МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ
имени Б. Е. ВЕДЕНЕЕВА

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ЗОЛООТВАЛОВ И НАКОПИТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

П 82-79
ВНИИГ

ЛЕНИНГРАД
1980

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВНИИПРОЕКТ
ВСЕСОЮЗНЫЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ГИДРОТЕХНИКИ
имени Б. Е. ВЕДЕНЕЕВА

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ЗОЛООТВАЛОВ И НАКОПИТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

П 82-79
ВНИИГ

ЛЕНИНГРАД
1980

УДК 624.137.034.9 : 626/627

В «Рекомендациях по проектированию и строительству противофильтрационных экранов золоотвалов и накопителей производственных сточных вод электростанций» регламентируются вопросы проектирования и строительства противофильтрационных экранов из грунта, полимерной пленки и асфальта. Даны критерии для выбора типа экранов в зависимости от их эксплуатационных и технологических свойств, трудоемкости и стоимости.

Рекомендации составлены на основании обобщения опыта исследований, проектирования и строительства противофильтрационных экранов из различных материалов, применение которых в каждом конкретном случае должно быть обосновано с помощью технико-экономического сравнения вариантов.

© Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники им. Б. Е. Веденеева (ВНИИГ), 1980.

ВВЕДЕНИЕ

В соответствии с требованиями по охране природы, на которые неоднократно обращалось внимание в решениях Партии и Правительства и которые изложены в статье 67 Конституции СССР, в энергетическом строительстве Советского Союза в последние годы серьезное внимание уделяется повышению качества строительства специальных сооружений типа *шламоотвалов,* шламонакопителей, отстойников и т. п.

Однако до настоящего времени не существовало единого документа, регламентирующего требования к проектированию и строительству таких сооружений.

В настоящих «Рекомендациях по проектированию и строительству противофильтрационных экранов золоотвалов и накопителей производственных сточных вод электростанций» обобщенно изложены вопросы выбора типа и конструирования противофильтрационных экранов, а также производства работ по их устройству.

В Рекомендациях не рассматриваются вопросы обоснования необходимости устройства противофильтрационных экранов на золоотвалах и накопителях производственных сточных вод электростанций, которые должны решаться в каждом конкретном случае строительства с учетом химического состава зол и сточных вод, фильтрационных характеристик грунтов и интенсивности поступления сбросов.

При составлении Рекомендаций использованы «Указания по применению полиэтиленовых противофильтрационных устройств для плотин из грунтовых материалов», ВСН-07—74, «Временные технические указания по конструкции бетоно-пленочных облицовок и технологии работ при их устройстве», «Указания по проектированию и устройству монолитных асфальтобетонных облицовок гидротехнических сооружений», ВСН-17—68, а также методические рекомендации «Асфальтополимербетонные облицовки гидротехнических сооружений», Энергия, 1976 и «Руководство по проектированию обработки и очистки производственных сточных вод тепловых электростанций», П 82-79.

Рекомендации составлены во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. Разделы 2 и 5 — к. т. н. В. Н. Жиленковым, раздел 3 — к. т. н. В. Д. Глебовым и раздел 4 — к. т. н. Н. В. Стабниковым. Общее редактирование документа проведено к. т. н. Н. В. Стабниковым.

Министерство энергетики и электрификации СССР	**Рекомендации по проектированию и строительству противофильтрационных экранов золоотвалов и накопителей производственных сточных вод электростанций**	П 82—79 ВНИИГ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. В Рекомендациях регламентируются вопросы проектирования противофильтрационных экранов и облицовок специальных гидротехнических сооружений, предназначенных для обработки и очистки сточных вод, образующихся в производственных процессах тепловых и атомных электростанций. К ним относятся: золошламоотвалы, емкости промывки оборудования и накопители минерализованных сточных вод и т. п.

1.2. В Рекомендациях рассматриваются вопросы конструирования и строительства противофильтрационных экранов и облицовок из грунтовых материалов, асфальтобетона и полимерных пленок, с защитным слоем из грунта или бетона (грунтово-пленочные и бетоно-пленочные).

1.3. Выбор типа экрана и его конструкции должен быть обоснован в результате технико-экономического сравнения вариантов в соответствии с допустимыми нормами сброса сточных вод, регламентированными «Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами», и в установленном порядке должен согласовываться с органами по регулированию использования и охране вод, Государственного санитарного надзора, охраны рыбных запасов и регулирования рыбоводства.

Примечание. При проектировании противофильтрационных экранов гидросооружений, расположенных в сейсмических районах (более 6 баллов), в районах распространения вечной мерзлоты, на участках с просадочными грунтами и т. д., кроме настоящих Рекомендаций, следует применять соответствующие специальные нормативные документы, а также учитывать опыт строительства в аналогичных условиях.

Внесены ВНИИГом им. Б. Е. Веденеева	Утверждены ВНИИГом им. Б. Е. Веденеева решением № 79 от 16 июля 1979 г. по согласованию с Главниипроектом Минэнерго СССР	Срок введения IV квартал 1979 г.

1.4. Применение Рекомендаций рассчитано на нормальные условия эксплуатации очистных гидротехнических сооружений, в частности, образование волн в бассейнах не выше 1,5 м, ледового покрова толщиной до 1 м, температуры воды в бассейне — не выше +40°С и обычной концентрации химически агрессивных веществ (pH от 5 до 12), а также скорости течения воды в быстротоках — не более 1 м/с. При условиях эксплуатации экранов, выходящих за указанные пределы, проектирование экрана должно быть обосновано специальными исследованиями, кроме того, не рекомендуется применение типовых решений в следующих случаях:

а) грунтовые экраны — при возможности промерзания, при наличии очагов пучения, сосредоточенных протечек, а также при необходимости обеспечения высокой водонепроницаемости, в том числе диффузионной, при величине $k_ф$ менее 10^{-8} см/с или $q_ф$ менее 1 л/мин. га;

б) асфальтобетонные экраны — в районах со среднесуточной температурой воздуха зимой ниже —50°С, при нефтехими-

Таблица 1

Пределы применения различных типов нормальных противофильтрационных экранов

Условия применения	Типы противофильтрационных экранов				
	грунтовый	полимерно-пленочные		асфальтобетонные	
		грунтово-пленочные	бетоно-пленочные	монолитные	сборный
Допустимый напор, м	15	30	10	50	50
Средний расчетный коэффициент фильтрации покрытия, см/с	10^{-7}	10^{-8}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-7}
Допустимая высота волны, м	1	1	1,5	1,5	1
Допустимая толщина ледового покрова, м	1	1	1	1	0,6
Допустимая крутизна откосов	1 : 2,5	1 : 3	1 : 2	1 : 1	1 : 1
Диапазон эксплуатационных температур, °С					
минимальная температура воздействия	Не ограничен	Не ограничен	Не ограничен	—40	—40
максимальная температура воздействия	"	+40	+40	+40	+40
Стойкость к химической агрессии, ограничения	Нет		Определяется стойкостью бетона	Нет	
Возможность контроля качества покрытия и ремонта	Невозможен			Возможен	
Долговечность, годы	Не ограничена	30—50	30—50	100	100

ческой агрессивности воды-среды (более 0,05 г/л нефтепродуктов);

в) пленочные экраны — при требовании высокой водонепроницаемости экрана (суммарные фильтрационные потери менее 1 л/мин с 1 га), в воде—среде, агрессивной в отношении бетона (для бетоно-пленочных экранов), а также при необходимости осмотра и ремонта экрана.

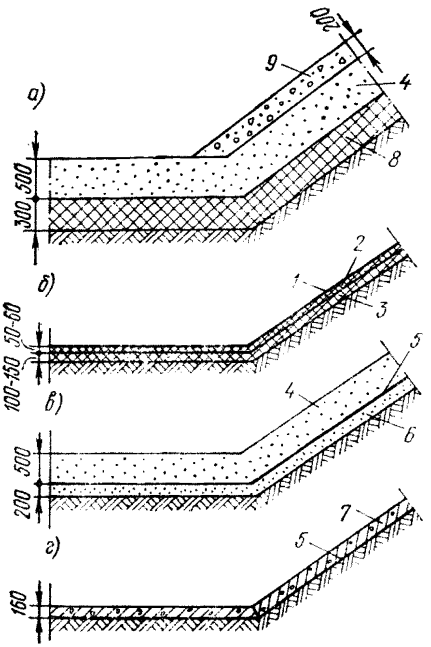

Рис. 1. Типовые конструкции экранов

а—грунтовый экран; *б*—асфальтобетонный экран; *в*—полиэтиленовый экран; *г*—бетонопленочный экран. *1*—поверхностная обработка горячим битумом или битумно-полимерным сплавом с расходом 1—1,5 кг/м²; *2*—слой плотного асфальтобетона 5—6 см; *3*—слой мелкого щебня крупностью до 40 мм 10—15 см; *4*—защитный слой из несвязного грунта; *5*—слой стабилизированной полиэтиленовой пленки толщиной более 0,2 мм; *6*—слой песчаной подготовки 20 см; *7*—монолитный бетон толщиной 16 см или сборные железобетонные плиты толщиной 8 см; *8*—глинистый грунт; *9*—защитный слой из каменной наброски.

1.5. При предварительном выборе типа противофильтрационных экранов следует пользоваться рекомендациями табл. 1, в которой приведены сведения о конструкциях противофильтрационных экранов, эксплуатируемых в нормальных условиях (рис. 1).

1.6. При выборе типа противофильтрационного экрана и разработке его конструкции следует учитывать реальные условия эксплуатации экрана. В табл. 2 приведена ориентировочная агрессивность сбрасываемых вод в открытые шламохранилища ТЭС.

1.7. Применение глинистого экрана является наиболее целесообразным и экономически эффективным в следующих случаях:

а) при наличии месторождений пригодных для устройства экрана глин и механизмов для транспорта, укладки и уплотнения;

б) при устройстве экранов в насыпных земляных, каменнонабросных, каменноземляных и намывных дамбах неограниченной долговечности со средним коэффициентом фильтрации ниже 10^{-8} см/с, нефтехимической агрессии.

Применение асфальтовых экранов наиболее целесообразно:

а) при требованиях высокой водонепроницаемости и надежности экрана, возможности его осмотра и ремонта;

Таблица 2

Агрессивность сточных вод ТЭС[1]

Вид сточных вод	Кислотность pH	Предельное количество сульфатов мг/л	Количество нефтепродуктов мг/л
Сточные воды системы охлаждения ТЭС	10,5	5000	—
Обмывочные воды РВП и конвективные поверхности нагрева котлоагрегатов, работающих на мазуте	9,5—10 Временно 10 и 5,5	2000	—
Сточные воды, загрязненные нефтепродуктами	5,7—8,5	100	100

б) при необходимости устройства экрана под водой (сборный вариант) и на крутых откосах гидросооружений.

Применение пленочных экранов наиболее целесообразно:

а) при необходимости строительства экрана в сжатые сроки, зимой, с минимальными затратами труда и средств, минимуме привозных материалов;

б) на днищах бассейнов и шламоотвалов в песчаных грунтах.

2. ЭКРАНЫ ИЗ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Термины и определения

Фильтрационная прочность грунта — способность грунта сопротивляться разрушающему воздействию фильтрационного потока, которое может иметь вид внутреннего размыва (внутренней суффозии), поверхностного размыва (эрозии), отрыва и выпора целых масс грунта, а также вымывания из грунта содержащихся в нем растворимых минералов (химическая суффозия). Фильтрационную прочность грунта обычно характеризуют наибольшей допустимой в данных условиях величиной градиента напора или скорости фильтрующейся через грунт воды, при которой не возникает опасных деформаций грунта, а также резкого изменения его проницаемости.

Контактный выпор — местное нарушение фильтрационной прочности грунта экрана, происходящее в виде выдавливания под действием фильтрационных сил отдельных масс грунта в поры или в полые трещины основания, либо в поры обратного фильтра. Для контактного выпора характерно также разуплотнение выдавливаемого грунта.

[1] Составлена по материалам «Руководства по проектированию обработки и очистки производственных сточных вод тепловых электростанций». Минэнерго СССР, 1976 г.

Контактный размыв — поверхностный размыв (эрозия) грунта экрана фильтрационным потоком, протекающим в сильно проницаемом основании вдоль размываемой поверхности (подошвы) экрана.

Деструкция при замачивании (размокание) — нарушение грунта (в том числе несвязного), характеризуемое разрыхлением его структуры и полной потерей связности, вследствие внутрипорового давления, возникающего при интенсивном капиллярном впитывании грунтом воды во время его замачивания и вместе с тем прекращения действия капиллярных (менисковых) сил.

Суффозионная устойчивость — сохранение частицами грунта своего первоначального положения при воздействии на них фильтрационного потока.

Мелкозем — совокупность содержащихся в грунте мелкозернистых фракций с размерами частиц меньше одного миллиметра.

Механическая суффозия — размыв грунта фильтрационным потоком, проявляющийся в виде отрыва и перемещения отдельных его частиц и целых агрегатов внутри пор или трещин.

Сегрегация грунта — распределение или группировка частиц разнозернистого грунта по крупности (фракционирование), происходящее главным образом во время отсыпки и планировки грунта.

Глинистый грунт — грунт, содержащий некоторое количество (обычно не менее 5% по весу) очень мелких частиц какого-либо глинистого минерала, вследствие чего этот грунт приобретает свойство, характеризуемое связностью структуры (сцеплением, прочностью на разрыв). Глинистый грунт также должен иметь индекс пластичности более 0,03. В зависимости от величины индекса пластичности различают три разновидности глинистых грунтов: супеси, суглинки и глины.

Коэффициент фильтрации — коэффициент пропорциональности между скоростью ламинарной фильтрации жидкости в данном пористом теле (грунте) и градиентом ее напора.

Расход фильтрации приведенный — расчетная величина расхода жидкости, фильтрующейся через данное пористое тело при напоре, равном единице.

Гидравлически эквивалентный диаметр пор — вычисленный по расходу фильтрации диаметр поровых каналов в грунте, примерно равный поперечникам каналов в местах их сужений (перехватов).

Скорость фильтрации — воображаемая (условная) скорость движения фильтрующейся жидкости, равная отношению ее расхода в данном живом сечении к площади этого сечения.

Водоупорный элемент экрана — слой уплотненного глинистого грунта, на который в экранах комбинированного типа еще

дополнительно уложена полиэтиленовая пленка или нанесен тонкий слой битума.

Защитное покрытие — слой песка, золошлака или другого сыпучего материала, уложенного на поверхность водоупорного элемента экрана с целью удержать этот элемент на месте и предохранить его от промерзания, атмосферных воздействий и механических повреждений.

Буквенные обозначения

$\gamma_в$ — объемный вес воды;
γ — плотность (объемный вес) сухого грунта;
ε — коэффициент пористости грунта;
n — пористость грунта;
Δ — удельный вес частиц грунта;
$\varepsilon_м$ — коэффициент пористости мелкозернистой составляющей (мелкозема) грунта с частицами менее 0,1 см;
$k_г$ — коэффициент фильтрации глинистого грунта;
$k_з$ — коэффициент фильтрации золошлакового материала;
H — напор воды или жидкости;
$W_т$ — влажность глинистого грунта на границе его текучести;
$I_р$ — индекс (число) пластичности грунта;
g — ускорение свободного падения;
ν — кинематический коэффициент вязкости жидкости (воды);
d_0, D_0 — гидравлически эквивалентный диаметр пор грунта;
v — скорость фильтрации.

Типы конструкций и материалы противофильтрационных экранов из глинистых грунтов

2.1. Существуют следующие основные типы конструкций противофильтрационных экранов из глинистого грунта:

однослойный экран (рис. 2, *а*), водоупорным элементом которого является сплошной слой (пласт) уплотненного глинистого грунта, защищенный сверху от повреждений слоем песка или золошлака;

двухслойный экран (рис. 2, *б*), водоупорный элемент которого состоит из двух сплошных слоев глинистого грунта разделенных дренажной прослойкой, перехватывающей жидкость, профильтровавшуюся через верхний слой, также имеющий защитное покрытие;

комбинированный (пленочно-глинистый) экран (рис. 2, *в*) с водоупорным элементом, состоящим из слоя глинистого грунта, покрытого сверху битумной или полиэтиленовой пленкой (погребенной мембраной).

2.2. Допускается в качестве материала водоупорного элемента однослойного и двухслойного экранов использовать глинистые грунты, в которых содержится не менее 40% (по весу)

частиц крупностью до 0,1 см. В этих грунтах должны отсутствовать валунные и каменистые включения крупнее 10 см.

В грунте водоупорного элемента комбинированного экрана с полиэтиленовой пленкой также не допускается наличие дресвяно-щебнистых частиц угловатой формы.

Кроме того, во всех случаях коэффициент фильтрации глинистого грунта в уплотненном состоянии не должен превышать $1 \cdot 10^{-6}$ см/с.

Не рекомендуется использовать для устройства экранов грунты, содержащие более 4—5% по весу водорастворимых солей.

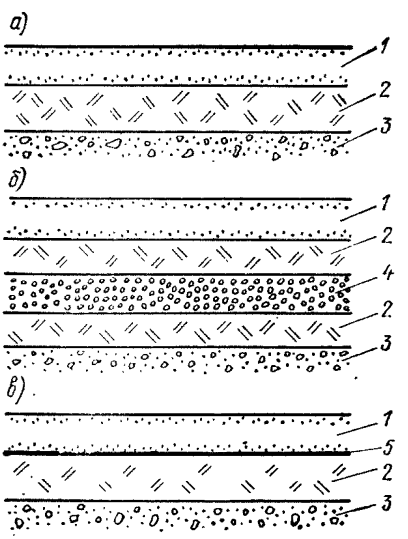

Рис. 2. Основные типы конструкций противофильтрационных экранов из глинистого грунта

а—однослойный экран; *б*—двухслойный экран; *в*—комбинированный экран; *1*—защитный слой из несвязного грунта или золошлака; *2*—слой уплотненного глинистого грунта; *3*—основание экрана; *4*—дренажная прослойка; *5*—битумная или полиэтиленовая пленка.

2.3. В тех случаях, когда поблизости от строящегося хранилища (накопителя) имеется несколько месторождений грунтов, следует при их выборе руководствоваться технико-экономическими расчетами. Однако надо иметь в виду, что наименьшая стоимость транспортировки грунта к месту его укладки не всегда определяет минимум затрат при устройстве экрана. Очень часто значительные трудозатраты связаны с уплотнением грунта, вследствие чего вопрос об использовании переувлажненных и маловлажных суглинков и глин должен решаться на основании сопоставления данных предварительных опытных укаток этих грунтов.

2.4. В качестве материала пленочного покрытия слоя глинистого грунта в экране комбинированного типа рекомендуется использовать стабилизированную полиэтиленовую пленку толщиной не менее 0,02 см либо нефтяной битум БНД 60/90, ГОСТ 11954—66, наносимый на слой грунта при температуре от 170 до 200°С. Толщина пленки битума при этом должна выдерживаться в пределах 0,2—0,8 см.

Устройство битумной мембраны несложно, но требует точности работ. При неровном основании, чтобы устроить мембрану, расходуют значительно больше битума, чем при гладком. Поэтому необходимо выравнивать основание дорожными грейдерами с удалением всех глыб, комков и крупных камней и последующей легкой укаткой.

Для розлива битума используется автогудронатор или ручные гудронаторы. Мембраны могут устраиваться на очень крутых откосах, так как битум затвердевает быстро. Однако и здесь имеются ограничения, поскольку следует обеспечить устойчивость основания и покрывающего пленку материала (если он имеется). Этот материал обычно и лимитирует крутизну откосов. Рекомендуется иметь ограниченную крутизну откосов (1 : 2). В качестве защитного покрытия облицовки мембраны чаще всего применяют обычный грунт, причем толщина покрытия должна быть не менее 0,3 м.

Проектирование противофильтрационных глинистых экранов

2.5. Общую толщину слоя уплотненного глинистого грунта водоупорного элемента экрана следует определять, основываясь на соответствующих расчетах проницаемости и фильтрационной прочности, однако эта толщина не должна быть менее 30 см и лишь в редких случаях превышать 100 см. Толщина защитного покрытия водоупорного элемента также выбирается в этих пределах.

2.6. Толщину дренажной прослойки в двухслойном экране рекомендуется принимать равной 30—50 см. В качестве материала этой прослойки допускается использовать песчано-гравийные и дресвяно-щебнистые грунты с коэффициентом фильтрации не менее 50 м/сут.

Оценка проницаемости глинистого экрана

2.7. Проницаемость экрана удобнее всего характеризовать расчетной величиной удельного расхода жидкости q_r, фильтрующейся через единицу поверхности экрана при осредненном по его толщине градиенте напора равном единице, т. е.

$$q_r = \frac{Q}{S}\frac{T}{H} = \frac{v}{J_c}, \qquad (1)$$

где Q — расход жидкости, фильтрующейся через площадь S экрана; T — толщина водоупорного элемента экрана; H — напор фильтрующейся через экран жидкости; v — скорость фильтрации; J_c — средний по толщине водоупорного элемента градиент напора.

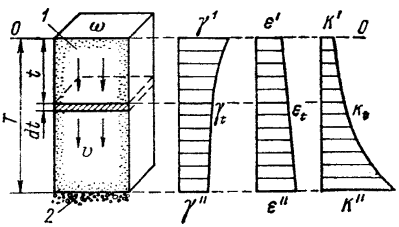

Рис. 3. Расчетная схема к определению проницаемости неравномерно уплотненного по толщине слоя глинистого грунта
1—фрагмент слоя грунта; *2*—основание экранирующего покрытия.

Проницаемость экрана, таким образом, представляет собой осредненное по толщине водоупорного элемента значение коэффициента фильтрации

$$k_c = \frac{v}{J_c}, \qquad (2)$$

которое можно определить расчетным путем, зная характер изменения плотности глинистого грунта по толщине единичного слоя и зависимость между коэффициентами фильтрации и пористости грунта.

2.8. Изменение коэффициента пористости грунта по толщине слоя (рис. 3) можно с достаточной для практических расчетов точностью аппроксимировать зависимостью вида

$$\varepsilon_t = \varepsilon' (1 + ct), \qquad (3)$$

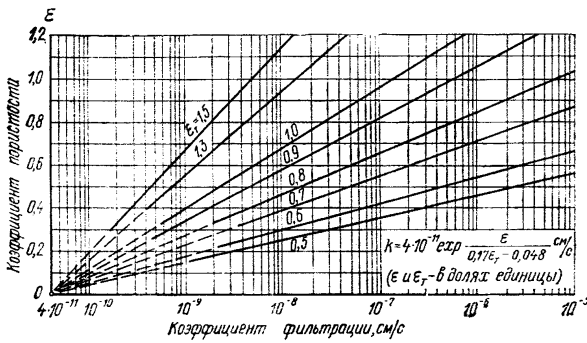

Рис. 4. Графики зависимостей между коэффициентами фильтрации и пористости глинистых грунтов (при температуре воды 20°С).

где $c = \frac{\varepsilon''/\varepsilon' - 1}{T}$ — коэффициент снижения плотности грунта; ε' и ε'' — коэффициенты пористости грунта, соответственно, в верхней и нижней частях слоя; t и T — см. рис. 3.

