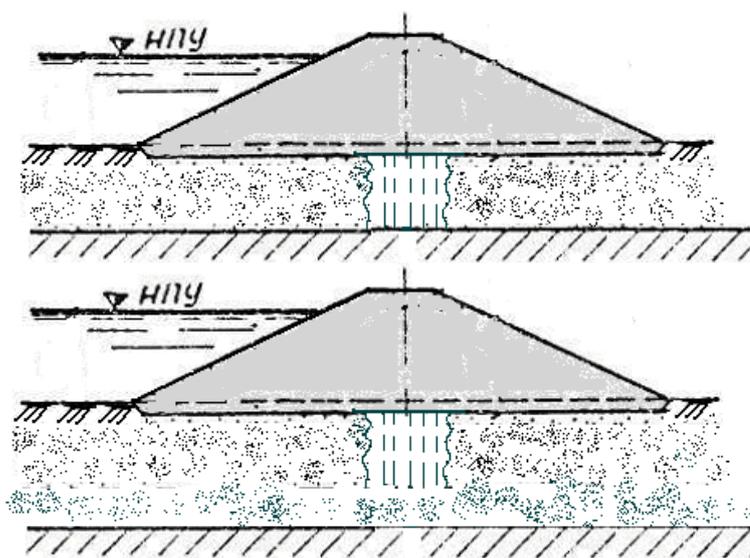


Рисунок 3 – Принципиальные схемы основных противодиффузионных устройств в основании грунтовых плотин

2.2 Обоснование выбора створа и типа грунтовой плотины.

Створ плотины, как правило, располагают в наиболее узкой части водотока, обычно нормально к горизонталям, что обеспечивает минимальный объем работ. Топографические условия определяют длину и высоту плотины. Створ плотины целесообразно выбирать одновременно с трассировкой водосбросного тракта. При выборе створа учитывают и способ пропуска строительных расходов, наличие и возможность устройства дорожной сети, прокладку линий электропередачи.

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

Для принятого створа делают продольный профиль с фиксацией отметок поверхности земли на пикетах и промежуточных точках. В створе выполняют шурфование или бурение скважин для освещения инженерно-геологического строения основания плотины.

При проектировании плотин учитывают и форму речных долин, в которых наблюдаются два характерных участка: русловой, где протекает вода в меженное время, и пойменный, затапливаемый в паводок. На горных участках рек и в руслах малых водотоков поперечное сечение обычно имеет очертание, близкое к треугольному, и здесь пойменных участков нет.

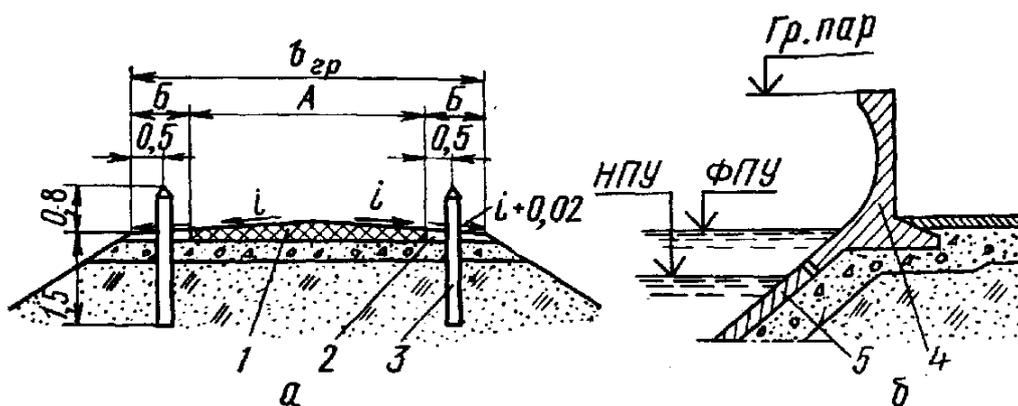
В водохранилищах, создаваемых с помощью грунтовых плотин, различают три уровня поверхности воды: форсированный подпорный (ФПУ), нормальный подпорный (НПУ) и мертвого объема (УМО). Отметки этих уровней устанавливают с помощью водохозяйственных расчетов.

2.3 Конструирование поперечного профиля плотины

Один из основных вопросов проектирования плотины из грунтовых материалов — определение устойчивого, и экономически выгодного ее профиля. Размеры поперечного профиля зависят от типа плотины, ее высоты, характеристик грунта тела плотины и ее основания, а также условий строительства и эксплуатации.

Гребень плотины конструируют из условий производства работ и эксплуатации плотины. Прежде всего, необходимо обеспечить проезд транспорта. Поэтому ширину гребня принимают в зависимости от категории дороги (таблица 1) [], но не менее 4,5 м (СНиП 2.06.05—84).

В поперечном направлении дороге придают двусторонний уклон, принимая его равным при асфальтобетонном покрытии 1,5%, при булыжном или грунтовом покрытии — 3%. Обочинам обычно придают несколько больший уклон. В пределах обочин в соответствии с ГОСТ 23457—79 устраивают ограждения в виде надолб, низких стенок или парапетов (рисунок 4).



а – без парапета; б – с парапетом; 1 – проезжая часть; 2 – обочина; 3 – столбы-надолбы; 4 – парапет; 5 – крепление откоса (размеры в метрах)

Рисунок 4 – Конструкция гребня плотины

Таблица 1 – Основные параметры поперечного профиля автомобильных дорог

Категория дороги	Ширина, м		
	проезжей части (А)	обочин (Б)	земляного полотна
II	7,5	3,75	15
III	7,0	2,50	12
IV	6,0	2,00	10
V	4,5	1,75	8

Если гребень плотины делают из глинистых грунтов, то во избежание его пучения при морозах предусматривают защитный слой из песчаного или гравийного грунта (щебня). Толщину защитного слоя, включая толщину покрытия дороги, следует назначать не менее глубины сезонного промерзания в данном районе.

Отметку гребня определяют по методике, приведенной в разделе 2.4 настоящих методических указаний, из условия недопущения перелива воды через гребень плотины.

Откосы плотины должны быть устойчивыми во время ее строительства и эксплуатации при воздействии статических и динамических нагрузок, фильтрации, капиллярного давления, волн и др. Коэффициенты заложения откосов предварительно назначают по рекомендациям, а также опыту строительства и эксплуатации плотин-аналогов; затем их устойчивость проверяют специальным расчетом. Ориентировочные значения заложения откосов земляных насыпных плотин при прочности грунтов в основании не меньшей, чем в теле плотины, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Коэффициенты заложения откосов земляных насыпных плотин

Типы плотин	Заложение откосов при высоте плотины, м					
	до 5		от 5 до 10		от 10 до 15	
	верхового	низового	верхового	низового	верхового	низового
Однородные без дренажа:						
- глинистые грунты	2,00	1,75	2,50	2,00	3,00	2,25
- песчаные грунты	2,50	2,00	2,75	2,25	3,00	2,25
Однородные с дренажем:						
- глинистые грунты	2,00	1,50	2,50	1,75	3,00	2,00
- песчаные грунты	2,50	1,75	2,75	2,00	3,00	2,00
Песчаные с суглинистым экраном без дренажа	2,25	2,00	2,50	2,25	3,00	2,50
Песчаные с суглинистым ядром без дренажа	3,00	2,00	3,00	2,00	3,25	2,50

Приведенные данные характеризуют средние по высоте заложения откосов. Реальные откосы, особенно у плотин значительной высоты, обычно имеют ломаное очертание с постепенным увеличением пологости к подошве, что позволяет запроектировать более экономичный профиль сооружения.

На высоких откосах при необходимости примерно через 10 м устраивают бермы, размеры которых определяются условиями производства работ, эксплуатационного проезда, сбора и отвода ливневых вод на низовом откосе. На верхнем откосе берму можно располагать в конце крепления для создания необходимого упора. Ширину берм земляных плотин назначают в пределах 1 ...3 м, а для плотин из каменных материалов — не менее 3 м. При необходимости проезда по берме ее ширину определяют по нормам проектирования дорог. Во всех случаях устройство берм не должно приводить к общему уположению откоса по сравнению с расчетным.

2.4 Определение отметки гребня плотины

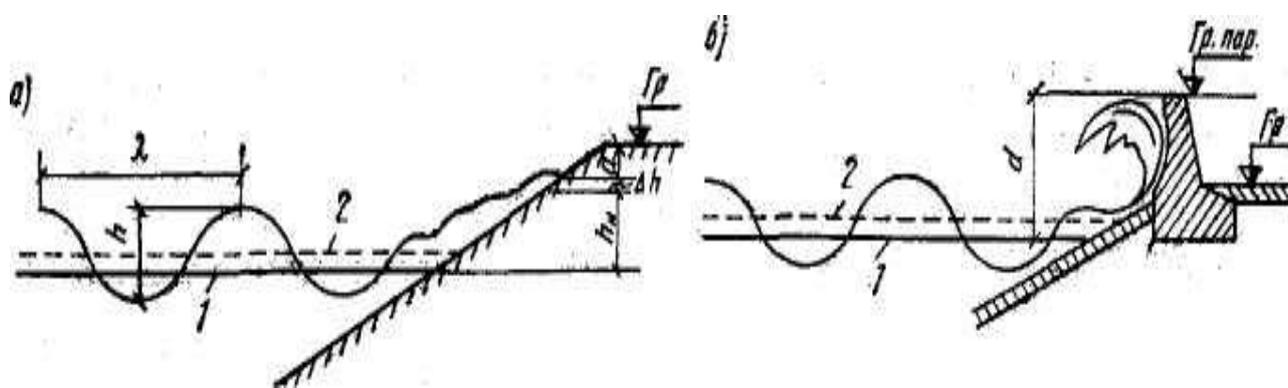
Высоту плотины назначают с превышением d над расчетным уровнем воды в водохранилище, гарантирующем отсутствие перелива воды через гребень и равным

$$d = \Delta h + h_H + a, \quad (1)$$

где Δh — высота ветрового нагона воды;

h_H — высота наката волн на откос плотины;

a — конструктивный запас, принимаемый как большее из значений 0,5 м и $0,1h_{1\%}$; $h_{1\%}$ — высота волны 1%-ной вероятности превышения.



а — без парапета; б — с парапетом; 1 — расчетный статический уровень; 2 — средняя волновая линия

Рисунок 4 – Схемы к определению отметки гребня плотины

Расчеты по формуле (1) следует проводить для двух расчетных случаев:

1) уровень воды на отметке НПУ или выше него (основное сочетание нагрузок и воздействий);

2) уровень воды, на отметке ФПУ при пропуске максимального поверочного расхода воды (особое сочетание нагрузок и воздействий).

