

СНиП РК 3.04-02-2008

Плотины из грунтовых материалов

Содержание

- [1 Область применения](#)
- [2 Нормативные ссылки](#)
- [3 Термины и определения](#)
- [4 Общие положения](#)
- [5 Земляные насыпные плотины](#)
- [6 Земляные намывные плотины](#)
- [7 Каменно-земляные и каменно-набросные плотины](#)
- [8 Основные положения расчета плотин](#)
- [9 Проектирование плотин из грунтовых материалов в сейсмических районах](#)
- [Приложение 1 \(рекомендуемое\) Условия необходимости учета порового давления](#)
- [Приложение 2 \(обязательное\) Контроль за состоянием сооружений и оснований в период строительства и эксплуатации](#)
- [Приложение 3 \(рекомендуемое\) Расчет нормы грунта при возведении земляных намывных плотин](#)
- [Приложение 4 \(рекомендуемое\) Расчеты границ зон фракционирования и осредненного зернового состава намывного грунта в поперечном сечении плотины](#)
- [Приложение 5 \(рекомендуемое\) Расчет устойчивости откосов по способу наклонных сил взаимодействия](#)
- [Приложение 6 \(рекомендуемое\) определение крутизны волнустойчивого неукрепленного откоса плотин из песчаного грунта при «профиле динамического равновесия»](#)
- [Приложение 7 \(рекомендуемое\) Проектирование плотин со стальными диафрагмами](#)

1 Область применения

Настоящие нормы и правила распространяются на проектирование новых и реконструкцию существующих плотин (или напорных дамб) из грунтовых материалов (земляных насыпных и намывных, каменно-земляных и каменно-набросных), входящих в состав сооружений различных видов строительства (гидроэнергетического и воднотранспортного, мелиоративных систем, систем водоснабжения, рыборазведения, защиты территорий от затопления).

2 Нормативные ссылки

В настоящих строительных нормах и правилах приведены ссылки на следующие нормативные документы:

- [СНиП 2.06.08-87](#) Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений
- [СНиП РК 3.04-01-2008](#) Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования
- [СНиП РК 2.03-30-2006](#) Строительство в сейсмических районах
- [СНиП 3.02.01-87](#) Земляные сооружения, основания и фундаменты
- [СНиП 3.07.01-85](#) Гидротехнические сооружения речные
- [СНиП РК 2.02-02-2006](#) Основания гидротехнических сооружений
- [СНиП РК 3.04-40-2006](#) Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)
- [СНиП РК 1.02-18-2004](#) Инженерные изыскания для строительства. Основные положения

[МСП 3.04-101-2005](#) Определение основных расчетных гидрологических характеристик
[ГОСТ 25100-95](#) Грунты. Классификация

1) *Примечание* - При пользовании настоящим государственным нормативом целесообразно проверить действие документов, по соответствующим указателям, составленным по состоянию на текущий год. Если документ заменен (изменен), следует руководствоваться замененным (измененным). В случае отмены документа то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящих строительных нормах и правилах использованы термины, приведенные ниже:

берма: Почти горизонтальная площадка с незначительным уклоном, устраиваемая на откосах плотин для отвода вод и других целей;

бьеф: Часть водотока, примыкающая к водоподпорному сооружению;

верхний бьеф: Бьеф с верхней стороны водоподпорного сооружения;

верховой откос: Поверхность плотины со стороны верхнего бьефа;

гребень: Верх тела плотины;

дренаж: Устройства для сбора и отвода профильтровавшихся и подземных вод;

зуб плотины: Частичное заглубление подошвы в основании в целях повышения устойчивости плотины при скальном основании или увеличения пути фильтрации при мягких основаниях;

нижний бьеф: Бьеф с низовой стороны водоподпорного сооружения;

низовой откос: Поверхность плотины со стороны нижнего бьефа;

обратный фильтр: Мелкоячеистый фильтрующий слой на контакте дренажа и дренируемого тела, препятствующий выносу грунтовых частиц.

плотина: Водоподпорное сооружение, перегораживающее водоток и его долину, для подъема уровня воды;

подпорный уровень: Уровень воды, образующийся в водотоке или водохранилище в результате подпора;

подошва плотины: Поверхность примыкания плотины к основанию;

потерна: Галерея внутри плотины;

противофильтрационное устройство: Слой малопроницаемого грунта или искусственного материала, препятствующий фильтрации воды;

экрaн: Верховое противофильтрационное устройство плотины;

4 Общие положения

4.1 При проектировании плотин, предназначенных для строительства в сейсмических районах, на просадочных и набухающих грунтах, а также на площадках, подверженных оползням, селям и карсту, надлежит учитывать дополнительные требования, предъявляемые к строительству сооружений в указанных условиях соответствующими нормативными документами, утвержденными и согласованными с уполномоченным органом по делам строительства.

Классы плотин и требования к их безопасности устанавливаются с [СНиП РК 3.04-01-2008](#).

Инженерные изыскания, в том числе инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрометеорологические необходимые для проектирования и строительства плотин из грунтовых материалов, следует проводить в соответствии с требованиями [СНиП РК 1.02-18-2004](#), [МСП 3.04-101-2005](#) с учетом специфики

гидротехнического строительства и дополнительными исходными данными, содержащимися в задании на проектирование и учитывающими конкретные условия проектируемого объекта.

4.2 Плотины из грунтовых материалов в зависимости от материала их тел и противофильтрационных устройств, а также способов возведения, подразделяют на основные типы, указанные в таблице 1.

Таблица 1

Тип плотины	Отличительные признаки
Земляная насыпная (см. разд. 5)	Грунты от глинистых до гравийно-галечниковых; отсыпают насухо с уплотнением или в воду
Земляная намывная (см. разд. 6)	Грунты от глинистых до гравийно-галечниковых; намывают средствами гидромеханизации
Каменно-земляная (см. разд. 7)	Грунты тела — крупнообломочные; противофильтрационных устройств — от глинистых до мелкопесчаных
Каменно-набросная (см. разд. 7)	Грунты тела — крупнообломочные; противофильтрационные устройства — из негрунтовых материалов

4.3 Створ плотины следует выбирать на основании технико-экономического сопоставления вариантов в увязке с компоновкой гидроузла и в зависимости от топографических, гидрологических, инженерно-геологических условий площадки строительства и требований охраны природной среды, определяемых [СНиП РК 3.04-01-2008](#).

При этом следует учитывать:

- необходимость расположения водопропускных сооружений таким образом, чтобы исключить возможность опасных размывов берегов, подмыва плотины при сбросе воды в нижний бьеф и отложения продуктов размыва в размерах, ухудшающих условия эксплуатации гидроузла;

- возможность пропуска воды через створ плотины в период ее строительства, а также возможность прокладки по плотине и на подходах к ней дорог различного назначения, как в период строительства, так и в период эксплуатации;

- целесообразность включения перемычек (банкетов), необходимых для перекрытия русла реки в период строительства гидроузла, в тело плотины;

- режим расходов и уровней водотока;

- условия пропуска льда, наносов, леса, судов, рыбы и другие специальные требования, предъявляемые к проектируемому объекту;

- возможность образования незамерзающей зимой полыни в нижнем бьефе и ее влияние на повышение влажности воздуха и туманообразования на прилегающей территории.

4.4 Тип плотины ([таблица 1](#)) следует выбирать в зависимости от топографических и инженерно-геологических условий основания и берегов, гидрологических и климатических условий района строительства, величины напора воды, наличия грунтовых строительных материалов, сейсмичности района, общей схемы организации строительства и производства работ, особенностей пропуска строительных расходов воды, сроков ввода в эксплуатацию и условий эксплуатации плотины.

Тип и конструкцию плотины следует выбирать на основании технико-экономического сравнения вариантов, учитывающих технологию строительных работ, а также общую компоновку гидроузла. Сравнимые варианты должны иметь одинаковую степень проработанности и надежности. Для возведения плотины из грунтовых материалов надлежит предусматривать использование грунта и камня, полученных из полезных выемок.

Выбор конструкций плотин, возводимых в сейсмических районах, а также мероприятий по повышению их сейсмостойкости, следует производить с учетом требований [СНиП РК 2.03-30-2006](#).

4.5 Возведение плотин из грунтовых материалов можно предусматривать как на скальных, так и на нескальных грунтах основания.

Возведение плотин на нескальных грунтах основания, содержащих водорастворимые включения в количестве большем, чем указано в [п. 5.5](#), допускается только при проведении исследований скорости рассоления и выщелачивания и учете этих процессов при оценке фильтрационного расхода, устойчивости и деформируемости сооружения. Для предотвращения выщелачивания грунтов основания могут предусматриваться различные конструктивные меры (например, устройство понуров, зубьев, завес, обеспечение насыщения раствора в основании плотины и др.).

При строительстве плотин из грунтовых материалов на торфяном (зоторфованном) основании необходимо выполнять исследования по прогнозу разложения торфа во времени и учету этого процесса при обосновании устойчивости сооружения.

Плотины на илистых грунтах допускается возводить только при наличии надлежащего обоснования.

4.6 При оценке качества грунтов нескального основания надлежит обращать особое внимание на наличие в нем:

- 1) суффозионных грунтов,
- 2) грунтов, в которых при возведении плотины может развиваться поровое давление в связи с их консолидацией. Условия необходимости учета порового давления изложены в рекомендуемом [приложении 1](#).

4.7 При оценке качества скального основания следует обращать особое внимание на наличие в нем:

- трещин, заполненных легковымываемыми мелкими фракциями грунта;
- тектонических нарушений (сбросов и сдвигов);
- ослабленных зон, которые могут разрушаться под влиянием фильтрации и насыщения их водой и оказаться неустойчивыми.

4.8 Основные расчеты при проектировании плотин из грунтовых материалов следует выполнять в соответствии с требованиями [раздела 5](#).

4.9 При проектировании плотин из грунтовых материалов выбор способов производства работ по их возведению следует производить в соответствии с требованиями [СНиП 3.02.01-87](#) и [СНиП 3.07.01-85](#).

Для каждого элемента плотин должны быть разработаны технические условия на его возведение с учетом материала, способа производства работ, климатических и других местных условий, предусматривающие также контроль качества работ, обеспечивающего надежную работу плотин. Технические условия при соответствующем обосновании могут изменяться и уточняться в процессе строительства.

4.10 В проектах плотин необходимо предусматривать специальный проект на установку контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) для проведения натурных наблюдений за работой сооружения как в процессе строительства, так и в период его эксплуатации согласно обязательному [приложению 2](#).

4.11 Реконструкцию плотин из грунтовых материалов следует осуществлять при необходимости:

- увеличения призмы регулирования водохранилища;
- повышения требований к надежности сооружения и условиям его эксплуатации;
- повышения экономичности сооружения за счет уменьшения потерь воды и затрат на его эксплуатацию;
- выполнения требований по охране природной среды.

4.12 Проектами реконструкции плотин из грунтовых материалов должны быть учтены результаты обследований эксплуатируемого сооружения и необходимость реконструкции

сопрягающихся с ним сооружений (водосливных плотин, зданий ГЭС, шлюзов, рыбопропускных сооружений и т. д.).

4.13 В проектах грунтовых плотин при соответствующем обосновании следует предусматривать возможность их реконструкции в период эксплуатации.

Физико-механические характеристики грунтов

4.14 Для проектирования плотин и дамб из грунтовых материалов необходимо определять следующие основные характеристики грунтов, предназначенных для укладки в тело сооружений:

- зерновой состав, а для глинистых грунтов, отсыпаемых в воду, дополнительно количественное содержание комьев грунта по размеру;

- плотность грунта ρ ;

- плотность частиц грунта ρ_s ;

- влажность грунта w ;

- плотность сухого грунта ρ_d при влажности $w = 0$ (для сыпучих грунтов в максимально плотном $\rho_{d,max}$ максимально рыхлом $\rho_{d,min}$ состоянии);

- оптимальную влажность w_{opt} и оптимальную плотность сухого грунта $\rho_{d,opt}$. Для глинистых грунтов эти величины определяют с учетом конкретных типов грунтоуплотняющих механизмов;

- границы пластичности для глинистых грунтов (текучести w_l и раскатывания w_p), а при необходимости — и максимальную молекулярную влагоемкость w_m , а также минеральный состав глинистых частиц;

- прочностные: угол внутреннего трения φ , удельное сцепление c , а также прочность на одноосное растяжение σ_t , (в случаях необходимости проверки трещиностойкости глинистых противофильтрационных устройств плотин и дамб);

- показатели деформируемости: коэффициент уплотнения a , модуль деформации E и коэффициент поперечного расширения ν ;

- коэффициент фильтрации k ;

- показатели фильтрационной прочности грунтов: критические градиенты напора (при расчетах выпора $I_{cr,u}$, суффозии $I_{cr,p}$ и контактного размыва $I_{cr,c}$) и критические скорости фильтрации;

- показатели просадочности для глинистых (лёссовых) грунтов;

- показатели набухания и усадки для глинистых грунтов, а также пучения при воздействии отрицательных температур.

Кроме того, необходимо определять содержание в грунтах водорастворимых солей, а также органических примесей и степень их разложения. Для камня и крупнообломочных пород следует определять водопоглощение и морозостойкость (если они предназначены для укладки в зонах промерзания).

Виды грунтов плотин и оснований, их физико-механические характеристики необходимо определять в соответствии с требованиями [ГОСТ 25100-95, СНиП РК 2.02-02-2006](#).

Характеристики грунтов (прочностные, деформационные, фильтрационные) следует определять экспериментально с учетом их состояния по плотности и влажности, в котором грунты будут находиться в плотине в процессе ее строительства и эксплуатации, для плотин I класса — с учетом последовательности возведения и вида напряженно-деформированного состояния.

4.15 Для проектирования плотин I и II классов дополнительно к характеристикам грунтов, указанным в [п. 4.14](#), следует определять:

- расчетное сопротивление сжатию и коэффициент размягчаемости исходной горной породы — для камня и крупнообломочных грунтов;

- анизотропные фильтрационные и прочностные характеристики намытых грунтов.

4.16 Характеристики грунтов, предназначенных для укладки в тело плотин и дамб, а также грунтов их оснований следует устанавливать по материалам инженерно-геологических изысканий и исследований.

При проектировании грунтовых сооружений из искусственных смесей их характеристики определяют путем специальных исследований.

Характеристики грунтов намывных плотин устанавливают с учетом данных о плотинах-аналогах, возведенных из карьерных грунтов, близких по зерновому составу и форме частиц к грунтам проектируемого сооружения и намывных по одинаковой с аналогом технологии.

При назначении характеристик грунтов намывных плотин надлежит учитывать изменение их показателей с течением времени по данным аналогов и исследований или по результатам проведения опытного намыва.

Для неоднородных земляных намывных плотин (6.1) физико-механические характеристики намывного грунта следует определять отдельно для каждой зоны.

4.17 Нормативные и расчетные значения характеристик грунтов (плотность, деформируемость, фильтрационные показатели и т.п.) следует устанавливать статистической обработкой результатов полевых и лабораторных определений, руководствуясь требованиями СНиП РК 2.02-02-2006.

При проектировании частей намывных плотин, намывных выше уровня воды, из песчаных, гравийных и галечниковых грунтов расчетные значения физико-механических характеристик намываемого грунта могут приниматься по данным [таблице 2](#) с последующей корректировкой по фактическим показателям. Плотность сухого грунта для частей намывных плотин, намывных под воду, следует принимать как среднее арифметическое плотности сухого грунта ρ_d и плотности $\rho_{d,min}$ намываемого грунта в максимально рыхлом состоянии.

Прочностные характеристики крупнообломочных грунтов допускается определять на основе моделирования их составов.

Таблица 2

Грунт	Плотность сухого грунта ρ_d , т/м ³	Угол внутреннего трения водонасыщенного грунта φ , град	Коэффициент фильтрации k , м/сут
Песок:			
пылеватый	1,35—1,50	22—24	0,5—5
мелкий и средний	1,45—1,60	24—30	2—25
крупный	1,55—1,65	30—32	5—35
гравелистый	1,60—1,75	32—34	10—50
Гравийный с содержанием песка менее 50 %	1,70—1,90	34—36	Св. 30

Примечания

- 1 [Таблица 2](#) составлена для грунтов с плотностью частиц $\rho_s = 2,65 — 2,70$ т/м³.
- 2 Большие значения плотности ρ_d и коэффициента фильтрации k относятся к грунту с зернами окатанной формы, меньшие — к грунту с неокатанными зернами.
- 3 Большее значение угла внутреннего трения относится к грунту с неокатанными зернами, меньшее — к грунту с зернами окатанной формы.
- 4 При учете анизотропии характеристик намывных песчаных грунтов рекомендуется в расчетах фильтрации и устойчивости откосов намывных плотин корректировать приведенные в [таблице 2](#) значения коэффициента фильтрации и угла внутреннего трения

4.18 За расчетные значения плотности сухого грунта в теле плотины следует принимать величины ρ_d , соответствующие односторонней доверительной вероятности $\alpha = 0,95$. Исходя из этого, устанавливают контрольные показатели физико-механических характеристик грунта для сооружения в целом или отдельных его частей.

4.19 В проектах необходимо предусматривать геотехнический контроль за возведением плотины и состоянием ее основания. При выполнении геотехнического контроля следует учитывать требования [СНиП 3.02.01-87](#), [СНиП 3.07.01-85](#) и проекта.

4.20 Плотность сложения грунта земляных насыпных, каменно-земляных и каменно-набросных плотин следует назначать с учетом:

- исследований свойств грунтового материала и расположения его в теле плотины (как по высоте, так и по элементам профиля);
- внешних нагрузок;
- напряженно-деформированного состояния;
- способа отсыпки и уплотнения грунтового материала и интенсивности возведения.

Плотность сложения грунта, как правило, назначают переменной по высоте плотины. При этом, учитывая изменение его физико-механических свойств в процессе строительства и эксплуатации сооружения, более плотный грунт принимают для нижних частей плотины.

Для плотин, возводимых в сейсмических районах, плотность сложения грунта в верхней части их профиля со стороны верхнего бьефа должна быть выше, чем в остальных частях. Размеры этой части определяют расчетом в зависимости от конструкции плотины с учетом требований [СНиП РК 2.03-30-2006](#).

Окончательно плотность сложения грунта устанавливают сравнением технико-экономических показателей разрабатываемых вариантов.

4.21 Для плотин I и II классов из грунтовых материалов следует, как правило, предусматривать опытные заготовки, отсыпку и укатку или намыв грунтов на участках, предпочтительно располагаемых в пределах профильных объемов проектируемого сооружения, для отработки технологии строительных работ, уточнения расчетных характеристик, а для намывных плотин также для определения раскладки грунта (фракционирования) по длине откоса намыва.

Плотность крупнообломочных грунтов каменно-земляных и каменно-набросных плотин III и IV классов допускается назначать по аналогам с учетом зернового состава грунта, прочности камня на сжатие, толщины отсыпаемого слоя, а также методов его уплотнения.

5 Земляные насыпные плотины

5.1 Земляные насыпные плотины по конструкции тела и противифльтрационных устройств в теле и основании подразделяют на основные виды, указанные в [таблице 3](#) и на [рисунке 1](#).

5.2 При проектировании земляных насыпных плотин на нескальном основании следует отдавать предпочтение однородным плотинам, а также плотинам с грунтовым противифльтрационным устройством (призмой, ядром, экраном).