2.9. Коэффициент фильтрации уплотненного грунта рекомендуется вычислять по формуле:

$$k = 4 \cdot 10^{-11} \exp \frac{\varepsilon}{0{,}17\varepsilon_т - 0{,}048} \text{ см/с}, \qquad (4)$$

где ε и $\varepsilon_т$ — в долях единицы.

Зависимость, выражаемая этой формулой, представлена графически на рис. 4, из которого видно, что по мере увеличения связности грунта, характеризуемой параметром $\varepsilon_т$, снижается скорость изменения его проницаемости в процессе уплотнения («чувствительность» грунта к уплотнению).

2.10. Геомеханический параметр $\varepsilon_т$ следует определять экспериментально — по плотности грунтового теста при влажности на границе текучести в соответствии с установленной методикой.

Параметр $\varepsilon_т$ также может быть вычислен по формуле

$$\varepsilon_т = 1{,}06\,\frac{\Delta_м}{\gamma_в}\,W_т, \qquad (5)$$

где $\Delta_м$ — удельный вес мелких ($d<0{,}1$ см) частиц грунта; $W_т$ — в долях единицы.

2.11. Для определения по формуле (4) коэффициента фильтрации глинистого грунта, в составе которого имеются «плавающие» в мелкоземе крупные частицы (гравий, щебень), надо вначале выяснить плотность мелкозема с частицами менее 0,1 см.

Плотность мелкозема рекомендуется вычислять по формуле:

$$\gamma_м = \gamma_г\,\frac{p_м}{1-\gamma_г\,\frac{p_к}{\Delta_к}}, \qquad (6)$$

где $p_м$ и $p_к$ — относительные величины массосодержания мелких и крупных частиц в грунте (в долях единицы); $\Delta_к$ — удельный вес крупных частиц грунта.

Коэффициент фильтрации такого (разнозернистого) грунта

$$k_г = k_м \cdot p_м.$$

При выполнении условия (3) осредненный (по толщине неравномерно уплотненного слоя грунта) коэффициент фильтрации

$$k_с = \frac{k'}{\beta\varepsilon' cT}\left(e^{\beta\varepsilon' cT}-1\right), \qquad (7)$$

где k'—коэффициент фильтрации грунта при ε'; $\beta=\frac{1}{0{,}17\varepsilon_т-0{,}048}$ — показатель, характеризующий интенсивность снижения проницаемости глинистого грунта при его уплотнении.

2.12. При дополнительном уплотнении глинистого грунта экрана под действием веса толщи золошлака произойдет соответствующее уменьшение его проницаемости, которое можно оценить расчетом по формуле:

$$k_2 = \frac{k_1}{\exp\left(\beta a \ln p_2/p_1\right)}, \qquad (8)$$

где k_1 — коэффициент фильтрации грунта при начальном уплотнении давлением p_1; k_2 — коэффициент фильтрации грунта, дополнительно уплотненного весом золошлака интенсивностью p_2; a — абсолютный коэффициент компрессии грунта, величину которого в предварительных расчетах можно принимать равной 0,1.

2.13. Оценивая проницаемость экранов, выполненных из глинистых грунтов, следует иметь в виду, что фильтрация воды и водных растворов в этих грунтах строго подчиняется закону Дарси при сколь угодно малых градиентах напора. Вместе с тем,

однако, в каждом конкретном случае необходимо учитывать влияние осмоса на перенос растворенного вещества, концентрация которого в фильтрате может быть в несколько раз более высокой. Интенсивность осмотического переноса обычно определяют экспериментальными исследованиями этого процесса.

Оценки интенсивности фильтрационных утечек через комбинированный экран при повреждении пленочного элемента (мембраны)

2.14. Высокая эффективность комбинированного экрана обеспечивается благодаря совместной работе пленочного его элемента (погребенной мембраны) и подстилающего слоя слабопроницаемого глинистого грунта. Даже при наличии повреждений (разрывов, отверстий) в пленочном элементе проницаемость этого экрана остается чрезвычайно низкой.

2.15. Для того, чтобы оценить величину проницаемости комбинированного экрана, необходимо вначале (используя результаты натурных наблюдений) определить наиболее вероятные размеры и частоту повреждений, представляя их в форме щелей или отверстий. Лишь затем на основе расчетов по указанным ниже зависимостям можно оценить суммарную величину утечек через эти повреждения, а также определить фиктивный (термин, предложенный В. П. Недригой) коэффициент фильтрации комбинированного экрана

$$k_{\text{ф}} = mk_{\text{г}}, \tag{9}$$

где m — коэффициент эффективности комбинированного экрана; $k_{\text{г}}$ — коэффициент фильтрации подстилающего пленку слоя глинистого грунта.

Значения коэффициента m зависят от формы и размеров отверстий в пленочном элементе экрана и численно равны отношению расходов фильтрации через комбинированный экран при наличии повреждений в пленочном его элементе и через такой же по площади и толщине экран из глинистого грунта, т. е.

$$m = Q_{\text{к}}/Q_{\text{г}}. \tag{10}$$

2.16. Фильтрационный расход через повреждения в пленочном элементе комбинированного экрана рекомендуется оценивать по приводимым ниже формулам.

В случае повреждений, имеющих форму щелей длиной l и с раскрытием $2b$ (рис. 5):

$$Q = \frac{\pi l}{\ln T_{\text{э}}/b} \frac{k_{\text{э}} H}{A + \varkappa}, \tag{11}$$

где

$$A = \frac{\ln T_{\text{э}}/b}{\ln T_{\text{э}}/b}; \qquad \varkappa = \frac{k_{\text{э}}}{k_{\text{г}}}.$$

Повреждения в виде отверстий —

$$Q_0 = 4b \frac{k_{\text{э}} H}{1 + \varkappa}. \tag{12}$$

При относительно большой проницаемости ($k_з > 0{,}001$ см/с) золошлакового или другого материала, когда можно пренебречь потерями напора фильтрующейся через толщу этого материала жидкости, ее расход при наличии в пленочном элементе щели рекомендуется вычислять по формуле:

$$Q_ш = k_г \frac{H}{0{,}73 \lg \operatorname{tg}\left(\frac{\pi b}{4T_э}\right)}. \qquad (13)$$

Пример расчета фильтрационного расхода через повреждение в пленочном элементе комбинированного экрана дан в приложении 2.

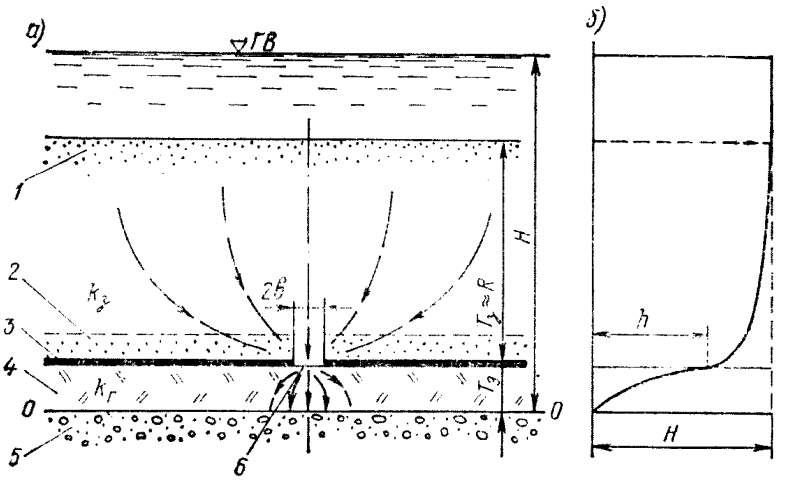

Рис. 5. Расчетная схема фильтрации жидкости через комбинированный экран при наличии повреждений в пленочной мембране, покрывающей слой глинистого грунта (*а*) и эпюра изменения напора фильтрующей жидкости (*б*)

1—толща складируемого материала (золошлака и т. п.); *2*—защитный слой экрана; *3*—пленочная мембрана; *4*—слой глинистого грунта; *5*—сильно проницаемое основание хранилища; *6*—повреждение (или дефект) в пленке.

Методы оценки фильтрационной прочности глинистого экрана

2.17. При проектировании глинистого экрана следует выполнять расчет его фильтрационной прочности, в связи с чем необходимо предварительно выяснить возможные причины и соответствующие этим причинам формы нарушения фильтрационной прочности экрана.

2.18. Фильтрационная прочность глинистого экрана нарушается главным образом по причине механической суффозии, проявляющейся либо в форме контактного выпора грунта водоупорного элемента экрана, либо в форме его деструкции при замачивании снизу грунтовыми водами. Более редкой причиной нарушения фильтрационной прочности экрана является контакт-

ный размыв грунта, укладываемого обычно непосредственно на основание. Ниже рассмотрены характерные особенности перечисленных видов механической суффозии глинистого грунта и даны соответствующие рекомендации по расчетам суффозионной его устойчивости.

2.19. Фильтрационную прочность глинистого экрана по отношению к контактному выпору следует характеризовать критическим значением выходного градиента напора $J^{p}_{вых}$, при котором начинаются пластические деформации глинистого грунта вследствие его выдавливания в наиболее крупные поры или трещины в основании (рис. 6).

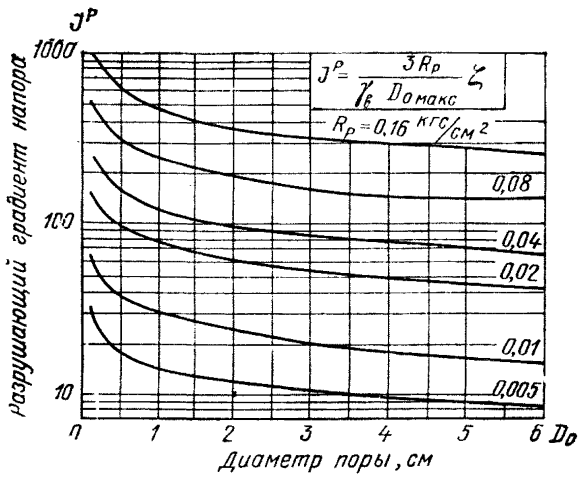

Рис. 6. Графики изменения разрушающего градиента напора при контактном выпоре глинистого грунта с показателем консистенции $B=1$.

Если известен поперечник этих пор — $D_{0\,макс}$ (или раскрытие полых трещин — $\delta_{макс}$), критическое значение выходного градиента:

$$J^{p}_{вых}=\frac{3R_p}{\gamma_в D_{0макс}}\xi, \qquad (14)$$

где $\xi=\left(\frac{D_{0макс}}{1\text{ см}}\right)^{2/3}B^{*}$, здесь $B=\frac{W-W_p}{W_т-W_p}$ — показатель консистенции глинистого грунта; R_p — долговременная прочность водонасыщенного глинистого грунта при осевом его растяжении.

Эту формулу можно использовать для расчетов при коэффициенте пористости грунта

$$\varepsilon \leqslant (W_т+0{,}5I_p)\frac{\Delta}{\gamma_в}.$$

* При расчетах по этой формуле $D_{0\,макс}$ надо выражать в см.

Долговременная прочность грунта $R_р$ зависит от его плотности и связности и может быть определена по графикам на рис. 7 или вычислена по формуле:

$$R_р = 1 \cdot \exp \frac{13{,}4\varepsilon}{1 - 4{,}25\varepsilon_т} \text{ кгс/см}^2. \tag{15}$$

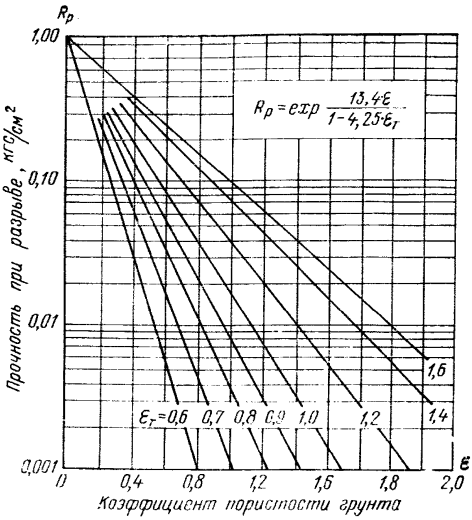

Рис. 7. Изменение долговременной прочности глинистых грунтов при разрыве.

Считается допустимым значение выходного градиента напора в экране

$$J_{вых} \leqslant 0{,}5J^{р}_{вых}, \tag{16}$$

которое перед этим следует определить по формуле:

$$J_{вых} = J_с \frac{1 - \dfrac{1}{\exp[\beta(\varepsilon'' - \varepsilon')]}}{\beta(\varepsilon'' - \varepsilon')}, \tag{17}$$

где $J_с = H/T_э$ — среднее по толщине слоя глинистого грунта значение градиента напора.

Примеры расчета величин выходного градиента напора $J_{вых}$ и $J^{р}_{вых}$ даны в приложении 1.

2.20. В тех случаях, когда основание экрана сложено сильно разнозернистыми грунтами или полученной при вскрыше

карьера раздробленной скальной породой (горной массой), поперечники пор — $D_{0\,макс}$ рекомендуется определять исходя из предположения о наличии скоплений (гнезд) крупнообломочного материала с отдельностями размером $D_{макс}$.

Тогда

$$D_{0_{макс}} \approx \varepsilon_к D_{макс}, \qquad (18)$$

где $\varepsilon_к$ — коэффициент пористости крупнообломочного материала.

Из этого видно, что образование скоплений (гнезд) крупных обломков на поверхности основания является одним из самых неблагоприятных факторов, приводящих к существенному снижению фильтрационной прочности экрана, в связи с чем иногда целесообразно перед укладкой экрана делать подсыпку мелкозернистого материала.

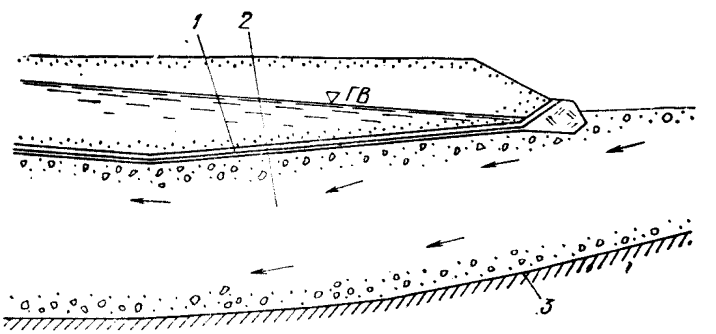

Рис. 8. Схема к расчету экрана на контактный размыв при расположении хранилища на участке склона, сложенном обводненными сильнопроницаемыми грунтами

1—противофильтрационный экран хранилища; *2*—толща сильнопроницаемых грунтов, вмещающая бытовой фильтрационный поток; *3*—поверхность скального массива (водоупор).

Неблагоприятным фактором также является переувлажнение глинистого грунта, отсыпаемого в дождливую погоду, вследствие чего грунт оказывается недоуплотненным. Таким образом при строительстве крупных золоотвалов в особо неблагоприятных условиях необходимо дополнительно осуществлять контрольные определения проницаемости и фильтрационной прочности уложенного глинистого экрана в полевых условиях, для чего рекомендуется использовать приспособление (устройство), описание которого дано в приложении 5.

2.21. В тех случаях, когда фильтрующаяся через экран жидкость понижает сопротивляемость глинистого грунта воздействию фильтрационного потока, необходимо экспериментальным путем определять степень понижения суффозионной устойчивости грунта и учитывать это при проектировании экрана.

Описание методики испытаний грунта дано в приложении 4.

2.22. Расчет суффозионной устойчивости глинистого экрана на контактный размыв необходимо выполнять в тех случаях, когда во время эксплуатации хранилища экран будет подвергаться воздействию продольного потока грунтовых вод, движущегося с относительно большим уклоном. Один из таких случаев иллюстрируется схемой на рис. 8.

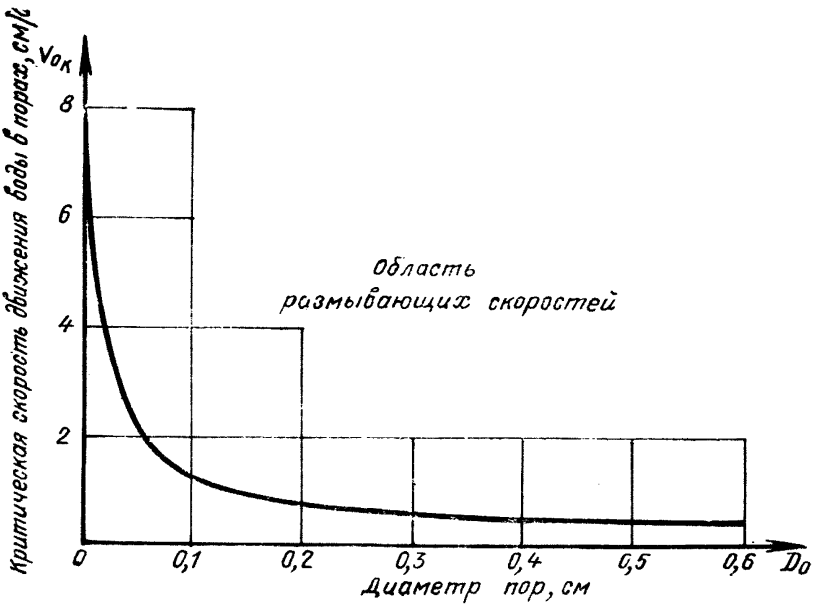

Рис. 9. График зависимости критической (размывающей) скорости движения воды $v_{0к} = v/n$ в зернистом грунте от гидравлически эквивалентного диаметра пор этого грунта.

Гидравлический уклон фильтрационного потока в основании экрана не должен превышать

$$J_{доп} \leqslant 0{,}5J_к, \qquad (19)$$

где $J_к$ — критическое значение уклона фильтрационного потока, при котором происходит контактный размыв глинистого грунта.

Критическое значение $J_к$ фильтрационного потока в крупнозернистом, например, гравийно-галечниковом грунте с хорошо окатанными частицами рекомендуется определять по формуле:

$$J_к = \frac{152\nu^2 \sqrt[6]{g/\nu^3}}{\varphi g D_0^3 \sqrt[3]{\varphi/D_0}}, \qquad (20)$$

где ν — кинематическая вязкость воды; g — ускорение свободного падения; D_0 — гидравлически эквивалентный диаметр поровых каналов грунта основания экрана; φ — коэффициент фор-

мы сечения поровых каналов, который для зернистого грунта с хорошо окатанными частицами равен 0,9, а с плохо окатанными — 0,45.

Гидравлически эквивалентный диаметр пор грунта:

$$D_0 \approx 6\sqrt{\frac{k_{\text{п}}\nu}{ng}}. \qquad (21)$$

В случае, когда скорость фильтрационного потока в основании известна, суффозионную устойчивость экрана также можно оценить, пользуясь графиком зависимости размывающей скорости от диаметра пор грунта основания, приведенным на рис. 9.

2.23. Суффозионную устойчивость к контактному размыву глинистого экрана, расположенного на поверхности трещиноватого скального массива, рекомендуется оценивать таким же образом, определяя критический уклон фильтрационного потока в массиве:

$$J_{\text{к}} = 1{,}44 \cdot 10^4 \frac{\nu^2(\delta + A)^2}{g\delta^4(\delta + 6{,}8A^2)}, \qquad (22)$$

где δ — раскрытие полых трещин в массиве; A — гидравлический параметр шероховатости стенок трещин, который в расчетах можно принимать равным 0,5 см.

2.24. При проектировании экрана следует также обращать внимание на возможность деструкции (самопроизвольного разрушения в виде отслаивания) глинистого грунта при его начальном замачивании со стороны основания вследствие подтопления экрана грунтовыми водами. Явление деструкции особенно характерно для низкопластичных ($I_{\text{р}} < 0{,}1$) супесей и суглинков, главным образом лессовидных.

Условие отсутствия деструкции грунта экрана следует считать выполненным, если максимальный диаметр пор (или трещин) в основании не превышает 0,3 см, т. е.

$$D_{0_{\text{макс}}} < 0{,}3 \text{ см}. \qquad (23)$$

Производство работ по устройству противофильтрационного глинистого экрана

2.25. По мере выполнения водоупорного элемента экрана его надлежит сразу же прикрывать сверху защитным слоем из несвязного лучше всего разнозернистого грунта или золошлака. Толщина защитного покрытия не должна превышать 100 см. При проектировании, однако, надо иметь в виду возможность ветровой эрозии, и в соответствии с этим выбирать материал защитного покрытия.

2.26. При устройстве водоупорного элемента экрана глинистый грунт можно укладывать одним или несколькими слоями в зависимости от применяемого способа уплотнения и заданной

контрольной плотности, при достижении которой обеспечивается полное разрушение первоначальной комковатой структуры грунта и его омоноличивание.

В случае сегрегации отсыпаемого зернистого грунта (например, моренного), сопровождающейся появлением отдельных гнезд крупных включений, толщину слоя необходимо уменьшить до минимума, равного 15 см.

2.27. Во время строительства экрана надо контролировать следующие характеристики грунта: зерновой состав, влажность, объемную массу в уплотненном состоянии и коэффициент фильтрации, для чего следует отбирать пробы глинистого грунта из расчета: одна проба на 1000 м^2 поверхности экрана. Примерно каждую четвертую пробу надо отбирать в нижней части слоя предварительно уплотненного грунта.

2.28. При расположении экранированного золоотвала (накопителя) на толще слабоуплотненных насыпных или суффозионных грунтов иногда возникает вопрос о предельно допустимых просадочных деформациях поверхности этой толщи.

Просадочность основания в таких случаях можно характеризовать стрелкой прогиба поверхности, которая равна отношению величины опускания грунта в центре просадочной воронки к диаметру этой воронки.

Если стрелка образующихся на поверхности основания просадочных воронок не превышает 0,07, то такое основание следует считать пригодным для устройства на нем экрана из глинистого грунта без специальных мер по доуплотнению основания.

2.29. Обнаруженные на поверхности основания скопления (гнезда) слишком крупных валунов или камней надо засыпать слоем более мелкого, но обязательно разнозернистого грунта, либо вообще удалять эти камни, после чего образовавшуюся выемку надо заполнить также разнозернистым грунтом. Для этого ни в коем случае нельзя использовать песчаный грунт, поскольку в водонасыщенном состоянии он легко протекает в крупнопористое основание, которое, например, сложено вскрышной породой.

2.30. При строительстве экрана комбинированного типа могут возникнуть затруднения вследствие скопления дождевой воды на поверхности уложенного слоя глинистого грунта, в связи с чем рекомендуется делать окончательную планировку основания с небольшими (порядка 0,005) уклонами, обеспечивающими стекание воды с поверхности слоя.

3. ПОЛИМЕРНЫЕ ПЛЕНОЧНЫЕ ЭКРАНЫ

Под противофильтрационным устройством из полиэтиленового материала понимают конструкцию, состоящую из подстилающего слоя, пленочного или листового элемента и защитного

слоя, а в случае необходимости, и дополнительных защитных прокладок.