Расчетную скорость ветра в первом случае принимают 1%-ной вероятности превышения, наблюдаемую в течение года, а во втором — 50%-ной вероятности превышения, наблюдаемую во время форсировки уровня. При определении элементов ветровых волн и ветрового нагона согласно СНиП 2.06.04 — 82 следует принимать вероятность превышения шторма для сооружений I, II класса 2% и III, IV — 4%.

В качестве расчетной отметки гребня плотины принимают большую из отметок

$$Z_{Гр} = Z_{НПУ} + d_{ФПУ}; \quad (2)$$

$$Z_{Гр} = Z_{ФПУ} + d_{ФПУ}, \quad (3)$$

где $Z_{НПУ}$ и $Z_{ФПУ}$ — отметки нормального и форсированного подпорных уровней.

Высоту ветрового нагона определяют по зависимости

$$\Delta h = K_{\epsilon} \frac{W^2 D}{g(H + \Delta h)} \cos \alpha_{\epsilon}, \quad (4)$$

где K_{ϵ} — коэффициент, зависящий от скорости ветра, принимается по таблице 3;

W — расчетная скорость ветра на высоте 10 м над уровнем воды, м/с;

D — длина разгона ветровой волны, м;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

H — условная расчетная глубина воды в водохранилище;

α_{ϵ} — угол между продольной осью водоема и направлением господствующих ветров, град.

Таблица 3 – Значения коэффициента K_{ϵ}

W , м/с	20	30	40	50
K_{ϵ}	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$3,0 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$

Расчет по формуле (4) проводят по известным значениям W , D , H и α_{ϵ} , первоначально полагая значение Δh , стоящее в знаменателе, равным нулю ввиду его малости по сравнению с величиной H .

Высоту наката ветровой волны для j -й вероятности превышения расчетного шторма вычисляют по формуле

$$h_n = K_{\Delta} \cdot K_{НП} \cdot K_c \cdot K_{НГ} \cdot K_{Нj} \cdot K_{\beta} \cdot h_{1\%}, \quad (5)$$

где $h_{1\%}$ — высота волны 1% обеспеченности;

K_{Δ} и $K_{НП}$ — коэффициенты, зависящие от типа и относительной шероховатости крепления откоса, их принимают по таблице 4;

K_c — коэффициент, зависящий от скорости ветра и коэффициента заложения откоса m_1 , принимается по таблице 5;

$K_{НГ}$ — коэффициент, зависящий от пологости волны, определяется по графикам, представленным на рисунке ;

$K_{Нj}$ — коэффициент, учитывающий вероятность превышения по накату, $j(\%)$, определяется по таблице 6;

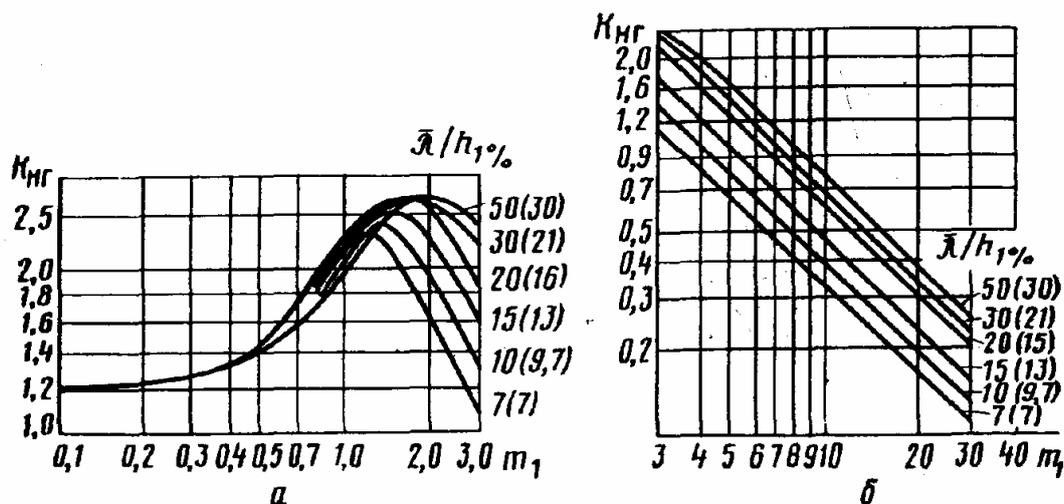
K_{β} — коэффициент, зависящий от угла подхода фронта волны к плотине, принимается по таблице 7.

Таблица 4 – Значения коэффициентов K_{Δ} и $K_{НП}$

Конструкция крепления откоса	$r/h_1\%$	K_{Δ}	$K_{НП}$
Бетонные или железобетонные плиты	-	1,00	0,90
Гравийно-галечниковые, каменные или бетонные (железобетонные) блоки	$\leq 0,002$	1,00	0,90
	0,005...0,010	0,95	0,85
	0,02	0,90	0,80
	0,05	0,80	0,70
	0,10	0,75	0,60
	$\geq 0,2$	0,70	0,50

Таблица 5 – Значения коэффициента K_c

Скорость ветра, м/с	Коэффициент заложения откоса			
	0,4	0,4...2	3...5	5
≥ 20	1,3	1,4	1,5	1,6
≤ 10	1,1	1,1	1,1	1,2



а – при $m_1 \leq 3$; при $m_1 \geq 3$

Рисунок 5 – Графики значений коэффициента $K_{HГ}$

Таблица 6 – Значения коэффициента K_{Hi}

$j, \%$	0,1	1	2	5	10	30	50
K_{Hi}	1,1	1,0	0,96	0,91	0,86	0,76	0,68

Таблица 7 - Значения коэффициента K_{β}

$\beta, \text{град}$	0	10	20	30	40	50	60
K_{β}	1	0,98	0,96	0,92	0,87	0,82	0,75

Высоту волны 1%-ной вероятности превышения определяют для каждого из двух расчетных случаев в такой последовательности:

1 Вычисляют безразмерные комплексы

$$gt/W \text{ и } gD/W^2,$$

где t — продолжительность действия ветра, принимаемая при отсутствии фактических данных $t = 21\,600$ с.

2 По графику, представленному на рисунке 6 для каждого из найденных комплексов определяют значения относительных параметров $\frac{g\bar{\tau}}{W}$ и $\frac{g\bar{h}}{W^2}$ (для gt/W значения $\frac{g\bar{\tau}}{W}$ и $\frac{g\bar{h}}{W^2}$ определяют используя шкалу gt/W , а для gD/W^2 значения $\frac{g\bar{\tau}}{W}$ и $\frac{g\bar{h}}{W^2}$ определяют используя шкалу gD/W^2)

3 Из найденных двух пар значений параметров выбирают наименьшие и из них устанавливают среднюю высоту волны \bar{h} и средний период волны $\bar{\tau}$.

4 Вычисляют среднюю длину волны

$$\lambda = g\bar{\tau}^2 / (2\pi) \quad (6)$$

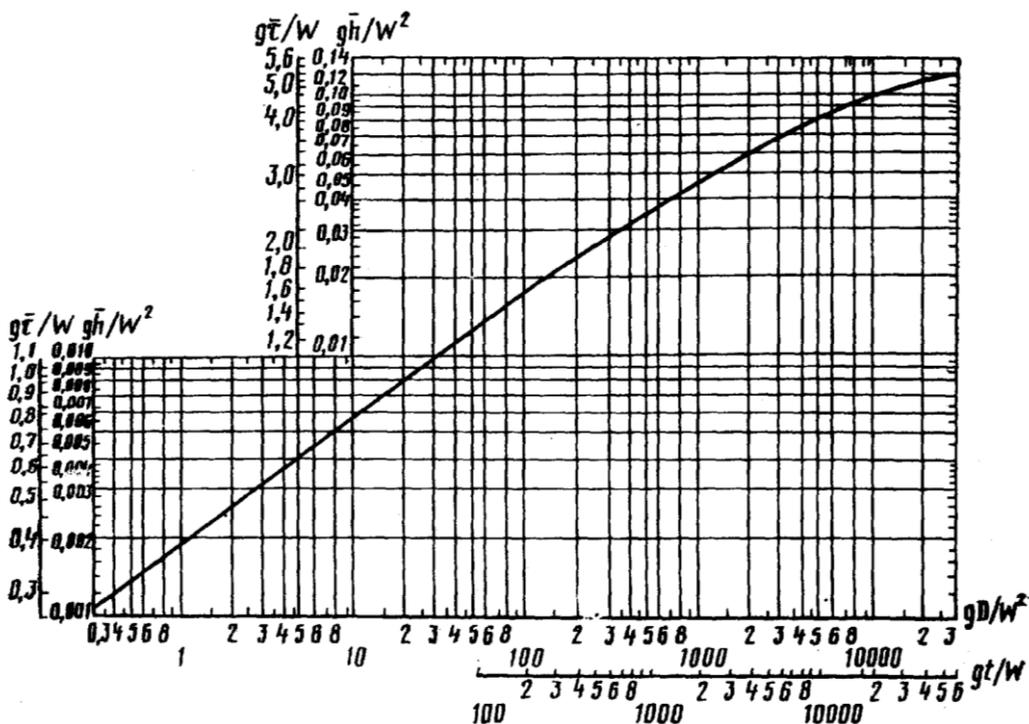


Рисунок 6 – График для определения элементов волн в глубоководной зоне

5 Высоту волны 1%-ной вероятности превышения определяют по формуле

$$h_{1\%} = \bar{h} \cdot K_i \quad (7)$$

где K_i — коэффициент, устанавливаемый по графику на рисунке 7 при 1%-ной вероятности превышения в зависимости от значения безразмерного комплекса gD/W^2 .

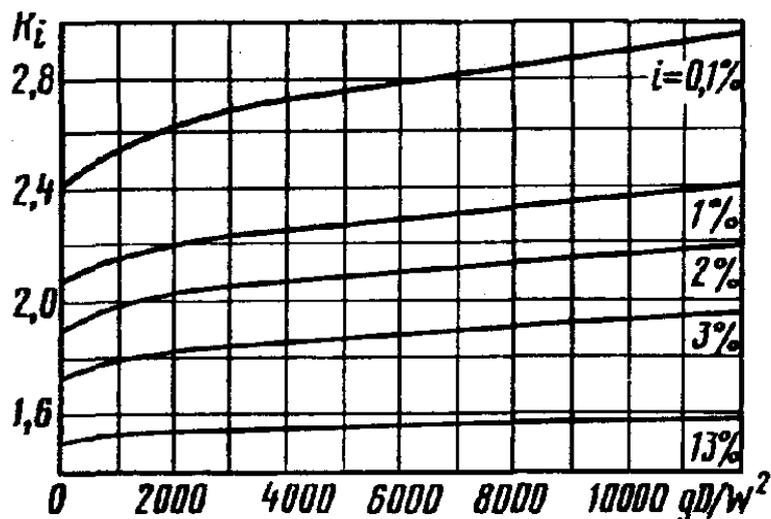


Рисунок 7 – График значений коэффициента K_i

Коэффициенты K_Δ и $K_{НП}$, как говорилось выше зависят от типа и относительной шероховатости крепления откоса.