Таблица 3

Элементы плотины	Вид плотины
Тело плотины	Однородная (рисунк 1, а) Неоднородная (рисунк 1, б, в) С экраном из негрунтовых материалов (рисунк 1, г)

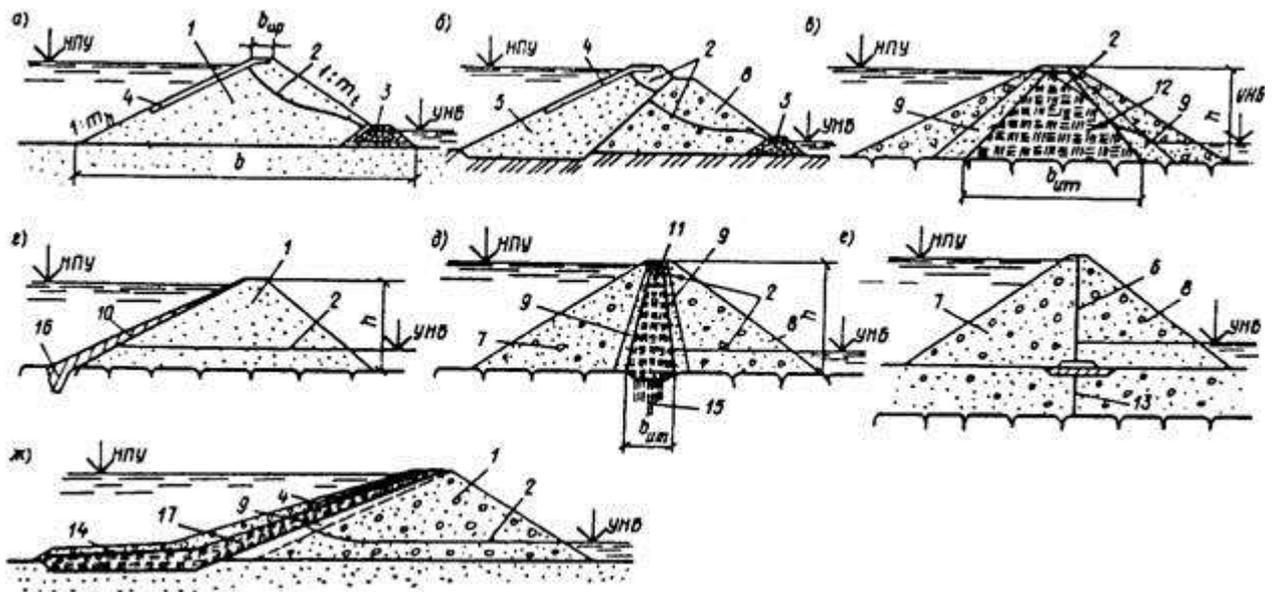
		С грунтовым ядром (вертикальным или наклонным), рисунок 1, д С негрунтовой диафрагмой (рисунок 1, е) С грунтовым экраном (рисунок 1, ж)
Противофильтрационное устройство в основании плотины	в	С зубом (чертеж 1, г) С инъекционной (цементационной и др.) завесой (чертеж 1, д) Со стенкой, шпунтом (чертеж 1, е) С понуром (чертеж 1, ж)

Примечания

1 Грунтовые противофильтрационные устройства неоднородной плотины при большой их

толщине $b_{\text{гит}} \left(\frac{h}{b_{\text{гит}}} < 1,0 \right)$ называют верховыми ([рисунок 1, б](#)) или центральными ([рисунок 1, в](#)) призмами (противофильтрационными) соответственно их расположению.

2 Конструкции тела плотины могут сочетаться с различными конструкциями противофильтрационных устройств в ее основании; выбор зависит от геологии основания и обосновывается расчетами и технико-экономическим сопоставлением вариантов. Возможно сопряжение тела плотины с основанием без противофильтрационных устройств.



а-ж- см. [таблицу 3](#);

1 — тело плотины; 2 — поверхность депрессии; 3 — дренаж; 4 — крепление откосов; 5 — верховая грунтовая противофильтрационная призма; 6 — диафрагма; 7 — верховая призма; 8 — низовая призма; 9 — переходный слой; 10 — экран из негрунтовых материалов; 11 — грунтовое ядро; 12 — центральная грунтовая противофильтрационная призма; 13 — шпунт или стенка; 14 — понур; 15 — инъекционная (цементационная) завеса (висячая); 16 — зуб; 17 — грунтовый экран; h — высота плотины; b — ширина плотины понижу; $b_{\text{гит}}$ — ширина противофильтрационного устройства понижу; $b_{\text{гит}}$ — ширина плотины по гребню; $m_{\text{н}}$ — коэффициент верхового откоса; $m_{\text{т}}$ — коэффициент низового откоса

Рисунок 1 - Виды земляных насыпных плотин

5.4 Земляные плотины, дамбы, противofильтрационные устройства напорных сооружений в виде экранов, ядер и понуров можно возводить отсыпкой грунтов в воду.

Грунт отсыпают в воду как в искусственные прудки, так и в естественные водоемы (без постройки перемычек и организации водоотлива) с учетом глубин и скоростей течения.

Требования к материалам

5.5 Земляные насыпные плотины можно возводить из всех видов грунтов, за исключением:

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

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

Указанные в подпунктах 1) и 2) грунты допускается применять для создания тела плотины при наличии соответствующего обоснования и при условии проведения необходимых защитных инженерных мероприятий, а также соблюдения правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами.

5.6 Для создания грунтовых противofильтрационных устройств в теле и основании плотины (экранов, ядер, понуров, зубьев) следует применять слабоводопроницаемые грунты.

При выборе этих грунтов надлежит учитывать следующее:

- наиболее пригодными грунтами для образования противofильтрационных устройств являются глинистые с коэффициентом фильтрации $k < 0,1$ м/сут и при числе пластичности $I_p \geq 0,05$ (при соответствующем обосновании $I_p \geq 0,03$);

- допускается применять искусственную грунтовую смесь, содержащую глинистые, песчаные, дресвяные и крупнообломочные грунты. Состав грунтовой смеси следует определять по результатам исследований и проверки его в производственных условиях на опытных отсыпках и выбирать на основании технико-экономического сравнения вариантов;

- для экранов и понуров плотин III и IV классов допускается применять торф (с учетом указаний 4.5), причем необходимо предусматривать защитное покрытие из минеральных грунтов.

5.7 Песчаные грунты (мелкозернистые, средней крупности и крупные) следует применять для однородных плотин и плотин с центральной или верховой противofильтрационной призмой, если обеспечивается фильтрационная прочность грунтов плотины, а величина фильтрационного расхода воды через ее тело допустима по результатам водохозяйственных и энергоэкономических расчетов.

5.8 Песчаные и крупнообломочные грунты при необходимой прочности, морозостойкости и водостойкости и при обеспечении сопряжения с противofильтрационным устройством и основанием допускается применять без ограничений для призм земляных насыпных плотин. Возможность укладки этих грунтов в тело плотины определяется фильтрационным и напряженным состоянием плотины.

Очертания откосов и гребня плотины

5.9 Крутизну откосов плотины надлежит назначать исходя из условия их устойчивости с учетом:

- физико-механических характеристик грунтов откосов и основания;

- действующих на откосы сил: собственного веса, влияния воды (взвешивания, фильтрационных сил, капиллярного давления), сейсмических, динамических, внешних нагрузок на гребне и откосах и др.;

- высоты плотины;
- производства работ по возведению плотины и условий ее эксплуатации.

При предварительном назначении крутизны откосов допускается пользоваться аналогичными данными построенных сооружений с последующей проверкой расчетом устойчивости откосов.

При наличии на верховом откосе плотины экрана, образованного материалом, имеющим более низкие значения φ и c по сравнению с соответствующими характеристиками грунтов тела плотины, крутизну верхового откоса следует назначать с учетом не только возможности обрушения откоса в целом, но и сдвига экрана по контакту с телом плотины, а также сдвига защитного слоя по поверхности экрана.

5.10 На откосах плотин, как правило, следует предусматривать устройство берм, определяя их число в зависимости от высоты плотины, условий производства работ, типов крепления откоса и его общей устойчивости.

Бермы следует предусматривать на верховом откосе у нижней границы его крепления для создания необходимого упора, на низовом откосе — для служебных проездов, сбора и отвода атмосферных вод, размещения контрольно-измерительной аппаратуры (КИА).

Устройство берм не должно вести к уположению откоса, определенного расчетом.

5.11 Ширину гребня плотины следует устанавливать в зависимости от условий производства работ и эксплуатации (использования гребня для проезда, прохода и других целей), но не менее 4,5 м.

Ширину гребня плотины в местах сопряжения с другими сооружениями или с берегами следует устанавливать в соответствии с конструкцией сопряжения и необходимостью создания площадок.

5.12 Отметку гребня плотины следует назначать на основе расчета возвышения его над расчетным уровнем воды.

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

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

2) при форсированном подпорном уровне (ФПУ), при пропуске максимального паводка, относимого к особым сочетаниям нагрузок и воздействий. Возвышение гребня плотины h_s , в обоих случаях определяется по формуле

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

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

$h_{run\ 1\%}$ — высота наката ветровых волн обеспеченностью 1 %;

a — запас возвышения гребня плотины.

Отметку гребня плотины следует назначать на основе расчета необходимого возвышения его над расчетным уровнем воды, определяемого по формуле (1).

При определении первых двух слагаемых в формуле (1) следует принимать обеспеченности скорости ветра для расчета элементов волн, наката и нагона при основном сочетании нагрузок и воздействий (при НПУ) — по СНиП РК 3.04-40-2006, при особом сочетании нагрузок и воздействий (при ФПУ) эти обеспеченности принимаются: для I—II классов сооружений — 20 %, для III класса — 30 %, для IV класса — 50 %.

Запас 1) для всех классов плотин следует принимать не менее 0,5 м.

Из двух полученных результатов расчета выбирают более высокую отметку гребня.

При возведении плотины в сейсмических районах отметку гребня следует назначать с учетом высоты гравитационной волны, возникающей в водохранилище в случае

образования в нем сейсмоструктурных деформаций при землетрясении, определяемой в соответствии с требованиями [СНиП РК 2.03-30-2006](#).

Отметку гребня плотины проектируют с учетом строительного подъема, назначаемого сверх определенного по [5.12](#) возвышения h_s . Величину строительного подъема определяют по прогнозируемой осадке гребня согласно [8.16](#) и [8.17](#).

5.13 При наличии на гребне плотины сплошного парапета, рассчитанного на воздействие волн, возвышение его верха над уровнем верхнего бьефа надлежит принимать не ниже значений, полученных, по формуле (1). Возвышение гребня плотины в этом случае назначают на 0,3 м над НПУ или на отметке ФПУ, причем принимают высшую из них.

5.14 В случае если гребень плотины или ее откосы сложены из глинистых грунтов, следует предусматривать их защиту от сезонного промерзания слоем песчаного, гравийного или щебенистого грунта. Толщину защитного слоя следует назначать в соответствии с теплотехническими расчетами. При соответствующем обосновании допускается не предусматривать устройство защитного слоя.

Крепление откосов

5.15 Откосы земляных насыпных плотин следует защищать специальными креплениями, рассчитанными на воздействие волн, льда, течений воды, изменения уровня воды, атмосферных осадков, ветра и прочих климатических и других разрушающих откос факторов (проникновения землеройных животных, пучения глинистого грунта в зимний период и др.).

5.16 Для защиты верхнего откоса, как правило, следует применять следующие виды креплений:

- каменные (насыпные);
- бетонные монолитные, железобетонные сборные и монолитные с обычной и предварительно напряженной арматурой;
- асфальтобетонные;
- биологические.

При наличии данных, обоснованных исследованиями или опытом строительства и эксплуатации плотин, допускается применять и другие виды креплений верхних откосов, например, гравийно-галечниковые, грунтоцементные и др.

5.17 Вид крепления следует устанавливать исходя из технико-экономической оценки вариантов с учетом максимального использования средств механизации и местных материалов, характера грунта тела плотины и основания, агрессивности воды, долговечности крепления в условиях эксплуатации, архитектурных требований.

5.18 Крепление верхнего откоса плотины делится на основное, расположенное в зоне максимальных волновых и ледовых воздействий, возникающих в эксплуатационный период, и облегченное — ниже основного крепления.

Верхней границей основного крепления, как правило, следует считать отметку гребня плотины.

В случае значительного возвышения гребня над расчетным уровнем воды основное крепление следует заканчивать ниже гребня на отметке высоты наката h_{run} ; далее до гребня доводят облегченное крепление.

5.19 Нижнюю границу основного крепления следует назначать, считая от минимального уровня сработки водохранилища на глубине

$$h = 2h_{1\%} (2)$$

При этом нижняя граница основного крепления должна быть ниже минимального уровня сработки водохранилища не менее чем на $1,5t$, где t — расчетная толщина ледяного покрова.

Примечание - Облегченное крепление должно защищать откос от повреждений при воздействии льда, волн и течений не только в процессе нормальной эксплуатации сооружений, но и в периоды наполнения и опорожнения водохранилища. Облегченное крепление должно сопрягаться с основанием плотины или с бермой, например, устройством упора из камня или бетона. В случае устройства крепления дна перед сооружением крепление откоса плотины должно быть сопряжено с ним.

5.20 При сопряжении основного и облегченного креплений необходимо предусматривать конструктивные меры, например, устройство в виде упора из камня или бетона. Размеры упора следует назначать в зависимости от крутизны откоса, а также коэффициента трения крепления и упора по грунту откоса.

5.21 Для крепления откосов каменной наброской следует применять, как правило, несортированный камень (горную массу).

5.22 Необходимые массу и размеры отдельных камней в наброске крепления откосов, число камней размером менее расчетного, а также толщину наброски следует определять расчетом в соответствии с требованиями СНиП РК 3.04-40-2006.

5.23 Толщину каменной наброски следует принимать с учетом возможности частичного выноса мелких частиц из наброски при волновом воздействии, подвижки крупных камней, уплотнения материала крепления, а также опыта эксплуатации аналогичных креплений, но не менее $3d_{s,85}$, где $d_{s,85}$ — диаметр камня, масса которого вместе с массой более мелких фракций составляет 85 % массы всей каменной наброски крепления.

5.24 Каменные материалы для крепления откосов следует применять из изверженных, осадочных и метаморфических пород, обладающих необходимой прочностью, морозостойкостью и водостойкостью.

5.25 Монолитные железобетонные крепления откосов следует проектировать, как правило, в виде секций размером не более 45x45 м каждая, разделенных между собой температурными поперечными и осадочными продольными швами. Секции крепления следует проектировать состоящими из отдельных плит.

Плиты, как правило, следует принимать прямоугольной формы с соотношением сторон $1 \leq \frac{l_{sl}}{b_{sl}} \leq 2$, где b_{sl} — меньшая сторона, располагаемая перпендикулярно урезу воды; размер b_{sl} назначается, равным $0,4 \lambda$, где λ — расчетная длина волны, но не более 20 м. Увеличение длины секций допускается при надлежащем обосновании.

В пределах каждой секции армирование должно быть непрерывным.

5.26 Крепление откосов из сборных железобетонных плит следует проектировать с омоноличиванием их в секции. При соответствующем обосновании допускается крепление из неомоноличенных плит с открытыми швами.

Максимальный размер плит следует устанавливать исходя из условий транспортирования и удобства укладки их на откос.

5.27 Толщину монолитных и сборных железобетонных креплений следует определять расчетом в соответствии с требованиями СНиП РК 3.04-40-2006, а также при соответствующем обосновании — по имеющимся аналогам.

5.28 При пологих откосах плотин (1:7 — 1:12) и высоте волны не более 1 м может быть применено облегченное крепление в виде слоя крупнообломочного грунта, крупность частиц и толщину которого следует определять расчетом или исследованиями.

5.29 Крепление низового откоса следует выбирать в зависимости от материала, из которого возведена низовая призма плотины, с целью защиты его от атмосферных воздействий и разрушения землеройными животными. Для крепления низового откоса из песчаных или глинистых грунтов следует, как правило, применять посев трав по растительному слою толщиной 0,2—0,3 м, отсыпку щебня или гравия слоем толщиной 0,2 м и другие виды облегченных покрытий.

5.30 Если низовой откос подвержен воздействию льда и волн со стороны нижнего бьефа, его крепление следует рассчитывать так же, как и для верхового откоса.

5.31 Обратные фильтры под креплением откосов, выполненным в виде каменной наброски, плит с открытыми швами или со сквозными отверстиями и т.п., могут состоять из одного слоя разнозернистого материала или двух слоев материалов с различными по крупности частицами, а также из искусственных водопроницаемых материалов (стекловолокна, минеральной ваты и др.).

5.32 Материал для обратного фильтра, число слоев и их толщину выбирают в зависимости от вида грунта откоса, наличия и состава местного материала и результатов технико-экономического сравнения вариантов.

5.33 Под обратными фильтрами на откосах из глинистых, мелкозернистых песчаных или разжижающихся при динамических нагрузках грунтов следует укладывать песчаную пригрузку, зерновой состав и толщину которой устанавливают на основании данных исследований и расчетов.

5.34 Под креплениями из монолитных или сборных железобетонных плит (с уплотненными швами или замоноличенных в секции) на откосах из песчаных или глинистых грунтов следует, как правило, укладывать однослойный обратный фильтр.

5.35 Допускается применение монолитных железобетонных бесфильтровых креплений при соблюдении условий, обеспечивающих надежную работу конструкции.

5.36 Крутизну неукрепленного волноустойчивого грунтового откоса следует принимать в соответствии с расчетным волновым воздействием. При этом очертание откосов должно быть принято с учетом «профиля динамического равновесия». Применение неукрепленных откосов должно быть обосновано исследованиями и технико-экономическим сопоставлением с вариантами укрепленных откосов.

Противофильтрационные устройства

5.37 Противофильтрационные устройства следует выполнять из слабоводопроницаемых грунтов (глинистых и мелкозернистых песчаных, глинобетона, а также торфа) или негрунтовых материалов (бетона, железобетона, полимерных, битумных материалов и др.) в виде верховой или центральной противофильтрационной призмы, экрана, диафрагмы, ядра, понура, шпунта, стенки, в том числе и создаваемой методом «стена в грунте», цементационной и других завес, а при соответствующем обосновании — в виде комбинированной конструкции из грунтовых и негрунтовых материалов.

5.38 Противофильтрационные устройства следует выбирать в зависимости от вида земляной плотины, характеристик грунтов ее тела и основания, наличия необходимых грунтовых или негрунтовых материалов для противофильтрационных устройств, высоты плотины, положения водоупора основания и условий производства работ, от результатов технико-экономического сопоставления вариантов.

5.39 Толщину грунтового экрана или ядра плотины следует увеличивать сверху вниз.

Минимальную толщину экрана или ядра поверху назначают из условий производства работ, но не менее 0,8 м, а понизу — такую, чтобы градиенты напора фильтрационного потока, принимаемые для глинобетона, глины и суглинка, удовлетворяли критерию фильтрационной прочности (8.5).

Участки ядра или экрана, а также понура, на которых возможны их промерзание и размыв вследствие значительных скоростей течения воды (например, при подходе к донному водоспуску), следует покрывать защитным слоем.

5.40 Гребень грунтового экрана (после окончательной осадки плотины) должен быть выше форсированного уровня воды в верхнем бьефе с учетом высоты волны и нагона уровня воды (5.12).

Гребень ядра должен быть выше форсированного подпорного уровня воды с учетом нагона, но без учета наката волны (5.12).

5.41 При глубоком залегании водоупора следует при экране (ядре) предусматривать устройство понура или завесы. Понур, как правило, следует выполнять из того же материала, что и экран (ядро).

Длину понура следует назначать в зависимости от допустимых фильтрационных расходов, а также по условию недопущения опасных фильтрационных деформаций грунта основания плотины.

Толщину понура следует принимать исходя из условий обеспечения его фильтрационной прочности (8.5). Наименьшую конструктивную толщину грунтового понура принимают не менее 0,5 м.

В случае, если под экраном расположен крупнозернистый грунт тела плотины, между экраном и этим грунтом следует укладывать обратный фильтр (то же при проектировании понура на крупнозернистом грунте основания).

5.42 При отсутствии на месте строительства плотины грунтов, пригодных для противофильтрационного устройства, или при неблагоприятных климатических условиях необходимо предусматривать негрунтовые противофильтрационные устройства из асфальтобетона, железобетона, полимерных материалов или инъекционную диафрагму.

5.43 Асфальтобетонные экраны следует выполнять из гидротехнического асфальтобетона или полимерасфальтобетона с заданными по условиям строительства и работы конструкции показателями его физико-механических свойств. Свойства асфальтобетона для строительства экранов следует назначать из условия устойчивости его на откосе, трещиностойкости при отрицательных температурах воздуха, усталостной прочности и жесткости при волновых нагрузках.

Применение асфальтобетонных экранов при температурных воздействиях ниже минус 50°C не допускается.

Толщину асфальтобетонного экрана и его конструкцию следует устанавливать из условия сохранения его сплошности и прочности при волновых, ледовых и температурных воздействиях. Подготовку под экран выполняют по принципу переходного споя. Его конструкция должна исключать появление противодавления под экраном.

5.44 Асфальтобетонные диафрагмы выполняют из литого, пластичного и уплотняемого горячего асфальтобетона. Тип и состав асфальтобетона для строительства диафрагмы следует выбирать исходя из прочностных свойств материала, технологических и экономических расчетов.

Применение асфальтобетонных диафрагм при температурных воздействиях ниже минус 50°C не допускается.

Основным требованием к конструкции диафрагмы является обеспечение ее работы в сжатом состоянии совместно с грунтом тела плотины. При этом напряжения и деформации в диафрагме не должны превышать расчетных значений выбранного для данной диафрагмы состава асфальтобетона.

Состав грунта переходных слоев следует проектировать из условия недопустимости проникания в его поры асфальтобетона диафрагмы и его непросыпаемости в поры грунта тела плотины.