Буквенные обозначения

γ — объемный вес скелета грунта, тс/м^3;

n — пористость грунта;

d_3, d_{10}, d_{17}, d_{60}, d_{90} — размеры фракций грунта, масса которых вместе с массой более мелких фракций составляет соответственно 3, 10, 17, 60 и 90%;

$K_{60/10}$ — коэффициент разнозернистости грунта;

$\mu_{гр}$ — коэффициент внутреннего трения грунта;

μ — коэффициент трения материала защитных слоев по полиэтилену;

δ — толщина противофильтрационного экрана, мм;

H — напор воды на противофильтрационный экран, м;

$d_п$ — расчетный диаметр поры грунта, мм;

d — расчетный диаметр частиц грунта, мм;

n^* — коэффициент, учитывающий влияние на толщину противофильтрационного элемента дополнительных защитных прокладок, помещаемых с обеих сторон элемента, при отсутствии прокладок $n^*=1$, при прокладках из поролона толщиной 10 мм $n^*=2$;

h — толщина защитного слоя, м;

q — среднее давление ходовых частей механизмов на грунт защитного слоя, кгс/см^2;

$\tau_п$ — предельное сдвигающее напряжение по площади полиэтиленового образца при постоянной скорости сдвига, кгс/см^2;

σ_n — нормальное сжимающее напряжение по площади полиэтиленового образца при постоянной скорости сдвига, кгс/см^2;

tg β — тангенс угла наклона пленки к горизонту;

$K_{з\ доп}$ — допускаемый коэффициент запаса устойчивости грунта;

$S_{геом}$ — геометрическая площадь экранируемой поверхности, м^2;

C — суммарная площадь всех компенсаторов, напусков и т. п., м^2.

Конструкции пленочных противофильтрационных экранов и требования к полиэтиленовым материалам

3.1. Полиэтиленовые экраны располагаются в верхней призме дамбы и на дне сооружения. По конструкции поперечного профиля различают экраны:

а) прямые (рис. 10, *а*);

б) ступенчатые (рис. 10, *б*);

В основании дамбы экраны сопрягают со шпунтом, зубом, цементационной завесой и т. д. (рис. 10, *б*) или с экраном ложа золоотвала (рис. 10, *а*).

3.2. В качестве материала для подстилающего и защитного слоев используют несвязные естественные грунты, золошлаковый материал, отходы горнорудной промышленности (хвосты), прокладки из эластичного вспененного полимерного материала, прокладки из рулонного и листового полиэтилена и т. д.

При предъявлении к противофильтрационному устройству особых требований, например, повышенной твердости защитного слоя, позволяющей без опасения повреждения пленки проводить работы по очистке шламоотвала, для защитного слоя до-

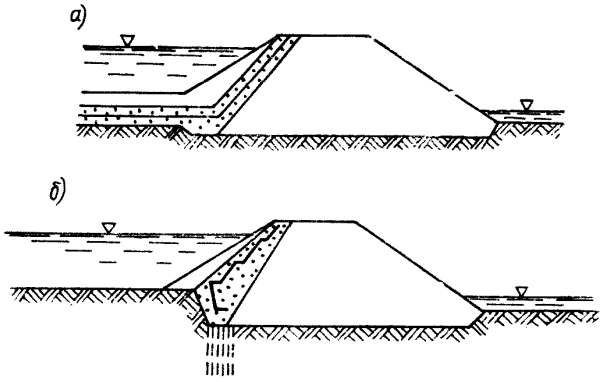

Рис. 10. Типы полиэтиленовых противофильтрационных устройств

а—прямой экран и понур; *б*—ступенчатый экран и зуб (шпунт, завеса).

пускают использование бетона, железобетона и асфальтобетона с соответствующим обоснованием такой конструкции, включая и обоснование переходных слоев между пленкой и упомянутыми материалами, а также технологии производства работ.

Не рекомендуется укладывать непосредственно на пленку толщиной 0,2 мм сборные железобетонные, бетонные и асфальтобетонные плиты.

3.3. При проектировании противофильтрационных устройств следует применять в основном пленочный полиэтилен низкой плотности толщиной от 0,2 мм и выше, выпускаемый в соответствии с ГОСТ 10354—73 «Пленка полиэтиленовая».

Для противофильтрационых экранов допускается применять как стабилизированный, так и нестабилизированный полиэтилен. При специальном обосновании допускается применение полиэтиленовых листов, а также пленок и листов из пластифицированного поливинилхлорида.

3.4. При проектировании полиэтиленовых противофильтрационных устройств устанавливают следующие характеристики материала грунтовых слоев и тела подпорного сооружения:

а) гранулометрический состав;

б) объемный вес скелета грунта, γ;

в) пористость грунта, n;

г) размеры фракций d_3, d_{10}, d_{17}, d_{60}, d_{90};

д) коэффициент разнозернистости грунта, $K_{60/10}$;

е) коэффициент внутреннего трения грунта, $\mu_{гр}$;

ж) коэффициент трения материала защитных слоев по полиэтилену, μ.

3.5. Расчетные характеристики грунтов, используемых в конструкциях полиэтиленовых противофильтрационных устройств, следует устанавливать на основании опытного определения в лабораторных условиях, за исключением конструкций, в которых в качестве защитных и подстилающих слоев используются хорошо окатанные несуффозионные мелкозернистые грунты.

Расчет толщины полиэтиленового противофильтрационного экрана

3.6. Толщину полиэтиленового противофильтрационного экрана, расположенного в несвязных грунтах, назначают из двух условий:

а) отсутствие в эксплуатационный период на участках противофильтрационного элемента расположенных на грунтовых порах опасных растягивающих напряжений.

б) отсутствие в строительный период в пленке сквозных отверстий на контактах ее с грунтовыми частицами.

3.7. Толщину противофильтрационного элемента по условию неповреждаемости вычисляют по формуле:

$$\delta \geqslant 0{,}003 H d_{п}, \tag{24}$$

3.8. Толщину противофильтрационного экрана по условию допускаемых растягивающих напряжений вычисляют по формуле:

$$\delta > 0{,}01 \frac{d}{n^*} \left(\frac{q}{1 + h^2} + 0{,}1 \gamma h \right), \tag{25}$$

где δ — толщина элемента, мм; d — расчетный диаметр поры грунта.

3.9. За окончательную толщину противофильтрационного экрана принимают большее значение δ, полученное по формулам (24) и (25).

3.10. Расчетный диаметр поры несвязного грунта вычисляют по формуле:

$$d_{\text{п}} = \varphi \frac{A}{B}, \tag{26}$$

где φ — коэффициент, зависящий от величины A/B, принимается по табл. 3, для величин A/B, меньших 5 мм, равным 1,0; A — сумма произведений всех максимальных диаметров фракций на процентное содержание этих фракций в грунте; при этом берутся максимальные диаметры только тех фракций, диаметры частиц которых превышают величину d_{90} или включают в себя эту величину; B — суммарное процентное содержание в грунте рассматриваемых фракций.

Таблица 3

Зависимость φ от $\frac{A}{B}$

$\frac{A}{B}$, мм	5	10	20	30	50	100
φ	0,942	0,892	0,854	0,724	0,537	0,300

3.11. Расчетный диаметр частиц грунта d вычисляют так же, как и $d_{\text{п}}$, по формуле (26), но при $\varphi = 1$ для всех значений A/B.

3.12. Проведение расчетов по п. 3.8 обязательно для конструкций, у которых $\delta/d_{\text{п}} \leqslant 0{,}2$. В остальных случаях толщина полиэтиленового противофильтрационного экрана принимается в соответствии с формулой (24) п. 3.7, но не менее 0,2 мм.

3.13. Для устранения возможности появления в противофильтрационном экране растягивающих напряжений, возникающих в строительный и эксплуатационный периоды от деформаций грунта подпорного сооружения, рекомендуется придавать противофильтрационному элементу выпуклость в сторону, противоположную направлению ожидаемых деформаций (т. е. в сторону верхнего бьефа).

При возникновении больших и неравномерных местных осадок и деформаций сооружения, особенно в местах примыкания противофильтрационного элемента к берегам, основаниям или бетонным сооружениям, предусматривают местный припуск полиэтиленового материала, соответствующий величине ожидаемой деформации. Количество, форма и расположение местных припусков определяется при проектировании.

Расчет устойчивости земляных откосов дамб с полиэтиленовым экраном

3.14. Расчет устойчивости земляного откоса, имеющего полиэтиленовый противофильтрационный экран, выполняют согласно указаниям главы СНиП на проектирование плотин из грунтовых

материалов, а также других действующих нормативных документов, регламентирующих вопросы расчета устойчивости земляных откосов [1].

3.15. При выполнении расчета, указанного в п. 3.14, на стадии технического проекта следует иметь в виду коэффициенты трения μ материала защитного слоя по полиэтилену, приводимые в табл. 4. Величиной сцепления материала защитного слоя с полиэтиленовой пленкой следует пренебрегать.

Таблица 4

Материал защитных слоев	Коэффициент трения материала защитных слоев по полиэтилену, μ		Коэффициент трения грунта по грунту
	насухо	в воде	
Глина	0,20—0,30	0,15—0,25	0,20—0,30
Суглинок	0,25—0,35	0,20—0,30	0,25—0,35
Супесь	0,35—0,40	0,30—0,35	0,35—0,40
Песок мелкий	0,30—0,50	0,30—0,40	0,40—0,50
Песок крупный	0,30—0,50	0,25—0,40	0,60—0,70
Гравий	0,30—0,45	0,30—0,45	0,70—0,80
Поролон	0,45—0,54	0,25—0,32	—
Полиэтилен	0,40—1,00	0,49—1,00	—
Полиэтилен со смазкой ПВК	0,10	0,10	—
Бетон, железобетон	0,33	0,33	—

3.16. Более точные значения μ для конкретного вида несвязного грунта рассчитывают по формулам:

$$\mu = \frac{\Sigma P_i \mu_i}{100}; \tag{27}$$

$$\mu_i = 0{,}178\mu_{\text{гр}} \frac{c}{c - 0{,}31 d_i}, \tag{28}$$

где d_i — диаметр i-й фракции грунта, мм; P_i — процентное содержание в грунте i-й фракции;

$$c = \sqrt{3d_i^2 + 4\delta^2 + 8d_i\delta}. \tag{29}$$

3.17. При выполнении расчета, указанного в п. 3.14 на стадии рабочих чертежей величину μ, отмеченную в пп. 3.15 и 3.16, необходимо уточнять при помощи опытов, учитывая зависимость коэффициента трения от величины сжимающих напряжений, действующих на противофильтрационный элемент. При этом следует пользоваться формулой:

$$\mu = \frac{\tau_{\text{п}}}{\sigma_n}. \tag{30}$$

[1] «Указания по расчету устойчивости земляных откосов» ВСН 04-71, Минэнерго СССР, 1971.

Значения $\tau_п$ и $\sigma_п$ определяют с помощью установки по схеме на рис. 11.

3.18. Устойчивость откоса, имеющего рассматриваемое противофильтрационное устройство и соответствующий защитный слой, должна проверяться по методу круглоцилиндрических или плоских поверхностей сдвига (п. 3.14).

При резком снижении горизонта воды в бьефе (перед экраном) или колебании его в больших пределах необходимо выполнять особенности работы экрана в условиях неустановившегося режима фильтрации.

3.19. При наличии защитного слоя толщиной, меньшей 1 м, для расчета устойчивости используют следующую приближенную формулу:

$$\frac{\mu}{\operatorname{tg}\beta} \geqslant K_{з_{доп}}. \qquad (31)$$

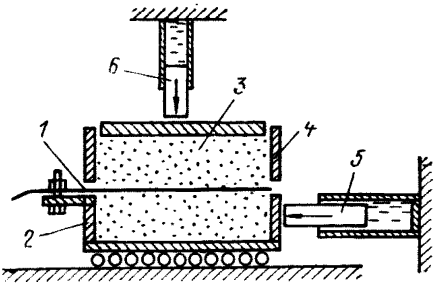

Рис. 11. Схема установки для определения коэффициента трения полиэтилена по песку

1—полиэтиленовый образец; *2*—подвижная каретка; *3*—песок; *4*—неподвижная обойма; *5, 6*—гидравлические домкраты.

Сопряжение полиэтиленового противофильтрационного экрана с берегами, дном и с элементами бетонных сооружений

3.20. Сопряжение полиэтиленового противофильтрационного экрана с грунтовым (скальным) основанием надлежит осуществлять с помощью штрабы, заполняемой пластичным материалом (глиной, суглинком и т. п.), или бетонного зуба, размеры которых определяются в соответствии с проектом.

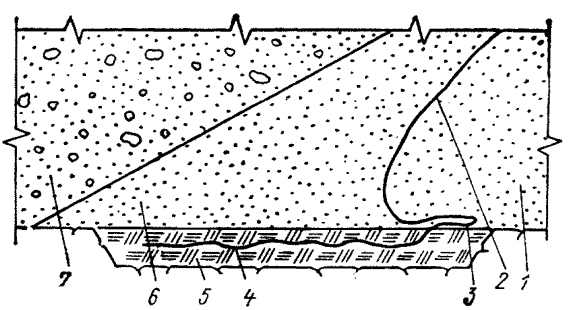

Рис. 12. Вариант конструкции узла сопряжения пленочного противофильтрационного устройства с уширенной штрабой

1—грунт подстилающего слоя; *2*—пленочный экран; *3*—напуск пленочного полотнища; *4*—заделанный край пленочного полотнища; *5*—пластичный грунт, заполняющий уширенную штрабу; *6*—грунт защитного слоя; *7*—пригрузка.

3.21. Сопряжение полиэтиленового противофильтрационного экрана с грунтовым (скальным) основанием при помощи штрабы, заполняемой пластичным местным материалом, осуществляют по одному из следующих типов:

а) заделка края полиэтиленового противофильтрационного экрана в глину или суглинок, заполняющих уширенную штрабу (рис. 12);

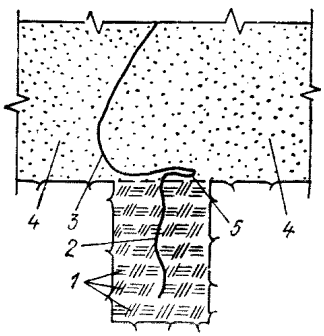

Рис. 13. Вариант конструкции сопряжения пленочного противофильтрационного устройства с глубокой штрабой

1—материал, заполняющий глубокую штрабу и укладываемый слоями; *2*—заделанный край пленочного полотнища; *3*—пленочный противофильтрационный элемент; *4*—грунт защитного слоя; *5*—напуск пленочного полотнища.

б) заделка края полиэтиленового противофильтрационного экрана в глину или суглинок, заполняющих глубокую штрабу (рис. 13).

3.22. Сопряжение полиэтиленового противофильтрационного устройства с бетонной конструкцией осуществляют по одному из следующих типов:

а) заделка края полиэтиленового противофильтрационного устройства в бетон сооружения, производимая одновременно с бетонированием сооружения (рис. 14) или после окончания бетонирования, с омоноличиванием края пленки в соответствующих штрабах или пазах;

б) прикрепление края полиэтиленового противофильтрационного устройства к бетону сооружения, производимое по окончании бетонирования сооружения (рис. 15).

Выбор типа сопряжения производят на основании рассмотрения конкретных условий строительства.

3.23. Размеры штрабы и длина заделки края противофильтрационного устройства в соответствии с п. 3.21 назначают с таким расчетом, чтобы максимальный градиент фильтрационного потока, рассчитанный для наименьшего пути фильтрации в обход края противофильтрационного элемента, уложенного в штрабу, не превосходил максимально допустимые градиенты для материала заполнителя штрабы. При этом минимальная длина заделанного края должна составлять 0,8—1,0 м.

3.24. Сопряжение противофильтрационного устройства с бетоном должно выполняться таким образом, чтобы в бетоне был волнисто уложен край полиэтиленового полотнища длиной не менее 0,8 м.

3.25. Конструкция узла сопряжения по типу прикрепления края полиэтиленового полотна к бетонному сооружению должна обеспечивать водонепроницаемость сопряжения. В качестве уплотняющих прокладок рекомендуется мягкая резина, вспененная резина марки ПРП, эластичный пенопласт и др. Для до-

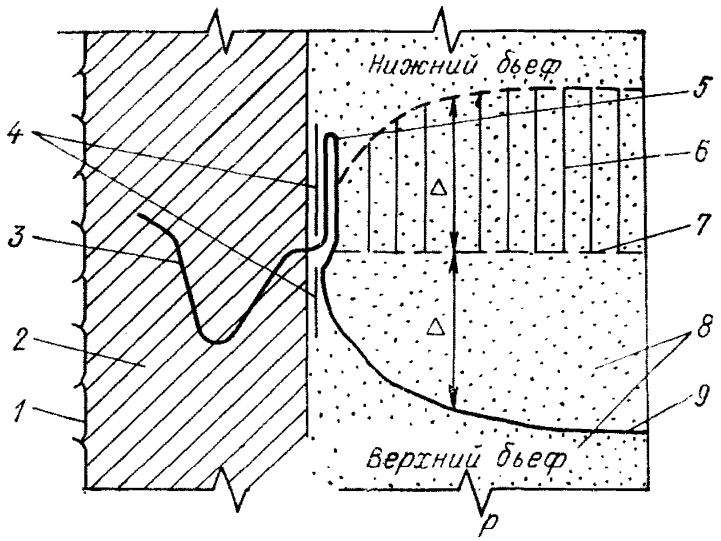

Рис. 14. Вариант конструкции узла сопряжения пленочного противофильтрационного устройства

1—основание сооружения; *2*—бетон; *3*—забетонированный край пленочного полотнища; *4*—пленочные подкладки; *5*—напуск пленочного полотнища на бетон; *6*—эпюра смещений грунта; *7*—ось проектного положения пленочного противофильтрационного устройства; *8*—грунт подстилающего и защитного слоев; *9*—начальное положение противофильтрационного устройства (до прохождения деформаций грунта).

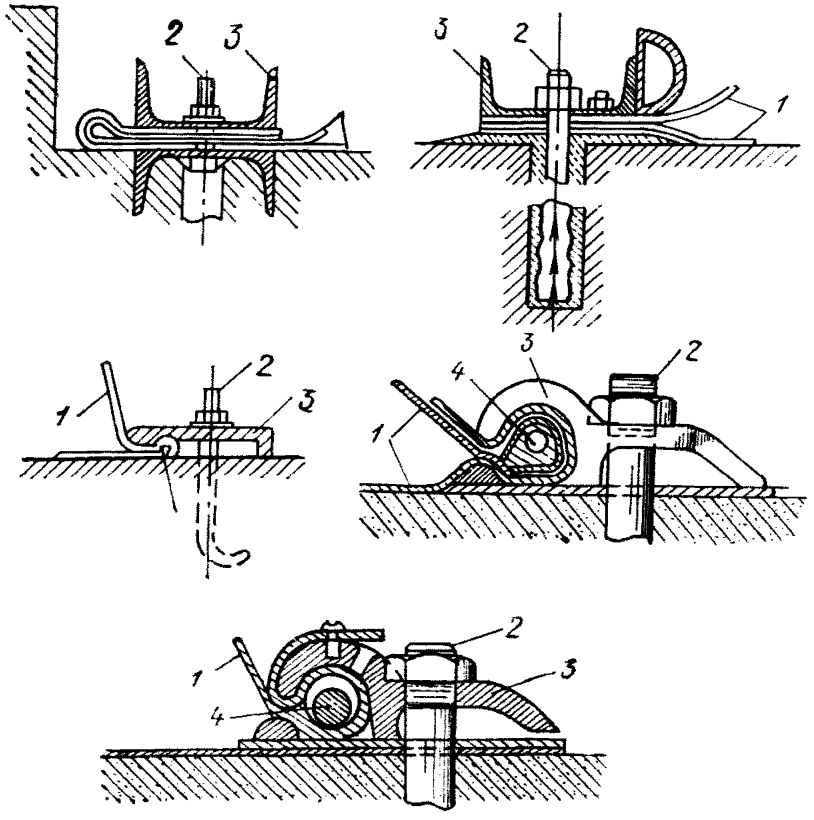

Рис. 15. Конструкции прижимных устройств для закрепления пленочных противофильтрационных покрытий

1—пленка; *2*—анкерный болт; *3*—прижимной брус; *4*—вкладыш.

полнительной герметизации следует производить заливку или обмазку выполненного узла сопряжения битумной мастикой, разогретой до температуры не выше 75°С. При этом необходимо принимать меры, исключающие вытекание битумных мастик из узла под давлением воды.

3.26. При проектировании сопряжения по каждому типу следует предусматривать напуск полиэтиленового полотна в месте сопряжения. Величина напуска должна быть такой, чтобы скомпенсировать возможные деформации противофильтрационного элемента при его устройстве, но не менее 0,5 м.

Проектирование подстилающего и защитного слоев полиэтиленового противофильтрационного устройства

3.27. Минимальную толщину подстилающего слоя назначают по условию возможности механизированной укладки. Толщину защитного слоя назначают так, чтобы при данной толщине противофильтрационного элемента, расчетном диаметре частиц грунта и с учетом коэффициента n^* выполнялось условие (25). При этом для всех случаев устройства противофильтрационных элементов минимальная толщина защитного слоя должна составлять 0,4—0,5 м.

3.28. Как правило, несвязные грунты, используемые в подстилающих и защитных слоях полиэтиленового противофильтрационного устройства, должны быть практически несуффозионными, т. е. при наличии отверстий и неплотностей в полиэтиленовом полотнище допускается вынос фильтрационным потоком частиц в количестве не более 3% по весу. Возможность использования суффозионных грунтов устанавливают специальным обоснованием.

3.29. Грунт следует считать практически несуффозионным, если его параметры удовлетворяют следующей зависимости:

$$d_3/d_{17} \geqslant N, \tag{32}$$

где

$$N = \left(0{,}32 + 0{,}016K_{\frac{60}{10}}\right)\sqrt[6]{K_{\frac{60}{10}}}\frac{n}{1-n}. \tag{33}$$

3.30. Коэффициент разнозернистости грунта защитных слоев полиэтиленового противофильтрационного устройства следует назначать из условия:

$$K_{\frac{60}{10}} \leqslant 50. \tag{34}$$

3.31. Применение в подстилающих и защитных слоях щебня не допускается. При выполнении защитных и подстилающих слоев из бетона и железобетона следует принимать меры, исключающие возможность сдвига плит по отношению к пленке, прокола полиэтиленового полотна по краям бетонных или железобетонных плит, или на неровностях бетонной поверхности.

С этой целью следует использовать опалубку, обеспечивающую округленность углов и краев бетонных и железобетонных плит, прокладки из полиэтилена, резины и т. п.

3.32. Конструкция крепления верхового откоса в зоне воздействия на него волн, льда, плавающих предметов и т. п. должна исключать повреждение защитного слоя.

Расчет потребного количества полиэтиленовой пленки для устройства противофильтрационных элементов

3.33. При расчете количества полиэтиленового материала для противофильтрационного устройства определяют геометрические размеры экрана с учетом неровностей реальной поверхности и вводятся поправки на величину нахлеста при сварке рулонов и полотнищ. Площадь пленочного материала, требуемая для создания противофильтрационного устройства, вычисляют по формуле:

$$S=1{,}1\,(S_{\text{геом}}+C), \qquad (35)$$

где $S_{\text{геом}}$ — геометрическая площадь экранируемой поверхности; C — суммарная площадь всех компенсаторов, напусков и т. п. 1,1 — коэффициент запаса на свободную без натяжки укладку материала.