Характерный размер шероховатости r следует принимать равным среднему диаметру камня при каменной наброске или среднему размеру бетонных и железобетонных блоков. При креплении откоса каменной наброской средний диаметр камня предварительно принимают в пределах 0,2 ... 0,3 м. Затем это значение проверяют расчетом [].

Расчет высоты наката по формуле (5) выполняют, предполагая, что перед плотиной имеется глубоководная зона (глубина воды $H > 0,5\bar{\lambda}$) и при $H \geq 2h_{1\%}$. После вычисления $\bar{\lambda}$ по формуле (6) необходимо проверить правильность предположения. Если предположение не оправдывается, то $K_{НГ}$ необходимо принимать для значений пологости волны, указанных на рисунке 5 в скобках.

Итак, в качестве расчетной отметки гребня плотины принимают большую из отметок вычисленных по формулам (2) и (3), округленную с шагом 0,5 м в большую сторону.

Расчетная высота плотины может быть определена следующим образом

$$H_{пл} = Z_{ГР} - Z_{дна}, \quad (8)$$

где $Z_{дна}$ — минимальная отметка дна в створе плотины.

2.5 Назначение отметок и размеров берм

На откосах плотины устраивают бермы, исходя из требований производства работ и эксплуатационных условий. На верховом откосе бермы устраивают для размещения упора крепления, для осмотра и ремонта откоса плотины, а также для проезда техники и транспорта при устройстве крепления откоса.

По высоте плотины бермы устраивают через 10-15 м. Расположение берм показано на рисунке 8.

Если по берме проезд не предусмотрен, то ее ширина – 1...2 м, если предусмотрен – 5 м.

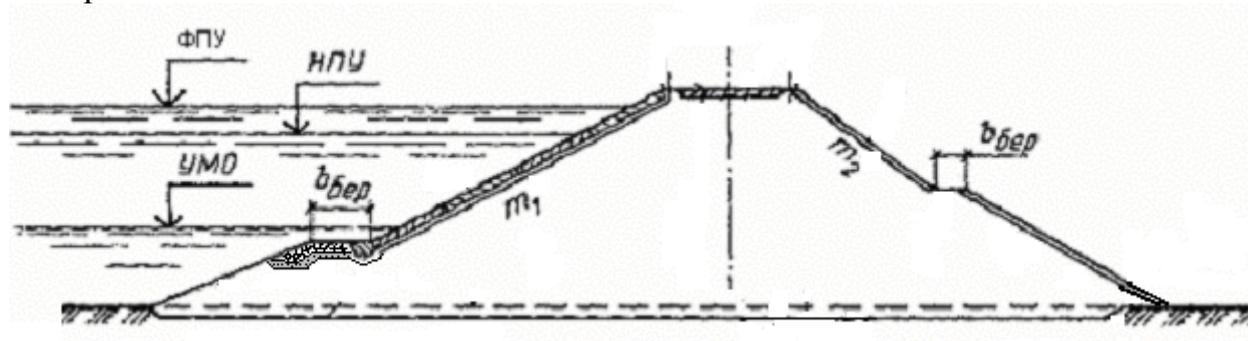


Рисунок 8 – Схема расположения берм и крепления откосов.

На низовом откосе берма служит для проезда, предотвращения размыва откоса дождевыми и талыми водами, а также для размещения приборов по наблюдению за положением кривой депрессии в теле плотины. Ее обычно устраивают посередине откоса. Отметка бермы низового откоса $Z_{Бн}$, м может быть определена по формуле:

$$Z_{Бн} = Z_{дна} + \frac{H_{нл}}{2}, \quad (9)$$

Со стороны верхового откоса берму устраивают ниже уровня мертвого объема. Это позволяет сделать плотину шире по основанию и удлинить пути фильтрации. Положение бермы со стороны верхнего бьефа определяется уровнем мертвого объема

$$Z_{Бв} = Z_{УМО} - 2h_{1\%}, \quad (10)$$

где $h_{1\%}$ - высоту волны 1%-ной вероятности превышения при УМО.

2.5 Крепление откосов

Для защиты верхового откоса земляной плотины от разрушающего воздействия ветровых волн, льда, течения воды, атмосферных осадков и других факторов СНиП 2.06.05–84 рекомендует крепление следующих видов: каменное, бетонное и железобетонное, асфальтобетонное, биологическое.

При соответствующем обосновании допускают применение других облегченных конструкций крепления (торообразные, ящикообразные, грунтоцементные конструкции и др.), а также устройство уположенного верхового откоса с заданным сроком размыва, предусматривая эксплуатационные ремонты.

Крепление верхового откоса делится на основное и облегченное. Верхней границей основного крепления обычно служит гребень плотины. Нижнюю границу основного крепления принимают на глубине $h = 2h_{1\%}$ считая от наинизшего уровня воды в водохранилище (обычно УМО). В то же время эта граница должна быть не выше, наинизшего уровня, уменьшенного на $1,5t$, где t – расчетная толщина льда в водохранилище. Отметка нижней границы основного крепления $Z_{кр.осн.}$, м выбирается как наименьшая из отметок, вычисленных по формулам (11) и (12).

$$Z_{кр.осн.} = Z_{УМО} - 2h_{1\%} \quad (11)$$

$$Z_{кр.осн.} = Z_{УМО} - 1,5t \quad (12)$$

Нижняя граница облегченного крепления определяется условиями размываемости грунта плотины течением или волнами. Она соответствует глубине водохранилища, на которой волновые скорости не превышают скоростей трогания частиц грунта откоса при любых сочетаниях отметок воды и соответствующих им элементов волн.

Отметка нижней границы облегченного крепления определяется следующим образом:

$$Z_{кр.об.} = Z_{УВ} - 1,1h_{об.}, \quad (13)$$

где $Z_{УВ}$ - расчетный уровень воды (как правило, УМО, НПУ и ФПУ);

$h_{об.}$ - глубина, на которой скорость волнового движения равна неразмывающей скорости $v_{доп}$, м. Значение допустимой донной скорости определяется по графику на рисунке 9.

$$H_{об.} = \frac{\bar{\lambda}}{4\pi} \operatorname{arsh} \frac{\pi n^2 h_{1\%} g}{\bar{\lambda} v_{дон}^2}, \quad (14)$$

где n – коэффициент, принимаемый в зависимости от пологости волны $\bar{\lambda}/h_{1\%}$, определяется по таблице 8.

Таблица 8 – Значения коэффициента n

$\bar{\lambda}/h_{1\%}$	8	10	15	20	30
n	0,6	0,7	0,75	0,8	1

Отметка нижней границы облегченного крепления определяется по формуле (13) при ФПУ, НПУ и УМО, при этом в формулу (14) вводятся значения элементов волн ($\bar{\lambda}$ и $h_{1\%}$) для соответствующих уровней. Из полученных значений выбирается наименьшая отметка. Если она оказывается меньше отметки дна, то облегченное крепление доводится до уровня дна.

Облегченные крепления обычно выполняются из одного слоя разнозернистого щебня, гравия, галечника или наброски из мелкого камня и лишь иногда из железобетонных плит.

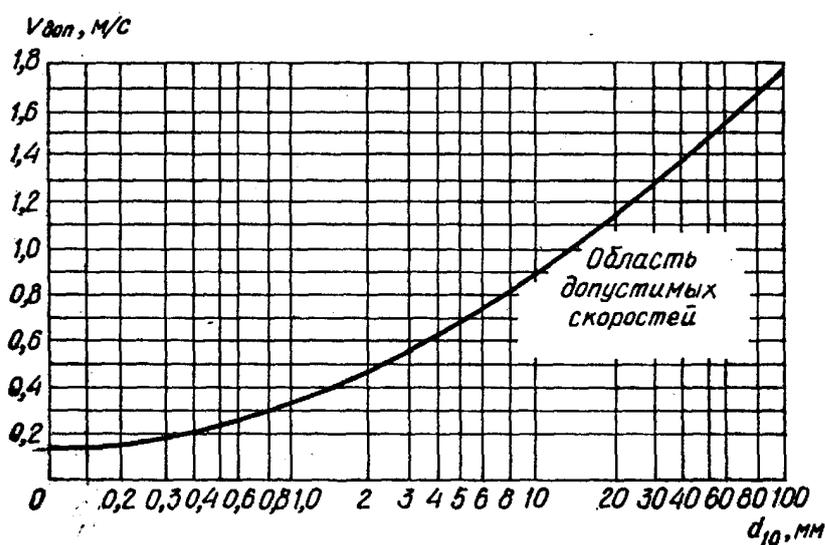
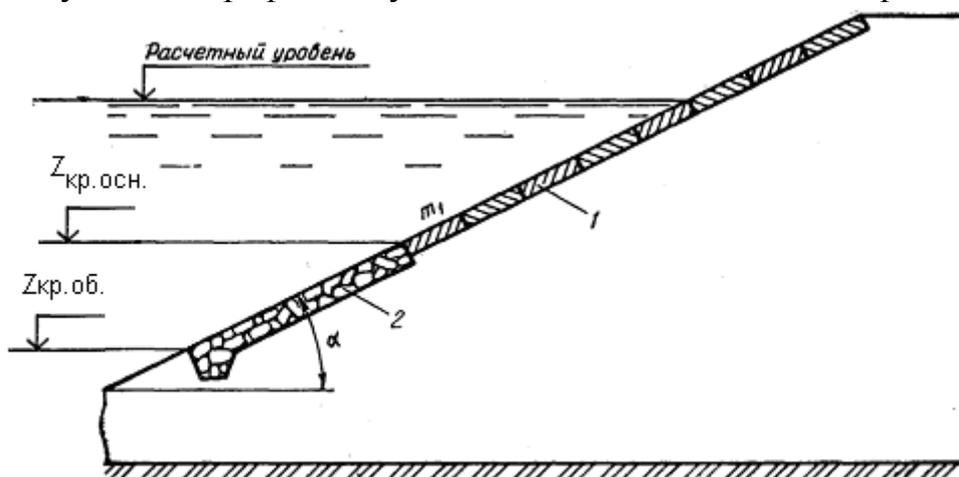


Рисунок 9 – График допустимых значений донных скоростей



1 – основное крепление, 2 – облегченное крепление

Рисунок 10 – Схема к определению отметок верхового откоса

Задавшись типом крепления, определяют его границы, основные параметры (размеры камня, плит и др.) и подбирают состав подготовки под покрытие.