Конструкция примыканий асфальтобетонной диафрагмы к основанию и к бетонным сооружениям должна обеспечивать возможность скольжения диафрагмы по поверхности

примыканий. Асфальтовый материал в зоне примыкания должен при этом работать в сжатом состоянии.

5.45 Толщина асфальтобетонной диафрагмы назначается по расчету из условия сохранения ее сплошности и несущей способности в строительный и эксплуатационный периоды. Предварительно ее толщина задается по формуле $t = a + 0,008H$, где H — напор в рассматриваемом сечении диафрагмы, $a = 0,4$ — $0,5$ м.

Асфальтобетонные диафрагмы следует, как правило, применять при больших деформациях тела плотины.

5.46 Железобетонные экраны в земляных насыпных плотинах следует применять при соответствующем технико-экономическом обосновании. Основные требования к проектированию железобетонных экранов изложены в [7.25, 7.26, 7.27, 7.28](#).

5.47 Бетонные и железобетонные (сборные и монолитные) диафрагмы следует проектировать в соответствии с требованиями [СНиП 2.06.08-87](#).

Диафрагмы следует разрезать вертикальными и горизонтальными швами с соответствующими уплотнениями, допускающими температурно-осадочные деформации.

5.48 При использовании полимерных материалов (например, полиэтиленовой, поливинилхлоридной, бутилкаучуковой пленок и др.) для создания противofiltrационных устройств конструкция этих устройств и технология строительства должны обеспечивать защиту их от солнечной радиации и механических повреждений.

В зависимости от величины допускаемых фильтрационных потерь и материала соединения полимерных элементов между собой может быть сварным, клеевым или механическим в виде нахлеста.

Толщину противofiltrационного устройства из полимерного материала следует назначать расчетом исходя из следующих условий:

величина максимальных растягивающих напряжений в материале не должна превышать величины допускаемого растягивающего напряжения, определяемого требуемой долговечностью;

зерновой состав контактирующего грунта должен обеспечивать неповреждаемость полимерного материала. В виде исключения, при соответствующем обосновании, допускается снижение требования к неповреждаемости, что должно быть обосновано экспериментальными исследованиями общей и местной фильтрационной надежности сооружения. Противofiltrационные конструкции из полимерных материалов допускается применять для плотин III и IV классов, а также при надлежащем обосновании, для плотин I и II классов высотой до 60 м.

5.49 Инъекционную диафрагму в плотине следует создавать путем нагнетания в поры грунта тела плотины специального уплотняющего раствора различного состава и консистенции.

Состав и технологию нагнетания инъекционных растворов обосновывают соответствующими исследованиями, а при необходимости — опытными работами.

Толщину инъекционной диафрагмы в основании следует принимать не менее $1/10$ напора на плотину.

Инъекционная диафрагма должна обладать необходимой фильтрационной прочностью, обеспечивающей долговечность плотины.

Дренажные устройства

5.50 Устройство дренажа тела земляной плотины следует проектировать с целью:

- организованного отвода воды, фильтрующейся через тело и основание плотины в нижний бьеф;
- предотвращения выхода фильтрационного потока на низовой откос и в зону, подверженную промерзанию;

- экономически обоснованного снижения депрессионной поверхности для повышения устойчивости низового откоса (внутренний дренаж),
- повышения устойчивости верхового откоса при быстрой сработке водохранилища, а также для снятия порового давления, возникающего при сейсмических воздействиях;
- отвода воды, профильтровавшейся через экран, ядро. В случае слабоводопроницаемого материала низовой призмы плотины и наличия низовой переходной зоны отвод воды следует осуществлять специальным дренажным слоем на поверхности основания, соединенным с дренажем низовой призмы плотины.

В высоких плотинах, выполняемых из суглинистого или супесчаного грунта, для ускорения консолидации и устранения влияния порового давления может быть предусмотрено устройство горизонтальных или вертикальных дрен в толще низовой и центральной частей тела плотины.

5.51 При проектировании дренажных устройств необходимо учитывать физические характеристики грунтов тела и основания плотины, их суффозионность и условия фильтрации в области дренажа.

Размеры дренажных устройств следует определять для каждого конкретного случая исходя из фильтрационных условий, исключающих кольматацию грунта в области дренажа.

Конструкции дренажных устройств низовой части плотины представлены на [рисунке 2](#).

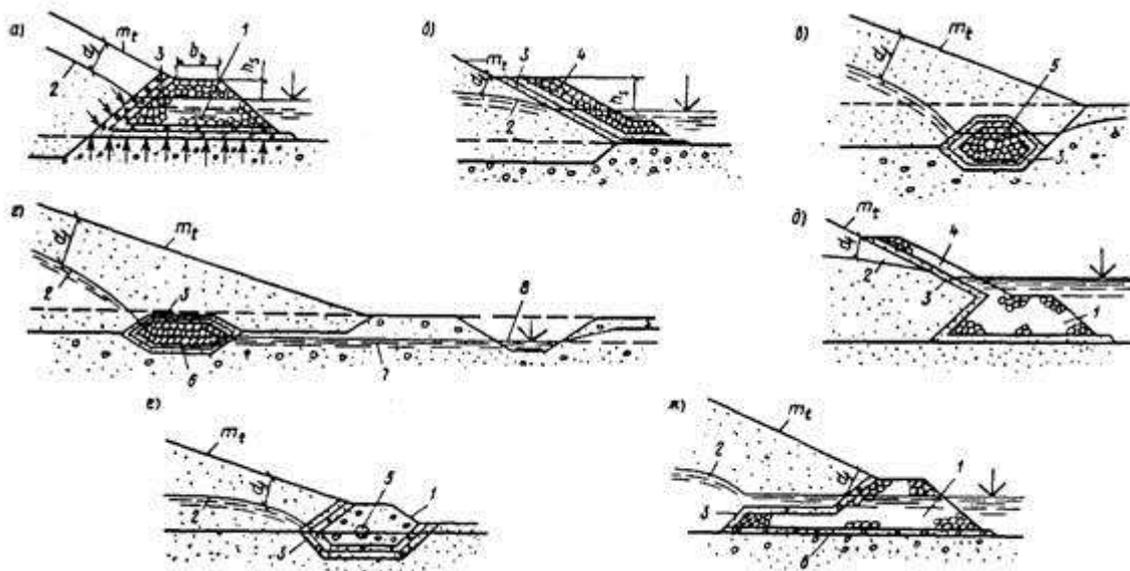
5.52 Для устройства обратного фильтра дренажа должны применяться несвязные естественные или получаемые дроблением грунты, а также искусственные пористые материалы — пористый бетон и др. ([5.70](#)).

Дренажный коллектор следует проектировать из камня, бетонных, железобетонных, асбестоцементных, гончарных труб и др. с учетом агрессивности воды.

5.53 Дренажный банкет ([рисунк 2](#), а) следует выполнять, как правило, на русловых участках плотины при ее возведении без перемычек и при перекрытии реки отсыпкой камня в воду.

Превышение гребня дренажного банкета h_s (при отсутствии наклонного дренажа) над максимальным уровнем нижнего бьефа ([рисунк 2](#), а, б) следует определять с запасом на волнение, величину которого устанавливают в соответствии с [5.12](#), но не менее 0,5 м. Ширину банкета поверху назначают из условий производства работ, но не менее 1 м.

При сопряжении тела плотины с дренажным банкетом должна быть обеспечена фильтрационная прочность сопряжения за счет устройства обратного фильтра по внутреннему откосу банкета. При наличии в основании мелкозернистого грунта и больших выходных градиентов напора под дренажным банкетом надлежит предусматривать горизонтальный обратный фильтр. Гребень дренажного банкета следует защищать от засорения поверхностными стоками.



В русле: а — дренажный банкет; б — наклонный дренаж. На берегу: в — трубчатый дренаж; г — горизонтальный дренаж; д—ж — комбинированные дренажи; 1 — дренажный банкет; 2 — поверхность депрессии; 3 — обратный фильтр; 4 — наклонный дренаж; 5 — труба; 6 — дренажная лента; 7 — отводящая труба; 8 — отводящая канава: d_f — максимальная глубина промерзания; m_t — коэффициент низового откоса; b_b — ширина банкета поверху

Рисунок 2 - Схемы основных видов дренажа

5.54 Наклонный дренаж (рисунок 2, б) следует выполнять на участках плотины, перекрывающих затопляемую пойму, а также при отсутствии на месте строительства достаточного количества камня.

Толщину наклонного дренажа с обратным фильтром следует назначать из условий производства работ, но не менее величины

$$11t = 5d_{s,85} + tf \quad (3)$$

где $d_{s,85}$ — диаметр частиц, масса которых вместе с массой более мелких фракций составляет 85 % массы грунта всего дренажного слоя; tf — толщина обратного фильтра.

Материал наклонного дренажа должен сопрягаться с материалом обратного фильтра и защищать низовой откос от волнового воздействия в нижнем бьефе, а в некоторых случаях — и от промерзания.

Превышение гребня наклонного дренажа h_s над максимальным уровнем нижнего бьефа следует принимать, как и для дренажного банкета (5.53), с учетом высоты выклинивания фильтрационного потока на низовой откос плотины и глубины промерзания.

5.55 Трубчатый дренаж (рисунок 2, в) следует применять, как правило, на тех участках плотины, где в период ее эксплуатации вода в нижнем бьефе отсутствует или присутствует кратковременно.

Трубчатый дренаж следует предусматривать из бетонных или асбестоцементных труб (перфорированных) с заделанными или незаделанными стыками, с обсыпкой обратным фильтром.

Сечение дренажных труб следует определять гидравлическими расчетами. Диаметр дренажной трубы следует принимать не менее 200 мм.

По длине трубчатого дренажа необходимо предусматривать смотровые колодцы, располагаемые с учетом рельефа местности и требуемых уклонов.

5.56 Горизонтальный дренаж (рисунок 2, г) следует проектировать в виде сплошного дренажного слоя или отдельных горизонтальных поперечных или продольных дренажных лент, выполняемых из крупнозернистого материала и защищаемых обратным фильтром.

5.57 Комбинированный дренаж (рисунок 2, д—ж) представляет собой одну из возможных комбинаций дренажей, указанных в 5.53-5.56. Отметку гребня банкета комбинированного дренажа (рисунок 2, д) следует назначать с учетом условий перекрытия русла реки.

5.58 Размеры дренажных устройств в виде плоских дренажей или дренажных лент следует определять гидравлическими и фильтрационными расчетами с учетом условий выполнения дренажа.

5.59 Вид дренажных устройств может меняться на различных участках плотины, и их конструкцию следует выбирать на основании технико-экономического сравнения вариантов в зависимости от:

- вида плотин, инженерно-геологических и гидрогеологических условий основания и берегов;
- физико-механических характеристик грунтов для дренажей;
- условий производства работ;
- климатических условий района строительства;

- условий эксплуатации и температурного режима сооружения;
- степени агрессивности воды.

5.60 Дренажи тела плотины, как правило, не устраивают в следующих случаях:

- при возведении плотин на водопроницаемом основании, в которых 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 т. п.).

5.61 В случае, если земляная плотина сопрягается с бетонной, дренажи их должны быть увязаны между собой.

5.62 В местах примыкания плотины к береговым участкам, расположенным выше уровня нижнего бьефа в межень, должен быть предусмотрен организованный отвод воды, профильтровавшейся через плотину (например, горизонтальный дренаж).

5.63 При строительстве земляных насыпных плотин на водонасыщенных грунтах, в которых под нагрузкой возникает поровое давление, которое нарушает прочность основания и не может быть уменьшено за счет снижения интенсивности возведения плотины, поверхность основания в пределах низкой части плотины следует покрывать горизонтальным дренажом, а для отвода воды, отжимаемой из грунта основания, рекомендуется дополнительно устраивать вертикальные дрены.

Необходимость и размеры такого дренажа и расстояние между вертикальными дренами должны быть обоснованы расчетом консолидации основания с учетом интенсивности возведения плотины.

5.64 Устойчивость верхнего слоя грунта основания в нижнем бьефе следует оценивать расчетом на выпор от действия восходящего фильтрационного потока, если этот слой имеет водопроницаемость меньшую, чем нижележащий грунт.

При недостаточной устойчивости слоя грунта подошвы низового откоса плотины надлежит устраивать вертикальный дренаж, прорезающий этот слой и снижающий противодавление.

Вместо вертикального дренажа, при соответствующем обосновании, следует предусматривать пригрузку основания за низовым откосом плотины с устройством при необходимости обратного фильтра.

Обратные фильтры

5.65 Обратные фильтры надлежит предусматривать на контакте дренажа (или пригрузки) и дренируемого тела плотины, ядра, экрана или основания плотины.

Материалы обратного фильтра следует подбирать из условия обеспечения фильтрационной прочности сопрягающихся грунтов в месте контакта в процессе возведения и в период эксплуатации плотин.

Обратные фильтры допускается не устраивать при специальном обосновании; в частности, устройство такого фильтра по контакту с дренажем необязательно, если дренируемое тело сложено гравелистыми песками, гравийными грунтами и т.п.

5.66 Зерновой состав материала обратного фильтра должен быть подобран с учетом физических характеристик дренируемого грунта и имеющихся местных фильтровых материалов.

Состав фильтра должен исключать:

- отслаивание глинистого грунта на контакте с материалом фильтра — для плотин из глинистого грунта или плотин на глинистом основании;

- проникание (просыпание) частиц защищаемого грунта в поры фильтра на участках нисходящего фильтрационного потока — для плотин из песчаного грунта;
- выпор и вдавливание частиц грунта в поры фильтра — для песчаного основания на участках восходящего потока;
- размыв защищаемого грунта на границе с фильтром — в случае фильтрационного потока, направленного вдоль контакта (контактный размыв);
- кольматаж фильтра мелкими частицами, выносимыми фильтрационным потоком из защищаемого грунта, вынос которых допускается в проекте;
- опасную для прочности фильтра суффозию в самом слое фильтра.

Состав фильтра должен обеспечивать "самозалечивание" трещин в ядре в случае их образования.

Для плотин III и IV классов и временных сооружений допускается отслаивание связного грунта в порах фильтра на глубину, не влияющую на его прочность (на $0,5 d_{0,max}$, где $d_{0,max}$ — максимальный диаметр пор фильтра).

5.67 Число слоев обратного фильтра и их состав следует определять на основании технико-экономического сравнения вариантов, при этом необходимо стремиться к назначению возможно меньшего числа слоев фильтра.

5.68 Материал обратного фильтра дренажей для плотин I и II классов следует проверять экспериментальным путем на грунтах и в условиях работы, в которых он будет находиться в сооружении, а для плотин III и IV классов — согласно соответствующим расчетам.

5.69 Толщина каждого слоя обратного фильтра по фильтрационным условиям должна быть не менее $5 d_{s,85}$, но не менее 0,2 м.

Толщину слоев обратных фильтров необходимо назначать с учетом производства работ и технико-экономических расчетов.

5.70 Для устройства обратных фильтров следует применять естественные несвязные или получаемые дроблением грунты из твердых морозостойких каменных пород, не содержащие водорастворимых солей, и гранулированные шлаки (предварительно исследованные в лаборатории).

Сопряжение тела плотины с основанием, берегами и бетонными сооружениями

5.71 Для предотвращения опасной фильтрации по контакту земляной плотины с ее основанием следует предусматривать меры, зависящие от характера и состояния грунтов основания и обеспечивающие плотное примыкание грунта тела плотины к грунту основания.

В проектах плотин, возводимых на скальном основании, следует предусматривать мероприятия по подготовке основания, в том числе по вырубке леса и кустарника, выкорчевыванию пней, удалению растительного слоя и слоя, пронизанного корневищами деревьев и кустов или ходами землеройных животных, а также по удалению грунта, содержащего значительное количество органических включений или солей, легко растворимых в воде (4.5 и 5.5), и в случае необходимости — мероприятия по созданию противофильтрационного устройства в основании плотин (зуба, стенки, шпунта и т. п.).

При проектировании плотин распластанного профиля частичный или полный отказ от мероприятий по подготовке основания допускается при соответствующем обосновании согласно требованиям 6.3.

При проектировании земляных плотин, возводимых на скальном основании, должно быть предусмотрено удаление разрушенной скалы (в том числе должны быть удалены отдельные крупные камни и скопления камней) на площади сопряжения противофильтрационных устройств плотины с основанием, заделаны разведочно-геологические и строительные выработки.

На участках сопряжения с основанием частей профиля плотины, выполняемых из более водопроницаемых материалов, чем противофильтрационные устройства, удаление разрушенной скалы необязательно.

При наличии в основании поверхностного слоя грунта, имеющего более низкие прочностные характеристики, чем грунт плотины, необходимо определять экономическую целесообразность удаления этого слоя (или его верхней части), учитывая, что при этом откосы плотины могут быть более крутыми.

Строительство плотин в сейсмических районах на основаниях, сложенных из грунтов, способных разжижаться при динамических воздействиях, требует специальных технико-экономических обоснований.

5.72 Наклонные поверхности берегов в пределах профиля примыкания плотины должны быть соответственно спланированы, при этом не допускаются нависающие участки в пределах примыкания плотины и уступообразные участки в пределах примыкания противofильтрационного устройства плотины.

При наличии в основании плотин быстровыветривающихся пород в проектах плотин из грунтовых материалов необходимо учитывать изменения свойств этих пород или предусматривать соответствующие конструктивно-технологические мероприятия.

При наличии в скальном основании местных сквозных тектонических нарушений в виде трещин надлежит принимать меры к их расчистке и заделке, а также меры, обеспечивающие фofильтрационную прочность материала, заполняющего эти трещины.

5.73 Для земляных плотин с противofильтрационными устройствами и однородных земляных плотин, выполняемых из глинистых грунтов на сильнофofильтрующих аллювиальных отложениях, прикрывающих скальные породы основания, при небольшой (до 5 м) мощности слоя аллювия, как правило, следует доводить противofильтрационные устройства до скалы врезкой зуба.

При мощности аллювиального слоя более 5 м следует сравнивать варианты плотин с ядром и противofильтрационной преградой (цементационной завесой, бетонной стенкой и др.) с плотинами с экраном и понуром.

Проектом необходимо предусматривать сопряжение противofильтрационных устройств плотины с основанием в месте примыкания зуба к скале (например, путем инъекции раствора в месте примыкания, а в случае необходимости — устройства противofильтрационной завесы).

Глубину висячей противofильтрационной преграды и длину понура следует устанавливать на основании фofильтрационных расчетов.

5.74 При сопряжении противofильтрационных устройств плотины с наклонными неровными поверхностями скальных берегов следует предусматривать подготовку поверхности скалы от гребня плотины (ядра, экрана) к основанию с постеленным уположением, без резких переломов, с наименьшим технически и экономически обоснованным наклоном береговых контактов, срезку выступающих участков поверхности скалы и выравнивание бетоном местных понижений.

Угол между смежными участками поверхности скалы в сопряжении с противofильтрационными устройствами не должен превышать 20°.

Очертание продольного профиля плотины по основанию следует назначать из условия недопущения образования трещин на основе результатов расчета его напряженно-деформированного состояния.

5.75 В земляных плотинах на сильнотрещиноватых скальных основаниях, по которым может происходить опасная для тела плотины фofильтрация, необходимо предусматривать устройство зуба и противofильтрационной завесы под ним, а также поверхностную инъекцию раствора (цементационного, глинистого или мелкопесчаного) в пределах подошвы противofильтрационного устройства плотины. Проектирование однородных плотин без противofильтрационных устройств в таких случаях должно быть обосновано.

5.76 При проектировании земляных плотин на слабодонепроницаемом и слаботрещиноватом скальном, полускальном и глинистом основаниях допускается предусматривать укладку грунта тела плотины непосредственно на основание без противofильтрационных устройств.

5.77 В местах сопряжения тела или противофильтрационного устройства плотины с основанием, берегами и бетонными сооружениями следует предусматривать тщательную укладку и уплотнение грунта вблизи поверхности сопряжения, для чего контактный слой (толщиной 2—3 м) необходимо отсыпать из грунта более пластичного, менее водопроницаемого и более влажного (не более чем на 1—3%), чем грунт остального тела плотины или противофильтрационного устройства.

5.78 При проектировании в основании плотины противофильтрационных устройств (шпунтового ряда, стенки из бетона, глинистого грунта или возводимой методом "стена в грунте" инъекционной завесы и др.) следует предусматривать сопряжение их непосредственно с противофильтрационными устройствами тела плотины (ядром, экраном или диафрагмой).

5.79 Сопрягающие устройства земляных плотин с бетонными и железобетонными сооружениями должны обеспечивать:

- защиту земляной плотины от размыва водой, пропускаемой через водосбросные сооружения;

- плавный подход воды к водоприемным и водосбросным сооружениям со стороны верхнего бьефа и плавное растекание потока в нижнем бьефе, предотвращающее подмыв тела и основания плотины;

- предотвращение опасной фильтрации в зоне примыкания.