3.34. При расчете площади противофильтрационного элемента следует учитывать возможный расход материала на проведение сварочных работ по отработке режимов сварки, на отбраковку участков полотнищ, поврежденных при транспортировке и т. п.

Ориентировочный расход материала может составлять до 3% от геометрической площади экрана или диафрагмы.

Производство работ по возведению полиэтиленовых противофильтрационных устройств

Хранение, изготовление и транспортировка пленочных полотнищ

3.35. Полиэтиленовая пленка должна быть свернута в рулоны или сложена в пакеты и храниться до проведения сварочных работ в темном прохладном помещении. Рекомендуется срок хранения пленки в темном помещении ограничивать 6 месяцами, в светлом помещении — 3 месяцами, а при благоприятных условиях хранения (т. е. в чистом сухом помещении и при пониженных температурах): в темном помещении — 12 месяцев, в светлом — 6 месяцев, исходя из того, что при более длительном хранении в результате окисления поверхностного слоя пленки могут возникнуть затруднения с получением сварочных соединений надлежащего качества (п. 3.39).

3.36. Технология изготовления полотнищ включает в себя, как правило, два вида сварочных работ — сварку рулонов или

пакетов пленки в полотнища в специальном помещении и сварку полотнищ между собой на месте укладки.

В случае необходимости допускается сварка рулонов или пакетов пленки в полотнища непосредственно на месте укладки.

3.37. Пленку, свернутую в рулоны или сложенную в пакеты, сваривают между собой с таким расчетом, чтобы образовалось полотнище, удобное для транспортировки и укладки. Ширина полотнища может достигать 10—12 м, а длина 30—40 м и более. В зависимости от средств транспортировки, уклона экранируе-

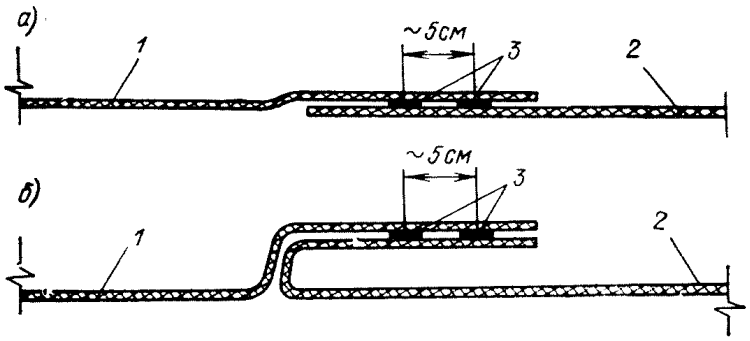

Рис. 16. Варианты соединений пленочных полотнищ

а—соединение полотнищ внахлест; *б*—Т-образное соединение полотнищ; *1*—первое пленочное полотнище; 2—второе пленочное полотнище; *3*—сварные швы.

мого откоса, способов механизации и т. п. размеры могут быть изменены.

3.38. Сварку пленочных материалов в специальном помещении рекомендуется производить одним из следующих аппаратов: ручным экструдером ПСП-4Э, сварочным пистолетом ПСТ-2, ручным полуавтоматом ПСП-11, сварочной машиной МСМ-1, импульсным полозом, термоимпульсными клещами КТИ-301, термоимпульсным аппаратом ТСТ-0,5—360. Сварка может производиться с помощью горячего воздуха, инфракрасного излучения, ультразвука или аппаратами контактного нагрева. Режимы сварки подбирают опытным путем в зависимости от толщины полиэтиленового материала. Прочность сварного шва на раздир должна составлять не менее 60% прочности основного материала. Все сварные соединения пленок, производимые как в помещении при заготовке полотнищ, так и в полевых условиях, при их укладке выполняют или внахлест, или Т-образным швом (рис. 16). Однако в помещении сварку осуществляют только одним швом, а ширину нахлеста назначают равной 5—10 см. Ширину нахлеста свариваемых пленок рекомендуется принимать не менее 5 см.

3.39. Для предохранения свариваемых поверхностей от загрязнения рекомендуется в стационарных условиях производить окантовку краев изготовленных полотнищ привариванием или наклеиванием тонкой полиэтиленовой или другой пленки, липкой ленты и т. п. (рис. 17).

3.40. В процессе сварки полотнищ производят контроль качества сварных швов двумя способами. Первый способ предусматривает тщательный визуальный осмотр всех швов с целью обнаружения дефектов, для исключения которых производят повторную сварку. Второй способ предусматривает выборочный

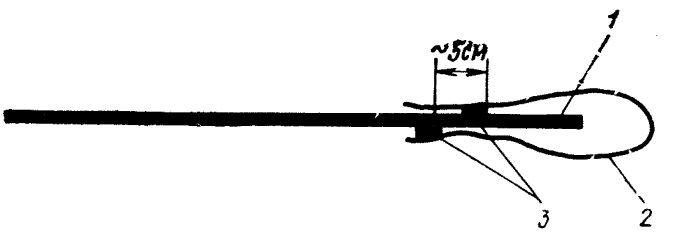

Рис. 17. Окантовка краев пленочных полотнищ
1—защищаемый край пленочного полотнища; *2*—защитная окантовочная пленка; *3*—сварные швы.

отбор образцов минимальным размером 20×3 см в количестве 5 штук на 100 м длины шва с целью испытания их на разрывных машинах, обеспечивающих отсчет нагрузки с точностью не менее 1%.

Устройство подстилающего слоя

3.41. Укладка и выравнивание подстилающего слоя производится с помощью строительных механизмов. Посторонние предметы и крупные включения удаляются. Подстилающий слой должен быть уплотнен.

3.42. Поверхность подстилающего слоя следует поддерживать в состоянии, исключающем возможность образования скоплений и застоев воды, например, с помощью придания ей уклона.

В грунте подстилающего слоя недопустимо оставлять скопления снега и льда, при оттаивании которых могут происходить неравномерные просадки полиэтиленового противофильтрационного устройства.

3.43. По подготовленному подстилающему слою проезд механизмов и автотранспорта не допускается.

3.44. Контроль качества подготовки подстилающего слоя заключается в осмотре подготовленного основания. При этом полагается следить, чтобы на поверхности отсутствовали крупные грунтовые частицы, ямы, каверны, посторонние включения и

скопления частиц грунта максимальной фракции. В случае обнаружения дефектов подстилающего слоя должны быть приняты меры по их устранению.

Укладка и сварка полотнищ полиэтиленовых противофильтрационных элементов

3.45. Сваренные полотнища доставляют к бровке откоса и раскрывают на месте укладки преимущественно сверху вниз по откосу. Ходить по уложенным полиэтиленовым полотнищам допускается только в случае крайней необходимости. При этом принимают меры, исключающие повреждение пленки: подсыпка грунта, хождение в мягкой обуви и т. п.

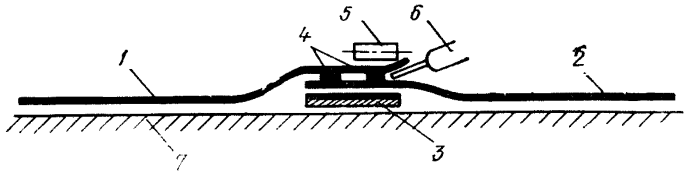

Рис. 18. Сварка пленочных полотнищ на месте укладки

1, 2—свариваемые пленочные полотнища; *3*—подложка; *4*—сварные швы; *5*—прикатывающий ролик; *6*—экструдер; *7*—поверхность подстилающего слоя.

3.46. Сварка полотнищ между собой на месте укладки производится преимущественно сварочными экструдерами (рис. 18), аппаратами контактного нагрева или другими, обеспечивающими требуемое качество шва.

Сварку полотнищ между собой на месте укладки рекомендуется производить двойным швом с перекрытием не менее 0,2 м. При загрязнении свариваемых поверхностей необходима их тщательная очистка, промывка и сушка, а в случае необходимости и обезжиривание спиртом, бензином и другими растворителями.

3.47. Контроль качества сварочных работ заключается в визуальном осмотре швов. При обнаружении дефектов сварки принимаются меры по их устранению. При требовании абсолютной водонепроницаемости противофильтрационных устройств герметичность сварных соединений должна быть дополнительно проверена геофизическим методом, электроискровым дефектоскопом или другими способами. Для проверки водонепроницаемости электроискровым дефектоскопом перед осуществлением сварки необходимо заводить в швы полосы металлической фольги, как указано на рис. 19.

3.48. При экспериментальном обосновании полиэтиленовые полотнища допускается соединять между собой склеиванием,

скручиванием краев или нахлестом краев полотнищ друг на друга.

Для склеивания может быть использована кумароно-наиритная мастика КН-3 следующего состава (в % по весу):

инден-кумароновая смола Н	20
хлоропреновый каучук-наирит В (ТУ 9562—54 р)	5
наполнитель-каолин ср=0,17 мм	30
пластификатор-дибутилфталат (ГОСТ 2102—67)	5
растворитель — этилацетат+дихлорэтан+бензин	40

Мастика наносится на края полотнищ кистью на ширину не менее 20 см.

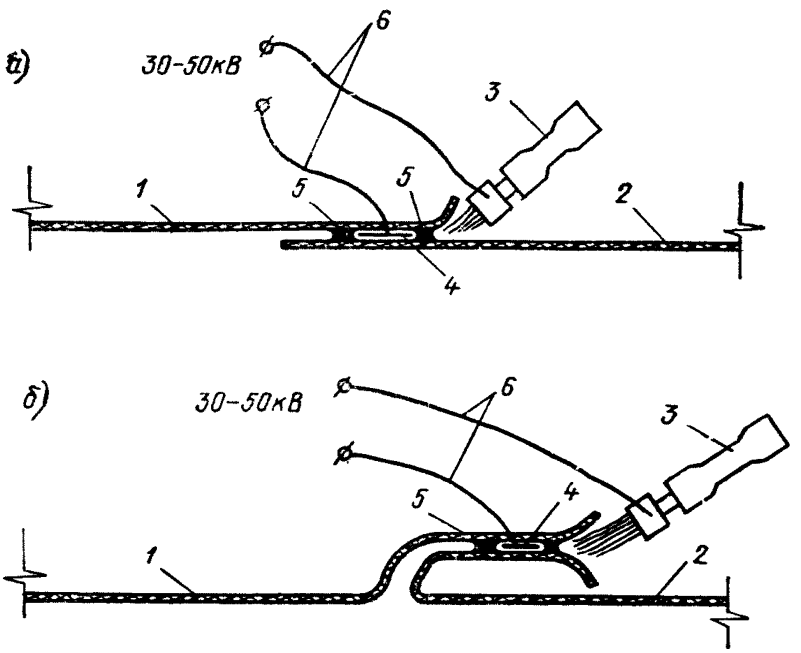

Рис. 19. Схема проверки водонепроницаемости сварных швов

а—соединение полотнищ внахлест; *б*—Т-образное соединение полотнищ; *1*—первое полотнище; *2*—второе полотнище; *3*—медная щетка с ручкой из диэлектрика; *4*—лента из металлической фольги; *5*—сварной шов; *6*—проводники высокого напряжения (источником высокого напряжения может служить, например, магдино типа М47Б-1).

При соединении полотнищ скручиванием или нахлестом краев минимальная ширина соединений назначается равной 1,0 м и более.

3.49. Устройство противофильтрационного элемента целесообразно осуществлять в безветренную погоду. Уложенное или вывешенное полотнище должно быть засыпано грунтом по возможности в кратчайший срок.

3.50. Контроль за производством работ и качеством укладки полотнищ заключается в осмотре подстилающего слоя непосред-

ственно перед укладкой полотнищ и осмотре уложенных полотнищ и швов.

В случае обнаружения дефектов пленочного полотнища должны быть приняты меры по их устранению.

Устройство защитного слоя и волновых креплений

3.51. Отсыпку, разравнивание и уплотнение грунтового защитного слоя экрана производят, как правило, с помощью строительных механизмов. Допускается сбрасывание грунта из кузова автосамосвала при толщине защитного слоя не менее указанной в п. 3.27. В начальной стадии работ по устройству защитного слоя грунт сгружается на край полиэтиленового полотнища, а затем перемещается и разравнивается бульдозером.

3.52. При специальном обосновании допускается устройство защитного слоя экрана из бетона или железобетона. При бетонировании плит на месте во избежание повреждения пленки арматурные сетки следует укладывать на подкладки из резины или мягких пластиков, не допуская соприкосновения сетки с пленкой. Допускается также подкладывать окатанные валуны диаметром не более 100 мм с пленочной прокладкой. Уплотнение бетонной смеси вибратором следует вести снизу вверх, не допуская оползания смеси.

При укладке сборные плиты должны иметь гладкую поверхность и закругленные ребра. Не допускаются сдвиги плит по пленке при их укладке и эксплуатации сооружения.

3.53. Устройство защитного слоя экрана рекомендуется вести равномерно по всей площади укладываемых полиэтиленовых полотен снизу вверх по откосу.

При специальном обосновании для защиты расстеленных по откосу полотнищ от ветровых и случайных воздействий допускается до создания основного защитного слоя отсыпать специальный тонкий пригрузочный слой из того же материала, из которого отсыпается защитный слой. Отсыпка пригрузки может производиться драглайном, грейфером или бульдозером, сталкивающим грунт сверху вниз по экранированному откосу.

3.54. Направление перемещения и разравнивания грунтового защитного слоя бульдозером назначают с таким расчетом, чтобы нахлест уложенных полотнищ прижимался грунтом и грунт не попадал под край нахлеста. Развороты строительных механизмов на месте не допускаются.

3.55. Заделку экранов и диафрагм в берега и элементы бетонных сооружений и устройство компенсаторов желательно выполнять после отсыпки и уплотнения защитного слоя. При невозможности такого осуществления сопряжений целесообразно стремиться к тому, чтобы работы на участках заделки противофильтрационных элементов велись с отставанием по времени от работ по засыпке и уплотнению защитного слоя.

3.56. Для крепления защитного слоя (например, при волновом воздействии) используются местные грунты, железобетонные плиты, асфальтобетон и др. Выполнение крепления осуществляется обычными методами общестроительных работ.

3.57. В случае, когда противофильтрационный элемент расположен в жизнедеятельном слое грунта, подстилающие и защитные грунтовые слои необходимо подвергать специальной обработке для исключения повреждений пленки грызунами и растениями. Вид материалов, используемых для обработки, их дозировка, а также порядок и способ внесения в грунт зависят от конкретных условий строительства и эксплуатации и решаются применительно к данному сооружению. В частности, для обработки грунтов применяют следующие гербициды: атразин, далапон, диурон, монурон, симазин, фенурон и др. (ориентировочно 20—30 кг/га), смеси гербицидов, а также дизельное топливо.

3.58. Сопряжение полиэтиленового полотнища с грунтовыми (скальными) основаниями или бетонными сооружениями выполняют после бетонирования сооружения и снятия опалубки. Первый этап осуществления сопряжения заключается в подготовке бетонной поверхности — зачистке, нанесении битумной гидроизоляции и очистке закладных частей. На втором этапе укладываются резиновые или другие прокладки, край полиэтиленового полотнища пропускается через анкера, вновь укладываются прокладки и узел прикрепления обжимается при помощи анкеров деревянными, металлическими или другими прижимными элементами. Третий этап заключается в дополнительной обмазке узла битумной мастикой.

3.59. По окончании устройства узла сопряжения выполняют компенсационные складки в виде напусков материала в месте его сопряжения с дном, берегами или бетонными сооружениями.

3.60. При эксплуатации полиэтиленового противофильтрационного экрана необходимо обращать внимание:

а) на устранение дефектов и повреждений наружных незатопляемых поверхностей сооружения (каверны, оползание откосов и др.) в зоне расположения полиэтиленовых противофильтрационных элементов.

б) на запрещение производства земляных работ в зоне расположения полиэтиленовых противофильтрационных устройств без соответствующего согласования.

4. АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ ЭКРАНЫ

Конструкции асфальтобетонных экранов

4.1. Асфальтобетонные экраны выполняются в виде монолитных и сборных покрытий из гидротехнического асфальтобетона на поверхности грунтовых сооружений.

4.2. Асфальтобетонный монолитный противофильтрационный экран представляет собой водонепроницаемое бесшовное покры-

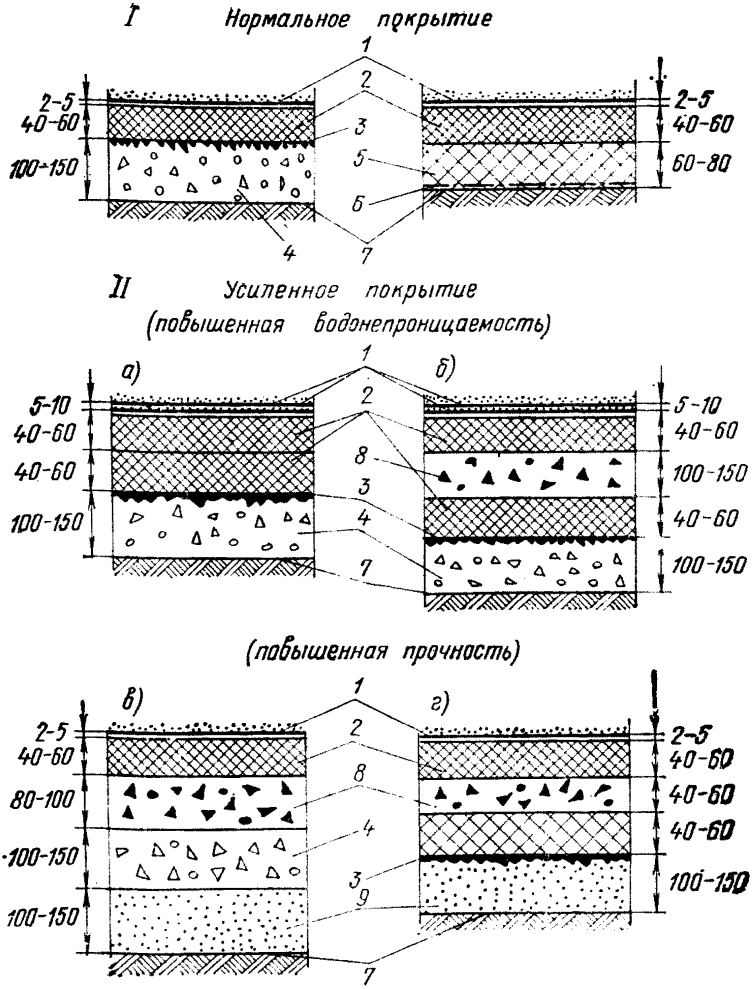

Рис. 20. Типовые конструкции противофильтрационных экранов

а, б, в, г—варианты устройства покрытий; *1*—поверхностная обработка с посыпкой каменным материалом; 2—основной противофильтрационный слой из плотного гидротехнического асфальтобетона; *3*—поливка горячими битумными материалами; *4*—щебень; *5*—пористый (дорожный) асфальтобетон; *6*—поверхностная обработка из холодных битумных материалов; *7*—обработка гербицидами; *8*—черный щебень; *9*—песчаный слой.

тие, располагаемое на внешней поверхности дна и откосах бассейна, канала или дамб основания.

4.3. Асфальтобетонный противофильтрационный экран состоит из следующих конструктивных слоев (рис. 20):

спланированной, протравленной гербицидами, поверхности грунта;

подготовки из слоя щебня или гравия, черного щебня и пр.;

слоя плотного гидротехнического асфальтобетона;

поверхностной обработки или защитного слоя.

4.4. Асфальтобетонные экраны преимущественно применяются при необходимости обеспечить высокую водонепроницаемость, долговечность, химическую стойкость и деформативную способность экрана.

При наличии в сбросных промстоках нефтепродуктов в количестве свыше 50 мг/л, а также при температуре воды в бассейне свыше 50°С, применение асфальтобетонных экранов без специальной защиты запрещается.

В качестве защитных мероприятий может быть использовано устройство цементно-латексного покровного слоя толщиной 2—5 мм, выполняемого набрызгом смеси песка, цемента и латекса (1 : 1 : 1) при В/Ц=0,4.

4.5. Подготовка поверхности грунта основания состоит в планировке (в случае монолитного асфальтобетона неровности не более 10 мм на базе 3 м и 50 мм на той же базе в случае сборного экрана) и протравливании гербицидами всеобщего действия. Рекомендуется протравливание 5%-ными растворами гербицидов: диурола или атразина из расчета 5 г/м^2 или ядохимикатами всеобщего действия: хлорной извести — 100 г/м^2 или керосинового раствора пентахлорфенола из расчета 10 г/м^2.

При укладке асфальтового покрытия непосредственно на грунтовое основание, состоящее из пылеватых или мелкопесчаных грунтов, поверхность грунта следует предварительно гидрофобизировать розливом жидкого или разжиженного битума, битумной эмульсии или эмульсионной пасты в количестве 1—1,5 кг/м^2.

Укладка монолитных асфальтобетонных покрытий на обводненное или влажное основание запрещается.

4.6. Подготовка под монолитное асфальтобетонное покрытие выполняется из слоя щебня крупностью до 40 мм толщиною 10—15 см (в зависимости от используемых механизмов), который разрешается заменять гравием или гравийными высевками. При назначении толщины подготовки учитывается также несущая способность подстилающих грунтов, — требуется, чтобы модуль деформации основания был не менее 100 кгс/см^2 для обеспечения возможности прохода асфальтоукладчика и автосамосвалов. Допускается замена щебеночной подготовки слоем черного щебня или пористого асфальтобетона, а также битумно-песчаной смеси той же толщины (составы материалов приведены в табл. 5).

Таблица 5

Ориентировочные составы уплотняемых гидротехнических асфальтобетонов (АБ) и асфальтополимербетонов (АПБ) в % массы

Наименование компонентов	Песчаный асфальтобетон			Мелкозернистый АБ		
	плотный		пористый	плотный		пористый
	АБ	АПБ	АБ	АБ	АПБ	АБ
Щебень или гравий до 15 мм	—	—	—	10—25	10—25	40—60
Каменная крошка до 5 мм	20—35	20—35	15—20	40—65	40—65	20—35
Среднезернистый песок	40—65	40—65	60—80	15—25	15—25	15—25
Минеральный наполнитель	15—25	15—25	5—10	15—20	15—20	0—5
Коротковолокнистый асбест	1—5	1—5	—	1—3	1—3	—
Битум БНД 40/60 сверх 100%	7—12	7—12	5—7	6—10	6—10	4—7
Полимер (от веса битума)	—	3—5	—	—	3—5	—

Щебеночная или асфальтовая подготовка подлежат после укладки слоя уплотнению виброкатками. В усиленных противофильтрационных экранах щебеночную подготовку следует проливать горячим битумом БНД 40/60 в количестве 1—1,5 кг/м^2 или заменять слоем черного щебня.

Специальной несущей подготовки под сборные покрытия, как правило, не проектируется, поскольку сами сборные элементы не рассчитываются на пропуск по ним тяжелой дорожной техники и самосвалов.

4.7. Основной водонепроницаемый слой противофильтрационного экрана выполняется из плотного гидротехнического асфальтобетона, укладываемого и уплотняемого в горячем состоянии в монолитное покрытие толщиною 4—6 см, либо непосредственно на подготовленной поверхности земляного сооружения, либо на специальной спланированной площадке с последующим монтажом в покрытие.