Бетонное и железобетонное крепление выполняют в виде монолитных или сборных плит. Монолитные плиты толщиной 0,15... 0,5 м имеют размеры от 5x5 до 20x20 м и более. Сборные плиты делают толщиной от 0,08...0,1 до 0,15...0,2 м и размером от 1,5x1,5 до 5x5 м, в зависимости от грузоподъемности транспортных средств и подъемных механизмов. Часто отдельные плиты объединяют в карты больших, размеров, швы между ними омоноличивают. Между картами устраивают деформационные швы, воспринимающие деформации от температурных воздействий.

Наибольшее распространение из бетонных креплений получило монолитное покрытие. Крупные монолитные плиты применяют тогда, когда не ожидается значительных деформаций откоса плотины. В противном случае откос предпочтительнее покрывать плитами меньших размеров, сборными или сборно-монолитными. На выбор типа и размера плит также влияют сроки выполнения крепления и производственные возможности строительства.

Расчетную толщину плит определяют по формуле

$$\delta_{пл} = 0,07 \eta_{пл} h_{1\%} \frac{\gamma_0}{\gamma_{пл} - \gamma_0} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{B}} \cdot \frac{\sqrt{m_1^2 + 1}}{m_1}, \quad (15)$$

где $\eta_{пл}$ – коэффициент, принимаемый для монолитных плит равным 1, а для сборных плит – 1,1;

$\gamma_{пл}$ – объемная масса плиты, т/м³;

B – размер плиты или карты в направлении, нормальном к урезу воды, м.

Расчет устойчивости бетонных и железобетонных покрытий на вырывающее действие ледяного покрова выполняют в том случае, когда, толщина льда превышает $4\delta_{пл}$ или 0,5 м и возможен поворот покрытия вокруг нижнего упора.

Подготовка под проницаемым креплением из бетонных и железобетонных плит может состоять из одного слоя разнозернистого материала, из которого сформируется обратный фильтр, или двух-трех слоев материала с различными по крупности частицами. Толщина однослойной подготовки обычно составляет не менее 0,2 м. Многослойные подготовки устраивают под температурно-осадочными швами железобетонных покрытий. Для упрощения производства работ их делают сплошными. В этом случае непосредственно под покрытие укладывают слой однородного материала с $\eta \leq 2$. Отношение средних диаметров соседних слоев принимают равным 3...4. Размер наименьшей фракции верхнего слоя подготовки должен удовлетворять соотношению $0.6D_{\min} \geq S$, где S – размер поперечного сечения отверстий в покрытии. Для нижнего слоя, как и при однослойной подготовке, используют разнозернистый материал с $\eta \leq 20$.

Если верховой откос выполнен из разжижающихся грунтов (глина, мелкий песок), то под плиты облицовки следует уложить слой пригрузки из песка.

При пологих откосах плотины ($m_1=7... 12$) и высоте волны не более 1 м можно применять облегченное крепление в виде слоя крупнообломочного грунта.

Низовой откос крепят посевом трав по растительному слою грунта толщиной 0,2...0,3 м, сплошной одерновкой, одерновкой в клетку или отсыпкой гравия (щебня) слоем толщиной 0,2 м.

При сплошной одерновке для лучшего прорастания по откосу сначала укладывается слой растительного грунта толщиной 0,1-0,15 м. Размеры клеток при одерновке в клетку 1x1 м. клетки заполняются растительным грунтом, в который высеваются семена трав. К откосу дерн прикрепляется деревянными кольшкками-спицами длиной 0,25-0,3 м.

В случаях, когда в нижнем бьефе возможны волнообразование и воздействие льда, нижнюю часть откоса крепят до высоты наката волны так же, как и верховой откос.

2.6 Дренажи грунтовых плотин

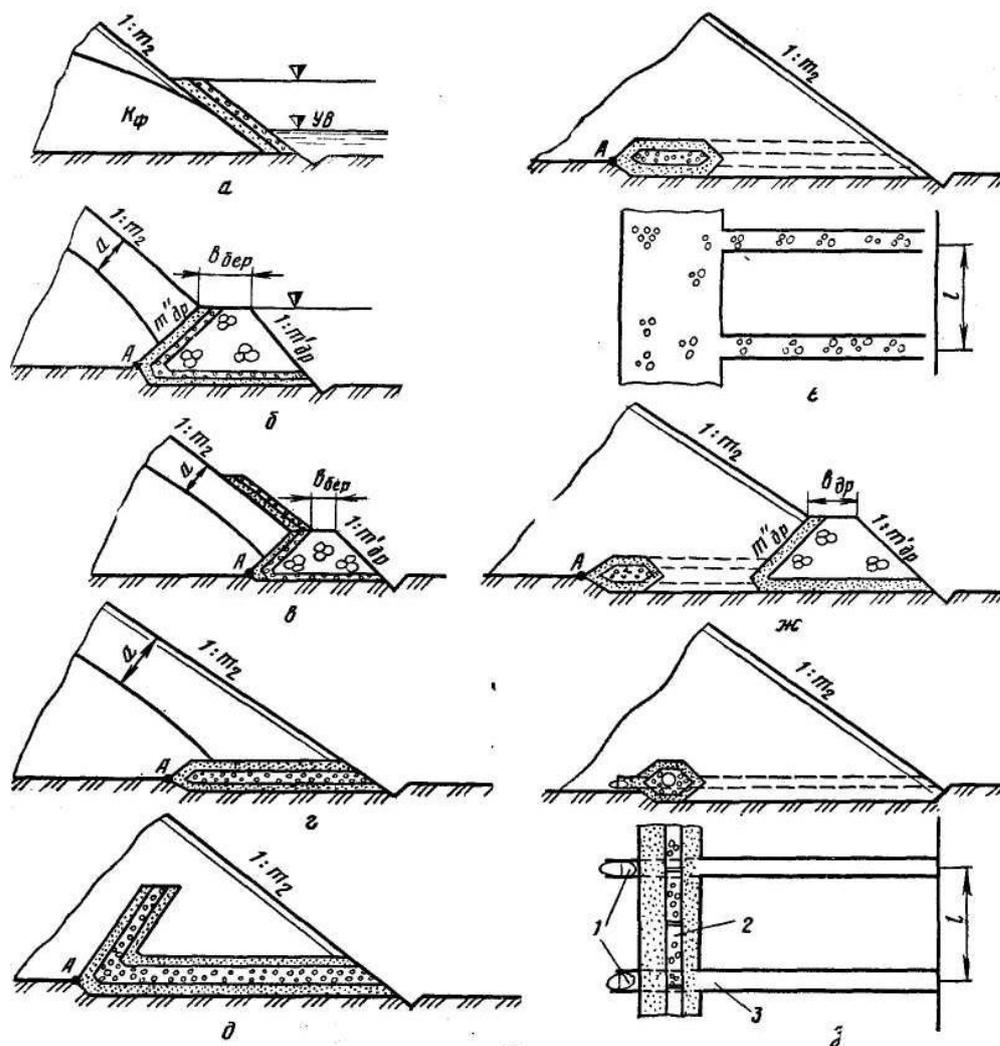
Дренажами называют устройства, предназначенные для приема и отвода воды, профильтровавшейся через тело или основание грунтовой плотины, и имеющие повышенную водопроницаемость по отношению к контактируемому с ним грунту. Дренаж состоит из двух частей: приемной и отводящей. Задачи дренажей – понижение отметок кривой депрессии и недопущение выхода фильтрационного потока на низовой откос. Их применяют для дренирования тела плотины и основания, а также для перехвата фильтрационного потока, обтекающего плечи плотины. Отсутствие дренажей в плотине должно быть обосновано.

От строительства дренажа отказываются в следующих случаях:

- при возведении плотин на водопроницаемом основании, в котором депрессионная поверхность без устройства дренажа оказывается достаточно удаленной от поверхности низового откоса и не попадает в зону промерзания;
- в низовой части плотин с экранами, ядрами и диафрагмами при условии обеспечения отвода профильтровавшейся воды;
- в плотинах, низовая часть которых выполнена из каменной наброски или из другого крупнообломочного материала (гравийного, галечникового и др.).

Местоположение дренажей и их типы устанавливают, исходя из условий устойчивости низового откоса. Приемную часть дренажа целесообразно приближать к оси плотины, но – больше объем работ по дренажу, больше градиенты напора и фильтрационные потери.

Нормальная работа дренажей обеспечивается, если приемная часть их расположена выше уровня воды в НБ. Начало дренажа располагают на таком расстоянии от подошвы плотины низового откоса, чтобы было обеспечено расстояние от кривой депрессии до плоскости низового откоса более глубины промерзания.



а – наклонный; б – дренажная призма (банкет); в – комбинированный (дренажная призма в сочетании с наклонным дренажем); д – плоский с вертикальным (наклонным) участком в приемной части; г – плоский (постель); е – ленточный; ж – комбинированный (дренажная призма в сочетании с ленточным дренажем) з – трубчатый горизонтальный; 1 – заглушки; 2, 3 – перфорированные и отводящие трубы.

Рисунок 11 – Виды дренажей

Основными конструкциями дренажей грунтовых плотин являются наклонный, дренажная призма, плоский горизонтальный, ленточный, трубчатый горизонтальный и вертикальный, комбинированный.

Дренажная призма (дренажный банкет).

Выполняется на русловых участках плотины из каменной наброски при наличии на месте строительства достаточного количества камня. Этот вид дренажного устройства нашел широкое применение в грунтовых плотинах благодаря простоте конструкции; работе при любых переменных УВ в НБ; дренированию как тела плотины, так и части основания; использованию как перемычки при пропуске строительного расхода. Кроме основного своего назначения он является упором низового откоса плотины. Недостаток – относительно большой объем камня. С внутренней стороны дренажного банкета, примыкающей к телу плотины, и в основании его укладывается обратный фильтр из слоев песка, гра-

вия или щебня. В плотинах из суглинистых грунтов обратный фильтр можно устраивать из одного слоя гравия или щебня. Общая толщина обратного фильтра из одного или двух слоев принимается 0,2...0,4 м. Верх дренажного банкета должен возвышаться над максимальным уровнем воды в нижнем бьефе на 0,5...1 м. Коэффициент внутреннего откоса дренажной призмы принимается 1 – 1,5, наружного – 1,5-2. На заложение внутреннего откоса также влияет расчетное положение депрессионной кривой, которая должна проходить на расстоянии не ближе максимальной глубины промерзания от низового откоса плотины. Ширина банкета поверху принимается по условиям производства работ, но не менее 1 м. Дренажный банкет можно устраивать без бермы. Тогда наружный откос дренажного банкета располагается заподлицо с низовым откосом плотины.