Проекты сопрягающих устройств плотин I и II классов должны быть обоснованы данными гидравлических и фильтрационных исследований.

5.80 Для обеспечения надежного примыкания тела земляной плотины к бетонному сооружению следует, как правило, предусматривать уклон сопрягающих граней бетонной конструкции в сторону земляной насыпи не более чем 10:1.

Сопряжение земляной плотины с бетонными сооружениями, прорезающими ее тело, следует осуществлять для плотин, имеющих противофильтрационные устройства, в зоне этих устройств, а для однородных плотин — в пределах верхового клина и центральной части плотины.

Сопряжение тела земляной плотины с бетонным сооружением надлежит предусматривать в виде заделанных в него диафрагм, врезающихся в земляную плотину (шпунтового ряда, бетонной стенки и др.).

Длину диафрагм сопряжения следует устанавливать на основании фильтрационных расчетов.

Противофильтрационные устройства в основании земляных плотин и бетонных сооружений должны быть взаимосвязаны.

5.81 При сопряжении участков земляной плотины, выполняемых насыпным и намывным способами, необходимо предусматривать мероприятия, не допускающие сосредоточенную фильтрацию в месте сопряжения и неравномерную осадку тела плотины и основания.

Требования к реконструкции плотин

5.82 Нарастивание однородной грунтовой плотины на слабоводопроницаемом основании при реконструкции сооружения следует осуществлять как с верховой, так и с низовой сторон плотины.

Увеличение высоты плотины с диафрагмой (ядром) и завесой в основании возможно как с низовой ее стороны — путем наращивания диафрагмы экраном, так и с обеих сторон — с сохранением вертикальной диафрагмы, при этом следует определить необходимость усиления противофильтрационной завесы в основании.

Увеличение высоты плотины с экраном и противофильтрационным устройством в основании возможно только с низовой ее стороны с проверкой фильтрационной

прочности экрана (из грунтовых или негрунтовых материалов) и при необходимости с усилением противофильтрационного устройства в основании.

5.83 При реконструкции плотин из грунтовых материалов необходимо предусматривать соответствующие мероприятия по обеспечению нормальной работы дренажа.

5.84 Для надежного сопряжения наращиваемой призмы с низовым откосом плотины растительный слой должен быть убран.

6 Земляные намывные плотины

6.1 Намывные плотины в зависимости от грунтов тела плотины и способов возведения подразделяют на основные виды, указанные в [таблице 4](#) и на [рисунках 3](#) и [4](#).

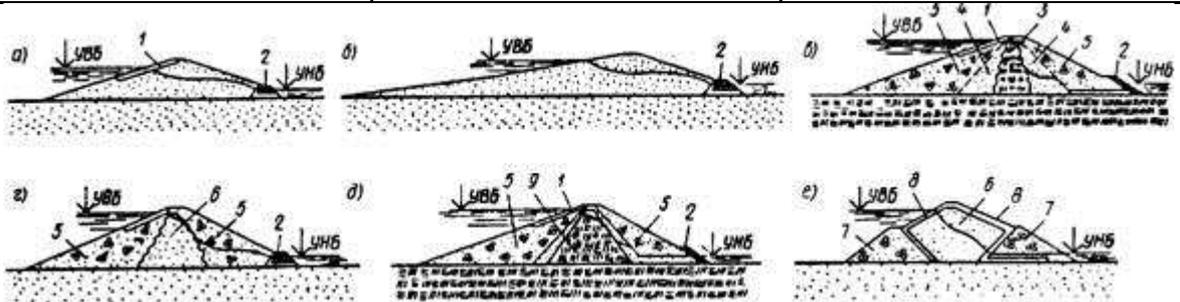
6.2 Конструкцию плотины следует выбирать в соответствии с указаниями [4.4](#), при этом следует стремиться к максимальному использованию естественных грунтов, не требующих сортировки при разработке карьера или выемки.

6.3 При наличии соответствующих карьерных грунтов предпочтение следует отдавать однородным песчаным плотинам, характеризующимся высокой технологичностью производства работ.

Таблица 4

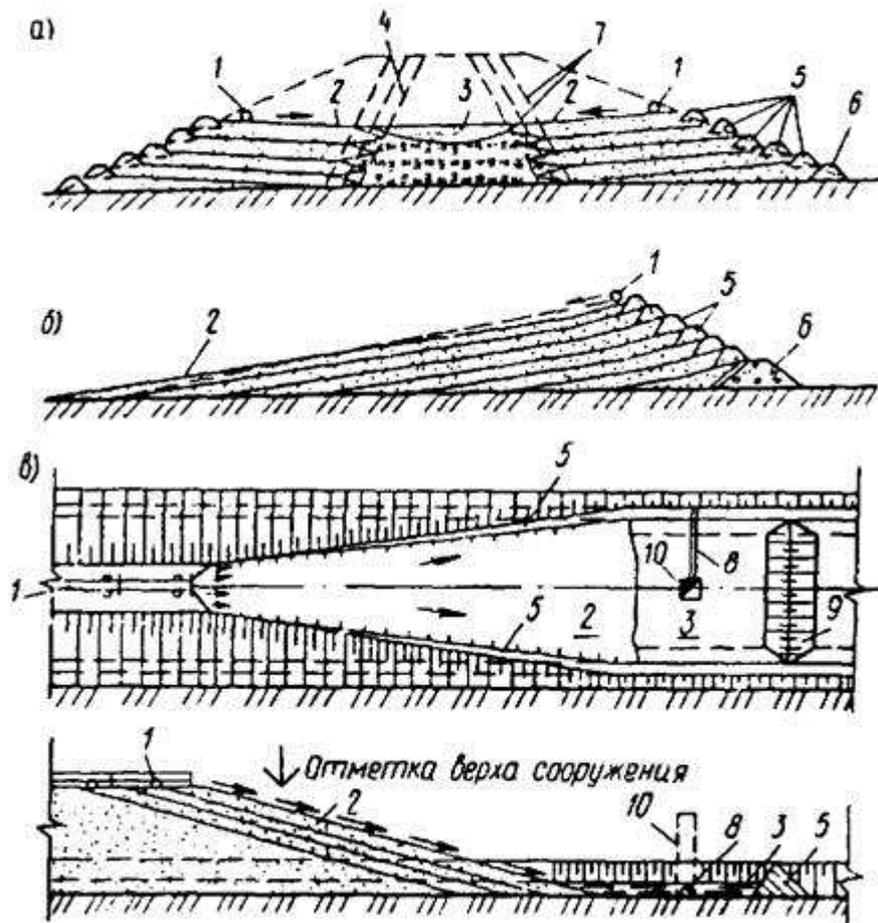
Вид плотины	Грунты тела плотины	Способ возведения плотины
Однородная: - с принудительно формируемыми откосами (рисунк 3, а)	Пески, супеси, суглинки (в том числе лёссовидные)	Двусторонний намыв с дамбами обвалования на откосах
- со свободно формируемыми откосами — верховым (рисунк 3, б) или обоими	Пески, гравийные (дресвяные)	Односторонний намыв с дамбами обвалования на низовом откосе (рисунк 4, в) и центральный намыв без дамб обвалования
узкопрофильная (рисунк 4, в)	То же	Пионерный намыв с выпуском пульпы из торца трубы и непрерывным устройством обвалования по откосам
Неоднородная: - с ядром (рисунк. 3, в)	Гравийные (дресвяные), галечниковые (щебенистые) с содержанием песчаных и глинистых фракций	Двусторонний намыв с дамбами обвалования на откосах и отстойным прудом в центральной части плотины (рисунк 4, а)
- с центральной зоной (рисунк 3, г)	Гравийные (дресвяные), галечниковые (щебенистые) или песчаные разнозернистые, содержащие мелкозернистые фракции	То же
Комбинированная: - с насыпным ядром из глинистого грунта и намывными боковыми зонами	Гравийные (дресвяные), галечниковые (щебенистые) или	Двусторонний намыв без пруда

(рисунок 3, д)	песчаные	
- с насыпными банкетам из горной массы и намывной однородной центральной зоной (рисунок 3, е)	То же	То же



а—е см. таблица 4; 1 — крепление верхового откоса; 2 — дренаж; 3 — намывное ядро; 4 — намывные промежуточные зоны; 5 — намывные боковые зоны; 6 — намывная центральная слабопроницаемая зона; 7 — боковые насыпные призмы (банкеты); 8 — сейсмостойкое крепление откоса; 9 — насыпное глинистое ядро

Рисунок 3 - Виды намывных плотин



а — двусторонний намыв неоднородной плотины с ядром; б — односторонний намыв однородной плотины

с верховым откосом, формируемым при свободном растекании пульпы; в — намыв узкопрофильной плотины; 1 — распределительный пульпопровод; 2 — откос намыва; 3 — отстойный пруд; 4 — граница ядра; 5 — дамба попутного обвалования; 6 — дамба первичного обвалования; 7 — граница прудка; 8 — водоотводящая труба; 9 — временная перемычка; 10 — водосбросный колодец

Рисунок 4 - Основные схемы возведения намывных плотин

Однородные песчаные плотины распластанного профиля со свободно формируемыми откосами следует применять при технико-экономическом обосновании в случаях залегания слабых грунтов в основании, необходимости уменьшения объема крепления откосов, а также при намыве под воду.

При проектировании плотин распластанного профиля или с уширенной нижней частью («подушкой») на слабых, обводненных, заболоченных и заторфованных грунтах основания допускается не предусматривать полностью или частично работы по удалению поверхностного слоя грунта основания и растительности при условии, что это не приведет к нарушению устойчивости и фильтрационной прочности сооружения.

При возведении однородных плотин на слабых грунтах следует, как правило, намывать уширенную нижнюю часть («подушку»), а верхнюю часть возводить после стабилизации осадок «подушки».

6.4 Неоднородные плотины следует проектировать при наличии соответствующих карьерных грунтов и необходимости снижения фильтрационного расхода по сравнению с однородными плотинами, а также для уменьшения объема тела плотины. При этом следует учитывать усложнение технологии производства работ по созданию ядра с заданным размером и составом грунта и недопущению его перемыва крупным грунтом.

Для обеспечения однородных свойств ядра заданного размера и исключения перемыва крупным грунтом допускается включать в проекты при соответствующем обосновании принудительное перемешивание грунта в пределах ядерной прудковой зоны плотины.

6.5 Намывные плотины с боковыми насыпными или каменно-набросными призмами следует применять при условии использования высоких перемычек или камня из полезных выемок котлованов. При проектировании плотин для сейсмических районов необходимо предусматривать устройство каменно-набросных призм и сейсмостойкого крепления откосов.

6.6 Намывной способ возведения плотины допускается совмещать с насыпным, когда, например, верховую призму плотины намывают из песка, а низовую отсыпают из гравийно-галечникового грунта.

Намывные плотины с противофильтрационными устройствами в виде диафрагм, экранов, понуров и т. п. можно предусматривать в исключительных случаях при надлежащем обосновании.

6.7 В проекты намывных плотин следует включать мероприятия по обеспечению качества намыва грунта и установленной плотности его укладки, а также устойчивости откосов плотины в строительный период, в частности, с учетом фильтрационного потока, образующегося за счет водоотдачи свеженамытого грунта, инфильтрации с поверхности намыва и из отстойного пруда. Для намывных плотин должна быть установлена предельная интенсивность их наращивания по условию обеспечения водоотдачи намываемого грунта, а для частей плотин, намываемых под воду, — пределы подводной и надводной крутизны откоса.

Требования к материалам

6.8 Зерновой состав карьерных грунтов следует считать основной характеристикой для оценки технической возможности возведения намывных плотин и экономической целесообразности выбранной конструкции.

Содержание органических и водорастворимых примесей в грунтах для намыва плотины следует допускать в количествах, при которых их остаток в теле намывной плотины после производства работ по ее намыву будет не выше величин, указанных в [5.5](#).

6.9. Предварительную оценку пригодности карьерного грунта для намыва плотин в зависимости от зернового состава следует производить по графикам [рисунок 5](#). Предпочтительными для намыва однородных плотин являются песчаные грунты I группы; песчаные и гравийные грунты II группы целесообразно предусматривать для неоднородных плотин с мелкопесчаной центральной зоной или глинистым ядром.

Супеси (III группа), суглинки (IV группа), гравийные и галечниковые грунты (V группа), а также лёссовидные грунты можно использовать для намыва при соответствующем технико-экономическом обосновании. При этом супеси и лёссовидные суглинки следует использовать для намыва однородных плотин, а также для намыва центральной слабопроницаемой зоны неоднородных плотин, гравийно-галечниковые грунты — для намыва боковых зон этих плотин.

Запас грунта в карьере должен быть в 1,5— 1,8 раза больше объема грунта, принятого в проекте плотины.

При выборе карьеров инженерно-геологические изыскания следует проводить с детальностью, позволяющей выделить и исключить из запасов участки грунта, не отвечающего требованиям укладки в плотину, а также не поддающегося разработке средствами гидромеханизации.

Грунт для намыва плотин должен быть проверен на содержание негабаритных включений (валунов, камней и т. п.), не проходящих через рабочие органы грунтовых насосов.

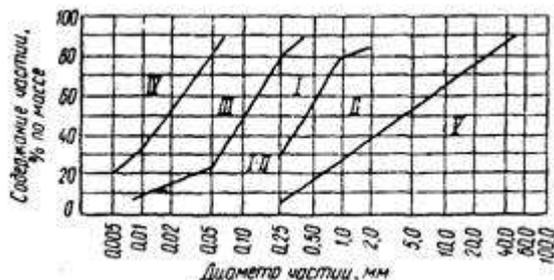


Рисунок 5 - Группы грунтов, используемых для намыва плотин

6.10 Для неоднородных плотин предпочтительны грунты с высокой степенью разнородности, например, гравийные с пылеватыми, глинистыми фракциями и при содержании песчаных частиц не менее 25 — 30 %. Содержание в ядре глинистых частиц размером $d \leq 0,005$ мм допускается не более 20 % по условиям консолидации грунта; более высокое содержание глинистых частиц следует допускать при специальном обосновании.

6.11 Возможность применения для намыва искусственных смесей грунтов из разных карьеров или сортированных карьерных грунтов должна быть обоснована технико-экономическим расчетом.

6.12 При необходимости следует предусматривать дополнительное искусственное уплотнение намываемого песка (глубинное гидровибрирование, уплотнение взрывами, послонное вибрационное уплотнение или укатку и др.).

Мероприятия по дополнительному уплотнению намываемых грунтов должны быть обоснованы, как правило, полевыми опытными работами.

Фракционирование грунта в теле плотины

6.13 Фракционирование грунта в поперечном профиле плотины в результате гидравлической раскладки следует учитывать при коэффициенте разнотерности намываемого грунта $k_{60,10} \geq 2,5$ или $k_{90,10} \geq 5$. Раскладка грунта зависит от его зернового состава, расхода пульпы и ее консистенции, ширины пляжа намыва.

Здесь $k_{60,10} = d_{60} : d_{10}$ и $k_{90,10} = d_{90} : d_{10}$, где d_{90} , d_{60} , d_{10} — диаметр фракций грунта, масса которых вместе с массой более мелких фракций составляет соответственно 90, 60 и 10% массы всего грунта.

6.14 При определении зернового состава грунта намывных плотин необходимо учитывать отмыв и сброс мелких частиц грунта. При возведении песчаных однородных плотин следует обеспечивать сброс глинистых и частично пылеватых частиц, однако технологически неизбежен отмыв и более крупных частиц вплоть до мелких песчаных. Расчет нормы отмыва грунта допускается производить по методике, приведенной в рекомендуемом [приложении 3](#).

При намыве неоднородных плотин сброс глинистых частиц следует назначать с учетом требований [6.10](#).

6.15 При проектировании однородных плотин зерновой состав намываемого грунта следует принимать по средневзвешенному составу карьерного грунта с учетом отмыва мелких частиц при условии незначительной вариации в поперечном сечении плотины состава грунта и коэффициента фильтрации. При этом следует учитывать небольшое увеличение содержания мелких частиц, грунта в центральной части плотины при ее двустороннем намыве и в наиболее удаленной от выпуска пульпы части плотины при одностороннем намыве.

6.16 При проектировании неоднородных плотин зерновой состав грунта в отдельных их частях необходимо устанавливать с учетом фракционирования при намыве.

Фракционирование грунта при намыве определяют по аналогам или расчетом по методике, приведенной в рекомендуемом [приложении 4](#).

Осредненный зерновой состав грунта следует определять отдельно для ядра и боковых зон плотины или для этих частей плотины и дополнительно для промежуточных зон. Разбивка профиля плотины на части принимается в соответствии с имеющимися аналогами или данными рекомендуемого [приложения 4](#).

Для плотин I и II классов фракционирование грунта следует уточнять при проведении опытного намыва, соблюдая условия технологии возведения данной плотины.

6.17 Ширину ядра неоднородной плотины следует предварительно назначать в зависимости от состава карьерного грунта в пределах 10—20 % ширины плотины на данной высоте, а центральной зоны из мелкопесчаного грунта — в пределах 20—35% указанной ширины. Эти размеры надлежит корректировать в соответствии с рекомендуемым [приложением 4](#) или по результатам начального этапа намыва.

Очертание и крепление откосов плотины

6.18 Крутизну откосов намывных плотин и вид крепления назначают в соответствии с требованиями [5.9—5.36](#), при этом крутизну откосов следует устанавливать не только с учетом конструкции и высоты плотины, характеристик грунтов ее тела и основания, но и с учетом неблагоприятного для устойчивости откосов фильтрационного режима, возникающего в процессе намыва плотины, а также отсутствия в период строительства постоянных дренажных устройств.

Предварительно средние значения крутизны откосов намывных плотин можно назначать по аналогии с построенными сооружениями в соответствии с данными [таблицы 5](#).

Таблица 5

Вид плотины	Грунты основания	Крутизна откоса
Однородная песчаная	Песчаные, супесчаные	1:3,5 — 1:5
	Старичные отложения, торф, ил	1:5 — 1:8
Неоднородная гравийно-песчаная с ядром	Скальные, плотные глины	1:3 — 1:4

6.19 Если в результате расчета устойчивости откосов плотины в стадии ее намыва с учетом технологии производства работ получатся более пологие откосы, чем по расчету откосов в период эксплуатации плотины, крутизна должна быть принята по расчетам для строительного периода.

При необходимости выполнения более крутых откосов следует изменить технологию или применить конструктивные мероприятия, например, строительный дренаж.

6.20 Откосы намывных плотин распластанного профиля, формирующиеся при свободном растекании пульпы, допускается проектировать без крепления или с облегченным гравийным, галечниковым или биологическим креплением при обеспечении его сохранности в условиях волнового и ветрового воздействий.

На откосах таких плотин при необходимости следует предусматривать поперечные буны для предотвращения перемещения грунта течениями вдоль плотины.

6.21 Ширину гребня намывных плотин следует устанавливать в соответствии с требованиями [5.11](#).

Минимальную ширину гребня намывной части профиля плотины строительного периода следует назначать с учетом возможности работы гидротранспортной установки и используемых при укладке грунта средств механизации: для неоднородных плотин с центральной зоной — не менее 50 м, с ядром — не менее 70 м; для однородных плотин — не менее 20 м.

При необходимости возведения плотины с меньшей шириной по гребню верхнюю ее часть следует выполнять отсыпкой грунта насухо.

6.22 При проектировании дренажных устройств в теле намывной плотины следует наряду с требованиями [5.50—5.70](#) учитывать возможность одновременного ведения работ по намыву тела плотины и по устройству дренажа, отдавая предпочтение конструкциям дренажа, представленным на [рисунке 2](#), б, д, е.

Для понижения поверхности депрессии в плотине во время намыва надлежит при наличии обоснования предусматривать специальные дренажи.

6.23 Средние значения уклона откосов при свободном намыве песчаных и гравийных грунтов (при торцовом безэстакадном способе намыва с 10%-ной консистенцией пульпы) можно ориентировочно назначать по [таблице 6](#) с последующей корректировкой по данным начального этапа намыва.

При консистенции пульпы, отличающейся от 10%-ной, уклон откоса i рассчитывают по формуле

$$i = i_{10} \sqrt[3]{\frac{C}{10}}, \quad (4)$$

где C — консистенция пульпы, % по массе;
 i_{10} — уклон откоса при $C = 10\%$.