Ориентировочные составы гидротехнического асфальтобетона приведены в табл. 5, а расход материалов — в табл. 6. Усиленные покрытия при устройстве горизонтальных участков экрана с движением тяжелого автотранспорта и участков на откосах, которые подвергаются интенсивным волновым (высота волны более 0,5 м) и ледовым (толщина ледового покрова более 0,5 м) воздействиям, выполняются общей толщиной 8—10 см путем устройства дополнительного слоя асфальтобетона толщиною 3—4 см.

4.8. Поверхностная обработка готового асфальтобетонного покрытия выполняется из набрызга битума БНД 40/60 или из полимер-битумного сплава типа БИТЭП с расходом 0,7—1,0 кг/м^2 и присыпается каменной крошкой крупностью 0—5 мм или крупнозернистым песком с расходом 5—10 кг/м^2.

Таблица 6

Расход материалов для устройства асфальтобетонных экранов бассейнов, кг/м²

Наименование материалов	Покрытие 4 см песчаного асфальтобетона	Покрытие 6 см мелкозернистого асфальтобетона
Хлорная известь или гербицид	0,2	0,2
Битум или эмульсия для основания	1,5	1,5
Асфальтобетон или песчаный асфальт	90,0	146,0
В том числе		
битум БНД 40/60	9,0	13,3
щебень 5—15 мм	—	40,0
песок 0—5 мм	67,0	66,7
порошок	13,0	25,2
Битум БНД 40/60 для поверхностной обработки	1,5	2,0
Песок крупнозернистый для посыпки	5,0	10,0

Примечание. В случае выполнения покрытия из гидротехнического асфальтополимербетона при устройстве покрытия толщиной 4 см полимера потребуется 0,3—0,5 кг/м², а в случае 6 см — 0,4—0,65 кг/м².

В противофильтрационных экранах повышенной водонепроницаемости поверхностная обработка выполняется из мастики БИТЭП с расходом до 2 кг/м² и каменной крошки — до 15 кг/м².

4.9. Усиленные асфальтобетонные монолитные экраны выполняются в следующих случаях:

а) при требованиях повышенной водонепроницаемости экрана (коэффициент фильтрации в среднем менее 10^{-7} см/с) — увеличение толщины плотного асфальтобетонного слоя до 8 см с укладкой его в два слоя и с поверхностной обработкой из полимер-битумной мастики БИТЭП с расходом до 2 кг/м² (рис. 20, *а, б*).

б) при требованиях полной водонепроницаемости противофильтрационного экрана — устройство трехслойного экрана из двух слоев плотного асфальтобетона толщиною 5—8 см с фильтрующей прослойкой из черного щебня толщиной 10,0—15,0 см или пористого асфальтобетона толщиной 8—10 см, причем вывод воды из дренажного промежуточного слоя производится к насосной станции, перекачивающей просочившуюся воду обратно в бассейн.

в) при требованиях повышенной трещиноустойчивости на морозе или повышенной теплостойкости в районах жаркого климата (минимум температуры покрытия ниже —40°С, максимум выше 60°С или температуры воды выше 50°С) — устройство экрана из асфальтополимербетона на основе полимер-битумных вяжущих.

г) при требованиях повышенной стойкости против размыва струей воды или пульпы в местах постоянных выпусков — устройство защитного покрытия поверх экрана из бетонной или железобетонной плиты толщиною 10—15 см;

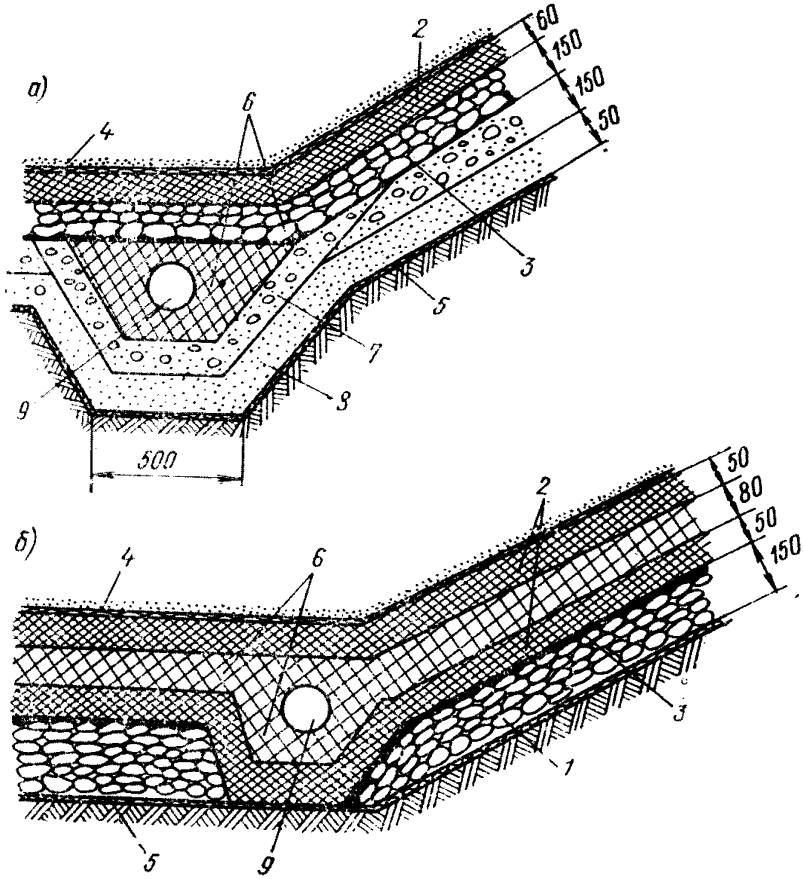

Рис. 21. Конструкции дренированных монолитных противофильтрационных экранов.

а — дренированный экран при наличии противодавления (уровень грунтовых вод выше минимального уровня воды в бассейне); *б* — усиленный экран с внутренним дренажем; *1* — щебеночная подготовка; *2* — слои плотного гидротехнического асфальтобетона или асфальтополимербетона; *3* — проливка битумом или битумной эмульсией; *4* — поверхностная обработка битумом, битумной эмульсией или полимербитумным сплавом с посыпкой каменным материалом; *5* — протравливание грунта основания гербицидами; *6* — дренажный слой из черного щебня или пористого асфальтобетона; *7* — промежуточные слои антифильтра; *8* — песчаная подготовка (при пылеватых грунтах основания); *9* — дренажная керамическая или асбестоцементная труба.

д) при требованиях защиты экрана от динамических воздействий сбрасываемых шламов или работающих землеройных механизмов — устройство поверх экрана защитного слоя грунта толщиною 40—50 см. Асфальтобетонные экраны водохранилищ при толщине ледового покрова более 1,0 м или высоте ветровых волн более 1,5 м должны проектироваться в соответствии с ука-

заниями ВСН 17—68, и их конструкции в настоящих «Рекомендациях» не рассматриваются, при волнах высотою более 0,5 м и возможности образования льда покрытие на откосах делается усиленным, общей толщиною 120—160 мм (рис. 20, *в, г*).

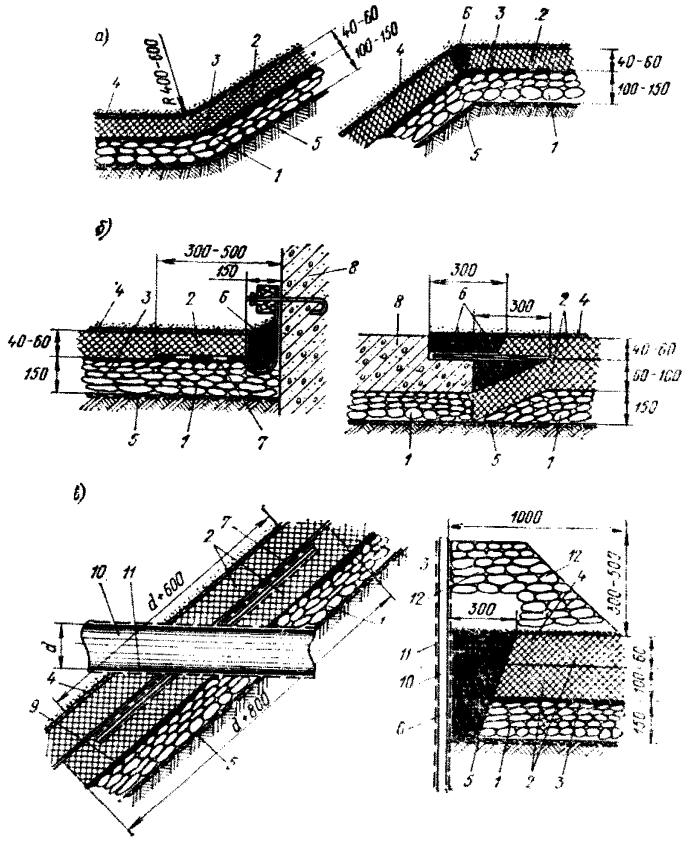

Рис. 22. Конструкции примыканий и сопряжений противофильтрационных монолитных асфальтобетонных экранов.

а — примыкание ко дну и берме; *б* — примыкание к бетонному сооружению; *в* — примыкание к закладным деталям (стальной трубе и шпунту); *1* — щебеночная подготовка или слой черного щебня; *2* — плотный гидротехнический асфальтобетон или асфальтополимербетон; *3* — проливка битумом или битумной эмульсией; *4* — поверхностная обработка битумом, битумной эмульсией или полимер-битумным сплавом с посыпкой каменным материалом; *5* — грунт основания, протравленный гербицидом; *6* — заливка горячей асфальтовой мастикой БРМ или БИТЭП; *7* — проклейка стеклотканью или асфальтовым армированным матом; *8* — бетонная конструкция; *9* — стальная диафрагма; *10* — металлическая деталь; *11* — антикоррозионное покрытие; *12* — каменная наброска (при необходимости).

е) при высоком уровне грунтовых вод, временно превышающем на части дна бассейна на 0,5 м минимальный горизонт воды в нем, покрытие усиливается путем устройства дренажной подготовки из черного щебня, а в случае мелкозернистых, пылева-

тых и суглинистых грунтов — в виде щебеночно-песчаного антифильтра (рис. 20, *в, г*), причем дренирующая подготовка должна примыкать к трубчатым дренам, отводящим воду за пределы дна бассейна (рис. 21).

4.10. Все примыкания и сопряжения противофильтрационного экрана должны выполняться по индивидуальным рабочим чертежам с особой тщательностью, гарантирующей отсутствие протечек в этих местах в весь расчетный период эксплуатации экрана, в частности, все места примыканий, где возможно возникновение растягивающих усилий в покрытии и неравномерных деформаций растяжения, должны быть усилены проклейками армирующей стеклосетки и герметизирующими шпонками из полимер-битумной мастики БРМ или БИТЭП (рис. 22).

Примыкания к трубам, анкерам и другим металлическим закладным деталям следует усиливать либо металлическими диафрагмами, приваренными к трубе или анкеру и обклеенными стеклосеткой, либо герметизирующими шпонками увеличенного размера. В частности, таким образом оформляется примыкание края асфальтобетонного покрытия к металлическому шпунту (рис. 22).

Требования к строительным материалам, применяемым при строительстве асфальтобетонных экранов

4.11. Во всех конструкциях асфальтобетонных экранов предпочтение должно отдаваться асфальтобетонным смесям с добавкой полимеров, которые наряду с обеспечением повышенной морозостойкости, теплостойкости и деформативной способности материала позволяют, как правило, использовать местные минеральные материалы не всегда оптимальной гранулометрии и имеющиеся строительные или дорожные битумы, обеспечивая получение физико-механических свойств приготовленных асфальтополимербетонов на уровне улучшенных составов традиционных асфальтобетонов.

4.12. Для монолитных асфальтобетонных экранов применяются уплотняемые в горячем состоянии плотные песчаный и мелкозернистый гидротехнические асфальтобетоны и пористые— средне- и крупнозернистые, ориентировочные составы которых приведены в табл. 5, а расходы материалов — в табл. 6.

4.13. Для сборных асфальтобетонных экранов применяются пластичные доуплотняемые в горячем состоянии песчаные и мелкозернистые гидротехнические асфальтополимербетоны, содержащие до 20% полимер-битумного вяжущего, количество полимера в котором может доходить до 10% от веса битумов.

4.14. Для приготовления полимер-битумного вяжущего могут быть использованы полимеры, обеспечивающие получение физико-механических свойств полимер-битумного вяжущего и асфальтополимербетона, отвечающих требованиям, приведен-

Таблица 7

Требования к физико-механическим свойствам асфальтобетонов

Наименование свойств	Показатели свойств			
	Асфальтобетон		Асфальтополимербетон	
	плотный	пористый	монолитный	сборный
Предел прочности при сжатии, кгс/см²				
при 20°С (R_{20})	25—30	Не менее 20	30—35	7—10
при 50°С (R_{50})	12—15	Не менее 8	16—20	Не менее 5
Коэффициент теплоустойчивости $K_т = \frac{R_{20}}{R_{50}}$, не более	3	3,5	2	1,5—2,0
Коэффициент водоустойчивости при испытании под вакуумом $K_в = \frac{R_{20}^{вод}}{R_{20}}$	0,85—0,90	0,80	0,85—0,90	0,9—1,0
Коэффициент эластичности $K_э = \frac{R_0}{R_{20}}$ в пределах	2—3	2—4	1,85—2,0	—
Остаточная пористость в пределах, %	1—3	4—8	1,0—1,5	0,5—1,5
Водопоглощение под вакуумом, % объема, не более	1,5—2,0	3,5—7,5	0,5—0,8	0,2—0,6
Набухание под вакуумом, %, не более	0,5—1,0	—	0,2—0,5	0,2—0,5

ным в табл. 7, 8. Полимеры, которые не требуют специальной проверки, следующие:

дивинил-стирольный термоэластопласт ДСТ-30, ВТУ 38-40313—72;

латекс дивинил-метакрилового каучука СКД-1, ГОСТ 11604—73*;

этилен-пропиленовый синтетический каучук СКЭПТ-30, ВТУ 38-3 № 332-68.

4.15. Требования к физико-механическим свойствам гидротехнических асфальтобетонов и асфальтополимербетонов приведены в табл. 7.

4.16. Для приготовления плотных и пористых гидротехнических асфальтобетонов и асфальтополимербетонов, асфальтовых мастик и растворов для заполнения деформационных швов и для поверхностной обработки, битумных эмульсий и паст для обработки основания и разжиженных битумов для грунтовки следует использовать дорожные вязкие битумы марок БНД 90/130, БНД 60/90 и БНД 40/60, ГОСТ 22245—76.

4.17. В некоторых случаях при приготовлении асфальтовых мастик для уплотнения деформационных швов применяется битум БН-IV, ГОСТ 6617—76.

Таблица 8

Требования к свойствам полимер-битумного вяжущего

Наименование показателей свойств	Нормы
Температура размягчения, % от показателя исходного битума, не менее	105
Глубина проникания иглы, % от соответствующего показателя исходного битума, не менее	
при 25°С (100 г, 5 с)	65
при 0°С (200 г, 60 с)	100
Растяжимость при скорости 5 см/мин, см, не менее	
при 25°С	40
при 0°С	12

Примечание. Требования приведены для вяжущего, приготовленного с использованием термоэластопласта ДСТ-30 в количестве 3% от веса битума БНД 60/90 после прогрева его в слое толщиной 3 мм при температуре 120°С в течение 7 ч.

4.18. При приготовлении асфальтополимербетонных смесей в опытном порядке допускается использование вместо дорожных битумов гудронов при соблюдении требований к физико-механическим свойствам материалов, приведенных в табл. 7.

4.19. Для приготовления гидротехнических асфальтобетонных и асфальтополимербетонных уплотняемых смесей для монолитных экранов рекомендуется применять плотный щебень и дробленый гравий из кислых и основных пород с пределом прочности при сжатии не ниже 400 кгс/см^2, обладающих сцеплением с битумом (показатель сцепления по методу кипячения не ниже 50%).

Применение каменных материалов меньшей прочности должно быть обосновано результатами анализа их дробимости при уплотнении.

4.20. Щебень и дробленый гравий, применяемые для приготовления асфальтобетонных смесей, не должны содержать комков глины, суглинка и посторонних загрязняющих примесей.

Количество глинистых и пылеватых частиц в щебне и дробленом гравии, определяемое отмучиванием, должно быть не более 2%.

4.21. Для приготовления асфальтобетонных смесей применяются природные фракционированные и дробленые пески с модулем крупности ($М_к$) не менее 2,0.

Песок для приготовления асфальтобетонных смесей должен быть чистым, без комков глины, суглинков и посторонних загрязняющих примесей. Количество пылевидных, глинистых и

илистых частиц, определяемое отмучиванием, не должно превышать 3% по весу, содержание органических примесей — 1%.

4.22. В качестве минеральных порошков для асфальтовых бетонов, асфальтовых мастик и растворов используются искусственно измельченные известняки и доломиты с прочностью не менее 200 кгс/см², известняковые и доломитовые асфальтовые породы, основные металлургические шлаки, цемент и пылевидные отходы промышленности после соответствующей лабораторной проверки.

4.23. При выборе материалов для строительства асфальтобетонных экранов, эксплуатирующихся в щелочной среде (pH> >7), должны использоваться основные минеральные материалы. При работе экрана в кислотной среде (pH<7) — кислые.

Производство работ при строительстве асфальтобетонных экранов

4.24. Производственный процесс устройства монолитных асфальтобетонных экранов из уплотняемого в горячем состоянии гидротехнического асфальтобетона включает в себя в общем случае следующие основные технологические операции:

подготовку основания под асфальтобетонное покрытие;

приготовление и транспорт асфальтобетонной смеси;

укладку и уплотнение асфальтобетонной смеси;

поверхностную обработку готового покрытия.

Основание под монолитное асфальтобетонное покрытие экрана должно быть ровным, плотным, сухим и чистым, оно должно воспринимать без заметных деформаций строительные и эксплуатационные нагрузки. Для уничтожения растительности грунт основания должен быть протравлен гербицидами.

Подготовка грунта основания включает в себя следующие основные операции: планировку, очистку, обработку гербицидами и в случае необходимости уплотнение. Кроме того, конструкцией экрана может быть предусмотрена битумизация грунта, устройство дренажной подготовки и переходных слоев. Все эти операции производятся с помощью серийно выпускаемых дорожно-строительных машин по общестроительным правилам.

4.25. На откосах заложением круче 1 : 4 в целях упрощения производства работ переходные слои следует предусматривать из черного щебня или пористого асфальтобетона; а их укладку и уплотнение осуществлять теми же механизмами, что и асфальтобетонную смесь.

Для обеспечения сцепления покрытия с основанием и отдельных слоев многослойного покрытия поверхность основания или ранее уложенного и уплотненного слоя асфальтобетона окрашивают битумной эмульсией или жидким битумом с расходом 0,5—0,8 л/м².

4.26. Технологический процесс приготовления гидротехнического асфальтобетона аналогичен приготовлению дорожного ас-

фальтобетона и состоит из подготовки битума и минеральных материалов, их смешения и транспортировки к месту укладки.

4.27. В случае приготовления гидротехнического асфальтобетона на полимер-битумном вяжущем к перечисленным операциям добавляется операция приготовления полимер-битумного вяжущего, требующая незначительной модернизации битумных котлов.

4.28. Приготовление асфальтобетонной смеси может осуществляться дорожными смесителями асфальтобетона производительностью от 6,5 до 100 т/ч.

4.29. Транспорт готовой асфальтобетонной смеси к месту укладки, как правило, осуществляется в автомобилях-самосвалах грузоподъемностью 4,5—10 тс. Дальность возки при благоприятных условиях не должна превышать 60 км.

4.30. Температура готовой асфальтобетонной смеси должна быть в пределах 140—170°С; температура смеси, доставленной к месту укладки, — не ниже 130°С.

4.31. Асфальтобетонную смесь укладывают на сухое, непромерзшее основание при температуре воздуха не ниже +5°С. На горизонтальных участках и на откосах с заложением до 1 : 5 укладку и уплотнение асфальтобетонной смеси производят по обычным правилам устройства дорожных покрытий с использованием дорожных укладчиков (например ДС-1 производительностью до 100 т/ч) и дорожных катков.

4.32. Укладку асфальтобетонной смеси на откосах с заложением круче 1 : 4 необходимо осуществлять специальными асфальтоукладчиками САУ-26 или Е-1, изготовляемыми в системе МЭиЭ СССР или переоборудованным дорожным асфальтоукладчиком (табл. 9), работающим в комплекте со специальными

Таблица 9

Технические характеристики асфальтоукладчиков для откосов гидротехнических сооружений

Наименование характеристики	Тип асфальтоукладчика		
	мостовой САУ-26	бункерный Е-1	дорожный ДС-1 (Д-150Б)
Техническая производительность, т/ч	20	25	50
Длина облицовываемого откоса, м	4—32	4—30	Более 16
Заложение откосов	1 : 1,25—1 : 5	1 : 1,5—1 : 3	До 1 : 2
Толщина укладываемого слоя, см	4 : 10	4 : 15	3 : 15
Скорость укладки, м/мин	1,25	5—15	1,6—34
Весовая емкость бункера, тс	8	8	4,5
Ширина укладываемой полосы, м	2,2	2	3030—3530
Установленная мощность, кВт	56	0,36	35
Масса без смеси, т	31,5	3,5	12

виброуплотнителями (ВС и В-4) либо с дорожными виброкатками.

4.33. Асфальтобетонная смесь укладывается слоями толщиной 4—12 см (в зависимости от вида укладывающих и уплотняющих механизмов) с избытком в 25—35% на величину уплотнения.

4.34. Укладка асфальтобетонной смеси на откосах осуществляется полосами — снизу вверх. Продольные стыки укладываемых полос должны быть перпендикулярны урезу воды или располагаться к нему под углом не менее 60—70°.

Устройство поперечных рабочих (сменных) швов в районе уреза воды запрещается. При устройстве многослойных покрытий продольные и поперечные стыки должны располагаться вразбежку, причем стык в верхнем слое не должен располагаться ближе 1 м к стыку в нижнем.

4.35. Поверхностную обработку готового покрытия следует проводить в дневное время при температуре воздуха не ниже +15°С по сухому, очищенному от грязи и пыли покрытию после устранения всех дефектов.

4.36. Поверхностная обработка асфальтобетонных покрытий производится путем розлива горячего битума (или полимер-битумного сплава) с последующей присыпкой его каменной крошкой или крупнозернистым песком и в случае необходимости прикаткой легким катком.

4.37. Розлив горячего (температура 150—170°С) битума или полимер-битумного сплава, приготовленного на АБЗ, осуществляется с помощью автогудронаторов. Для равномерного распределения битума по поверхности покрытия применяют гладилки или механические щетки.

4.38. Распределение песка или каменной крошки на горизонтальных участках покрытия производится с помощью распределителя каменной мелочи типа Д-708А или типа Д-336 (при заднем ходе автомобиля).

4.39. Распределение песка на коротких либо пологих откосах производится с помощью пескоструйного аппарата, а на крутых откосах с помощью распределителя Д-336, поддерживаемого на склоне лебедкой.