Наслонный дренаж.

Выполняется на участках плотины, перекрывающих затопленную пойму. Для его устройства требуется гораздо меньшее количество камня. Наслонный дренаж не понижает кривую депрессии, а только предохраняет низовой откос в месте выхода фильтрационного потока от возможных фильтрационных деформаций и представляет собой обратный фильтр, уложенный по низовому откосу. Превышение гребня наслонного дренажа над максимальным уровнем нижнего бьефа принимается как и для дренажного банкета, учитывая при этом высоту выклинивания фильтрационного потока на низовой откос и глубину промерзания.

Плоский горизонтальный дренаж.

Применяют при отсутствии воды в нижнем бьефе. Выполняют из гравия или щебня с песком в виде постели, в которой грунты уложены по типу обратного фильтра, как со стороны основания плотины, так и ее тела. Толщина плоского дренажа бывает в среднем 0,5 м, ширина принимается 1/4...1/3 ширины плотины по низу. При кратковременном повышении уровня воды в приемной части дренажа предусматривают наклонный или вертикальный участок, соединенный с горизонтальным дренажем. Достоинство плоского горизонтального дренажа – простота выполнения, механизация укладки, хорошее дренирование основания.

Ленточный дренаж.

Является разновидностью плоского дренажа. Здесь вместо сплошной постели выполняют узкую ленту (приемная часть), а нормально к ней делают отводящую часть, также в виде узкой ленты.

Трубчатый горизонтальный дренаж.

Применяют обычно на тех участках плотины, где воды в нижнем бьефе нет или она появляется на короткое время (пойменные участки плотины). Приемную часть дренажа выполняют из перфорированных труб или труб с незаделанными стыками (гончарных, бетонных или асбестоцементных). Трубы укладывают параллельно низовому откосу, следуя за ее изгибами на расстоянии от его подошвы не больше 1/4...1/3 ширины плотины по основанию и не меньше глубины промерзания. При этом должен быть обеспечен односторонний уклон. Диаметр труб определяют расчетом исходя из условия обеспечения безнапорного движения воды в трубах, но не меньше 0,2 м. По периметру приемной части трубы укладывают обратные фильтры. Общая толщина слоев составляет 0,4 – 0,6 м. Из при-

емной части дренажа вода отводится неперфорированными трубами в кювет в нижнем бьефе. Кювет устраивают параллельно подошве плотины.

Комбинированный дренаж.

Может быть в виде дренажной призмы и наклонного дренажа, в виде плоского горизонтального дренажа в сочетании с наклонным дренажем и др.

Дренаж в виде дренажной призмы и наклонного дренажа устраивают, если максимальный уровень воды в нижнем бьефе поднимается выше верха дренажной призмы. В этом случае верх наклонного дренажа располагается выше максимального уровня воды на 0,5 – 1 м. Комбинированный плоский горизонтальный дренаж в сочетании с наклонным дренажем устраивают при недостаточном количестве камня на месте строительства.

2.6.1 Обратные фильтры дренажей

Обратные фильтры располагают на контакте дренажа (или пригрузки) и дренируемого тела плотины, ядра, экрана или основания плотины. Их допускается не устраивать при контакте дренажа с телом плотины, если оно сложено гравелистыми песками, гравийными грунтами и др. Отказ от устройства обратных фильтров должен быть обоснован.

Для обратного фильтра используют имеющиеся карьерные грунты или искусственные материалы. Их подбирают из условия обеспечения фильтрационной прочности сопрягающих грунтов в месте контакта. Если естественный карьерный грунт оказывается непригодным, то проводят его обогащение или отсеивают мелкие фракции.

Коэффициент разнородности (неоднородности) материалов обратных фильтров дренажей и переходных зон должен иметь следующие значения:

- если защищаемый грунт несупфозионный сыпучий, то $\eta_{\phi} \leq 20 \dots 25$, где меньшее значение η_{ϕ} следует принимать для окатанных частиц песчаных и гравийных грунтов, а большее – для щебенистых грунтов фильтров;

- если защищаемый грунт супфозионный сыпучий, то $\eta_{\phi} \leq 15$;

- если защищаемый грунт глинистый с числом пластичности не меньше 0,07, то $\eta_{\phi} \leq 50$;

- для фильтров, устраиваемых из пористого бетона, $\eta_{\phi} \leq 12$;

- для фильтров, выполняемых отсыпкой материала в воду, $\eta_{\phi} \leq 10$.

Число слоев обратного фильтра и их состав необходимо определять на основе технико-экономического сравнения различных вариантов. При этом следует стремиться к созданию однослойных фильтров и только в исключительных случаях проектировать многослойные фильтры с возможно меньшим числом слоев.

При расчете однослойного или первого слоя многослойного обратного фильтра используют следующие обозначения: d_i – размер фракции защищаемого грунта, масса которого вместе с массой более мелких фракций составляет $i\%$ массы всего грунта; D_i – размер фракций первого слоя обратного фильтра, мас-

са которых вместе с массой более мелких фракций составляет $i\%$ массы всего

грунта; $\eta_{\Gamma} = d_{60}/d_{10}$ – коэффициент неоднородности защищаемого грунта;

$\eta_{\Gamma} = D_{60}/D_{10}$ – коэффициент неоднородности первого слоя обратного фильтра;

$\xi = D_{50}/d_{50}$ – коэффициент междуслойности.

Практически несугфозийным можно считать такой грунт, из которого фильтрационным потоком может быть вынесено не более 3...5 % по массе мельчайших частиц. Такой грунт должен удовлетворять зависимости

$$d_5/d_{17} \geq N, \quad (16)$$

$$N = 0,32\sqrt{\eta_{\Gamma}}(1 + 0,05\eta_{\phi}) \frac{n}{1-n};$$

где

n – пористость грунта в долях единицы.

Для плотин из песчаного грунта на участках нисходящего фильтрационного потока пригодность имеющегося материала для первого слоя определяют по графику В. С. Истоминой (рисунок 12а). Если точка, отвечающая некоторым значениям: η_{ϕ} и ξ , располагается ниже соответствующей кривой, то материал фильтра считается пригодным. Помимо этого, необходимо, чтобы коэффициент фильтрации первого слоя фильтра не менее чем в четыре раза превышал коэффициент фильтрации защищаемого грунта. Это условие выполняется, если $D_{10}/d_{10} \geq 2...3$.

На участках восходящего фильтрационного потока, в случае песчаного основания плотины со средним диаметром частиц $d_{50}=0,15 \dots 0,7$ мм, состав первого слоя фильтра подбирают из условия недопущения контактного выпора и вдавливания частиц грунта в поры фильтра по графику (рисунок 12б)

При фильтрационном потоке, направленном вдоль контакта защищаемого грунта и фильтра, контактный размыв грунта будет предотвращен, если точка, со-

ответствующая координатам $\eta_{\phi}/\eta_{\Gamma}$ и ξ , располагается ниже кривой (рисунок 12в)

Для плотин из глинистого грунта или плотин на глинистом основании состав первого слоя фильтра подбирают из условия недопущения отслаивания (контактного выпора) глинистого грунта на контакте с крупнозернистым несвязным грунтом (рисунок 12г). Материал фильтра считается пригодным, если соответствующая ему точка располагается в области допустимых характеристик и при нисходящем фильтрационном потоке градиент напора $I \leq 1$, а при восходящем – $I \leq 3$. Для плотин III и IV класса и временных сооружений допускается отслаивание глинистого грунта в порах фильтра на глубину, не влияю-

шую на его прочность (на половину диаметра пор фильтра).

Подбор зернового состава второго и последующих слоев многослойного фильтра ведут по тем же графическим зависимостям (рисунок 12), полагая, что через d_i и D_i соответственно обозначены размеры фракций предыдущего и последующего слоев фильтра.

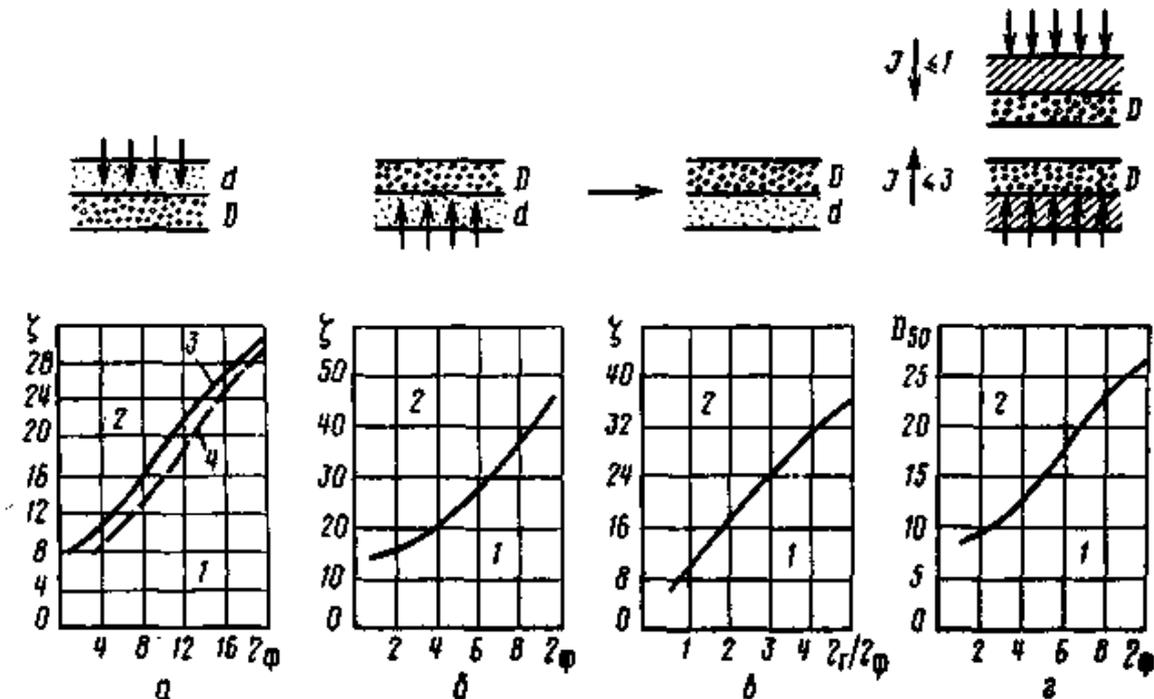
Для всех слоев фильтра, образующих с основанием (по направлению из верхнего бьефа в нижний) угол не менее 90° (например, в наклонных и комбинированных дренажах, в каменно-земляных плотинах с ядром), должно выполняться условие

$\frac{D_{10}}{d_{10}} \leq 10$, при котором исключается контактный размыв. Если слои фильтра имеют наклон к основанию менее 90° (например, в дренажных банкетах и в плотинах с экраном), проверку непротыпаемости каждого предыдущего слоя фильтра в последующий проводят по формуле

$$D_{10} < \frac{d_{50}}{a_{\Pi}}, \quad (17)$$

где a_{Π} – коэффициент, учитывающий пористость грунта и определяемый по графику на рисунке 13 в зависимости от η_{ϕ} последующего слоя.