Таблица 6

Грунт	Уклон откоса при расходе пульпы, м ³ /ч		
	до 2000	2000-4000	св. 4000
Песок:			
мелкий	1:40	1:60	1:100
средний	1:33	1:40	1:65
крупный	1:25	1:33	1:40
гравелистый	1:20	1:25	1:30
Гравий	1:15	1:20	1:25

6.24 Уклон откоса при намыве ниже уровня воды определяют по расчету в зависимости от зернового состава грунта. Предварительно уклон откоса может быть принят от 1:10 до 1:4, причем меньшие значения уклона соответствуют мелким пескам при наличии течения воды в водоеме. С увеличением крупности грунта и снижением скорости течения уклон откоса увеличивается.

Требования к реконструкции плотин

6.25 При реконструкции земляных намывных плотин повышение гребня однородной плотины может быть обеспечено за счет примыва низовой призмы к существующему откосу плотины. Примыв следует выполнять из карьерного грунта более крупного состава, чем грунт, из которого намыт основной профиль плотины. Допускается выполнять низовую призму плотины отсыпкой грунта насухо с послойной укаткой.

6.26 При повышении гребня намывной плотины с ядром кроме примыва низовой призмы необходимо предусматривать создание противофильтрационного устройства, выполненного, например, в виде экрана, сопряженного с существующим ядром.

6.27 Перед возведением низовой призмы должен быть снят растительный слой на существующем низовом откосе плотины.

До начала примыва низовой плотины должны быть реконструированы все действующие дренажные устройства.

7 Каменно-земляные и каменно-набросные плотины

7.1 Каменно-земляные и каменно-набросные плотины по конструкции противофильтрационных устройств и способу производства работ подразделяют на основные виды, указанные в [таблице 7](#) и на [рисунках 6—8](#).

Таблица 7

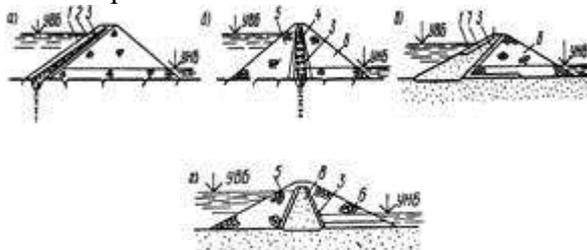
Тип плотины	Конструкция противофильтрационного устройства
Каменно-земляная	Грунтовый экран (рисунок 6, а) Грунтовое ядро (рисунок 6, б) Верховая грунтовая призма (рисунок 6, в) Центральная грунтовая призма (рисунок 6, г) Инъекционная диафрагма (в плотине, возводимой направленным взрывом, рисунок 7, а) Экран (в плотине, возводимой направленным взрывом, рисунок 7, б)
Каменно-набросная	Экран из негрунтовых материалов (рисунок 8, а) Диафрагма (рисунок 8, б)

7.2 Каменно-земляные и каменно-набросные плотины следует возводить как на скальных, так и на нескальных основаниях.

7.3 При проектировании каменно-земляных и каменно-набросных плотин наряду с требованиями [разд. 4](#) необходимо также учитывать требования [разд. 5](#) в части, относящейся к материалам для возведения земляных насыпных плотин, проектирования откосов и гребня плотин, противофильтрационных устройств и их сопряжений с основанием, берегами и бетонными сооружениями, а также при разработке проектов реконструкции таких плотин.

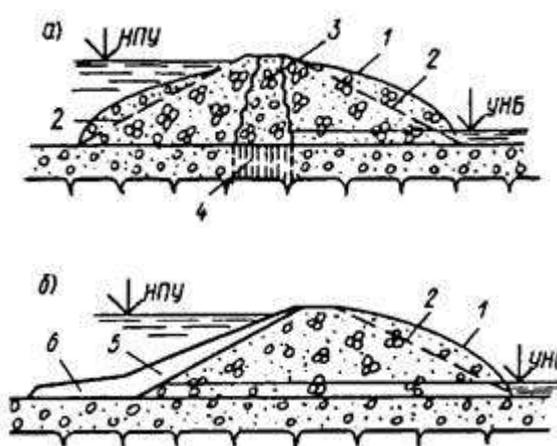
7.4 Возведение каменно-земляных и каменно-набросных плотин следует предусматривать отсыпкой каменного материала (каменной наброски, горной массы, галечникового грунта) слоями, принимая меры к его уплотнению (последовательная укатка, гидроуплотнение) или ярусами высотой 3 м и более.

7.5 Возведение каменно-земляных плотин направленным взрывом допускается в благоприятных для этого метода природных условиях: в узком створе ($\frac{B}{h} < 3$, где B — ширина створа), при скальных породах берегов, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к каменным материалам плотин.



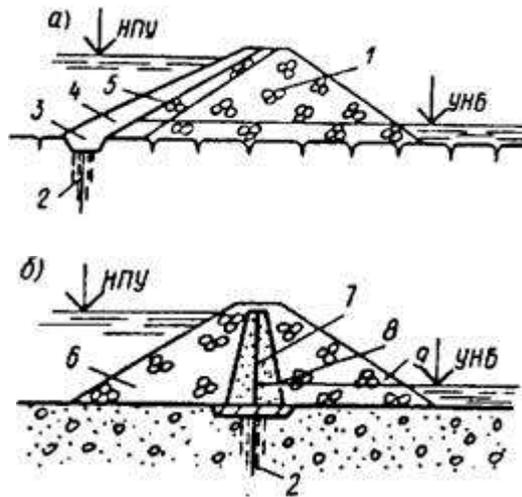
а—г — см. табл. 7: 1 — крепление верхового откоса;
2 — грунтовый экран; 3 — переходные слои (обратные фильтры); 4 — грунтовое ядро; 5,6 — верховая и низовая призмы; 7,8 — верховая и центральная грунтовые противофильтрационные призмы

Рисунок 6 - Виды каменно-земляных плотин



а, б — см. табл. 7; 1 — контур навала; 2 — контур расчетного профиля; 3 — инъекционное ядро;
4 — инъекционная завеса; 5 — экран; 6 — понур

Рисунок 7 - Виды взрывонабросных плотин



а, б — см. табл. 7: 1 — тело плотины; 2 — цементационная завеса; 3 — бетонный зуб; 4 — железобетонный экран; 5 — подэкрановая кладка; 6 — верховая призма; 7 — диафрагма; 8 — переходные слои; 9 — низовая призма

Рисунок 8 - Виды каменно-набросных плотин

Противофильтрационные устройства этих плотин следует выполнять путем инъекции раствора в центральную призму, отсыпкой верховой слабоводопроницаемой призмы или экрана, а также из негрунтовых материалов. В проектах этих плотин надлежит предусматривать доводку сооружения до необходимых размеров. При надлежащем обосновании направленным взрывом можно возводить и однородные плотины.

Требования к материалам

7.6 Пригодность материала для возведения каменно-земляных и каменно-набросных плотин должна быть обоснована данными соответствующих исследований в лабораторных и натурных условиях.

Пригодность скальных пород карьера (по прочности, морозостойкости, химическим свойствам) следует устанавливать в зависимости от высоты плотины, местоположения их в профиле плотины и от климатических условий района строительства, учитывая условия разработки и транспортирования.

7.7 Состав каменного материала плотин следует подбирать исходя из:

- обеспечения требуемой плотности укладки;
- учета сегрегации при отсыпке высокими ярусами;
- учета местоположения грунтов в теле плотины.

При соответствующем обосновании допускается применение слабых выветрелых пород с учетом изменения их характеристик во времени.

Окончательный состав материала каменно-земляных и каменно-набросных плотин необходимо принимать на основе технико-экономических расчетов рассматриваемых вариантов плотин.

7.8 Предельную крупность крупнообломочного грунта, отсыпаемого в тело плотины, и его зерновой состав следует устанавливать в проекте в зависимости от качества камня и метода возведения плотины. Крупность материала, отсыпаемого послойной укаткой, должна быть не более 0,75 толщины отсыпаемого слоя.

7.9 Для плотин I и II классов высотой более 50 м лабораторные данные физико-механических характеристик грунтов следует, как правило, уточнять исследованиями на

опытных насыпях (по возможности включаемых в полезный объем плотины), для плотин высотой более 100 м такие исследования обязательны.

7.10 Для наброски следует использовать камень без сортировки. Сортировку камня можно производить только при наличии соответствующего обоснования.

7.11 Укладку различного материала по частям профиля плотины, как правило, следует предусматривать при высоте плотины 50 м и более, при этом прочный материал следует использовать в более напряженных частях, а материал морозостойких пород — во внешних частях профиля.

7.12 Для материала, предназначенного к укладке в тело плотины ниже поверхности воды или подверженного ее воздействию, коэффициент размягчаемости должен быть не ниже 0,9 для изверженных и метаморфических пород и 0,8 — для осадочных. Меньшие значения коэффициента размягчаемости допускается принимать при соответствующем обосновании.

7.13 К грунтам противofильтрационных устройств (экранов, понуров, ядер, слабоводопроницаемых призм), переходных слоев и обратных фильтров каменно-земляных плотин предъявляют те же требования, что и к соответствующим элементам земляных насыпных плотин.

Если противofильтрационное устройство возводят средствами гидромеханизации, необходимо, чтобы грунт удовлетворял требованиям, предъявляемым к грунтам намывных плотин.

7.14 Для переходных слоев и обратных фильтров каменно-земляных плотин следует использовать, как правило, карьерные разнозернистые грунты.

Применение для этих целей обогащенных грунтов, полученных сортировкой, промывкой, добавлением или смешиванием различных фракций, следует допускать только при соответствующем технико-экономическом обосновании. Во всех случаях надлежит отдавать предпочтение однослойным переходным слоям и обратным фильтрам.

Очертание откосов плотины

7.15 Основные размеры поперечного профиля каменно-земляных и каменно-набросных плотин следует назначать в соответствии с требованиями [5.9—5.14](#).

7.16 Ширину берм на откосах плотин необходимо принимать из условия обеспечения требуемого осредненного значения крутизны откосов, но не менее 3 м.

7.17 Крутизну откосов каменно-земляных и каменно-набросных плотин следует назначать по расчету ([8.10—8.13](#)).

При назначении крутизны откосов плотин, возводимых направленным взрывом, необходимо учитывать начальную крутизну откосов, свободно формирующихся в результате сброса грунта взрывом.

Противofильтрационные устройства

7.18 При проектировании противofильтрационных устройств из грунтовых и негрунтовых материалов каменно-земляных и каменно-набросных плотин следует учитывать требования [5.38-5.49](#).

7.19 Противofильтрационные устройства каменно-земляных и каменно-набросных плотин должны сопрягаться с основанием и береговыми склонами и сохранять водоупорность, прочность и гибкость при возможных относительных смещениях.

7.20 Градиент напора фильтрационного потока для ядра или экрана из глинобетона или глинистого грунта каменно-земляных плотин следует принимать по критерию фильтрационной прочности ([п. 8.5](#)).

7.21 Между грунтовым противofильтрационным устройством и крупнообломочным материалом тела плотины надлежит предусматривать обратные фильтры и переходные слои.

Толщину переходных слоев следует назначать исходя из условия производства работ с учетом возможных горизонтальных смещений плотины и принимать не менее 3 м.

Между негрунтовым противодиффузионным устройством и грунтом тела плотины следует также предусматривать переходные слои.

7.22 Материалы переходных слоев и обратных фильтров плотин следует принимать в соответствии с требованиями [раздела 8](#).

Зерновой состав переходных слоев плотин I и II классов надлежит уточнять экспериментально с учетом условий их работы.

7.23 Для повышения фильтрационной прочности грунтовых противодиффузионных устройств каменно-земляных плотин следует предусматривать:

- уширение ядра или экрана на береговых примыканиях и в основании;
- укладку дополнительного слоя обратного фильтра в пределах сопряжения грунтового противодиффузионного устройства с основанием и берегами;
- возведение экрана или ядра из разнозернистых глинистых грунтов, способных в случае образования трещин их закольматировать.

7.24 Противодиффузионные устройства каменно-набросных плотин выполняют, как правило, из железобетона, бетона, асфальтобетона, полимерных материалов. Допускается применение металла (см. рекомендуемое приложение 9).

7.25 Железобетонные экраны в зависимости от высоты плотины и ожидаемой осадки могут быть двух типов: жесткие (однослойные) и гибкие (многослойные). Для высоких плотин следует, как правило, предусматривать гибкие конструкции железобетонных экранов.

Железобетонные экраны следует проектировать в соответствии с требованиями [СНиП 2.06.08-87](#).

7.26 Однослойные железобетонные экраны следует предусматривать из отдельных плит с поперечными температурными продольными осадочными уплотненными швами. Разрезку экрана на плиты следует предусматривать с учетом конфигурации береговых склонов.

Для предотвращения оползания и отслаивания экрана от тела плотины плиты должны иметь анкеры, заделываемые в подэкрановую кладку.

Толщину плит железобетонного экрана и их армирование следует определять в соответствии с расчетом устойчивости плит на откосе, прочности при действии волновых, ледовых и монтажных нагрузок, а также с учетом деформации откоса плотины.

7.27 Гибкие железобетонные экраны надлежит предусматривать из нескольких слоев плит с прослойками гидроизоляции между ними. Плиты экрана необходимо разделять температурными и осадочными швами и укладывать их в слои с перевязкой швов.

Размеры плит следует выбирать такими, чтобы была обеспечена гибкость экрана в целом при минимально возможном числе швов. Длину и ширину плит, бетонируемых на месте, можно принимать в пределах от 10 до 20 м.

Для обеспечения связи между слоями плит и всего экрана с телом плотины следует предусматривать анкеры или другие конструкции, предотвращающие сползание плит по откосу.

7.28 Сопряжение негрунтовых экранов плотины с основанием следует предусматривать при помощи бетонного зуба, в котором, как правило, устраивается потерна для создания инъекционной завесы.

Соединение экрана с зубом следует предусматривать в виде разрезной или гибкой конструкции (слоистой — с заделкой экрана в зуб, шарнирной — с устройством гибкого шва по периметру).

7.29 Асфальтобетонные экраны и диафрагмы допускается предусматривать при температурных воздействиях на них в периоды строительства и эксплуатации до минус 50 °С.

7.30 Под экраном из негрунтовых материалов следует выполнять подэкрановую подготовку.

Подэкрановую подготовку из уплотненного крупнообломочного грунта или мелкого камня необходимо укладывать по каменной наброске.

Толщину подэкрановой подготовки следует назначать в зависимости от материала экрана, крупности материала подэкрановой подготовки, крупности материала в наброске, высоты плотины и условий производства работ.

Требования к основаниям плотин. Сопряжение плотин с основанием

7.31 При оценке грунтов основания следует учитывать требования [4.5—4.7](#) и [5.71—5.81](#).

7.32 При строительстве плотин на скальном и особенно на нескальном основании необходимо определять расчетом неравномерность осадок основания как в продольном, так и в поперечном направлении их для проверки трещиностойкости противофильтрационных устройств плотин.

7.33 При проектировании каменно-земляных плотин с грунтовыми противофильтрационными устройствами, возводимыми методом отсыпки грунтов в воду, должен быть предусмотрен контакт грунтов этих устройств с грунтом основания.

7.34 Сопряжение грунтовых противофильтрационных устройств плотины со скальным основанием допускается предусматривать в виде торкретирования основания и береговых склонов, врезки и др.

7.35 Для улучшения статической работы, повышения трещиностойкости противофильтрационных устройств высокие плотины, расположенные в узком ущелье, следует проектировать с криволинейной осью, выпуклой в сторону верхнего бьефа.

7.37 На нескальных основаниях, сложенных слабосжимаемыми и слабопроницаемыми грунтами, сопряжение противофильтрационных устройств каменно-земляных плотин с основанием следует производить врезкой их в основание на глубину верхнего разуплотненного слоя. При наличии в основании верхнего слоя аллювиальных отложений из песчано-гравийно-галечниковых грунтов мощностью до 5 м сопряжение следует осуществлять с помощью зуба, входящего в коренные породы основания.

8 Основные положения расчета плотин

8.1 При проектировании плотин I и II классов из грунтовых материалов необходимо выполнять следующие основные расчеты:

- 1) фильтрационные ([8.3](#) и [8.4](#));
- 2) фильтрационной прочности ([8.5](#));
- 3) обратных фильтров, дренажей и переходных слоев ([8.6—8.9](#));
- 4) устойчивости откосов, экрана и защитного слоя ([8.10—8.13](#));
- 5) напряжений и деформаций ([8.14](#) и [8.15](#));
- 6) осадок тела плотины и основания ([8.16](#) и [8.17](#));
- 7) горизонтальных смещений ([8.19](#));
- 8) креплений откосов на прочность от действия волн, льда и др. ([8.21](#)).

Кроме того, дополнительно следует выполнять: для неоднородных земляных намывных плотин расчеты фракционирования грунта и устойчивости боковых призм ([6.13](#), [6.14](#), [6.17](#), [8.12](#)), расчеты консолидации и порового давления [п. 8.18](#));

для земляных насыпных и каменно-земляных плотин, у которых тело, ядро, экран или основание сложены из глинистых грунтов, — расчеты порового давления при их консолидации и проверку трещиностойкости ([8.18](#), [8.22](#)); для каменно-земляных плотин с ядром, кроме того, — проверку устойчивости на сдвиг низовой призмы плотины.

Для плотин III и IV классов следует ограничиться расчетами, указанными в подпунктах 1) — 4), 6), 8).

Расчеты следует производить для всех характерных поперечных сечений плотин.

8.2 Расчеты плотин во всех случаях следует выполнять для основных и особых сочетаний нагрузок в эксплуатационный период работы плотин и для сочетаний нагрузок в период их возведения (строительный период).

8.3 Фильтрационные расчеты тела плотины, основания и берегов следует выполнять для:

- определения фильтрационной прочности тела плотины, ее основания и берегов;
- расчета устойчивости откосов плотины и берегов;
- обоснования наиболее рациональных и экономичных форм, размеров и конструкций плотины, ее противофильтрационных и дренажных устройств.

При выполнении фильтрационных расчетов следует учитывать колымаж ложа водохранилища и верхнего откоса плотины при его развитии во времени.

8.4 Фильтрационными расчетами (а также исследованиями) надлежит определять следующие параметры фильтрационного потока:

- положение поверхности фильтрационного потока (депрессионной поверхности) в теле плотины и берегах:

- фильтрационный расход воды через тело плотины, основание и берега;
- напоры (или градиенты напора) фильтрационного потока в теле плотины, основании, а также в местах выхода фильтрационного потока в дренаж, в нижний бьеф за подошвой низового откоса, в местах контакта грунтов с различными характеристиками и на границах противофильтрационных устройств ([рисунки 9](#)).

При неоднородном или анизотропном геологическом строении основания указанные в настоящем пункте параметры фильтрационного потока следует определять с учетом этих особенностей.

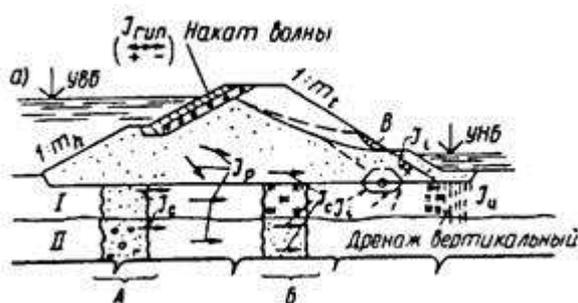
8.5 Фильтрационную прочность тела плотины, а также противофильтрационных устройств оценивают на основе соответствующих расчетов и экспериментальных исследований грунтов при действующих в сооружении градиентах напора с учетом напряженно-деформированного состояния сооружения и его основания, особенностей конструкции, методов возведения и условий эксплуатации.

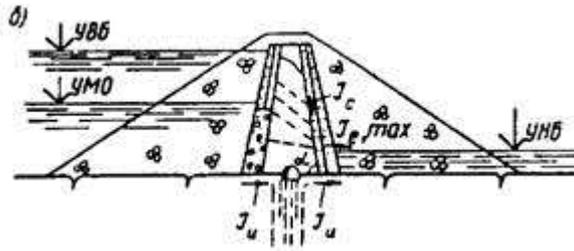
Расчеты фильтрационной прочности надлежит выполнять исходя из наибольшего напора, действующего на плотину.