4.40. Поверхностная окраска готового покрытия светоотражающими красками производится после поверхностной обработки покрытия для наиболее ответственных экранов в районах с жарким климатом, в надводной зоне и иногда в зоне переменного уровня. Светоотражающие алюминиевые краски наносят при помощи краскопультов и пистолетов-распылителей в I слой с расходом 150—200 г/м². В менее ответственных случаях допускается покраска готового покрытия известково-глиняным молоком.

4.41. Производственный процесс устройства сборных асфальтобетонных экранов из асфальтополимербетонных матов, приго-

товляемых в заводских условиях, включает следующие основные технологические операции:

а) приготовление и транспорт сборных асфальтополимербетонных матов;

б) подготовка основания под облицовку;

в) укладка сборных асфальтополимербетонных матов и омоноличивание монтажных швов;

г) поверхностная обработка готового покрытия.

4.42. Приготовление асфальтополимербетонных матов производится на специальном полигоне, оборудованном железобетонной площадкой шириной, кратной ширине, и длиной, равной 1,5 длинам приготовляемых матов. Полигон выполняется с легким навесом для обеспечения работы в дождливую погоду; цехом для приготовления арматурных сеток и комплектом механизмов для укладки и уплотнения асфальтополимербетонной массы, укладки арматурной сетки, наматывания асфальтополимербетонного мата, погрузки барабана с намотанным матом и транспортировки мата к месту строительства.

4.43. Для укладки, разравнивания и уплотнения асфальтополимербетонной смеси на полигоне должны использоваться дорожные асфальтоукладчики и катки.

4.44. Намотку асфальтополимербетонных матов осуществляют на специальные барабаны минимальным диаметром 2,0 м.

Транспортировка барабанов с намотанными матами осуществляется на специально оборудованных автомобилях типа КрАЗ или на комплектах автотягачей К-200 с трейлерами необходимой грузоподъемности.

4.45. Подготовка основания под сборный асфальтополимербетонный экран состоит в планировке откосов механизмами без ручной зачистки и обработке их гербицидами.

4.46. По прочности основание должно воспринимать без разрушения только эксплуатационные нагрузки, поскольку сборные элементы, как правило, на нагрузки от строительных машин и механизмов не рассчитываются.

4.47. Укладка сборных асфальтополимербетонных матов осуществляется при помощи крана, который снимает с транспортного средства барабан с матом и укладывает его на бровку откоса. Далее барабан опускается по откосу под действием силы тяжести, а необходимая скорость размотки обеспечивается крановой лебедкой. Желательно для перегрузки барабана с матом и размотки его на откосе использовать кран типа драгляйн с емкостью ковша не менее 1 м^3. Скорость размотки барабана не должна быть выше 2 м/мин.

4.48. Швы между асфальтополимербетонными матами заполняются на всю глубину полимер-битумной мастикой, если ширина не превышает 50 мм, и асфальтополимербетоном, если шов шире 50 мм.

Заполнение швов мастикой производится при помощи серийно выпускаемой машины МБ-16, способной заливать швы, прокачивая мастику по рукавам длиной до 30 м.

4.49. Поверхностная обработка сборного асфальтополимербетонного экрана производится так же, как и монолитного.

5. СПОСОБЫ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЗОЛООТВАЛОВ

5.1. В качестве одной из наиболее эффективных возможностей уменьшения фильтрационных утечек из экранированного золоотвала рекомендуется использовать надэкранный дренаж, резко снижающий действующее на экран гидростатическое давление. Этот способ, который особенно эффективен для глубоких овражного типа отвалов, поясняется схемой на рис. 23, где изо-

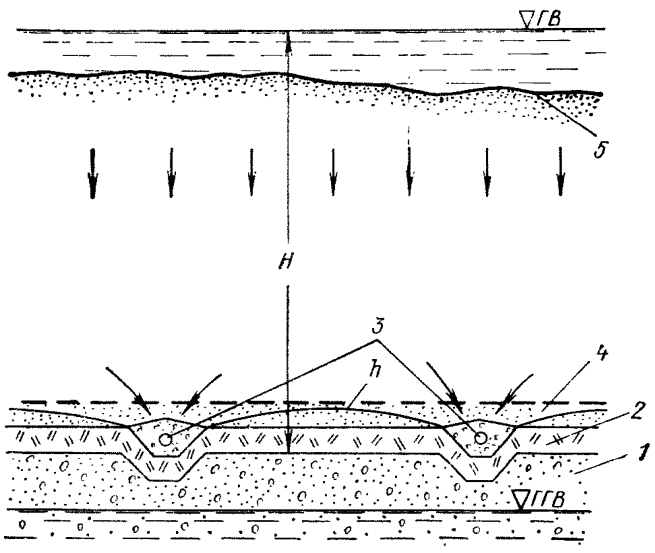

Рис. 23. Схема устройства противофильтрационного экрана с надэкранным дренажем

1 — основание золоотвала; *2* — водоупорный элемент экрана (слой глинистого грунта, асфальтобетона); *3* — надэкранный трубчатый дренаж; *4* — защитный слой; *5* — поверхность толщи золошлака.

бражен противофильтрационный экран, включающий уложенный по дну чаши отвала *1* водоупорный элемент *2*, выполненный, например, из глинистого грунта, и над ним — дренажную систему в виде систематического трубчатого дренажа *3*, перехватывающего жидкость, фильтрующуюся с поверхности осевшего золошлака *5*. Напор жидкости в данном случае будет частично или целиком в зависимости от шага дрен гаситься в толще золошлака.

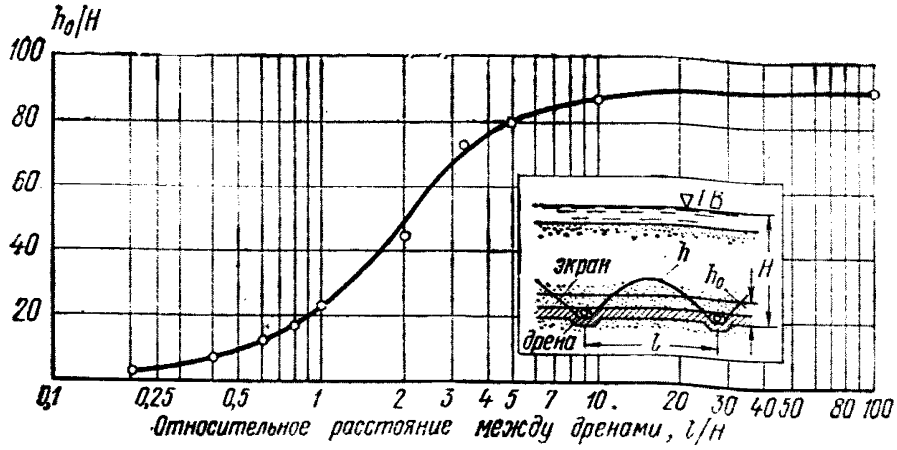

Рис. 24. График изменения осредненного напора на противофильтрационный экран.

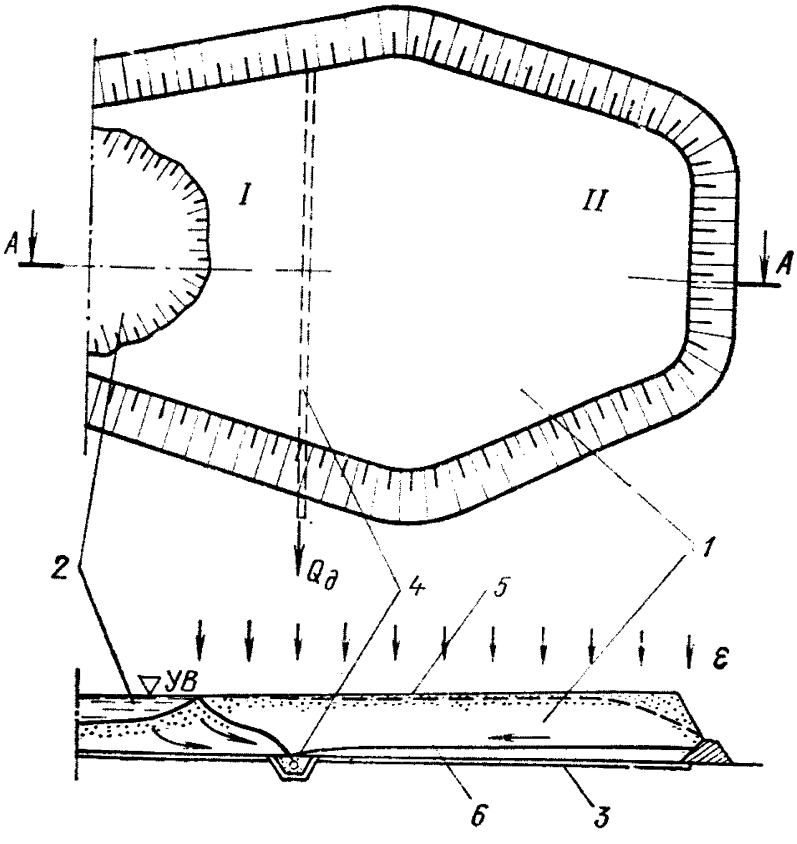

Рис. 25. Схема контурного дренирования золоотвала.

1 — намытая толща золошлака; *2* — отстойный пруд; *3* — экранированное дно; *4* — контурная дрена; *5* — уровень воды в толще золошлака при отсутствии контурной дрены; *6* — уровень воды (депрессионная поверхность) при наличии контурной дрены.

Остаточный напор между дренами может быть снижен до сколь угодно малых значений путем сближения дрен. Способ особенно эффективен при наличии более проницаемого (по сравнению с золошлаком) защитного слоя на поверхности водоупорного элемента экрана. Таким образом, существенно облегчаются условия работы водоупорного элемента и в связи с этим также повышается надежность экрана в целом.

Об эффективности надэкранной дренажной системы в золоотвалах дает представление показанный на рис. 24 график за-

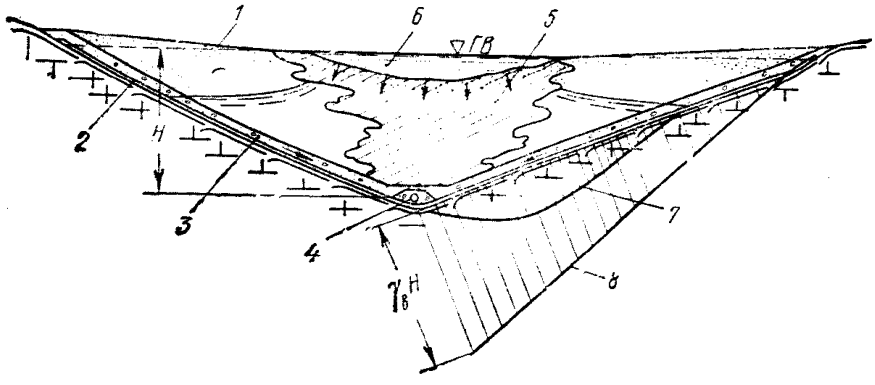

Рис. 26. Один из возможных вариантов уменьшения пьезометрического давления на противофильтрационный экран золоотвала овражного типа.

1 — толща золошлака, проницаемость которой характеризуется коэффициентом фильтрации $k_з$; *2* — водоупорный элемент противофильтрационного экрана; *3* — защитный слой, являющийся одновременно дренажным слоем с коэффициентом фильтрации $k_с$; *4* — трубчатая дрена, уложенная по тальвегу отвала; *5* — зона отстоя мелкозернистых фракций золошлакового материала; *6* — отстойный пруд; *7* — эпюра пьезометрического давления на экран при работе дренажного слоя, когда $k : k_з > 10$; *8* — эпюра гидростатического давления на экран при отсутствии дренажа.

висимости между величиной осредненного остаточного напора и относительным расстоянием между дренами.

5.2. В тех случаях, когда на золоотвале равнинного типа местоположение отстойного пруда не меняется в течение всего периода эксплуатации, значительный эффект в снижении фильтрационных утечек может быть достигнут путем устройства контурной дрены, отсекающей зону отвала с расположенным в ней отстойным прудом, как это показано на рис. 25, изображающем план (*а*) и продольный разрез (*б*) золоотвала, дренированного по такой схеме. Особенность этой схемы состоит в том, что вблизи отстойного пруда *2*, со стороны остальной части (зоны II) отвала, по его экранированному дну *3* проходит контурная дрена *4*, которая полностью перехватывает и отводит фильтрующую из зоны *I* воду, в связи с чем в зоне *II* отвала (значительно большей по площади зоны *I*) произойдет резкое понижение уровня находящейся здесь в толще золошлака воды. Соответ-

ственно уменьшатся при этом возможные утечки через экран, а также вследствие осушения повысится устойчивость откосов намытой толщи золошлака.

Уровни воды в зоне *II* будут определяться проницаемостью золошлака, величиной инфильтрации атмосферных осадков и поступлением жидкой компоненты пульпы в толщу золошлака во время его намыва.

Обычно подъем уровней воды в зоне II не превышает двух-пяти метров.

5.3. Снижение пьезометрического давления на противофильтрационный экран глубоких золоотвалов овражного типа может быть осуществлено также с помощью защитного слоя, выполняющего одновременно роль дренажа, в связи с чем этот слой должен обладать достаточно большой водопроницаемостью. Во многих случаях это достигается при толщине защитного слоя около одного метра и отношении $k_c : k_з > 10$, где k_c — коэффициент фильтрации материала защитного слоя и $k_з$ — коэффициент фильтрации золошлака.

Вода, профильтровавшаяся из толщи золошлака в дренажный слой, должна вытекать из него через трубчатую дрену, укладываемую для этого в пониженной части (по тальвегу) золоотвала.

Один из возможных вариантов осуществления данного способа повышения эффективности противофильтрационного экранирования золоотвала схематически показан на рис. 26.

5.4. Количественная оценка эффективности того или иного способа дренирования золоотвала может быть произведена на основе данных, полученных в результате моделирования фильтрации известными приемами, например, по методу ЭГДА.

5.5. Эффективность противофильтрационного экранирования чаши золоотвала также зависит от конструкции ограждающей дамбы. Наиболее простой и достаточно надежной в этом отношении является конструкция дамбы с водоупорным элементом (ядром, экраном) из местного глинистого грунта. Возведение такой дамбы может осуществляться полностью механизированным способом без применения дорогих и дефицитных материалов. Однако, когда в качестве материала водоупорного элемента используется недостаточно увлажненный или плотный глинистый грунт тугопластичной либо полутвердой консистенции, надо иметь в виду возможность появления сосредоточенной фильтрации через относительно проницаемые кавернозные зоны, образующиеся в нижних частях слоев грунта вследствие комковатой его структуры.

Учитывая данное обстоятельство, при проектировании дамбы следует исходить из предположения о возникновении в ее водоупорном элементе дефектных зон, которые могут явиться очагами сосредоточенной фильтрации.

В связи с этим рекомендуется (как это показано на чертеже рис. 27) устраивать непосредственно за ядром дамбы дренажный кювет, в который стекает вся профильтровавшаяся через ядро жидкость, а перед ядром укладывать кольматирующий слой из мелкозернистого песчаного грунта. Назначение слоя заключается в создании дополнительного фильтрационного сопротивления на входном участке перед зоной сосредоточенной фильтрации в ядре и в тампонировании этой зоны, т. е. ее заполнении под воздействием фильтрационного потока мелкозернистым материалом.

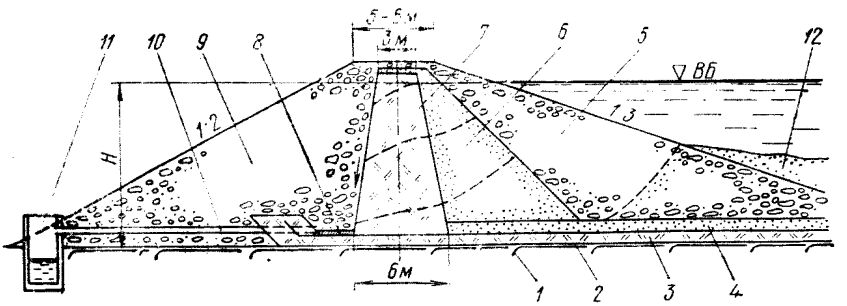

Рис. 27. Типовое сечение дамбы экранированного золоотвала.

1 — основание дамбы; *2* — слой уплотненного суглинка толщиной 0,5—0,6 м; *3* — полиэтиленовая пленка толщиной 0,25 мм; *4* — защитный слой из золошлака толщиной 0,8 м; *5* — верховая упорная призма из вскрышной породы; *6* — переходно-кольматирующая призма из золошлака; *7* — вертикальное ядро из суглинка; *8* — кювет, заполненный крупным камнем; *9* — низовая упорная призма из вскрышной породы; *10* — труба для стока жидкости из кювета; *11* — приямок для сбора жидкости; *12* — слой золошлака.

Благодаря тому, что оба эти фактора проявляются одновременно, величина фильтрационных утечек (при наличии дефектов в ядре) резко уменьшается, причем относительное снижение утечек возрастает по мере увеличения поперечных размеров дефектных зон в ядре.

Вся профильтровавшаяся через ядро жидкость должна отводиться затем из кювета наружу по трубам и собираться в изолированных приямках (колодцах), откуда ее можно перекачивать обратно в золоотвал.

5.6. Одним из наиболее эффективных способов предотвращения фильтрационных утечек через ограждающие золоотвалы дамбы (например, в случае некачественного выполнения экрана или при недостаточной его водонепроницаемости) также является осушение примыкающих к дамбам участков золоотвала с помощью дренажа, расположенного непосредственно у основания верхового откоса дамбы либо на небольшом от него удалении.

Такой дренаж рекомендуется выполнять в виде периметральной трубчатой или ленточной дрены, снабженной обратным фильтром, и находящейся внутри призмы из золошлака.

Удельный водоприток в дренаж в период эксплуатации золоотвала не превысит (при коэффициенте фильтрации золы порядка 0,1 м/сут.) нескольких литров в секунду на километр, в связи с чем водовыпуски из дренажа следует назначать через 200—250 м.

Другим наиболее важным преимуществом способа дренирования периферийной зоны отвала (с верховой стороны дамб обвалования) является существенное повышение устойчивости намытой толщи золошлака при ее осушении. Это достигается, когда периметральную дрену располагают на расстоянии 10—15 м от верховой грани дамбы (считая по поверхности основания).

В таком случае снимается ограничение в наращивании высоты отвала по причине обводнения толщи золошлакового материала и соответственно — снижения его сдвиговых характеристик.

ПРИЛОЖЕНИЯ (к разделу 2)

Приложение 1

Пример расчета выходных градиентов напора в глинистом экране

Водоупорный элемент противофильтрационного экрана гидроотвала с максимальным расчетным напором H=20 м выполнен из моренного суглинка, уложенного слоем толщиной $T_э$= =0,5 м. Пневматическим катком суглинок был уплотнен в верхней части слоя до величины плотности $\gamma_г' = 2{,}0$ г/см³ ($\varepsilon' = 0{,}350$), а в нижней — до $\gamma_г'' = 1{,}90$ г/см³ ($\varepsilon'' = 0{,}420$). Показатель интенсивности снижения проницаемости суглинка $\beta = 17{,}0$; геомеханический параметр — $\varepsilon_т = 0{,}60$.

Для оценки расчетным путем фильтрационной прочности экрана, уложенного на спланированные отвалы вскрышных скальных пород с $D_{0_{макс}} = 4$ см, необходимо выяснить величину выходного градиента напора — $J_{вых}$.

Воспользуемся в связи с этим формулой (17), при подстановке в которую указанных исходных данных получим:

$$J_{вых} = \frac{20}{0{,}5} \frac{1 - \dfrac{1}{\exp 17\,(0{,}42 - 0{,}35)}}{17\,(0{,}42 - 0{,}35)} = 40 \frac{1 - \dfrac{1}{\exp 1{,}19}}{1{,}19} =$$

$$= 40 \frac{1 - 1/3{,}28}{1{,}19} = 40 \cdot 0{,}584 = 23{,}4.$$

Критическое значение выходного градиента $J^{р}_{вых}$ при $D_{0_{макс}} = 4$ см определяем по формуле (14), для чего вначале вычислим по другой зависимости (15) долговременную прочность суглинка при его плотности $\gamma_г'' = 1{,}90$ г/см³ ($\varepsilon'' = 0{,}42$):

$$R_р = \exp \frac{13{,}4 \cdot 0{,}42}{1 - 4{,}25 \cdot 0{,}60} = \exp \frac{5{,}62}{-1{,}55} = \exp -3{,}70 = 0{,}025 \text{ кгс/см}^2.$$

Подставляя $D_{0_{макс}} = 4$ см и $R_р$=0,025 кгс/см² в формулу (14), находим:

$$J^{р}_{вых} = \frac{3 \cdot 4^{2/3} \cdot 0{,}025}{1/981 \cdot 4} = 46{,}5,$$

т. е. критическое значение выходного градиента напора в два раза больше расчетного его значения, что удовлетворяет условию (16).

Приложение 2

Пример вычисления расхода жидкости, фильтрующейся через щелевидное повреждение в пленочном элементе комбинированного экрана

Водоупорный элемент противофильтрационного экрана комбинированного типа, расположенного на сильнопроницаемом основании, выполнен из слоя уплотненного суглинка толщиной $T_э = 50$ см, покрытого сверху полиэтиленой пленкой, в которой по ряду причин могут возникнуть щелевидные повреждения с раскрытиями $2b = 4$ см и длиной около 100 см.

Требуется оценить величину приведенного расхода жидкости, фильтрующейся через одно из таких повреждений, при расчетных значениях коэффициента фильтрации глинистого грунта $k_г = 1 \cdot 10^{-8}$ см/с и золошлакового материала $k_з = 1 \cdot 10^{-4}$ см/с (который также используется в качестве материала защитного слоя).

Расчетная толщина слоя золошлакового материала в накопителе $T_з \approx H = 2 \cdot 10^3$ см. Тогда входящие в формулу (11) величины:

$$A = \frac{\ln T_э/b}{\ln T_э/b} = \frac{\ln 2 \cdot 10^3/2}{\ln 50/2} = \frac{6{,}9}{3{,}2} = 2{,}16,$$

$$\varkappa = \frac{k_з}{k_э} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-8}} = 1 \cdot 10^4.$$

По формуле (11) находим значение приведенного фильтрационного расхода

$$Q_щ = \frac{Q_щ}{H} = \frac{\pi l}{\ln T_э/b} \frac{k_з}{A + \varkappa} = \frac{3{,}14 \cdot 100}{3{,}2} \frac{1 \cdot 10^{-4}}{2{,}16 + 1 \cdot 10^4} \approx$$

$$\approx 1 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с} \cdot \text{см} = 8{,}64 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3/\text{сут} \cdot \text{см}.$$

Следовательно, при $H = 2 \cdot 10^3$ см $Q_щ = 173$ см^3/сут.

Весьма существенно, что при замене слоя суглинка слоем песка с $k_з = 1 \cdot 10^{-2}$ см/с (как это делают при устройстве обычных пленочных экранов) фильтрационный расход через повреждение возрастет в 20 тысяч раз.