Толщину слоев обратного фильтра назначают с учетом производства работ и технико-экономических расчетов. По фильтрационным условиям толщина каждого слоя должна быть не менее $5D_{85}$, но не меньше 0,2 м.



a – при нисходящем фильтрационном потоке; b – при восходящем фильтрационном потоке; v – при горизонтальном фильтрационном потоке; $г$ – при отслаивании на контакте со связным грунтом; 1 – область допустимых характеристик; 2 – область недопустимых характеристик; 3 – для материалов с окатанными частицами; 4 – для материалов с угловатыми частицами

Рисунок 12 – Графики для подбора обратных фильтров грунтовых плотин

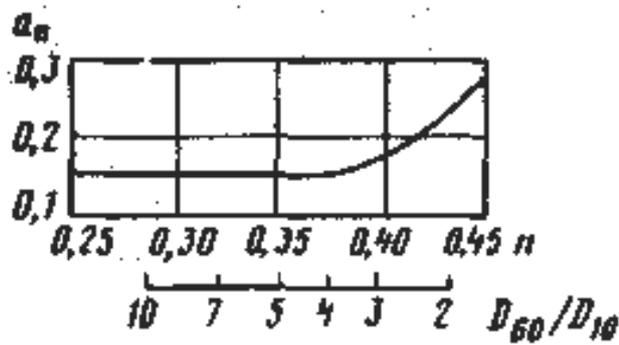


Рисунок 13 – Зависимости коэффициента a_n от пористости n и коэффициента неоднородности грунта η .

Пример. Земляную насыпную плотину с дренажным банкетом возводят на глинистом основании. Грунт тела плотины песчаный с $d_{10}=0,03$ мм и $d_{50}=0,1$ мм. Требуется проверить возможность использования в качестве первого слоя обратного фильтра дренажной призмы карьерный грунт следующего зернового состава: $D_{10}=0,15$ мм; $D_{50}=1,1$ мм; $D_{60}=1,3$ мм.

Так как по контакту защищаемого грунта тела плотины с проектируемым обратным фильтром будет нисходящий фильтрационный поток, то проверку выполняем по графику на рисунке 12а. Для этого вычисляем значения коэффициентов неоднородности карьерного грунта и междуслойности грунта тела плотины и фильтра:

$$\eta_\phi = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{1,3}{0,15} = 8,67;$$

$$\xi = \frac{D_{50}}{d_{50}} = \frac{1,1}{0,1} = 11$$

Соответствующая им точка располагается в области допустимых характеристик $\eta_\phi < 15$ и $\frac{D_{10}}{d_{10}} = 5 > 3$, следовательно, для этой контактной зоны карьерный грунт применим.

Для проверки отсутствия фильтрационных деформаций по контакту обратного фильтра дренажа с глинистым основанием пользуемся графиком на рисунке 12г. Точка, имеющая координаты $\eta_\phi = 8,67$ и $D_{50} = 1,1$ мм, попадает в область допустимых характеристик.

На основе проведенных расчетов делаем вывод о том, что карьерный грунт с заданными характеристиками можно использовать для первого слоя обратного фильтра дренажного банкета. Толщину слоя принимаем 0,2 м.

2.7 Противофильтрационные устройства грунтовых плотин

Противофильтрационные устройства проектируют из грунтовых и негрунтовых материалов. При проектировании противофильтрационных устройств необходимо обеспечить их сопряжение друг с другом, с основанием

по подошве и в береговых примыканиях, то есть создать сплошную противofильтрационную завесу.

2.7.1 Противofильтрационные устройства в теле плотины

В грунтовых плотинах, тело которых выполнено из сильноводопроницаемых грунтов, применяют противofильтрационные устройства (ПФУ). Их назначение – уменьшить фильтрационные потери воды через тело плотины, а также повысить устойчивость низового откоса.

Основные противofильтрационные устройства в теле плотины – ядра, экраны, диафрагмы. Схемы этих устройств, характерных для грунтовых плотин представлены на рисунке 2.

Грунтовые плотины с пластичным экраном. Под экраном понимается противofильтрационное устройство, располагаемое по верховому откосу плотины (рисунок 2е). Экран уменьшает фильтрацию воды через тело плотины. Его обычно устраивают из суглинка, смеси глины (не больше 40%) и песка, глиобетона (глина – 24%, песок – 36%, гравий – 40% по объему), реже из торфа.

Заложение внутреннего откоса экрана принимают из условия устойчивости откоса плотины, на котором он уложен. Толщину экрана, которая измеряется нормально к его откосу, поверху задают из условия производства работ, но не менее 0,8 м, а внизу не менее 0,1 напора. Гребень экрана должен быть выше отметки ФПУ с учетом ветрового нагона и наката волн.

Для защиты от промерзания с верховой стороны экран покрывается защитным слоем (пригрузкой) из гравийно-песчаного грунта, песка, супеси, гравия или щебня. Толщина защитного слоя не менее 1-1,5 м у основания плотины и не менее глубины промерзания выше максимального уровня воды в водохранилище.

Пластичные экраны более удобны для осмотра и ремонта, чем ядро, поэтому при возведении земляных плотин их устраивают чаще.

Плотины с экранами из негрунтовых материалов (рисунок 2ж). Жесткие экраны применяют при отсутствии соответствующих грунтов для пластичного экрана. Их делают из бетона или железобетона. Такие экраны имеют сложную конструкцию и более высокую стоимость по сравнению с пластичными. Кроме того при осадке тела плотины в жестких экранах могут появляться трещины. Поэтому они применяются редко.

Находят распространение экраны из полимерных пленок. Они достаточно прочны, химически инертны и хорошо свариваются горячим способом. Для недопущения разрыва пленки при колебаниях температуры и осадке тела плотины предусматривают компенсаторы. Для экранов применяют полиэтилен, поливинилхлорид, бутилкаучук, полиамид и т.п. толщиной 0,2 мм и более. Пленки укладывают на откосы плотины с заложением не менее 3. Подобные экраны защищаются специальными подстилающими и защитными слоями, которые защищают экран от среза и прокалывания.

Плотины с грунтовым ядром. Ядро уменьшает фильтрацию воды через тело плотины и устраивается из тех же материалов, что и пластичный экран. Возвышение гребня ядра над ФПУ принимают с учетом только ветрового наго-

на. Условия для назначения размеров ядра по верху и по низу те же, что и для пластичного экрана. Плотины с ядром более устойчивы к деформациям оснований, чем плотины с экраном.

Плотины с диафрагмой. Возводятся при отсутствии соответствующих грунтов для ядра. Диафрагмы выполняются из бетона, железобетона (толщина – не менее 0,3 м), металла и битумных материалов. Диафрагмы плотин не доступны для осмотра. В них, как и в жестких экранах, из-за разности гидростатического давления на гранях могут появляться трещины, поэтому подобные устройства применяются редко.

2.7.2 Противофильтрационные устройства в основании плотины

Если в основании грунтовых плотин залегают водопроницаемые грунты, то для уменьшения фильтрационных потерь воды и снижения гидравлических градиентов применяют противофильтрационные устройства. Они могут быть глухими (прорезают весь водопроницаемый слой) и висячими (не доходят до водоупора).

Замок – водонепроницаемое препятствие в основании плотины, прорезающее водопроницаемый слой и входящее в водоупор. Аналогичное устройство, не доходящее до водоупора, называют зубом. Замок применяют, когда мощность водопроницаемого слоя грунта в основании не более 3...4 м, он врезается в водонепроницаемый грунт на глубину не менее 0,5 м. Ширина нижнего основания замка 2-3 м. коэффициент откосов замка 0,5...1. С увеличением мощности водопроницаемого слоя переходят к комбинации зуба со шпунтовой стенкой или к инъекционной завесе.

Если в основании плотины толщина водопроницаемого грунта большая, устраиваются плотины с понуром или с экраном и понуром. Понур является продолжением экрана и делается из того же материала, что и экран. Толщина его в верховом конце должна быть не менее 0,5 м, а в месте соединения с экраном – 1...2 м с таким расчетом, чтобы градиенты напора фильтрационного потока, возникающие в понуре, не превышали 12. Длина понура обычно принимается (3...5)Н и больше, где Н – максимальная глубина перед плотиной.

Максимальную длину понура можно определить следующим образом

$$L_{\max} = \sqrt{0,195T_B^2 + 2 \frac{k_{oc}}{k_{пон}} t T_B} - 0,44T_B, \quad (18)$$

где T_B – мощность водопроницаемого основания, м;

k_{oc} , $k_{пон}$ – коэффициенты фильтрации основания и понура соответственно, м/сут;

t – толщина понура, которой обычно задаются.

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

2.8 Фильтрационные расчеты плотин

Применяют два основных аналитических метода – гидромеханический и гидравлический. Гидромеханический метод почти не имеет применения из-за своей сложности. Гидравлический метод основан на ряде упрощений, он прост, не требует сложных математических операций и имеет широкое распространение.

Экспериментальные методы наиболее точно воспроизводят картину движения фильтрационного потока в реальных условиях. Они обязательны при фильтрационных расчетах плотин I и II классов, а также других классов при соответствующем обосновании. Среди экспериментальных методов широкое распространение получил метод ЭГДА.

Широко применяют гидравлический метод эквивалентного профиля, в котором реальный поперечный профиль плотины заменяют на эквивалентный в фильтрационном отношении профиль плотины с вертикальным верховым откосом. Вертикальный откос располагают на расстоянии ΔL от вертикали, проходящей через точку пересечения уровня воды с откосом.