При оценке фильтрационной прочности необходимо выполнить условие

$$J_{est,m} \leq \frac{1}{\gamma_m} J_{cr,m}, \quad (5)$$

где: $J_{est,m}$ - действующий средний градиент напора в расчетной области фильтрации;





а — однородная плотина на слоистом основании;

б — каменно-земляная плотина на скальном основании;

А, Б — сопряжение несвязного и связного грунтов оснований; В — область местного выпора грунта в случае выхода потока на откос; $J_{e,max}$ — расчетный (максимальный) градиент напора в зоне высачивания потока на уровне воды нижнего бьефа; α — угол наклона низового откоса ядра к горизонту; J_p , J_c , J_v , J_b , J_{um} — градиенты напора соответственно суффозии, контактного размыва, выпора, входа фильтрационного потока в дренаж, пульсации в обратном фильтре от наката и спада волн

Рисунок 9 - Фильтрационные деформации в земляных и каменно-земляных плотинах и их основаниях

$J_{cr,m}$ — критический средний градиент напора, принимаемый на основании исследований грунтов в условиях, отвечающих реальным условиям эксплуатации сооружения. В предварительных расчетах и при отсутствии необходимых исследований значения $J_{cr,m}$ могут быть приняты в соответствии с имеющимися аналогами или по [таблице 8](#);

γ_n — коэффициент надежности по ответственности сооружений, определяемый по [СНиП РК 3.04-01-2008](#).

8.6 При проектировании обратных фильтров, дренажей и переходных слоев надлежит:

- устанавливать расчетные параметры (зерновой состав, плотность, пористость, коэффициент фильтрации и пр.) грунтов, защищаемых обратными фильтрами, оценивать их суффозионную прочность (суффозионность) и определять расчетные размеры сводообразующих частиц и диаметр пор (d_a и $d_{a,max}$) защищаемого грунта в зависимости от его состава и условий фильтрационного потока,
- выбирать естественные карьерные грунты или искусственно получаемые (щебеночные, гранулированный шлак и др.), которые могут быть использованы для устройства обратных фильтров;
- подбирать зерновой состав первого слоя обратного фильтра и последующих слоев (если в этом есть необходимость) из выбранных естественных карьерных или искусственных материалов;
- проверять суффозионную прочность и устойчивость грунтов, защищаемых обратным фильтром, и грунтов обратных фильтров;
- устанавливать толщину и число слоев обратных фильтров;
- устанавливать допустимые пределы отступлений в зерновом составе, толщине слоев и плотности грунтов фильтра при их укладке в дренажи или переходные слои.

8.7 Для обратных фильтров, дренажей и переходных слоев допускаемый коэффициент разноразмерности фильтровых материалов $k_{60,10}$ должен удовлетворять условиям:

1) если защищаемый грунт несуффозионный сыпучий,

$$k_{60,10} \leq (20 - 25),$$

где меньшее значение следует принимать для окатанных частиц песчаных и гравийных грунтов, а большее — для щебенистых грунтов фильтра;

Таблица 8

Грунт	Значения критических средних градиентов напора $J_{cr,m}$ для		
	понура	экрана и ядра	тела и призмы плотины
Глина, глинобетон	15	12	08 - 2
Суглинок	10	8	4 - 1,5
Супесь	3	2	2 - 1
Песок:			
средний	—	—	1
мелкий	—	—	0,75

Примечание - Проверку фильтрационной прочности тела или призмы плотины из грунтовых материалов выполняют для поперечного профиля, назначенного исходя из расчетов устойчивости откосов.
В результате проверки фильтрационной прочности уточняют конструкцию плотины, в частности местоположение дренажа.
Значения критического среднего градиента принимают в зависимости от физико-механических свойств грунта и способа его укладки, причем большие значения $J_{cr,m}$ назначают для более плотного грунта.

2) если защищаемый грунт суффозионный сыпучий,

$$k_{60,10} \leq 15$$

3) если защищаемый грунт глинистый с числом пластичности $I_p \geq 0,07$ (допускается при обосновании $I_p \geq 0,05$),

$$k_{60,10} \leq 50$$

Формулу $k_{60,10} \leq 50$ следует принимать как для обратных фильтров дренажей, так и для переходных слоев плотин.

При толщине переходного слоя плотин более 3 м величина $k_{60,10}$ может быть принята более 50 (при соответствующем обосновании);

4) для фильтров, устраиваемых из пористого бетона,

$$k_{60,10} \leq 12;$$

5) для фильтров, выполняемых отсыпкой материалов в воду,

$$k_{60,10} \leq 10.$$

Здесь

$$k_{60,10} = d_{60} : d_{10} \quad (6)$$

где d_{60}, d_{10} — размеры фракций грунта, масса которых вместе с массой более мелких фракций составляет соответственно 60 и 10% массы всего грунта

Для фильтров, выполняемых из материалов с $k_{60,10} \leq 10$, толщину слоев назначают согласно указаниям **5.69**, а для фильтров, выполняемых из материалов $k_{60,10} > 10$, толщину слоев необходимо назначать по результатам опытных отсыпок с учетом сегрегации фильтровых материалов, возникающей при транспортировании, отсыпке и разравнивании слоев фильтра.

8.8 Отказ от устройства обратных фильтров или переходных слоев для противофильтрационных призм, укладываемых по насыпи крупнообломочных грунтов, допускается при наличии соответствующего обоснования.

8.9 Вместо грунтовых обратных фильтров допускается предусматривать при соответствующем обосновании обратные фильтры из пористого бетона и других пористых материалов.

8.10 Расчеты устойчивости откосов грунтовых плотин всех классов следует выполнять для круглоцилиндрических поверхностей сдвига. При наличии в основании или теле сооружения ослабленных зон, прослоек грунта с более низкими прочностными свойствами, при оценке устойчивости экрана или защитного слоя и т.д. следует выполнять расчеты для произвольных поверхностей сдвига.

При расчетах следует использовать методы, удовлетворяющие условиям равновесия призмы обрушения и ее элементов в предельном состоянии и учитывающие напряженное состояние сооружения и его основания. Применительно к конкретным геологическим условиям и конструкции плотины могут быть использованы при соответствующем обосновании проверенные практикой упрощенные методы расчета. При однородных характеристиках грунта и отсутствии фильтрационных сил можно пользоваться методами, предполагающими монолитную призму обрушения. В тех же условиях при плоской поверхности откоса и несвязном грунте достаточно оценивать устойчивость малого объема (частицы) грунта на его поверхности сопоставлением коэффициента внутреннего трения материала с крутизной откоса. Для расчета устойчивости откосов плотин I и II классов может быть применен метод, приведенный в рекомендуемом [приложении 5](#).

8.11 Устойчивость откоса плотины должна быть проверена по возможным поверхностям сдвига с нахождением наиболее опасной призмы обрушения, характеризуемой минимальным отношением обобщенных предельных реактивных сил сопротивления к активным сдвигающим силам.

Критерием устойчивости откосов плотины является соблюдение (для наиболее опасной призмы обрушения) неравенства

$$\gamma_{fc} F(\gamma_f) \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_m} R \left(\frac{1}{\gamma_g} \right), \quad (7)$$

где F — расчетное значение обобщенного силового воздействия, определяемое с учетом коэффициента надежности по нагрузке γ_f (в зависимости от метода расчета устойчивости откосов F — равнодействующая активных сил или моментов этих сил относительно оси поверхности сдвига);

R — расчетное значение обобщенной несущей способности системы «сооружение — основание», определяемое с учетом коэффициента безопасности по грунту γ_g , т.е. обобщенное расчетное значение сил предельного сопротивления сдвигу по рассматриваемой поверхности;

γ_f , γ_m , γ_{fc} — коэффициенты надежности по нагрузке, ответственности сооружения, сочетания нагрузок, определяемые по [СНиП РК 3.04-01-2008](#);

γ_g — коэффициент надежности по грунту, определяемый по [СНиП РК 2.02-02-2006](#);

γ_c — коэффициент условий работы.

При поиске опасной поверхности сдвига может быть использована зависимость для коэффициента устойчивости k_s

$$k_s = \frac{R}{F} \geq \frac{\gamma_m \gamma_{fc}}{\gamma_c}, \quad (8)$$

Полученные расчетом значения коэффициента устойчивости при соответствующем

$$\frac{\gamma_n \gamma_c}{\gamma_c}$$

сочетании нагрузок не должны превышать величины γ_c более чем на 10 %, если это не обусловлено особенностями сооружения.

Числовые значения коэффициентов γ_n , γ_c и γ_{fc} приведены в [таблицах 9—11](#).

8.12 При расчетах устойчивости откосов плотин необходимо рассматривать следующие случаи.

Для низового откоса:

1) первый расчетный случай (основной): а верхнем бьефе — нормальный подпорный уровень

Таблица 9

Класс сооружения	I	II	III	IV
Значение γ_n	1,25	1,20	1,15	1,10

Таблица 10

Сочетание нагрузок	Основное	Особое	Строительного периода
Значение γ_{fc}	1,00	0,90	0,95

Таблица 11

Методы расчета	Удовлетворяющие условиям равновесия	Упрощенные
Значение γ_c	1,00	0,95

(НПУ), в теле плотины — установившаяся фильтрация; при наличии воды в нижнем бьефе глубину ее принимают максимально возможной при НПУ, но не более $0,2h_i$, где h_i — высота откоса;

2) второй расчетный случай (основной) при открытых водосбросах (без затворов): подпорный уровень и уровень нижнего бьефа определяются максимальным расходом, относимым к основным сочетаниям нагрузок и воздействий;

3) третий расчетный случай (особый): в верхнем бьефе — форсированный подпорный уровень воды (ФПУ), в нижнем бьефе глубину воды принимают максимальной, соответствующей ФПУ.

Для верхового откоса:

1) первый расчетный случай (основной): максимальное возможное снижение уровня воды в водохранилище от НПУ или от подпорного уровня, соответствующего пропуску максимального расхода, относимого к основным сочетаниям воздействий, с наибольшей возможной скоростью, при этом учитывают фильтрационные силы неустановившейся фильтрации;

2) второй расчетный случай (строительного периода): уровень воды в верхнем бьефе находится на самой низкой отметке, но не ниже $0,2h_i$, где h_i — высота откоса; уровень грунтовой воды в теле плотины принимают соответствующим установившемуся;

3) третий расчетный случай (особый): максимальное возможное снижение уровня воды в водохранилище от ФПУ с наибольшей возможной скоростью, при этом учитывают фильтрационные силы неустановившейся фильтрации.

Примечания

1 Для земляных плотин с волногасящими откосами следует производить расчет устойчивости с учетом волнового воздействия (согласно рекомендуемому [приложению 6](#)).

2 При расчете устойчивости откосов земляных намывных плотин необходимо учитывать фильтрацию из прудка при проектируемом его положении в период намыва плотины и насыщение водой грунтов откосов (расчетный случай строительного периода).

3 При расчете устойчивости откосов плотин в сейсмических районах сейсмические воздействия учитывают согласно [СНиП РК 2.03-30-2006](#).

Устойчивость верхового откоса плотины в условиях сейсмического воздействия следует проверять как для случая быстрого снижения уровня воды в водохранилище от МПУ до наиболее низкого эксплуатационного уровня, так и для случая продолжительного стояния НПУ (или ПУ, соответствующего пропуску расхода, относимого к основным воздействиям).

4 Если консолидация связных грунтов плотины и ее основания не завершается к моменту окончания строительства, в расчетах устойчивости откосов следует учитывать поровое давление как для строительного, так и для эксплуатационного случаев.

5 Для плотин с грунтовым экраном следует рассчитывать устойчивость экрана на откосе плотины и устойчивость крепления на экране. Для участков поверхности сдвига на контакте экрана и плотины или крепления экрана прочностные характеристики принимают для грунта экрана.

6 Расчет устойчивости боковых призм земляных намывных плотин с ядром из глинистого грунта надлежит выполнять с учетом порового давления в период консолидации ядра (расчетный случай строительного периода).

8.13 При расчете устойчивости откосов плотин прочностные характеристики грунтов тела плотин III и IV классов следует принимать постоянными, а плотин I и II классов — переменными в зависимости от напряженного состояния грунта в зоне прохождения поверхности сдвига.

8.14 Напряженно-деформированное состояние тела плотины из грунтовых материалов и ее основания следует учитывать в расчетах устойчивости откосов плотины, фильтрационной прочности на контакте водоупорных элементов с основанием, проверки трещиностойкости водоупорных элементов, прочности негрунтовых противофильтрационных устройств, анализа поведения плотины при проведении натурных исследований, а также для подбора материалов плотины.

8.15 В расчетах напряженно-деформированного состояния плотин I и II классов следует, как правило, применять нелинейные модели, учитывающие пластические деформации грунта в предельном состоянии, при условии определения параметров деформирования испытанием образцов грунта в одометрах и стабилометрах. При этом размеры образцов должны отвечать зерновому составу грунта тела плотины и основания. Для крупнозернистого грунта допускается использовать модельный грунт, в расчетах необходимо учитывать поэтапность возведения плотины, скорость заполнения водохранилища.

Для плотин III и IV классов допускается производить расчеты по модели линейно-деформированного тела.

8.16 Расчет осадок тела и основания плотины следует производить для определения требуемого строительного подъема плотины, а также для уточнения объема работ по сооружению плотины. Для намывных плотин строительный подъем определяют согласно требованиям настоящего пункта и [8.17, 8.18](#) независимо от запаса грунта на уплотнение в теле сооружения в процессе намыва, устанавливаемого в соответствии с требованиями [СНиП 3.02.01-87](#).

Расчет осадок плотины следует производить в каждом характерном ее поперечном сечении по нескольким вертикалям, проходящим в элементах плотины из различных материалов (ядре, экране, призме и т. д.).

При расчете осадок основания и тела плотины следует соблюдать требования [СНиП РК 2.02-02-2006](#).

8.17 Для плотин I и II классов расчет осадок и их изменения во времени следует производить на основании результатов экспериментальных исследований сжимаемости грунтов с учетом напряженно-деформированного состояния плотин. Поровое давление, ползучесть грунта, его просадочность и набухание при повышении влажности в период эксплуатации необходимо учитывать в зависимости от их наличия.

Для плотин III и IV классов допускается производить расчет осадок по приближенным зависимостям с использованием значений модулей деформаций по [СНиП РК 2.02-02-2006](#).

8.18 Поровое давление следует учитывать в расчетах в случаях, когда максимальное значение коэффициента порового давления $r_{u,max}$ определяемое отношением порового давления u к максимальному значению приложенного напряжения σ , превышает нормативное значение коэффициента порового давления $r_{um} = 0,1$.

Величину $r_{u,max}$ следует определять по формуле

$$r_{u,max} = r_{uc} r_{uo} \quad (9)$$

используя известные значения r_{uc} — коэффициента порового давления, определяемого по схеме закрытой системы (без учета оттока воды из грунта), и r_{uo} — коэффициента порового давления, определяемого по схеме открытой системы (с учетом оттока воды из грунта).

Величины r_{uc} и r_{uo} следует устанавливать по графикам рекомендуемого [приложения 1](#).

8.19. Горизонтальные смещения плотин определяют путем расчета напряженно-деформированного состояния с учетом изменения сжимаемости грунтов при повышении их влажности.

Для плотин II - IV классов допускается оценивать горизонтальные смещения на основе аналогов плотин, построенных в подобных условиях и такой же конструкции. Для предварительных оценок горизонтальных смещений гребня плотины следует принимать их равными осадке гребня после наполнения водохранилища.

8.20 При проектировании плотин с экраном или ядром (диафрагмой) необходимо учитывать деформации береговых склонов.

В плотинах с негрунтовыми экранами и диафрагмами надлежит рассчитывать продольные и поперечные смещения экранов и диафрагм. Напряженно-деформированное состояние диафрагмы (экрана) следует рассчитывать с учетом трения грунта по поверхности диафрагмы (экрана), схем опирания устройства на основание и разрезки деформационными швами.

8.21 Плиты крепления откосов плотин следует проверять на прочность от воздействия давления волн и льда в соответствии с требованиями СНиП РК 3.04-40-2006.

8.22 Трещиностойкость земляных плотин и водоупорных элементов каменно-земляных плотин следует определять путем расчета их напряженно-деформированного состояния. При этом следует учитывать поровое давление, а для плотин I и II классов — изменение сжимаемости и ползучести в соответствии со свойствами грунтов, слагающих тело плотины и основания.

9 Проектирование плотин из грунтовых материалов в сейсмических районах

9.1 При проектировании плотин из грунтовых материалов в сейсмических районах следует выполнять требования [СНиП РК 2.03-30-2006](#).

Условия необходимости учета порового давления

П1.1 Поровое давление необходимо учитывать при расчетах деформаций основания и тела плотины из грунтовых материалов, а также при определении ее устойчивости, если коэффициент порового давления $r_{u,max}$ к концу ее возведения превышает величину r_{in} в какой-либо части тела плотины и ее основания.

Указанные условия определяются критерием

$$r_{u,max} = r_{uc} r_{uo}$$

П1.2 Величину r_{uc} находят по графикам рисунка 1 в зависимости от напряжения σ , равного давлению вышележащего грунта на горизонтальную площадку, и параметра Π .

Параметр Π определяют по графикам [рисунка П2](#) для начального значения степени

$$\frac{a_{max}}{a_{in}}$$

влажности грунта $S_{r,in}$ и отношения e_{in} , где e_{in} — начальное значение коэффициента пористости; a_{max} — максимальное значение коэффициента уплотнения, найденного по компрессионной зависимости.

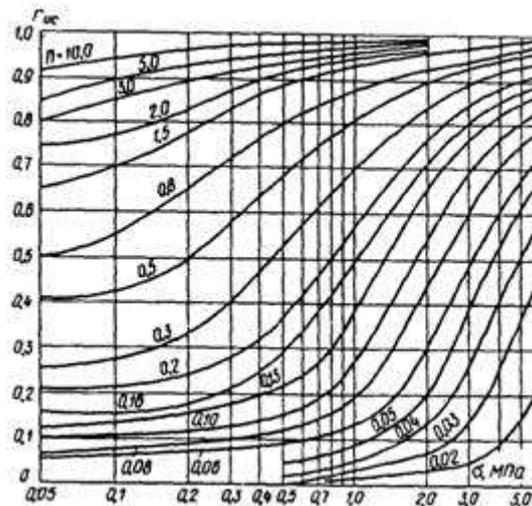


Рисунок П1.1 - Номограмма для определения коэффициента порового давления r_{uc}

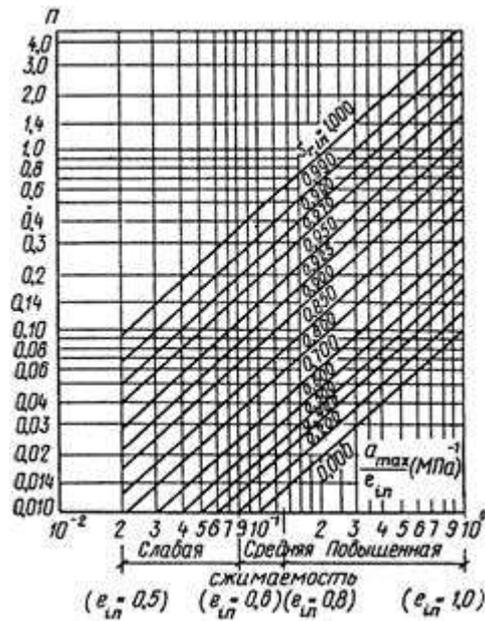


Рисунок П1.2 - Номограмма для определения параметра P

t — время роста нагрузки σ до наибольшего значения σ_{max} (рисунок П1.4, а, б);

$d = h$ (рисунок П1.4, а); $d = \frac{h}{2}$ (рисунок П1.4, б);

t — время возведения плотины (рисунок 4, в, г);

$$d = hm_1 \text{ (рисунок П1.4, в);}$$

$$d = \frac{b_{um}}{2} \text{ (рисунок П1.4, г);}$$

П1.3 Величину r_{uo} определяют по графику рисунка П1.3 в зависимости от коэффициента степени консолидации c_v^o , равного:

$$c_v^o = \frac{c_{v,min} t}{d^2},$$

где $c_{v,min}$ — наименьшее значение коэффициента консолидации;

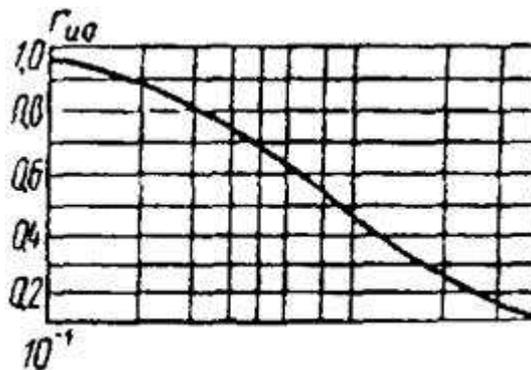
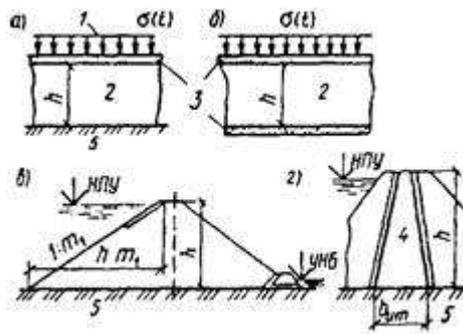


Рисунок П1.3 - График зависимости коэффициента порового давления r_{uo} от c_v^o



а — слой на водопоре; б — слой на дренаже;
 в — однородная плотина; г — ядро каменно-земляной плотины; 1 — нагрузка; 2 —
 основание;
 3 — дренаж; 4 — ядро; 5 — водопор

Рисунок П1.4 - Различные случаи определения коэффициента порового давления r_{uo}

4 При оценке величины $r_{u,max}$ рекомендуется вначале определить r_{uc} . Если $r_{uc} \leq r_{un}$, то поровое давление можно не учитывать.