Приложение 3

Экспериментальные методы определения проницаемости глинистых грунтов

К экспериментальным методам определения проницаемости используемого в качестве материала экрана глинистого грунта рекомендуется обращаться всякий раз, когда необходимо дать дополнительную и более точную оценку тех или иных факторов, способных повлиять на условия формирования структуры грун-

та. Чаще всего здесь следует уделять внимание технологическим факторам и возможному выщелачиванию из грунта в процессе фильтрации растворимых минералов.

Особенно заметное влияние на структуру глинистого грунта оказывает первоначальная его комковатость (агрегирование).

При недостаточно интенсивном уплотнении грунта либо при его высыхании и замораживании до уплотнения комковатая структура сохраняется, что обусловливает резкое увеличение (в десятки и сотни раз) проницаемости экрана.

Именно в таких случаях надо испытывать на проницаемость образцы грунта, отобранные непосредственно из экрана или опытной насыпи.

Образцы грунта, уложенного в противофильтрационный экран, рекомендуется отбирать с помощью режущих колец. Эти кольца легко транспортировать и хранить в специальном контейнере, описание которого дано в приложении 7.

Испытывать образцы грунта на проницаемость целесообразно в лабораторных условиях, используя для этого фильтрационно-компрессионные приборы. Методика таких испытаний изложена в приложении 6.

Испытывая образцы на проницаемость, следует параллельно проводить контрольные анализы зернового состава грунта, а также дополнительно определять его влажность, плотность и величину геомеханического параметра $\varepsilon_т$. По всем этим данным уточняется затем обобщенная характеристика проницаемости грунта, выражаемая расчетной зависимостью $k(\varepsilon)$.

Приложение 4

Методика лабораторных испытаний глинистого грунта на фильтрационную прочность в условиях контактного выпора

Наиболее простым и доступным способом определения в лабораторных условиях сопротивляемости глинистого грунта контактному выпору является способ его испытаний в вертикальном фильтрационно-суффозионном приборе с цилиндрической рабочей камерой, диаметр которой должен в четыре—пять раз превышать размер наиболее крупных включений, как в самом глинистом грунте, так и в грунте основания экрана.

Испытания сводятся к определению разрушающих градиентов напора фильтрующейся через образец глинистого грунта жидкости. Для этого образец помещают в рабочую камеру прибора, укладывая его непосредственно на подстилающий слой грунта основания, и после соответствующего уплотнения пропускают через него поток жидкости при постепенно возрастающем ее напоре до тех пор, пока не произойдет разрушение образца вследствие контактного выпора грунта.

Методически более совершенными являются испытания грунта с помощью специального прибора, конструкция которого поясняется чертежом на рис. 1.

Прибор имеет цилиндрический корпус *1*, по оси которого расположена перфорированная трубка *2*. Сверху в корпус вставлен массивный поршень *3*, передающий внешнее давление на испытываемый грунт *4*, который помещен в кольцевое пространство между корпусом и перфорированной трубкой. В корпус прибора ввинчены штуцеры (фильеры) *5* с отверстиями различного диаметра, моделирующими поры в грунте основания экрана или в обратном фильтре дренажа.

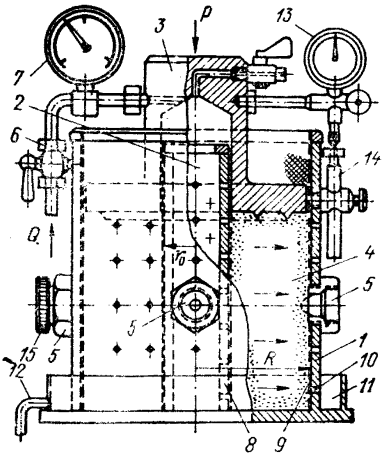

Рис. 1. Прибор для определения фильтрационной прочности грунта в условиях контактного выпора

1—корпус; *2*—центральная перфорированная трубка; *3*—поршень; *4*—испытываемый грунт; *5*—штуцеры с отверстиями (фильеры); *6*—регулировочный кран; *7*—манометр; *8*—распределительная сетка; *9*—дренажная сетка; *10*—дренажные отверстия; *11*—кювет для сбора воды; *12*—сливная трубка; *13*—индикатор осадки грунта; *14*—выдвижная подставка для индикатора; *15*—пробка.

Во время проведения опыта вода (жидкость) через кран *6* поступает внутрь перфорированной трубки *2*, откуда протекает в грунт и фильтрует к периферии под действием напора, величину которого определяют по показаниям манометра *7*.

Для равномерного притока воды (жидкости) к грунту трубка *2* снаружи окружена металлической сеткой *8* галунного плетения. Дренирование фильтрационного потока осуществляется такой же сеткой *9*, расположенной на внутренней поверхности корпуса, в котором для лучшего оттока воды имеются дренажные отверстия *10*. Профильтровавшаяся вода вытекает через эти отверстия и собирается в кювете *11*, откуда она по сливной трубке *12* поступает в мерный сосуд. Суммарную осадку грунта определяют по показаниям трех симметрично расположенных на поршне индикаторов *13*, причем опорой для их штоков служат выдвижные подставки *14*, закрепленные на корпусе прибора. Эти подставки позволяют легко устанавливать начальные нулевые показания индикаторов.

Фильтрационную прочность грунта определяют по величине выходного градиента напора, измеренного в то время, когда начинается разрушение грунта в фильере с отверстием данного диаметра. При этом по мере завершения контактного выпора

фильеры последовательно закупоривают, ввинчивая в них пробки, что позволяет в одном опыте испытать грунт при его выпоре в несколько отверстий различного диаметра и установить таким образом зависимость между критическим градиентом и диаметром отверстий.

Величину градиента на контуре разгрузки потока определяют по формуле для осесимметричной фильтрации в напорном пласте:

$$J_{\text{вых}} = \frac{H_0}{R \ln R/r_0},$$

где H_0 — напор жидкости внутри перфорированной трубки; r_0 и R — расстояния от оси прибора до распределительной сетки и дренажной.

Приложение 5

Устройство для определения в натурных условиях проницаемости и фильтрационной прочности грунтовых экранов

Устройство представляет собой открытый снизу стальной цилиндр с упорным фланцем, ограничивающим погружение в грунт заостренных кольцевых ножей, с помощью которых формируется фильтрационный поток, направленный поперек испытываемого фрагмента экрана.

Конструкция устройства поясняется чертежом на рис. 2.

Испытания грунтового экрана с помощью данного устройства осуществляют таким образом.

Устройство располагают на предварительно выравненной поверхности экрана *1* и укладывают на его площадке *9* груз *10*, достаточный, чтобы основной нож *4* устройства целиком врезался в грунт экрана. При этом решетка *5*, находящаяся несколько ниже упорного фланца *3*, будет давить на грунт внутри основного ножа и тем самым достигается плотное прижатие грунта к поверхности ножа. Одновременно в грунт также врезается вспомогательный нож *8*.

Затем через нижнюю трубку *12* подают воду внутрь резервуара *7*, выпуская из него воздух через верхнюю трубку *11*. После заполнения резервуара водой постепенно повышают ее давление до тех пор, пока градиент напора фильтрационного потока внутри фрагмента экрана между решеткой и основанием не достигнет расчетного значения. По величине установившегося расхода воды при данном ее напоре определяют проницаемость экрана, а по величине давления, при котором произойдет разрушение экрана, определяют его фильтрационную прочность.

Данное устройство не имеет недостатков, которыми обладают аналогичные приспособления, поскольку глинистый грунт испытываемого фрагмента экрана оказывается плотно прижатым к поверхности основного цилиндрического ножа благодаря боковому распору от действия давления, передаваемого на грунт

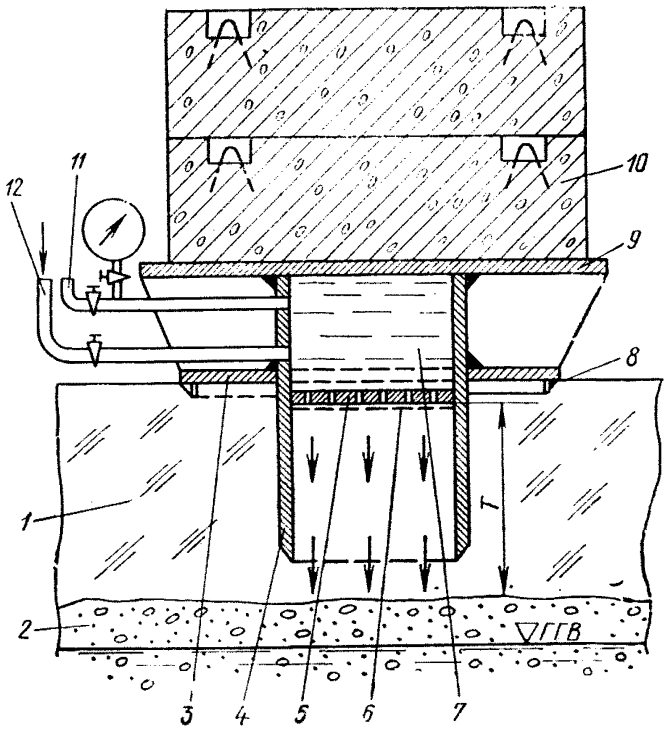

Рис. 2. Устройство для определения проницаемости и фильтрационной прочности грунтовых экранов в натурных условиях

1—противофильтрационный экран из глинистого грунта; *2*—основание экрана, сложенное крупнозернистым материалом, например отвалами вскрышных скальных пород; *3*—упорный фланец; *4*—основной цилиндрический нож; *5*—стальная решетка; *6*—распределительная сетка; *7*—резервуар, из которого вода под давлением проникает в экран; *8*—вспомогательный нож; *9*—площадка для груза; *10*—груз; *11*, *12*—трубки для подачи воды внутрь резервуара и выпуска из него воздуха.

внутренней решеткой, которая с этой целью расположена несколько ниже опорной плоскости фланца.

А для создания дополнительной преграды на пути фильтрационного потока на фланце имеется еще один вспомогательный нож, расположенный коаксиально с основным.

Методика испытаний на водопроницаемость образцов глинистых грунтов

Испытания образцов с нарушенной структурой

Водопроницаемость глинистых грунтов с нарушенной структурой определяют обычно в лабораторных условиях с помощью фильтрационно-компрессионных приборов, один из которых показан на рис. 3. В этом приборе образец грунта, помещенный в цилиндрическую рабочую камеру, подвергается сжатию при действии усилия, передаваемого от гидравлического пресса через шток на верхнюю подвижную решетку. Одновременно осуществляется фильтрация воды, подаваемой из поплавкового бачка-дозатора, автоматически поддерживающего заданную величину напора. Деформацию (сжатие) образца грунта в процессе его испытаний определяют по показаниям мессуры, закрепленной на штоке. Напор воды, действующий на весь образец, определяют по показаниям пьезометров, соединенных с верхним и нижним бьефами. В тех случаях, когда необходимо выяснить распределение пьезометрического напора по толщине образца грунта, используют для этого электрические преобразователи давления (датчики) индуктивного типа, присоединенные непосредственно к штуцерам пьезометров на стенке рабочей камеры прибора. С внутренней стороны стенки каждый из этих штуцеров должен быть снабжен водоприемником из пористой керамики в виде диска диаметром около 1 см.

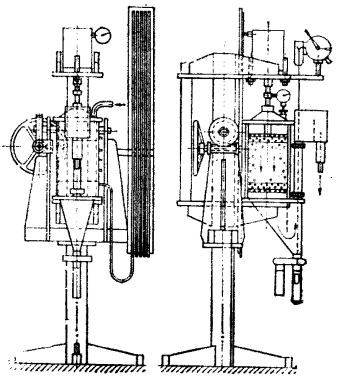

Рис. 3. Схема усовершенствованного фильтрационно-компрессионного прибора.

Следует иметь в виду, что уплотнять грунт до заданной начальной плотности допустимо лишь путем предварительного его сжатия, но не трамбованием, так как при трамбовании возникают отдельные сильно уплотненные слои, наличие которых является причиной неравномерного распределения напора по толщине образца и вследствие этого возможна ошибка в определении проницаемости грунта.

Сразу после начального уплотнения грунта его замачивают дистиллированной водой или химически равновесным раствором содержащихся в нем солей в направлении снизу вверх до тех

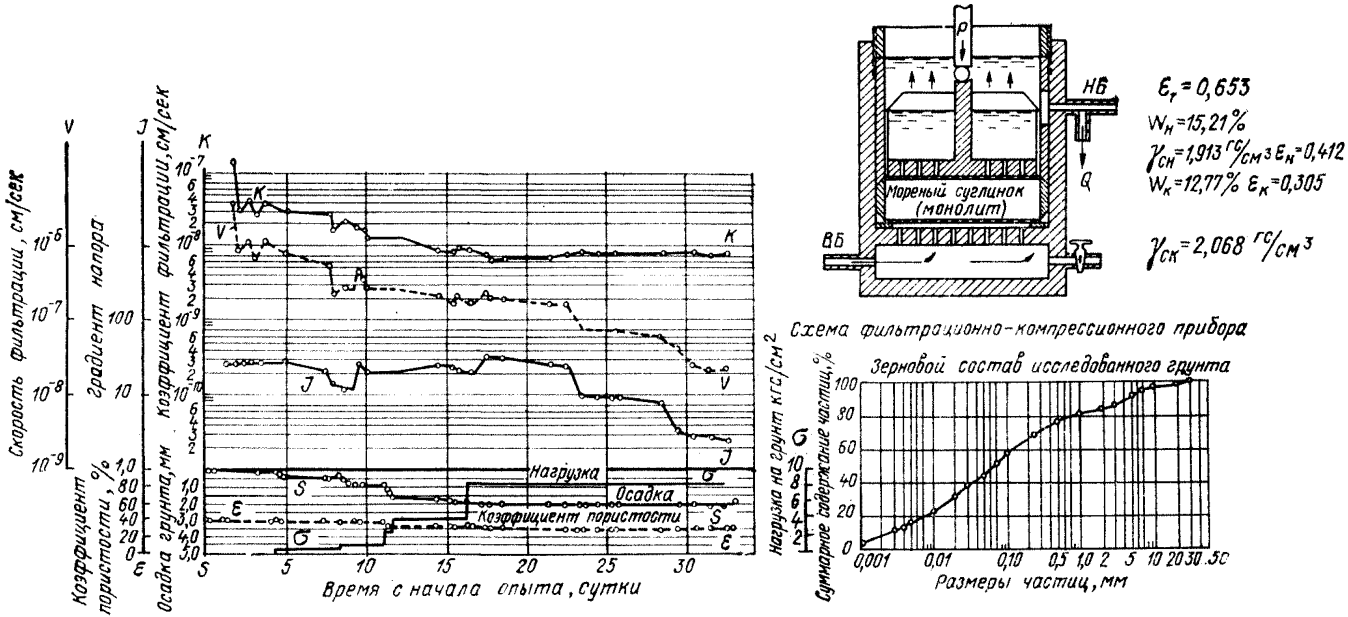

Рис. 4. Графики изменения фильтрационных и геотехнических характеристик грунта в опыте № 271 и схема фильтрационно-компрессионного прибора.

пор, пока вода не проникнет через всю толщу образца, после чего камеру прибора заполняют водой до уровня слива, расположенного на постоянной отметке. Далее, поднимая бачок дозатора или расходомерную трубку, создают напор, достаточный для точного измерения объема фильтрата. По вычисленным расходу и градиенту напора определяют скорость и коэффициент фильтрации (приводя его затем к температуре 20°С), а по суммарной осадке — плотность и коэффициент пористости грунта.

Во время испытаний грунтов в фильтрационно-компрессионных приборах особое внимание необходимо уделять полному удалению воздуха из подстилающего слоя, на который укладывается образец, так как скопившийся под нижней поверхностью образца воздух препятствует протеканию воды при малых ее напорах, что затем ошибочно интерпретируется как отклонение от закона Дарси. Удаление воздуха обычно осуществляют через кран, расположенный чуть ниже образца, наклоняя при этом прибор, установленный в обойме, которую можно поворачивать в вертикальной плоскости (рис. 3).

В соответствии с основной целью исследований, которая обычно заключается в выяснении характера изменения проницаемости грунта по мере его уплотнения, в каждом опыте постепенно увеличивают (отдельными ступенями) сжимающее давление. Таким образом, весь опыт в данном случае подразделяется на ряд этапов (периодов), продолжительность которых зависит в основном от времени полного затухания осадок и выравнивания расходов фильтрации.

На основе полученных в опыте данных вычисляют затем значения коэффициентов фильтрации и пористости грунта, изменение которых во времени (вместе с другими характерными параметрами) можно наглядно представить в виде графиков, как это показано на рис. 4.

Испытание образцов с ненарушенной структурой

Наиболее достоверные данные о проницаемости грунта, уложенного в экран, могут быть получены в результате испытаний образцов, отобранных с помощью режущих колец непосредственно из самого экрана или опытного его фрагмента.

Эти образцы вместе с кольцом помещают в специально приспособленные для проведения такого рода испытаний фильтрационно-компрессионные приборы. Конструкция одного из них приведена на рис. 5, из которого видно, что пробоотборное кольцо *3* с находящимся в нем грунтом *4* расположено между верхней *6* и нижней *1* камерами прибора. Эти камеры соединены между собой тремя откидными тягами *11*, с помощью которых осуществляется плотная стыковка обеих камер с кольцом, благодаря чему появляется возможность подавать через краны *10*

и *12* под напором воду в одну из камер, откуда она поступает в испытываемый грунт. С целью равномерного распределения потока воды по площади образца, а также для предотвращения продавливания грунта в отверстия решеток *2* и *5*, снизу и сверху

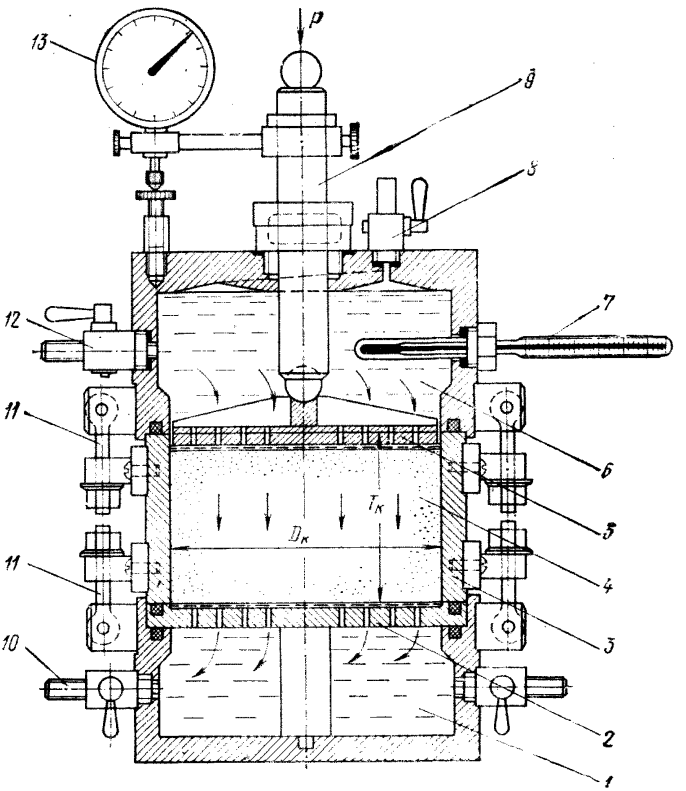

Рис. 5. Фильтрационно-компрессионный прибор

1—нижняя камера; *2*—нижняя решетка; *3*—пробоотборное кольцо; *4*—испытуемый грунт; *5*—верхняя решетка; *6*—верхняя камера; *7*—термометр; *8*—кран для выпуска воздуха; *9*—шток для передачи нагрузки на верхнюю решетку; *10*—нижний кран; *12*—верхний кран; *13*—мессура.

образца рекомендуется укладывать фильтровальную бумагу и тонкую латунную сетку с ячейками не более 0,05 см.

До начала испытаний прибор помещают в нагрузочное устройство, позволяющее переворачивать прибор перед водонасыщением грунта и создавать усилие, необходимое для его уплотнения.

Контейнер для хранения и транспортировки образцов грунта, отобранных с помощью режущих колец

Известно, что при невозможности испытаний образцов грунта на месте, их приходится парафинировать для предохранения от высыхания и механических повреждений во время перевозки. Парафинирование отнимает много времени, в последующем усложняет процесс подготовки образцов к испытаниям.

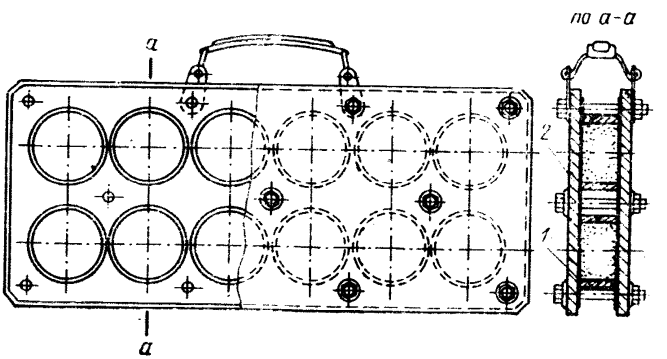

Рис. 6. Контейнер для транспортировки и хранения образцов грунта, отобранных с помощью колец.

В связи с этим предлагается специальный контейнер для хранения и транспортировки образцов грунта, отобранных с помощью колец, без парафинирования. Контейнер, конструкция которого поясняется чертежом на рис. 6, представляет собой две пластины, изготовленные из толстой фанеры или текстолита, соединенные болтами. Между этими пластинами помещают кольца с грунтом. Для обеспечения полной герметизации колец на внутренней поверхности пластин укрепляется резиновая или полиэтиленовая прокладка. После того, как кольца с грунтом уложены в контейнер, гайки на болтах закручиваются и, таким образом, кольца оказываются плотно прижатыми к прокладкам. Практически удобнее всего помещать в контейнер от 8 до 12 колец. Для переноски контейнера к нему прикрепляется ручка.

ПРИЛОЖЕНИЯ (к разделу 4)

Приложение 1

Пример подбора состава асфальтобетона

В настоящем приложении приведен наиболее характерный пример подбора улучшенного состава мелкозернистого гидротехнического асфальтобетона, удовлетворяющего требованиям п. 4.15 (табл. 7). При этом в качестве скелетных минеральных материалов возьмем щебень фракций 5—20 мм и высевки фракций 0—5 мм, т. е. материалы, обычно имеющиеся в достаточном количестве на гидротехнических стройках, а в качестве порошкообразного наполнителя — цементную пыль, неудовлетворяющую требованиям п. 4.22 по тонкости помола. Гранулометрические составы и свойства данных материалов приведены в табл. 1 и на рис. 1 настоящего приложения.