Расчет ведут при двух независимых предположениях. Вначале считают, что плотина водопроницаема, а основание водонепроницаемо, и для этой схемы определяют фильтрационный расход через тело плотины q_T и строят кривую депрессии. Затем, наоборот, считают плотину водонепроницаемой, а основание водопроницаемым, и определяют фильтрационный расход через основание плотины q_o .

$$q_o = k_o T \frac{H_1 - H_2}{n B_{nl}}, \quad (19)$$

где T – глубина водопроницаемого основания, м;
 $B_{пл}$ – ширина плотины по основанию, м;
 k_o – коэффициент фильтрации основания, м/сут;
 n – поправочный коэффициент, определяемый в зависимости от отношения B_{nl}/T по таблице 9.

Таблица 9 – Значения поправочного коэффициента n

B_{nl}/T	20	5	4	3	2	1
n	1,15	1,18	1,23	1,30	1,44	1,87

При наличии в основании плотины разнородных грунтов, коэффициент фильтрации основания определяется следующим образом:

$$k_o = \sqrt{k_{\max} \cdot k_{\min}},$$

$$\text{где } k_{\max} = \frac{k_1 T_1 + k_2 T_2 + \dots + k_m T_m}{T_1 + T_2 + \dots + T_m} \text{ и } k_{\min} = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_m}{T_1/k_1 + T_2/k_2 + \dots + T_m/k_m}.$$

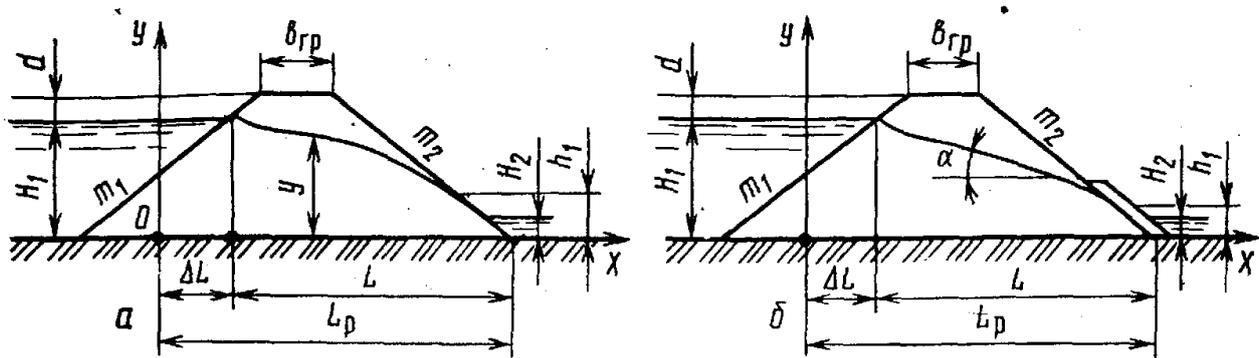
Общий фильтрационный расход определяется как сумма расходов через плотину и основание

$$q = q_T + q_o. \quad (20)$$

В случае дренированных плотин размер $B_{пл}$ принимают равным расстоянию от подошвы верхового откоса до начала дренажа. При построении кривой депрессии участок ее примыкания к реальному верховому откосу исправляют визуально так, чтобы участок был перпендикулярен откосу в точке его пересечения с уровнем воды в верхнем бьефе и затем плавно переходил в депрессионную кривую.

Расчетные зависимости составлены для различных расчетных схем поперечного профиля плотины []:

а) плотина без дренажа на водонепроницаемом основании (или с наклонным дренажем)



а – без дренажа; б – с наклонным дренажем

Рисунок 14 – Расчетные схемы однородных плотин

Высота выхода кривой депрессии на низовой откос над уровнем основания плотины в НБ равна:

$$h_1 = \frac{L_p}{m_2} - \sqrt{\left(\frac{L_p}{m_2}\right)^2 - (H_1 - H_2)^2} + H_2, \quad (21)$$

где H_1 и H_2 – глубина воды в верхнем и нижнем бьефах;
 L_p – ширина эквивалентного профиля плотины по основанию

$$L_p = \Delta L + L; \quad (22)$$

$$L = m_1 d + b_{cp} + m_2 (H_1 + d); \quad (23)$$

$$\Delta L = \beta H_1; \quad (24)$$

где $\beta = \frac{m_1}{1 + 2m_1}$ - коэффициент, учитывающий крутизну верхового откоса. При $m_1 \geq 2$ $\beta \approx 0,44$.

Расход фильтрационного потока через тело плотины:

$$q_T = k_T \frac{H_1^2 - h_1^2}{2 \left(L_p - \frac{m_2}{h_1} \right)}; \quad (24)$$

где k_T - коэффициент фильтрации тела плотины.

Кривую депрессии строят по уравнению:

$$y = \sqrt{H_1^2 - \frac{2q_T}{k_T} x}, \quad (25)$$

задаваясь «х» в диапазоне от $x = \Delta L$ до $x = L_p - m_2 h_1$ не менее шести раз.

Скорость фильтрации на выходе фильтрационного потока на низовой откос или входе в дренаж:

$$v_{вых} = k_T I_{вых}, \quad (26)$$

где $I_{вых}$ - уклон кривой депрессии (градиент напора) при выходе на низовой откос

Градиент напора при выходе на низовой откос:

$$I_{вых} = \frac{\Delta y}{\Delta x}, \quad (27)$$

где Δy - падение депрессионной кривой на интервале Δx , равном разности абсцисс двух последних расчетных точек при построении кривой депрессии.

При отсутствии воды в нижнем бьефе расчет проводят по тем же зависимостям, полагая в формуле () $H_2 = 0$.

б) плотина с дренажным банкетом на водонепроницаемом основании

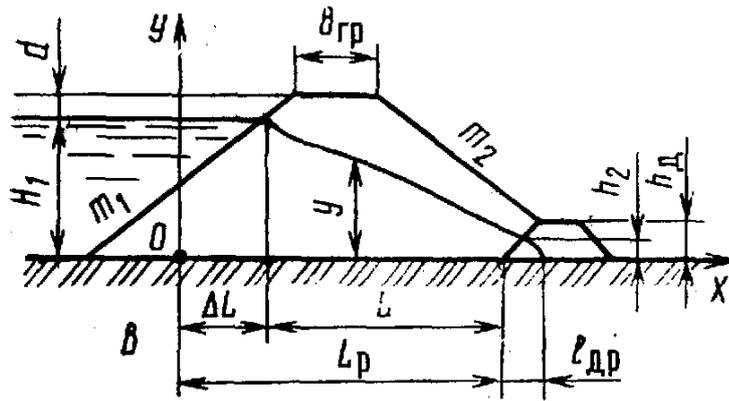


Рисунок 15 – Расчетная схема плотины с дренажным банкетом

Расход фильтрационного потока через тело плотины:

$$q_T = k_T \frac{H_1^2 - H_2^2}{2(L_p + l_{др})}; \quad (28)$$

$$\text{где } L_p = \Delta L + L = \beta H_1 + m_1 d + b_{гр} + m_2 (H_1 + d - h_{др}) - m_3 h_{др}. \quad (29)$$

Величиной захода депрессионной кривой в дренаж пренебрегают или определяют по одной из следующих зависимостей

$$l_{др} = \frac{m_3 H_2}{3}; \quad l_{др} = 0,05 H_1.$$

$h_2 = q_T / k_T$ - ордината кривой депрессии в дренаже.

Кривую депрессии строят, задаваясь x от $x = \Delta L$ до $x = L_p$, по уравнению (25).

в) плотина с трубчатым дренажем на водонепроницаемом основании.

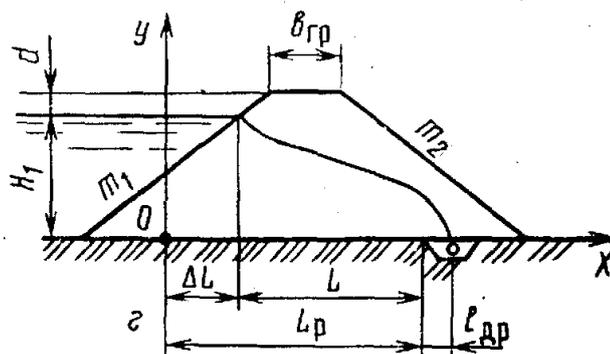


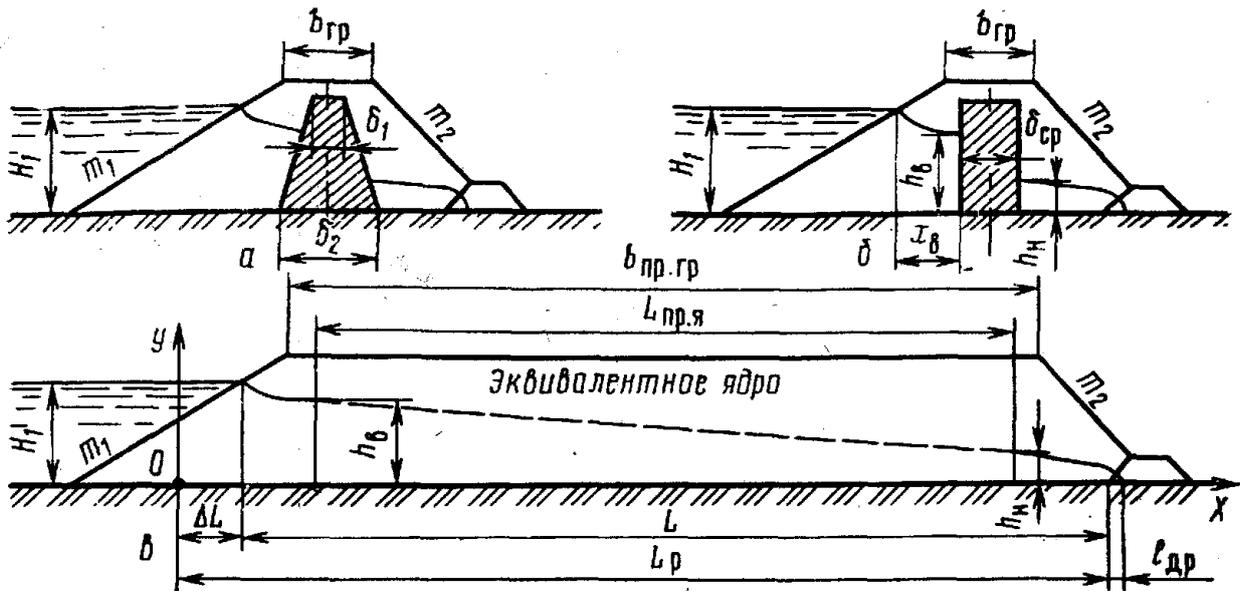
Рисунок 16 – Расчетная схема плотины с трубчатым дренажем

Особенность данного случая состоит в том, что воды в нижнем бьефе нет. Фильтрационное уравнение при этом имеет вид:

$$q_T = k_T \frac{H_1^2}{2L_p}, \quad (30)$$

где $L_p = L + \Delta L$.