В тех случаях, когда $r_{uc} > r_{un}$, необходимо определить величину r_{uo} , а затем $r_{u,max} = r_{uc}$ r_{uo} .

Величину $c_{v,min}$ рекомендуется определять экспериментально.

5 В случае неоднородного грунта следует принимать для расчета характеристики грунта с наибольшими величинами $S_{r,in}$ и a .

Приложение 2 (обязательное)

Контроль за состоянием сооружений и оснований в период строительства и эксплуатации

П2.1 В проектах плотин I— III классов необходимо предусматривать установку контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) для проведения натурных наблюдений за работой и состоянием сооружений и их оснований как в процессе строительства, так и в период эксплуатации, используя результаты этих наблюдений для оценки надежности объекта, своевременного выявления дефектов, назначения ремонтных мероприятий, предотвращения аварий и улучшения условий эксплуатации. Натурные наблюдения могут быть контрольными и специальными.

П2.2 Контрольные натурные наблюдения следует проводить в целях изучения основных параметров работы плотины и основания, комплексного анализа их состояния и оценки эксплуатационной надежности. Состав и объем контрольных наблюдений следует назначать в зависимости от класса плотины, ее конструктивных особенностей, геологических, гидрогеологических, климатических, сейсмических условий, а также условий возведения и требований эксплуатации.

При наблюдениях, как правило, следует определять:

- отметки уровней воды верхнего и нижнего бьефов;
- положение депрессионной поверхности в теле плотины и берегах;
- качество работы дренажа и противофильтрационных устройств;
- расходы воды, фильтрующейся через плотину и ее основание, а также в берегах и местах примыкания плотины к бетонным сооружениям;

- мутность профильтрованной воды, а при необходимости и ее химический состав;
- поровое давление в глинистых элементах тела плотины и основания;
- осадку тела плотины, основания и береговых примыканий;
- горизонтальные смещения гребня, берм и противофильтрационных устройств;
- напряжения и деформации в теле плотины, противофильтрационных устройствах, а также в основании;
- сейсмические колебания;
- ледовые воздействия.

В состав контрольных наблюдений следует включать систематические визуальные наблюдения за состоянием креплений и местными деформациями откосов и гребня плотины, водосбросных кюветов, появлением выходов профильтрованной воды, размывами откосов и берегов, появлением наледи, заилением и зарастанием дренажных траншей.

П2.3 Для плотин IV класса и их оснований следует предусматривать комплексные визуальные наблюдения. Инструментальные наблюдения следует, как правило, ограничивать наблюдениями за смещениями, осадкой, положением депрессионной поверхности и фильтрационными расходами. При соответствующем обосновании допускается не проводить инструментальных наблюдений.

П2.4 Специальные натурные наблюдения проводят при соответствующем обосновании в целях получения данных для уточнения методов и результатов расчета и модельных исследований, обоснования конструктивных решений, методов производства работ и улучшения условий эксплуатации плотин.

П2.5 Проект натурных наблюдений должен включать:

- программу наблюдений с изложением цели, задач, состава, объема, методики с указанием сроков, номенклатуры и технических характеристик КИА;
- общие схемы и рабочие чертежи размещения и монтажа КИА в плотине, основании, береговых примыканиях и отдельных элементах, прокладки и коммутации кабельных линий и устройства измерительных пультов;
- рабочие чертежи закладных деталей и монтажных приспособлений для установки КИА;
- спецификации устанавливаемой КИА, вторичных приборов, вспомогательного оборудования, кабелей;
- инструкцию по установке КИА, прокладке кабельных линий и оборудованию пультов;
- смету на приборы, вспомогательное оборудование, кабельную продукцию, проведение наблюдений, обработку и анализ результатов.

Номенклатуру, число приборов и их местоположение в теле плотины, основании, береговых примыканиях и отдельных элементах сооружения назначают, исходя из состава задач и объема наблюдений и исследований. При этом следует стремиться к автоматизации всех наблюдений.

П2.6 В проект должны быть включены требования по периодичности проведения, обработке и систематизации натурных наблюдений за работой и состоянием сооружения и его основания как в период строительства так и в период эксплуатации.

П2.7 При расчетах плотин всех классов должны устанавливаться предельно допустимые значения параметров состояния плотин и их оснований, контролируемые натурными наблюдениями.

Значения предельно допустимых параметров в виде отдельной таблицы включают в проект.

П2.8 Предельно допустимые значения параметров состояния плотины принимаются равными расчетным значениям для основного и особого сочетаний нагрузок и могут уточняться в процессе строительства и эксплуатации.

Приложение 3
(рекомендуемое)

Расчет нормы отмыва грунта при возведении земляных намывных плотин

Норму отмыва устанавливают по характеристике состава карьерного грунта (грунта выемки) с учетом принятой технологии намыва земляного сооружения.

Грунты песчано-гравийных и песчаных карьеров в зависимости от показателей их гранулометрического состава и технологии намыва делятся на пять групп (см. таблицу).

Номер группы грунта	Грунт	Вид технологии намыва	Содержание фракций в составе грунта, %		$\frac{\sum d > 0,25 \text{ мм}}{\sum d < 0,10 \text{ мм}}$	$k_{60,10}$	d_{90} , мм
			$d=0,25 - 0,10$ мм	$d > 2$ мм			
1	Разнозернистые пески с гравием	Двусторонний с технологическим прудком	<50	>5	>1	2,5—300	>2
2	Среднезернистые пески	То же	<50	<5	>1	<5	<2
3	Мелкозернистые пески	»	>50	-	-	<5	-
4	Тонкозернистые и пылеватые пески	»	<50*	-	<1	>5*	-
5	Разнозернистые пески с гравием, среднезернистые и мелкозернистые пески	Односторонний со свободным откосом	-	-	-	-	-

* В большинстве случаев.

Для каждой группы грунтов и принятой технологии намыва сооружения норму отмыва HO определяют по следующим формулам в процентах к объему намываемого сооружения.

1-я группа: разнозернистый песок с гравием, двусторонний намыв —
 $HO = 0,1 [d = 0,25 — 0,10 \text{ мм}] \% + 0,35 [d = 0,10 — 0,05 \text{ мм}] \% +$
 $+ 0,9 [d = 0,05 — 0,01 \text{ мм}] \% + 0,9 [d = 0,01 — 0,005 \text{ мм}] \% + 1 [d < 0,005 \text{ мм}] \%$;

2-я группа: среднезернистый песок, двусторонний намыв —
 $HO = 0,025 [d = 0,25 — 0,10 \text{ мм}] \% + 0,35 [d = 0,10 — 0,05 \text{ мм}] \% + 0,8$
 $[d = 0,05 — 0,01 \text{ мм}] \% + 1 [d < 0,01 \text{ мм}] \%$;

3-я группа: мелкозернистый песок, двусторонний намыв —
 $HO = 0,05 [d = 0,25 — 0,10 \text{ мм}] \% + 0,3 [d = 0,10 — 0,05 \text{ мм}] \% +$
 $+ 0,9 [d = 0,05 — 0,01 \text{ мм}] \% + 1 [d < 0,01 \text{ мм}] \%$;

4-я группа: мелкозернистые и пылеватые пески, двусторонний намыв —
 $HO = 0,11 [d = 0,10 — 0,05 \text{ мм}] \% + 0,5 [d = 0,05 — 0,01 \text{ мм}] \% +$

+ 0,6 [d = 0,01 — 0,005мм]% + 0,9 [d < 0,005 мм]%;

5-я группа: разнотернистые, среднетернистые и мелкозернистые пески, односторонний намыв со свободным откосом —

$HO = 0,15 [d = 0,25 — 0,10 \text{ мм}] \% + 0,5 [d = 0,10 — 0,05 \text{ мм}] \% +$
 $+ 0,9 [d = 0,05 — 0,01 \text{ мм}] \% + 1 [d < 0,01 \text{ мм}] \%$;

Примечания

1 Отмыв грунта при одностороннем намыве тонкозернистых и пылеватых грунтов, а также при намыве грунтов в воду без устройства обвалования устанавливают при проектировании технологических схем намыва сооружений с использованием аналогов или результатов опытного намыва.

2 В случаях, когда проектом установлена целесообразность использования для намыва сооружений карьерных грунтов или грунтов полезных выемок без предварительного удаления вскрышного слоя, средневзвешенный гранулометрический состав, по которому определяют норму отмыва, устанавливают по всей толще карьера (выемки) — от поверхности до подошвы забоя.

Приложение 4
(рекомендуемое)

Расчеты границ зон фракционирования и осредненного зернового состава намывного грунта в поперечном сечении плотины

П4.1 Расчет границ зон фракционирования и осредненного зернового состава намывного грунта в поперечном сечении выполняют для неоднородных плотин.

Фракционирование грунта — процесс, положенный в основу конструкции намывных плотин и проявляющийся в раскладке зерен грунта по крупности по длине откоса намыва с постепенным уменьшением средней крупности намывного грунта по мере удаления от выпуска пульпы из распределительного пульпопровода.

П4.2 Для неоднородных плотин с ядром, намываемых из песчано-гравийного грунта, содержащего пылеватые и глинистые фракции (см. [рисунок 3](#), в, [раздел 6](#)), расчет границ зон фракционирования выполняют по формулам:

расстояние от откоса плотины до внутренней границы боковой зоны X_1

$$X_1 = \left[0,01 \frac{d_{max}}{\sum_{d=2''''} \Phi_{oi}} \right] L, \quad (\text{П4.1})$$

где $\frac{d_{max}}{\sum_{d=2''''} \Phi_{oi}}$ — содержание всех фракций крупнее 2 мм в составе карьерного грунта, %;

L — расстояние от откоса до оси плотины;

расстояние от откоса плотины до границы ядра X_2

$$X_2 = \left[0,01 \frac{d_{max}}{\sum_{d=0,1\text{мм}} \Phi_{oi}} \right] L, \quad (\text{П4.2})$$

где $\frac{d_{max}}{\sum_{d=0,1\text{мм}} \Phi_{oi}}$ — содержание всех фракций крупнее 0,1 мм в составе карьерного грунта, %.

П4.3 Для неоднородных плотин с центральной зоной, намываемых из песчано-гравийных грунтов (см. [рисунок 3](#), г, [раздел 6](#) расчет расстояния от откоса плотины до границы центральной зоны X_3 выполняют по формуле

$$X_3 = \left[0,01 \sum_{d=0,25 \text{ мм}}^{d_{\max}} \Phi_{oi} \right] L, \quad (\text{П4.3})$$

где $\sum_{d=0,25 \text{ мм}}^{d_{\max}} \Phi_{oi}$ — содержание всех фракций крупнее 0,25 мм в составе карьерного грунта, %.

Примечание к П4.2 и П4.3. В расчет вводят осредненный состав карьерного грунта.

П4.4 Осредненный зерновой состав намывтого грунта в пределах выделенных зон

фракционирования определяют с помощью графиков $\alpha = f\left(\frac{d_i}{d_o}\right)$ черт. П4.1 — П4.5, построенных в результате обработки данных геотехнического контроля намыва различных плотин,

где α — процентное содержание составляющих частиц;

d_i — крупность составляющих частиц намывтого грунта;

d_o — средневзвешенная крупность карьерного грунта:

$$d_o = \frac{\sum_{p=5}^{p=95} d_{oi} p_i}{90}, \quad (\text{П4.4})$$

где d_{oi} — среднеарифметическое значение крупности i -й стандартной фракции в составе карьерного грунта;

p_i — процентное содержание i -й стандартной фракции;

90 — суммарное содержание учитываемых фракций в составе карьерного грунта, %.

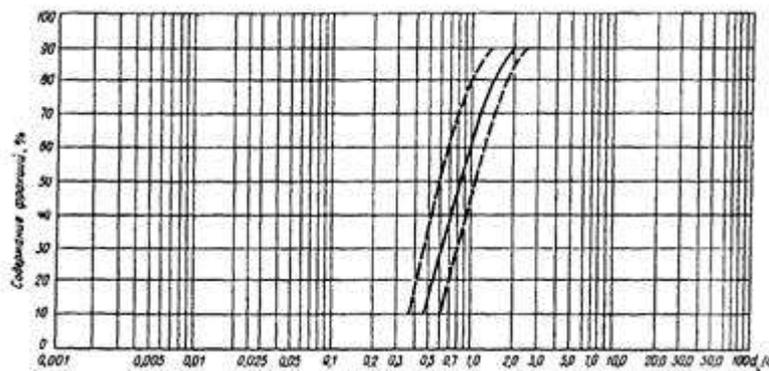
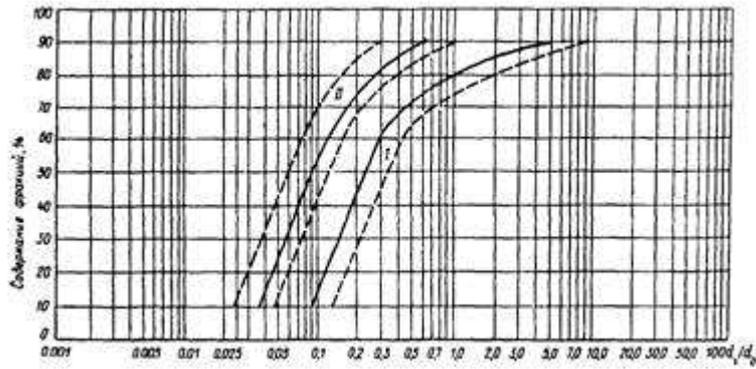


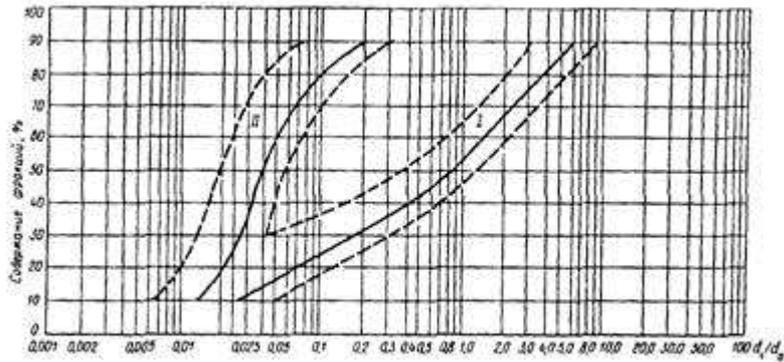
Рисунок П4.1 - График зависимости $\alpha = f\left(\frac{d_i}{d_o}\right)$. Однородные песчаные плотины



I - боковая зона; II - центральная зона

$$\alpha = f\left(\frac{d_i}{d_0}\right)$$

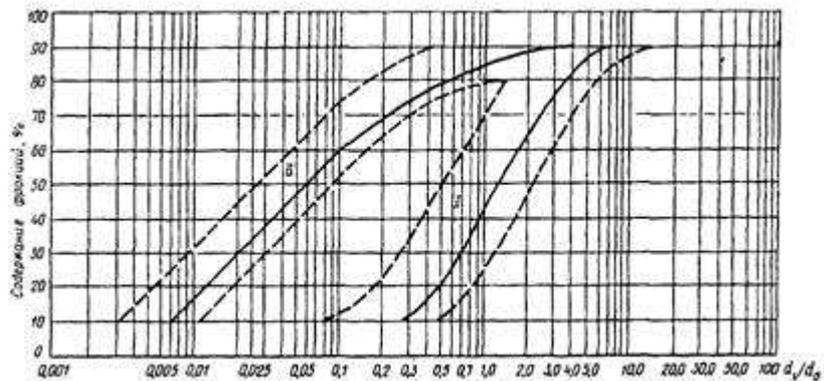
Рисунок П4.2 - График зависимости $\alpha = f\left(\frac{d_i}{d_0}\right)$. Неоднородные плотины из мелкого песчано-гравийного грунта с центральной песчаной зоной



I - боковая зона; II - центральная зона

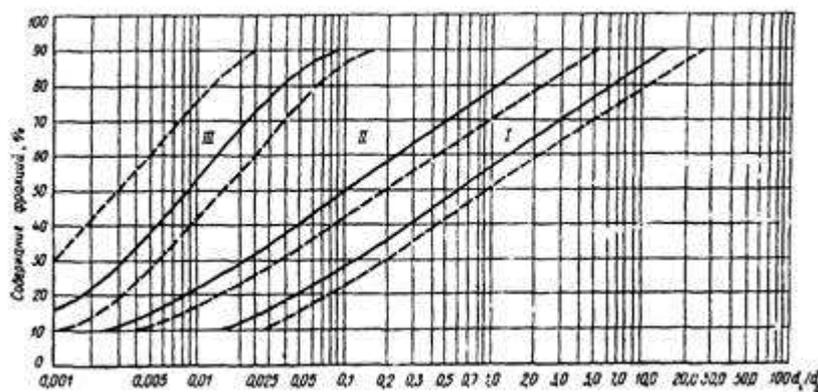
$$\alpha = f\left(\frac{d_i}{d_0}\right)$$

Рисунок П4.3 - График зависимости $\alpha = f\left(\frac{d_i}{d_0}\right)$. Неоднородные плотины из крупного песчано-гравийного грунта с центральной песчаной зоной



I - боковая зона; II - ядро

Рисунок 4 - График зависимости $\alpha = f\left(\frac{d_i}{d_o}\right)$. Гравийные плотины с ядром высотой менее 30 м



I — боковая зона; II — промежуточная зона; III — ядро

Рисунок 5 - График зависимости $\alpha = f\left(\frac{d_i}{d_o}\right)$. Гравийные плотины с ядром высотой более 30 м

Примечание - При вычислении d_o отбрасываются все фракции мельче d_5 , и крупнее d_{95} , где d_5 и d_{95} — крупность частиц, соответствующая обеспеченности 5 и 95 % по массе в составе карьерного грунта.

Отношение $\left[\frac{d_i}{d_o}\right]$ — снимают с осредненной кривой графиков для разной обеспеченности (10 %, 20 %, ...). Величину d_i (d_{10} , d_{20} , ...) определяют умножением указанного отношения на заданную величину d_o по формуле

$$d_i = \left[\frac{d_i}{d_o}\right] d_o. \quad (\text{П4.5})$$

С помощью полученных значений d_i строят кривую зернового состава намывтого грунта по каждой зоне.

Приложение 5 (рекомендуемое)

Расчет устойчивости откосов по способу наклонных сил взаимодействия

Согласно **8.10** настоящего СНиП РК в числе рекомендуемых методов расчета устойчивости откосов грунтовых плотин названы методы, оперирующие с расчлененной на вертикальные элементы призмой обрушения и с произвольной или круглоцилиндрической поверхностью сдвига, удовлетворяющие условиям равновесия в предельном состоянии.

В качестве таковых могут быть использованы методы, основанные на гипотезе наклонных сил взаимодействия между элементами призмы обрушения.

Угол наклона к горизонту β этих сил может быть определен из условий равновесия призмы обрушения в предельном состоянии, которое достигается пропорциональным изменением характеристик прочности грунтов от расчетных значений $tg\varphi, c$ до критических $tg\varphi_k, c_k$.

При произвольной поверхности сдвига для оценки устойчивости призмы обрушения сопоставляют проекции равнодействующих активных сил F_E и сил сопротивления R_E на направление сил взаимодействия. При круглоцилиндрической поверхности сдвига можно сопоставлять как моменты этих равнодействующих F_o, R_o относительно оси поверхности сдвига, так и их проекции. Критерием устойчивости призмы обрушения является соотношение

$$\gamma_{fc} F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} R, \quad (\text{П5.1})$$

где $\gamma_{fc}, \gamma_c, \gamma_n$ - коэффициенты сочетаний нагрузок, условий работы, надежности по ответственности сооружения.

Откос устойчив, если обеспечена устойчивость призмы обрушения с наиболее опасной поверхностью сдвига.