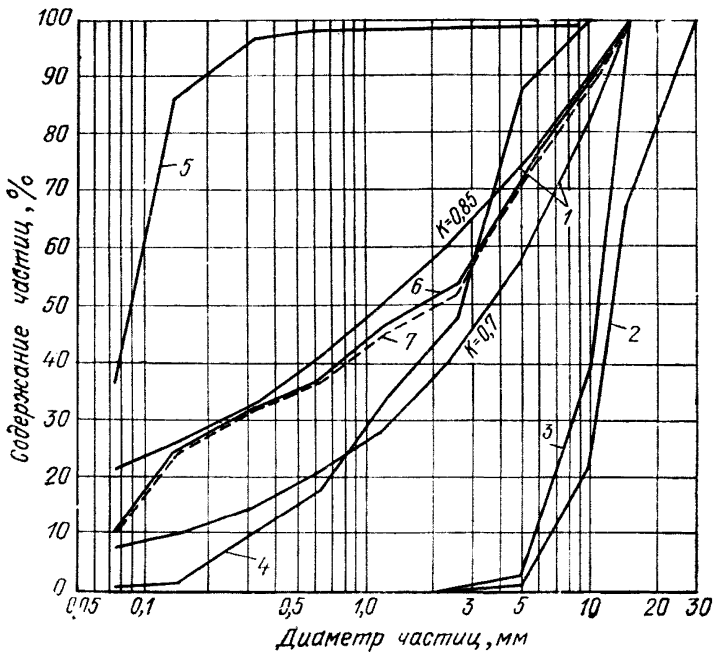

Рис. 1. Гранулометрические составы исходных минеральных материалов и минеральной части асфальтобетонных смесей

1—пределы кривых плотных смесей; *2*—щебень фракций 5—20 мм; *3*—щебень фракций 5—15 мм; *4*—высевка; *5*—цементная пыль; *6*—предварительный состав асфальтобетона; *7*—окончательно рекомендуемый состав асфальтобетона.

Таблица 1

Свойства исходных материалов, использованных для подбора состава асфальтобетона

Наименование материала	Процентное содержание частиц мельче, мм,										Удельный вес, гс/см³	Удельная поверхность, см²/г	
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,314	0,14	0,074		частиц мельче 0,63 мм	всего материала
Щебень фракции 5 — 20 мм	100	67	25,5	1,91	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0	2,7279	—	3,92 Для частиц 15 мм
Высевки фракции 0 — 5 мм	—	—	100	83,2	47,9	33,9	17,9	10,0	1,2	0,6	2,6921	898	167,8
Цементная пыль	—	—	100	99,3	99,1	99,0	98,7	97,1	86,5	37,1	2,7910	—	2106

Таблица 2

Подбор состава асфальтовых бетонов

Наименование материала	Содержание в смеси, %	Процентное содержание частиц мельче, мм,								
		15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,314	0,14	0,074
Исходные минеральные материалы										
Щебень фракции 5 — 15 мм	—	100	38,1	2,85	0,28	0,25	0,22	0,21	0,19	0,00
Высевки фракции 0 — 5 мм	—	—	100	84,2	47,9	33,9	17,9	10,0	1,20	0,60
Цементная пыль	—	—	100	99,3	99,1	99,0	98,7	97,1	86,5	37,1
Предварительный состав										
Щебень фракции 5 — 15 мм	18	18	6,86	0,51	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,00
Высевки фракции 0 — 5 мм	54	—	54,0	44,93	25,87	18,31	9,67	5,40	0,65	0,32
Цементная пыль	28	—	28,0	27,80	27,8	27,7	27,7	27,2	24,2	10,4
Сумма	100	100	88,86	73,24	53,72	46,06	37,41	32,64	24,88	10,72
Окончательный состав										
Щебень фракции 5 — 15 мм	20	20	7,62	0,57	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,00
Высевки фракции 0—5 мм	52	—	52,0	43,25	24,9	17,60	9,30	5,18	0,64	0,31
Цементная пыль	28	—	28,0	27,8	27,8	27,70	27,70	27,72	24,20	10,40
Сумма	100	100	87,62	71,62	52,76	45,35	37,05	32,42	24,88	10,71

Так как подбираем мелкозернистый асфальтобетон, частицы крупнее 15 мм отсеваем. Гранулометрический состав отсеянного щебня приведен в табл. 1 и на рис. 1.

Определим количество каждого из взятых материалов, которое необходимо ввести в смесь, гранулометрический состав которого входил бы в рекомендуемые пределы кривых плотных смесей (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что в составе минеральной части асфальтобетона возможны резкие перегибы в точках, соответствующих диаметрам частиц 0,074; 0,14; 0,314 мм — по цементной пыли и 2,5; 5,0; 10 мм — по высевкам и щебню. При этом наибольшее влияние на положение кривой могут оказать перегибы в точках, соответствующих диаметрам частиц 0,14 и 2,5 мм. Исходя из этого, предварительное нахождение содержания составляющих в смеси будем вести по этим точкам.

Для точки, соответствующей диаметру 0,14 мм, наибольшее влияние на положение кривой будет оказывать цементная пыль, в которой частиц мельче 0,14 мм содержится 86,5%. В высевках их всего 1,2%. Так как на участке кривой гранулометрического состава минеральной части асфальтобетона для частиц мельче 0,14 мм должен быть резкий спад (см. кривую гранулометрического состава цемента), количество порошка определяем по верхнему пределу, ограниченному кривыми плотных смесей. Например, примем, что в минеральной части асфальтобетона частиц мельче 0,14 мм должно быть 24%. В этом случае содержание цементной пыли в минеральной части асфальтобетона должно быть $\frac{100 \cdot 24}{86,5} = 27,7\%$. Округляем до 28%.

Найдем необходимое содержание в смеси щебня фракций 5—15 мм и высевок. Для упрощения подбора, как и в случае для высевок (см. выше), пренебрегаем содержанием в цементной пыли частиц крупнее 2,5 мм. Содержание в смеси щебня и высевок равно 72% (100—28%).

Из графика на рис. 1 видно, что в мелкозернистом асфальтобетоне содержание частиц крупнее 2,5 мм должно быть в среднем 46%. В высевке частиц крупнее 2,5 мм должно быть 52,1%, в щебне 99,7%. Содержание щебня в смеси обозначим через x. Составляем две пропорции и равенство, обозначив через A_1 содержание в смеси частиц щебня крупнее 2,5 мм и через A_2 — содержание высевок:

1) в 100% щебня частиц крупнее 2,5 мм содержится 99,7%, в x—A_1;

2) в 100% высевок частиц крупнее 2,5 мм содержится 52,1%, в $(72—x)$—A_2;

3) $A_1+A_2=46$.

Находя значения x из первой и второй пропорций и приравнивая их, получаем

$$\frac{100A_1}{99,7} = 72 - \frac{100A_2}{52,1}.$$

Выражая A_2 через A_1 ($A_2=46-A_1$) и решая полученное неравенство относительно A_1, находим, что необходимое содержание в смеси частиц щебня крупнее 2,5 мм составляет 17,8%. Воспользовавшись первой пропорцией, находим необходимое содержание в смеси щебня:

$$x = \frac{100 \cdot 17,8}{99,7} = 17,8\%.$$

Округляем до 18%. Следовательно, содержание высевок в смеси будет (72—18)=54%.

Таким образом, в качестве предварительного принимаем следующий состав асфальтобетона:

щебень фракций 5—15 мм	18%
высевки	54%
цементная пыль	28%

Далее, исходя из найденного состава минеральной части асфальтобетона, определяем содержание в смеси частиц по фракциям.

Частиц мельче 0,074 мм в щебне нет. Содержание в высевке частиц мельче 0,074 мм равно 0,60%, в смеси — $\frac{0,6 \cdot 54}{100}$ =0,32%. Содержание в цементной пыли частиц мельче 0,074 мм равно 37,1%, в смеси — $\frac{37 \cdot 1,28}{100}$ =10,4%. Суммарное содержание в смеси частиц мельче 0,074 мм: 0,32+10,4=10,72% и т. д. для всех фракций.

Для удобства данные подсчета сводим в таблицу (табл. 2). Проверим, как соответствует полученный состав пределам, ограниченным кривыми плотных смесей. Из рис. 1 видно, что найденный состав приближается к верхнему пределу, ограниченному кривыми плотных смесей, поэтому желательно его несколько подкорректировать. При этом начальный участок кривой из-за малого содержания в цементной пыли частиц мельче 0,074 мм корректировке не поддается. Участок кривой для частиц крупнее 0,63 мм можно несколько опустить за счет увеличения в смеси щебня, содержание которого примем равным 20%.

Гранулометрический состав минеральной части асфальтобетона, содержащего 20% щебня, 52% высевок и 28% цементной пыли, приведен в табл. 2 и на рис. 1 (кривая 7). Примем его в качестве окончательного, так как при дальнейшем увеличении содержания щебня в смеси на кривой гранулометрического состава появляется резкий перелом в точке, соответст-

вующей диаметру частиц 2,5 мм, что может привести к нежелательному повышению остаточной пористости смеси.

На основании данных табл. 1 определим удельную массу подобранного состава минеральной части смеси:

$$d_{м.ч} = \frac{100}{\frac{P_{щ}}{d_{щ}} + \frac{P_{выс}}{d_{выс}} + \frac{P_{ц.п}}{d_{ц.п}}} = \frac{100}{\frac{20}{2{,}7279} + \frac{52}{2{,}6921} + \frac{28}{2{,}7910}} = \frac{100}{36{,}6796} = 2{,}7263,$$

где $P_{щ}$, $P_{выс}$, $P_{ц.п}$ — процентное содержание в смеси щебня, высевок и цементной пыли соответственно; $d_{щ}$, $d_{выс}$, $d_{ц.п}$ — удельный вес щебня, высевок и цементной пыли соответственно.

Для определения объемного веса минеральной части смеси изготовим три образца асфальтобетона с недостатком, например, с 7,5% битума. На основании их взвешивания на воздухе и в воде находим, что средний объемный вес асфальтобетона данного состава равен

$$\gamma_{аб} = \frac{2{,}328 + 2{,}310 + 2{,}260}{3} = 2{,}296 \text{ гс/см}^3.$$

Отсюда находим объемный вес минеральной части асфальтобетона:

$$\gamma_{м.ч} = \frac{\gamma_{аб} \cdot 100}{100 + Б} = \frac{2{,}296 \cdot 100}{100 + 7{,}5} = 2{,}135 \text{ гс/см}^3,$$

где Б — процентное содержание битума в смеси.

Следовательно, остаточная пористость минеральной части асфальтобетона будет равна

$$n_{м.ч} = \left(1 - \frac{\gamma_{м.ч}}{d_{м.ч}}\right) 100 = \left(1 - \frac{1{,}135}{2{,}7263}\right) 100 = 21{,}7\%.$$

Найдем количество битума для получения асфальтобетона с остаточной пористостью 1—2,5%. Возьмем, например, $n_{м.ч} = 1{,}5\%$.

$$Б_1 = \frac{(n_{м.ч} - n_{аб})\, d_б}{\gamma_{м.ч}} = \frac{(21{,}7 - 1{,}5) \cdot 1}{2{,}135} = 9{,}46\%.$$

Округляем до 9,5%. Воспользовавшись данными табл. 15 определяем удельную поверхность минеральной части асфальтобетона:

$$S_{м.ч} = S_{щ} a_{щ} + S_{выс} a_{выс} + S_{ц.п} a_{ц.п} =$$

$$= 39{,}2 \cdot 0{,}2 + 167{,}8 \cdot 0{,}52 + 2106 \cdot 0{,}28 = 684{,}8 \text{ см}^2/\text{г} = 68{,}48 \text{ м}^2/\text{кг},$$

где $S_{щ}$, $S_{выс}$, $S_{ц.п}$ — удельная поверхность щебня, высевок и цементной пыли соответственно; $a_{щ}$, $a_{выс}$, $a_{ц.п}$ — содержание в смеси щебня, высевок и цементной пыли соответственно (в долях от единицы).

Зная удельную поверхность, определим толщину битумной пленки на поверхности минеральных частиц:

$$e = \frac{Б \cdot 10}{S_{м.ч} d_б} = \frac{9{,}5 \cdot 10}{68{,}48 \cdot 1} = 1{,}39,$$

где $d_б$ — удельный вес битума; Б — процентное содержание в смеси битума (свыше 100% минеральной части).

Толщина битумной пленки находится в рекомендуемых пределах.

Готовим партию образцов для определения физико-механических свойств подобранного состава асфальтобетона. Результаты испытаний сводим в таблицу (табл. 3). Для изготовле-

Таблица 3

Свойства предварительного состава асфальтобетона

Наименование свойств	Показатель свойств
Объемный вес минеральной части смеси, гс/см³	2,104
Остаточная пористость минеральной части смеси, %	22,83
Удельный вес асфальтобетона, г/см³	2,371
Объемный вес асфальтобетона, г/см³	2,304
Остаточная пористость асфальтобетона, %	2,830
Предел прочности при сжатии при 20°С, кгс/см²	27,35
То же, при 50°С, кгс/см²	10,65
Коэффициент теплоустойчивости	2,65

ния образцов использован битум БНД-60/90, имеющий следующие свойства:

температура размягчения по К и Ш . . .	45°С
глубина проникания иглы при 25°С . . .	81°П
глубина проникания иглы при 0°С	53°П
растяжимость при 25°С	больше 100 мм

Из табл. 3, видно, что подобранный состав асфальтобетона не удовлетворяет требованиям по теплоустойчивости (R_{50} и $П_т$) и по остаточной пористости, приведенным в разделе 4 (табл. 7), что объясняется избытком в нем битума. Об этом, в частности, говорит то, что объемный вес минеральной части смеси при 9,5% битума равен 2,104 против 2,135 гс/см³ при 7,5%. При этом ввиду грубого помола порошка его мелких частиц не хватает для заполнения пор между минеральными частицами скелета, расклиненными битумом.

Улучшить свойства асфальтобетона данного состава можно или заменой порошкообразного наполнителя или введением в

смесь активного минерального материала с большой удельной поверхностью. Введем в смесь известь с удельной поверхностью 10008 см²/г (1000,8 м²/кг) и удельным весом 2,3897 гс/см³. При этом заметим, что в данном случае известь играет роль не столько наполнителя, сколько материала, адсорбирующего на своей поверхности свободный битум. Поэтому улучшение свойств асфальтобетона при ее введении происходит в основном за счет повышения вязкости битума в тонких пленках и лишь незначительно — за счет повышения плотности скелета. Так же нельзя в данном случае отвести извести роль активатора, так как в смесь ее вводим в сухом состоянии непосредственно перед введением битума.

Таким образом, определение количества извести, которое необходимо ввести в смесь, производим для толщины пленки битума на поверхности минерального материала, например 1,1 мк. Во-первых, определим количество битума, обеспечивающего толщину битумной пленки на поверхности минеральных частиц 1,1 мк в подобранном выше составе до введения в него извести:

$$Б_2 = \frac{eSd_s}{10} = \frac{1{,}1 \cdot 68{,}48 \cdot 1}{10} = 7{,}35\%.$$

Далее определим количество извести, которое необходимо ввести в смесь с 9,5% битума, чтобы связать оставшуюся условно свободную его часть:

$$P = \frac{S_1}{S} 100 = \frac{(Б_1 - Б_2) \cdot 100 \cdot 10}{eS} = \frac{(9{,}5 - 7{,}35) \cdot 100 \cdot 10}{1{,}1 \cdot 1000{,}8} = 1{,}79\%.$$

Округляем до 1,8%. В данной зависимости S_1 — дополнительно требуемая удельная поверхность минерального материала для связи условно свободного битума, S — удельная поверхность извести.

Но введенная известь заполняет часть пор материала, поэтому ее содержание в смеси уменьшаем, например, до 1,5% с одновременным уменьшением процента битума.

Для определения окончательного содержания битума в смеси находим удельную поверхность уточненного состава минеральной части асфальтобетона, которая приведена в табл. 4. При этом содержание порошка уменьшаем на процент введенной в смесь извести. Из табл. 4 видно, что удельная поверхность уточненного состава асфальтобетона равна 80,2 м²/кг (802 см²/г). Исходя из этого значения удельной поверхности и заданной толщины битумной пленки 1,1 мк, определяем окончательное содержание битума в смеси:

$$Б = \frac{1{,}1 \cdot 80{,}2 \cdot 10}{10} = 8{,}82\%.$$

Округляем до 8,8%. Окончательный состав улучшенного мелкозернистого гидротехнического асфальтобетона и его физико-механические свойства приведены в табл. 4. Как видно он пол-

Таблица 4

Состав и свойства окончательного состава асфальтобетона

Наименование материала и свойства	Содержание материала и показатель свойства при уплотнении на вибростоле
Содержание щебня фракции 5 — 15 мм, %	20
Содержание высевок фракции 0 — 5 мм, %	52
Содержание цементной пыли, %	26,5
Содержание извести, %	1,5
Содержание битума БНД 60/90, %	8,8
Удельный вес минеральной части смеси, гс/см³	2,719
Объемный вес минеральной части смеси, гс/см³	2,158
Остаточная пористость минеральной части смеси, %	20,65
Удельная поверхность минеральной части смеси, см²/г	802
Удельный вес асфальтобетона, гс/см³	2,387
Объемный вес асфальтобетона, гс/см³	2,348
Остаточная пористость асфальтобетона, %	1,64
Толщина пленки битума на поверхности минерального материала	1,098
Предел прочности при сжатии при 20°С, кгс/см²	33,30
То же при 50°С, кгс/см²	15,70
То же при 0°С, кгс/см²	91,6
То же после водонасыщения под вакуумом, кгс/см²	34,7
Коэффициент теплоустойчивости	2,22
Коэффициент водоустойчивости	1,04
Коэффициент эластичности	2,75
Водонасыщение по объему, %	0,17
Набухание, %	0,12
Сплошность битумной пленки, %	96,7
Показатель сцепления битума с поверхностью минерального материала, %	95,6

ностью удовлетворяет требованиям, приведенным в табл. 7, раздела 4. На этом подбор и уточнение состава в лаборатории можно считать законченным.

Несмотря на то, что мы стремились дать наиболее характерный пример подбора состава гидротехнического асфальтобетона, он не может быть исчерпывающим и не является единственным. Существуют различные методы подбора состава асфальто-

бетона, но на наш взгляд, приведенная методика наиболее оправданна, так как при ее использовании требуется изготовление минимального количества образцов и в ней наиболее полно учитываются особенности свойств исходных материалов, свойства и структура асфальтобетона.

В заключение необходимо отметить, что данная методика подбора состава гидротехнического асфальтобетона применима лишь частично тогда, когда в качестве скелетных материалов, а тем более минерального наполнителя, используются материалы с сильно развитой внутренней, особенно открытой пористостью.

Приложение 2

Пример расчета сметной стоимости строительства противофильтрационного асфальтополимербетонного экрана шламонакопителя Балаковского ЗФУ

Калькуляция сметной стоимости приготовления мелкозернистой асфальтополимербетонной смеси с добавкой латекса «гектолекс» для I и II групп стоков БХЗ (норма на 100 тонн)

Обоснование	Наименование видов затрат	Количество	Цена в руб.	
			единичная	общая
ЕНиР § 17—50 т. 2 п. 50	Приготовление асфальтополимербетонной смеси в смесителе Д-325 производительностью 90 т/смену, время перемешивания в мешалке минеральных материалов между собой и битумом 2,5 мин:			
	машинист смесителя асфальтобетона (6 разряд) 46,8 × 0,147 × 1,03, чел/дн.	1,183	5,39	6,376
	помощник машиниста (5 разряд), чел/дн,	1,183	4,79	5,667
	машинист газодувной машины (4 разряд), чел/дн.	1,183	4,27	5,051
	слесарь строительный (4 разряд), чел/дн.	1,183	4,27	5,051
	асфальтобетонщик (варильщик) (3 разряд) 46,8×0,166×0,147×1,03, чел/дн.	1,176	3,79	4,457
	асфальтобетонщик (2 разряд), чел/дн	1,176	3,37	3,963
	варильщик латекса 7,8×0,147× × 1,03, чел/дн	1,181	3,79	4,476
	Итого:			35,041
Общая часть к ЕНиР прил. 4	K=1,08 на зарплату за вредность			
	ИТОГО:			37,84

Продолжение приложения 2

Обоснование	Наименование видов затрат	Количество	Цена в руб.	
			единая	общая
	Материалы			
ЦСЦ Саратов-ГЭСстроя п. 185	Известняковый щебень фракции 5 — 15 мм, м³	12,6	10,30	129,78
ЦСЦ п. 192	Известняковые высевки фракции 0 — 5 мм, м³	45,2	7,66	346,23
ЦСЦ п. 200	Песок кварцевый, м³	8,4	3,92	32,93
Сборник дополнительных расценок к каталогу № 2/69	Битум БНД 40/60 выпаренный, т	10,67	55,19	558,88
Счет завода-поставщика	Латекс «Гекталекс», т	0,55	1085,35	596,94
	ИТОГО:			1694,76
	Механизмы			
Ц. 2 п. 573	Смесители асфальтобетона производительностью 12 — 15 т/ч, м/см	1	59,30	59,30
Ц. 2 п. 440	Бульдозер ДТ-54, м/см	1	$\frac{14,3}{5,35}$	14,30
	ИТОГО:			73,60
	Итого на 100 т			1806,20
	Итого на 1 т			18,062

СПРАВКА

о стоимости 1 м² облицовки шламонакопителей I и II группы стоков БХЗ. Конструкция облицовки принята согласно протоколу от 31 мая 1974 года

Обоснование % расценок	Наименование видов затрат	Количество	Стоимость единицы в руб.
	Днище		
32-146	Щебеночное основание 11 — 15 см 1,45+(116×5) : 1000, м²	1	2,03
32-318Д	Асфальтополимербетонное покрытие 11 — 5 см 1,795+0,212×2, м²	1	2,210
32-248	Поверхностная обработка, м²	1	0,206
	Итого:		4,455
	Откосы		
32-272	Основание из черного щебня 11—15 см, м² 0,73+0,153×11 = 2,413	1	2,413
	Асфальтополимербетонные покрытия 11—5 см, м²	1	2,219
	Поверхностная обработка, м²	1	0,206
	Итого:		4,938

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1. Общие положения 4
2. Экраны из глинистых грунтов 7
Термины и определения 7
Буквенные обозначения 9
Типы конструкций и материалы противофильтрационных экранов из глинистых грунтов 9
Проектирование противофильтрационных глинистых экранов . . 11
Производство работ по устройству противофильтрационного глинистого экрана 20
3. Полимерные пленочные экраны 21
Буквенные обозначения 22
Конструкции пленочных противофильтрационных экранов и требования к полиэтиленовым материалам 22
Рекомендации по проектированию полиэтиленовых противофильтрационных экранов 24
Производство работ по возведению полиэтиленовых противофильтрационных устройств 31
4. Асфальтовые экраны 37
Конструкции асфальтобетонных экранов 37
Требования к строительным материалам применяемым при строительстве асфальтобетонных экранов 44
Производство работ при строительстве асфальтобетонных экранов. 47
5. Способы дополнительного повышения эффективности и надежности экранирования золоотвалов 51
Приложения 57

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ЗОЛООТВАЛОВ И НАКОПИТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
П 82-79
ВНИИГ

Научный редактор *С. Н. Попченко*
Редактор *А. А. Гайдина*
Технический редактор *Т. М. Бовичева*

Сдано в набор 12.11.79. Подписано к печати 14.02.80.
М-32558. Формат бумаги 60×90/16. Бумага типографская № 2.
Литературная гарнитура. Высокая печать.
Печ. л. 5,0. Уч.-изд. л. 4,79.
Тираж 980. Заказ 516. Цена 70 к.

Типография ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева.
195220, Ленинград, Гжатская ул., 21.

gost.e-ecolog.ru