г) плотина с ядром на водопоре



а – проектный профиль, б – профиль плотины с приведенным ядром, в – профиль эквивалентной однородной плотины

Рисунок 17 – Расчетная схема плотины с ядром

Для расчета такой плотины применяют виртуальный метод, в котором ядро с заданными размерами и коэффициентом фильтрации $k_я$ заменяют приведенным ядром призматической формы с коэффициентом фильтрации k_T . Плотина тем самым приводится к эквивалентной по фильтрационным свойствам однородной плотине.

Расчет можно выполнять в следующем порядке:

- найти среднюю толщину ядра

$$\delta_{cp} = \frac{\delta_1 + \delta_2}{2}, \quad (31)$$

где δ_1, δ_2 - толщина ядра по верху и по низу соответственно;

- определить приведенную (виртуальную) толщину эквивалентного ядра

$$L_{np.я} = \frac{\delta_{cp} k_T}{k_я} \quad (32)$$

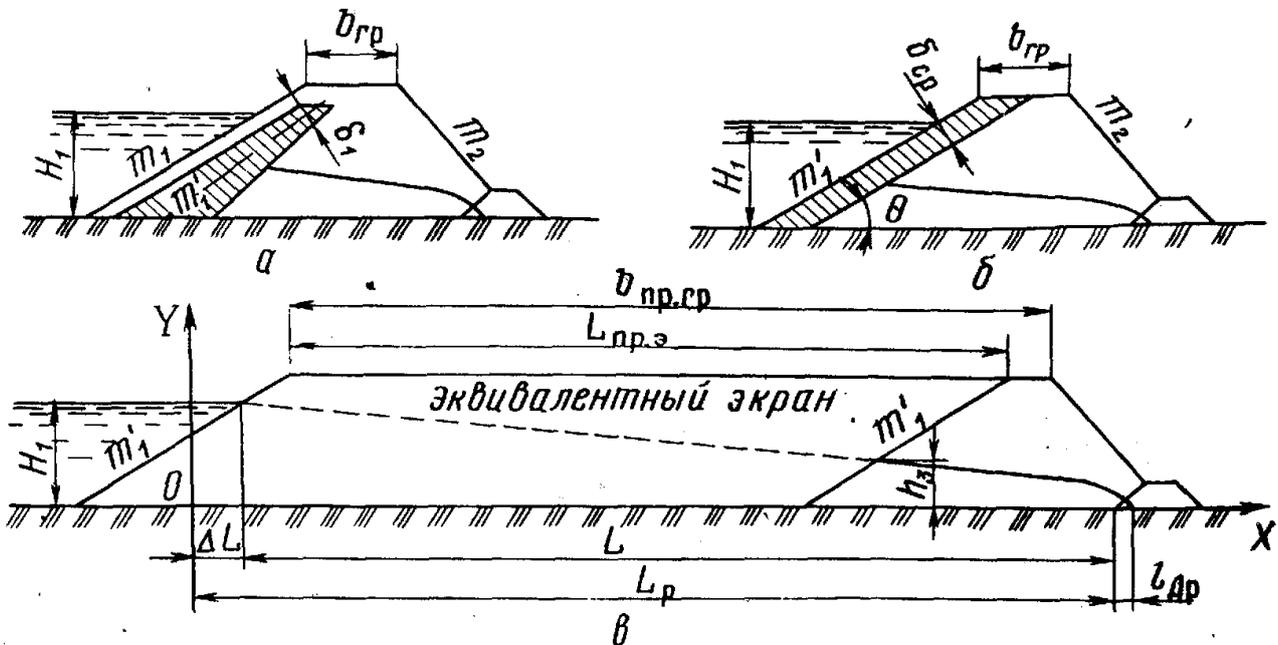
- вычислить приведенную ширину гребня плотины

$$b_{np.гр} = b_{гр} + L_{np.я} - \delta_{cp} \quad (33)$$

Далее расчет ведут как для однородной плотины без дренажа или с дренажем, в зависимости от принятой конструкции плотины, заменяя в формулах (23) или (29) величину $b_{гр}$ на $b_{np.гр}$.

Кривую депрессии строят только на участках плотины до и после ядра, задавая значения x от $x = \Delta L$ до $x = \Delta L + x_B$ и от $x = \Delta L + x_B + L_{np.я}$ до $x = L_p$.

д) плотина с экраном на водоупоре



а – проектный профиль; б – профиль плотины с приведенным экраном; в – профиль эквивалентной однородной плотины

Рисунок 18 – Расчетная схема плотины с экраном

Экран заданных размеров, выполненный из грунта с коэффициентом фильтрации $k_э$, заменяют на эквивалентную в фильтрационном отношении призму с коэффициентом фильтрации k_T . Порядок расчета подобен случаю плотины с ядром:

- по формуле (31) находят среднюю толщину экрана;
- определяют приведенную толщину эквивалентного экрана

$$L_{np.э} = \frac{\delta_{cp} k_T}{k_э \sin \theta}, \quad (34)$$

где θ - угол наклона средней линии экрана к основанию плотины;

- вычисляют приведенную ширину гребня плотины

$$b_{np.э} = b_{cp} + L_{np.э} - \delta_{cp}. \quad (34)$$

Дальнейший расчет ведут, применяя расчетные схемы для однородной плотины с дренажем или без дренажа, в зависимости от принятой конструкции плотины. При этом в соответствующие формулы вместо величины b_{cp} подставляют значение $b_{np.э}$, а вместо m_1 – величину $m_1' = ctg\theta$.

Кривую депрессии строят на участке, расположенном за экраном, пренебрегая потерями фильтрационного напора в пригрузочном слое экрана.

2.9 Фильтрационная прочность грунтов тела плотины и ее основания

Фильтрационную прочность тела плотины и противофильтрационных устройств оценивают на основе соответствующих расчетов и экспериментальных исследований грунтов при действующих в сооружении градиентах напора. При этом учитывают напряженно-деформационное состояние плотины и ее основания, особенности конструкции плотины, а также методы ее возведения и условия эксплуатации. При выполнении расчета фильтрационной прочности напор, действующий на плотину, принимают равным его наибольшему значению.

Для того чтобы не допустить фильтрационные деформации, необходимо выполнить следующее условие:

$$I_{cp} \leq \frac{I_{\kappa}^{cp}}{K_n}, \quad (35)$$

где I_{cp} — действующий средний градиент напора в расчетной области фильтрации;

I_{κ}^{cp} — критический средний градиент напора;

K_n — коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый в зависимости от класса сооружений (для сооружения III класса $K_n=1,15$, для сооружений IV класса $K_n=1,10$).

Проверку выполнения условия (35) следует проводить для всех возможных зон возникновения фильтрационных деформаций (в теле плотины, ее основании, в местах выхода фильтрационного потока в нижний бьеф и в дренаж, в местах контакта грунтов с различными характеристиками, в противофильтрационных устройствах и на их границах).

Расчеты фильтрационной прочности нескальных оснований плотин выполняют в соответствии с рекомендациями, приведенными в [6]. При этом действующий средний градиент напора в основании плотины

$$I_{cp} = \frac{H_1 - H_2}{nB_{nl}}, \quad (36)$$

где n — поправочный коэффициент, определяемый по таблице 9.

Значение фактического градиента при выходе фильтрационного потока на низовой откос определяют по формуле (27).

Для ядра или экрана из грунтовых материалов действующий градиент вычисляют по формуле

$$I_{cp} = \frac{h_{II}}{\delta_{cp}}, \quad (37)$$

где h_{II} — потери напора в противofильтрационном элементе (рисунок 17 и 18);

δ_{cp} — средняя толщина ядра или экрана.

Значения критического градиента следует устанавливать на основании исследований грунтов в условиях, отвечающих реальным ситуациям эксплуатации плотины. В предварительных расчетах и при отсутствии необходимых исследований значения $I_{к}^{cp}$ могут быть приняты по таблице 10.

При использовании ее данных необходимо учитывать физико-механические свойства грунта и способы его укладки, назначая большее значение $I_{к}^{cp}$ для более плотного грунта.

Если условие (35) выполняется не для всех возможных зон возникновения фильтрационных деформаций, то необходимо уточнить принятые конструктивные решения плотины (размеры плотины и противofильтрационных элементов, местоположение дренажа и пр.) так, чтобы обеспечивалась фильтрационная прочность грунтов.

Таблица 10 – Значения средних критических градиентов напора

Грунт	Значения $I_{к}^{cp}$ для		
	понура	экрана и ядра	тела плотины
Глина, глинобетон	15	12	8...2,0
Суглинок	10	8	4...1,5
Супесь	3	2	2...1,0
Песок:			
- средний	-	-	1,0
- мелкий	-	-	0,75

Список литературы

1. Каганов Г.М., Румянцев И.С. Гидротехнические сооружения. В 2-х книгах. – М.: Энергоатомиздат, 1994 с.: ил.
2. Румянцев И.С., Попов М.А. Природоохранные сооружения. Уч. пособие. Московский Государственный Университет природообустройства. М.: МГУП, 2001, - 340 с.
3. Курсовое и дипломное проектирование по гидротехническим сооружениям. Под ред. В.С. Лапшенкова.- М.: Агропромиздат, 1989.-448 с.:ил.
4. Волков И.М., Кононенко П.Ф., Федечкин И.К. и др. Проектирование гидротехнических сооружений. М., «Колос», 1977.
5. СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). М.: Госстрой СССР, 1989.
6. СНиП 2.06.05-84* Плотины из грунтовых материалов. М.: Госстрой СССР, 1991.
7. СНиП 2.06.01-86 Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования. М.: Госстрой СССР, 1989.

Учебное издание

КРОВОПУСКОВА ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА

Учебно-методическое пособие

к выполнению курсовой работы
по курсу «*Гидротехнические сооружения*»
для студентов очной и заочной форм обучения
по направлению подготовки бакалавра
20.03.02 - Природообустройство и водопользование

Редактор Лебедева Е.М.

Подписано к печати 30.11.2015 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага печатная. Усл. п. л. 2,32. Тираж 25 экз. Изд. № 4000.

Издательство Брянской государственной сельскохозяйственной академии
243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, Брянская ГСХА