Проекции равнодействующих определяют из условия равновесия элементов призм обрушения по формулам (см. схему):

$$\left. \begin{aligned} F_E &= \sum Q \sin(\beta + \delta); \\ R_E &= \sum Q \cos(\beta + \delta) \operatorname{tg}(\varphi + \beta - \alpha) + \\ &+ \sum \frac{C \cos \varphi}{\cos(\varphi + \delta - \alpha)} \end{aligned} \right\} \quad (\text{П5.2})$$

где $Q = qdx$ — равнодействующая активных сил, действующих на элемент призмы обрушения;

δ — угол отклонения силы Q от вертикали;

α — угол наклона элемента поверхности сдвига к горизонту;

$C = cds$ — сила сцепления, действующая на элемент поверхности сдвига.

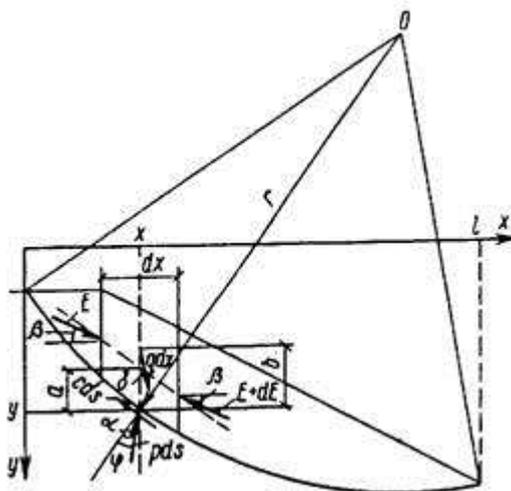


Схема сил, действующих на элемент призмы обрушения

Моменты равнодействующих определяют по формулам:

$$F_o = rR_o = r \left[\sum \frac{Q \cos(\beta + \delta) \sin \varphi}{\cos(\varphi + \beta - \alpha)} + \sum \frac{C \cos(\beta - \alpha) \cos \varphi}{\cos(\varphi + \beta - \alpha)} \right] \quad (П5.3)$$

где r — радиус поверхности сдвига;

b — возвышение точки приложения силы Q над поверхностью сдвига.

Угол β в обоих случаях допустимо определять по приближенной зависимости

$$\beta = \frac{\sum (\alpha + \delta) dx}{\sum dx} \quad (П5.4)$$

Устойчивость откоса в предположении круглоцилиндрической поверхности сдвига

можно проверять по формулам (П5.2) или (П5.3). Отношения $\frac{R_o}{F_o}$ и $\frac{R_E}{F_E}$ — разные механические понятия, поэтому оценки устойчивости по ним получаются разными.

Однако эти оценки совпадают при $\frac{R}{F} = 1$ и достаточно близки при $\frac{R}{F} < 1,3$, так что разногласий в суждении об устойчивости откоса не возникает.

Если принять в качестве универсальной оценки устойчивости отношение $\frac{tg \varphi}{tg \varphi_k} = \frac{c}{c_k}$, т.е. подобрать такие значения характеристик прочности, при которых $R_o = F_o$ и $R_E = F_E$, результаты расчета обоими способами должны совпадать.

Такой расчет может служить контролем правильности определения угла β , т.е. соблюдения условий равновесия призмы обрушения в предельном состоянии, для найденной наиболее опасной поверхности сдвига.

Влияние воды, насыщающей откос, допускается учитывать двумя способами:

- *первый* — вес грунта в пределах каждого элемента определяют с учетом ее капиллярного поднятия, а по контуру элемента (поверхности откоса, поверхности сдвига и плоскостям раздела между элементами) определяют давление воды фильтрационным расчетом;

- *второй* — вес грунта элемента определяют с учетом его взвешивания водой; на уровне ее поверхности к грунту прилагают капиллярные силы и к насыщенному водой объему грунта элемента прилагают фильтрационные силы, определяемые расчетом.

Оба способа дают, естественно, тождественные результаты и распространяются на неустановившуюся фильтрацию, в том числе при незавершенной консолидации грунта. При вычислении активной силы F_E и активного момента F_i давление воды по плоскостям раздела можно не учитывать, в сумме оно равно нулю. При вычислении F_i можно не учитывать также давление воды по круглоцилиндрической поверхности сдвига, его момент равен нулю.

Влияние сейсмических воздействий на откос определяют по [СНиП РК 2.03-30-2006](#) в форме объемных сейсмических сил, действующих на объем грунта каждого элемента с

учетом его насыщения водой, и изменения давления воды на поверхность откоса в пределах элемента.

В расчеты откосов с учетом сейсмических воздействий вводят динамические характеристики прочности грунтов, если они отличаются от статических. Учитывают в соответствующих случаях возникновение избыточного порового давления как следствие сейсмических толчков.

Сейсмические воздействия относятся к особым нагрузкам, их учет исключает другие особые нагрузки.

Приложение 6 (рекомендуемое)

Определение крутизны волноустойчивого неукрепленного откоса плотин из песчаного грунта при «профиле динамического равновесия»

Предварительная оценка параметров динамически устойчивого при воздействии волн профиля неукрепленного откоса плотин из песчаного грунта («профиля динамического равновесия») может быть выполнена по формулам:

$$m = m_0 + k_\lambda \left(\frac{h_{cdl}}{d_0} \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h_{cdl}}} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

где m — коэффициент откоса;

m_0 — коэффициент естественного откоса грунта тела плотины под водой;

h_{cdl} — высота расчетной волны, м;

λ — длина расчетной волны, м;

d_0 — средневзвешенный диаметр частиц грунта тела плотины, м;

$$d_0 = \sum_i \frac{d_i p_i}{100}, \quad (\text{П6.2})$$

где d_i — размер фракций, м;

p_i — доля фракций, % по массе;

k_λ — коэффициент, принимаемый:

$k_\lambda = 0,37$ для подводной части пляжного откоса от расчетного уровня воды в водохранилище (или в реке) до нижней границы размывающего действия волн (h_2), определяемой по формуле

$$h_1 = 0,028 \left(\frac{h_{cdl} \lambda}{d_0^2} \right)^{\frac{2}{3}}; \quad (\text{П6.3})$$

$k_\lambda = 0,17$ для надводной части пляжного откоса от расчетного уровня воды до верхней границы размывающего действия волн (h_2), зависящей от высоты наката, определяемой по СНиП РК 3.04-40-2006. В первом приближении можно принять $h_2 = 05 h_{cdl}$ (см. рисунок).



1 — расчетный уровень воды; 2 — участок откоса при $k_l = 0,37$; 3 — то же, при $k_l = 0,17$

Определение крутизны верхового неукрепленного откоса песчаной плотины

Примечания

1 При определении крутизны динамически устойчивого откоса необходимо учитывать размывающее влияние косо́го подхода волн, особенно сильно проявляющееся при углах подхода $\alpha = 45—57^\circ$.

2 Профиль сооружений необходимо уточнять по данным лабораторных или натурных исследований на основе результатов эксплуатации земляных сооружений с неукрепленными откосами, построенных из аналогичных грунтов и в условиях, близких по волновым и ветровым воздействиям.

Приложение 7 (рекомендуемое)

Проектирование плотин со стальными диафрагмами

П7.1 Грунтовые плотины со стальными диафрагмами могут быть рекомендованы при отсутствии вблизи строительства грунтов, пригодных для устройства ядра, экрана или обратных фильтров; для районов с очень влажным климатом; во всех других случаях при соответствующем технико-экономическом обосновании их преимуществ перед другими видами плотин.

П7.2 Плотины со стальными диафрагмами могут возводиться из каменной наброски, горной массы, песчаных, гравийных, галечных, дресвяных и щебеночных грунтов.

П7.3 Стальные диафрагмы допускается применять в плотинах I - IV классов.

П7.4 Стальную диафрагму рекомендуется располагать в теле плотины вертикально в плоскости, проходящей по оси гребня или по его верховой бровке.

П7.5 Сопряжение стальной диафрагмы с основанием плотины и береговыми склонами должно осуществляться посредством бетонного зуба, плиты или цементационной потерны с устройством под опорным элементом диафрагмы периметрального шва из битумных или других гидроизоляционных материалов, либо другими способами, обеспечивающими смещение опоры диафрагмы по опорной плоскости при воздействии горизонтальных нагрузок, а также водонепроницаемость шва. С бетонными сооружениями, встроенными в плотину (водосброс, водоприемник и пр.), стальную диафрагму рекомендуется сопрягать заделкой ее в бетон устоев, но с устройством в ней в непосредственной близости от устоя вертикального деформационного шва-компенсатора, обеспечивающего смещения (без натяжения) диафрагмы под действием горизонтальных нагрузок.

П7.6 Стальные диафрагмы следует выполнять из нелегированных углеродистых сталей с пределом прочности 300—400 МПа и относительным удлинением 20—30 %. В условиях длительного воздействия на диафрагму низких температур наружного воздуха (минус 40 °С и ниже) по условиям производства работ рекомендуется применять сталь спокойного плавления типа ВСт3Гпс2 или ВСт3Гпс3.

П7.7 В стальной диафрагме следует предусматривать вертикальные и горизонтальные деформационные швы, местоположение которых определяется соответствующими расчетами.

П7.8 Количество и местоположение вертикальных деформационных швов в диафрагме назначаются исходя из эпюры ее плановых горизонтальных смещений от действия гидростатического давления с учетом возможных местных деформаций тела плотины, пересеченности рельефа створа, геологического строения основания. Обязательным следует считать устройство в диафрагме вертикальных швов в местах резкого излома поверхности основания (седловине, бугре, бортах каньона и др.), а также в местах заделки диафрагмы в устои бетонных сооружений и на границах участков основания, сложенных грунтами, резко отличающимися по деформативным свойствам.

9 Количество и местоположение горизонтальных деформационных швов в стальной диафрагме назначают расчетом из условия обеспечения прочности диафрагмы на сжатие, которое возникает вследствие трения о ее поверхности грунта призм плотины при их осадке и действия веса диафрагмы. Напряжение в диафрагме σ определяют по формуле

$$\sigma = \frac{Q+N}{A_n} \leq \frac{1}{\gamma_n} R_y \quad (\text{П7.1})$$

где Q — вес диафрагмы;

N — нагрузка на диафрагму от трения грунта;

R_y — расчетное сопротивление стали сжатию по пределу текучести;

γ_n — коэффициент надежности по ответственности;

A_n — площадь поперечного сечения диафрагмы (расчет ведется на единицу длины плотины).

Нагрузку на диафрагму на глубине x от трения тела плотины определяют как произведение бокового давления на нее грунта на коэффициент трения грунта по стали:

$$N_1(x) = \frac{x^2}{2} (\rho_1 \lambda_1 + \rho_2 \lambda_2 + \rho_3) g f, \quad (\text{П7.2})$$

ρ_1 ; ρ_2 ; ρ_3 — соответственно, плотность грунта верховой и низовой призм плотины и воды;

λ_1 и λ_2 — коэффициенты бокового давления грунта призм плотины на диафрагму;

g — ускорение силы тяжести;

f — коэффициент трения грунта тела плотины по поверхности стальной диафрагмы;

x — глубина расположения расчетного сечения от гребня плотины.

Расстояние x_1 от гребня плотины до первого горизонтального деформационного шва определяют подбором. Задав предварительно толщину диафрагмы и ординатой x_1 , определяют значения $Q(x_1)$ и $N(x_1)$, а также проверяют условие прочности (1).

Местоположение второго третьего и всех последующих швов определяют последовательными расчетами напряженного состояния фрагментов диафрагмы, расположенных между двумя соседними швами с ординатами x_n и x_{n+1} . В этом случае нагрузку $N(x)$ вычисляют как разность

$$N(x) = N(x_{n+1}) - N(x_n). \quad (\text{П7.3})$$

В опорном фрагменте диафрагмы в пределах зоны его изгиба, равной отношению $\frac{3}{\sqrt[4]{4EI}}$, в формуле (1) учитывают влияние опорного момента и силы трения опоры по основанию (k — коэффициент постели, EI — жесткость диафрагмы).

Для предварительного проектирования схемы разрезки диафрагмы горизонтальными деформационными швами рекомендуются графики, приведенные на рисунке П7.1.

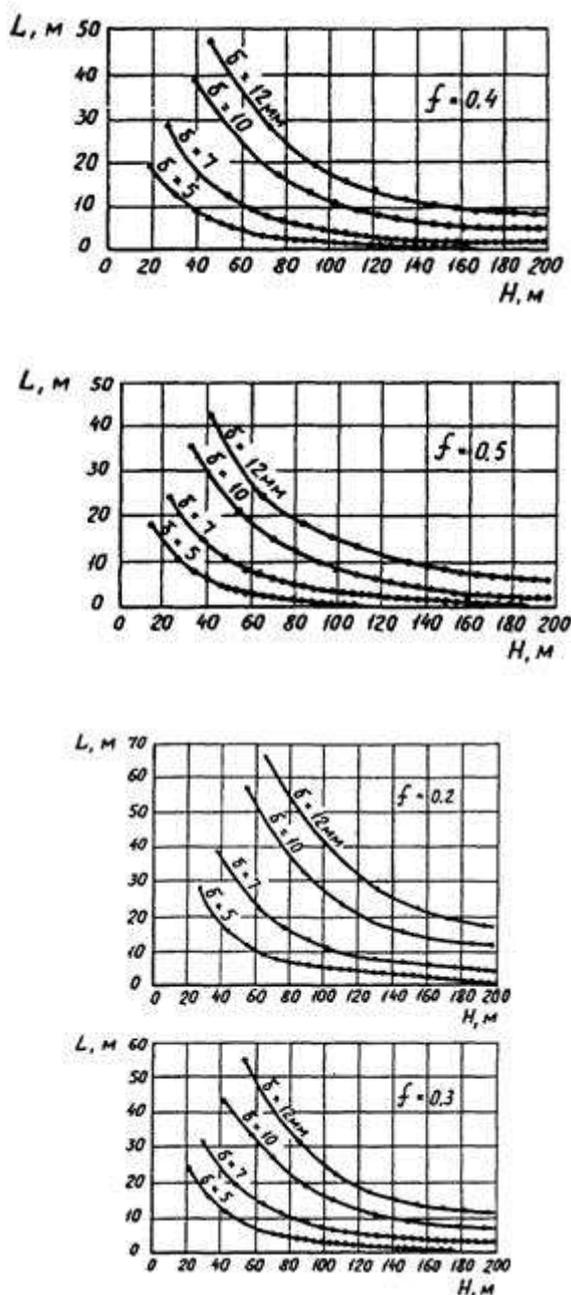
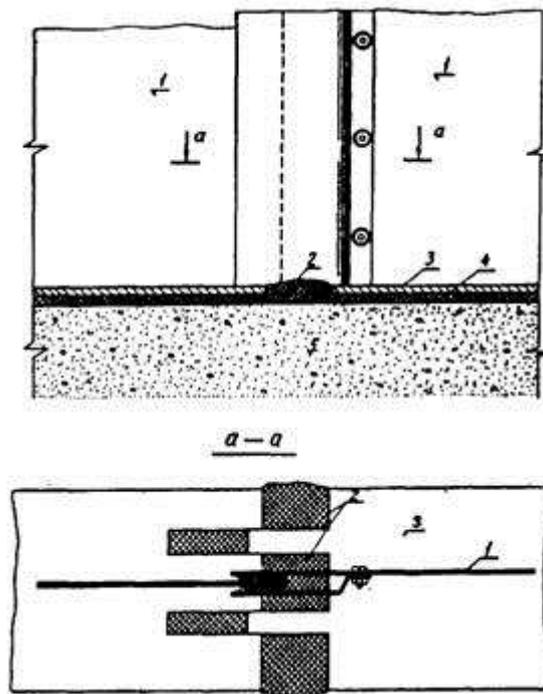


Рисунок П7.1 - Зависимость расстояния между горизонтальными швами диафрагмы по высоте L от толщины диафрагмы δ , величины коэффициента трения грунта по диафрагме f и высоты диафрагмы H

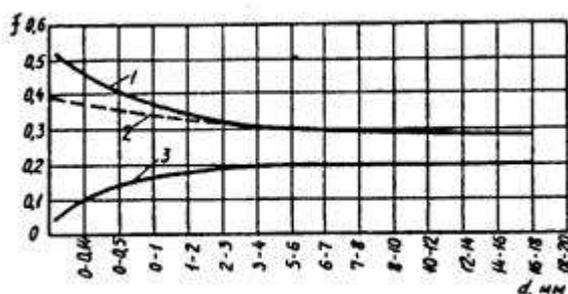
П7.10 В местах расположения в диафрагме вертикальных швов устраивают также поперечные (герметичные) деформационные швы в ее опорном элементе по типу, приведенному на рисунке П7.2.



- 1 — диафрагма, соединенная с бетонным зубом;
 2 — уплотнение деформационного шва опорного элемента;
 3 — опорный элемент диафрагмы;
 4 — покрытие из битумматов; 5 — бетонный зуб

Рисунок П7.2 - Устройство деформационного шва в опорном элементе диафрагмы

П7.11 Значения коэффициентов трения песчаных, гравийных и галечных грунтов тела плотины или переходных слоев по стальной диафрагме рекомендуется назначать по графикам рисунка П7.3 с последующим их уточнением специальными испытаниями для конкретных случаев.



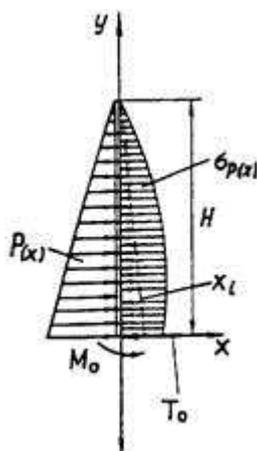
- 1 — грунт влажностью 2—7 %; 2 — грунт влажностью 100 %; 3 — грунт при покрытии диафрагмы битумом

Рисунок П7.3 - Зависимость коэффициентов трения грунтов по стальной диафрагме от их крупности и влажности

П7.12 Окончательные размеры конструктивных элементов профиля плотины, ее подземного контура, толщины диафрагмы, шага деформационных швов уточняют по данным статических, динамических и фильтрационных расчетов плотины.

П7.13 Для определения горизонтальных смещений и прогибов диафрагмы рекомендуется использовать методику ее расчета по схеме балки конечной жесткости на упругом податливом основании, в качестве которого рассматривается низовая призма плотины. Податливость низовой призмы выражается коэффициентом постели k , изменяющимся по ее высоте.

Смещение опоры диафрагмы имитируется в расчетной схеме введением в опорное сечение реактивной силы трения T_o и момента M_o (рисунок 4).



$P(x)$ — расчетная нагрузка на диафрагму;
 $\delta_p(x)$ — реактивные напряжения в грунте низовой призмы; M_o , T_o — реактивные соответственно момент и сила трения, действующие в опоре диафрагмы; x_i — смещения диафрагмы;
 H — высота диафрагмы

Рисунок П7.4 - Схема расчета диафрагмы как балки на упругом основании

П7.14 Напряженно-деформированное состояние плотины со стальной диафрагмой рекомендуется рассчитывать численными методами в постановке упругой или упругопластической задачи с учетом поэтапного ее возведения и наполнения водохранилища. При расчете плотины с подвижной в опоре диафрагмой рекомендуется учитывать проскальзывание боковых призм плотины по основанию вблизи диафрагмы введением в расчетную схему на указанных участках скользящих опор (рисунок 5).

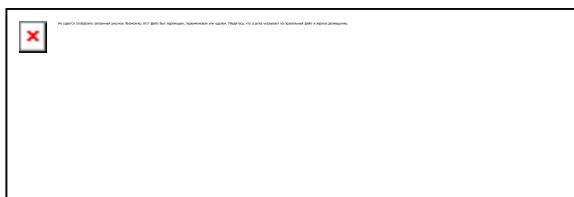


Рисунок П7.5 - Схема расчета плотины с диафрагмой по методу конечных элементов с учетом проскальзывания грунта тела плотины по основанию и диафрагме T — сила трения

В расчетах необходимо учитывать собственный вес с учетом взвешивающего действия воды, гидростатическое давление, силы трения боковых призм по диафрагме и в ее опорном сечении.

П7.15 Исходя из того, что тонкая стальная диафрагма практически полностью передает активную горизонтальную нагрузку низовой призме, общую статическую устойчивость низовой призмы рекомендуется проверять на плоский сдвиг по поверхности основания.

П7.16 Толщину стальной диафрагмы при соответствующем обосновании можно назначать, допуская работу стали в конструкции на пределе ее текучести. Диафрагма должна отвечать требованиям коррозионной долговечности.

При монтаже диафрагмы в ней рекомендуется устраивать сплошную полосу заземления.

УДК 627.824

МКС 93.020

Ключевые слова: плотина, бьеф, берма, подошва плотины, зуб плотины, потерна, обратный фильтр, плотность грунта, влажность грунта, земляные насыпные плотины, земляные намывные плотины, очертание откосов плотины.
