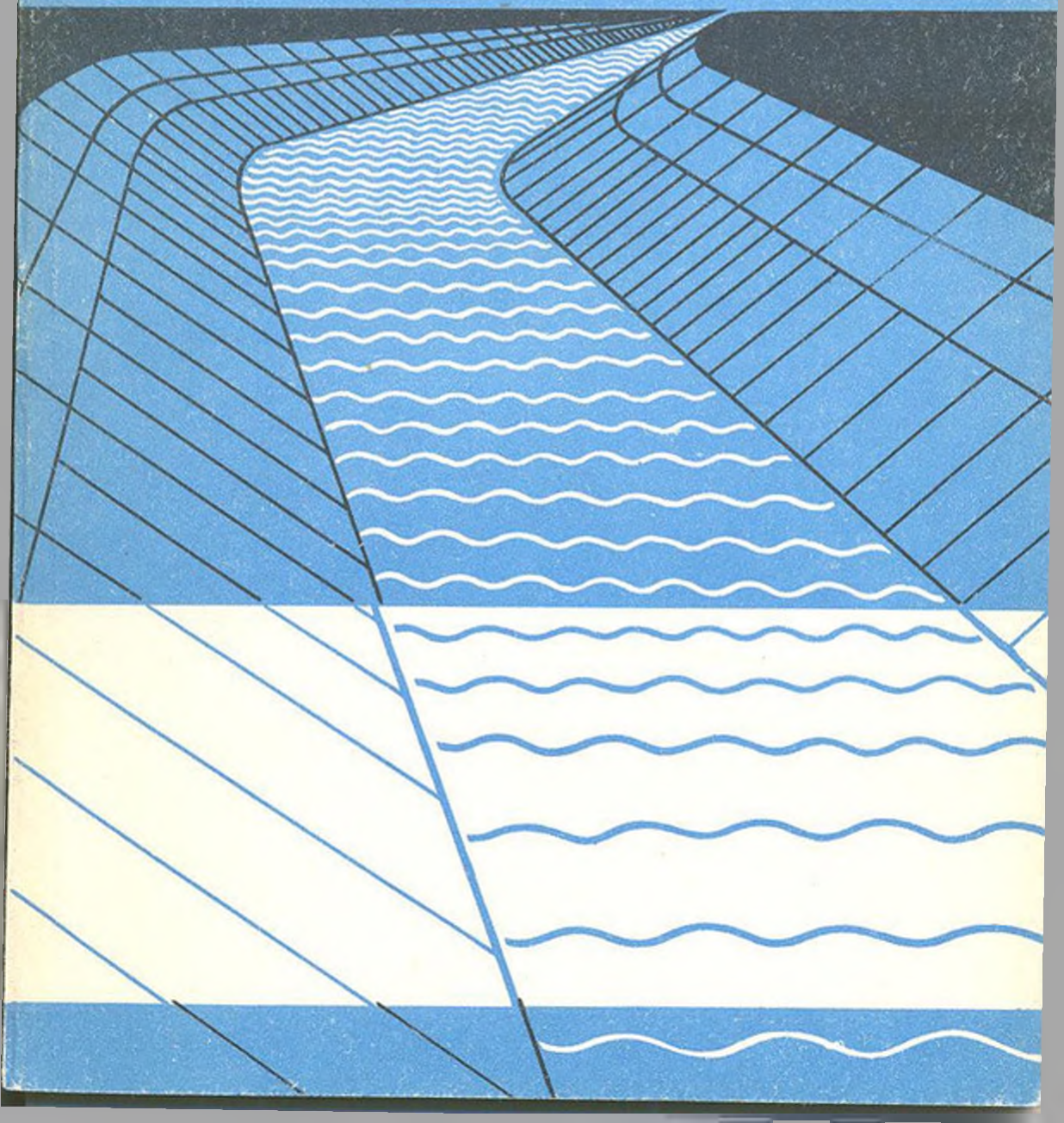
ТС-16

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ



ББК 38.776
З-40
УДК 626.82:626.134

Рецензенты: *И. П. Сафронов*, канд. техн. наук (Укргипроводхоз); лаборатория гидроизоляции (ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева).

Защитные покрытия оросительных каналов / В. С. Алтунин, З-40 В. А. Бородин, В. Г. Ганчиков, Ю. М. Косиченко; Под ред. В. С. Алтунина. — М.: Агропромиздат, 1987. 1988. — 160 с.: ил.
ISBN-10-001566-7

Приведены основные сведения по проектированию и строительству защитных покрытий оросительных каналов. Дано описание различных типов противофильтрационных покрытий на действующих каналах.

Для специалистов проектных водохозяйственных и мелиоративных организаций.

З $\frac{3802030000-029}{035(01)-88}$ 150-87 ББК 38.776

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

Алтунин Валерий Степанович, Бородин Валерий Александрович, Ганчиков Валерий Германович, Косиченко Юрий Михайлович

Зав. редакцией *А. И. Гераськина*
Редактор *Н. М. Щербакова*
Художник *А. Е. Григорьев*
Художественный редактор *В. А. Чуракова*
Технический редактор *Н. А. Зубкова*
Корректор *Н. А. Соколова*

ИБ № 5451

Подписано в печать 30.10.87. Т-17113. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Гарнитура Пресс-Роман. Усл. п. л. 9,30. Усл. кр.-отт. 9,53. Уч.-изд. л. 10,83. Изд. № 317. Тираж 5100 экз. Заказ № 3864 Цена 45 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО "Агропромиздат", 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Московская типография № 9 НПО "Всесоюзная книжная палата" Госкомиздата 109033, Москва, Волочаевская, 40.

ISBN-10-001566-7

© ВО "Агропромиздат", 1988

ВВЕДЕНИЕ

Поставленные XXVII съездом КПСС задачи в области мелиорации требуют повышения темпов, качества и интенсификации мелиоративных работ. К 2000 г. площади орошаемых угодий намечается довести в общей сложности до 30...32 млн. га. Наибольшие объемы работ по орошению предусмотрены на юге страны. Значительный объем работ предполагается выполнить в южных районах Российской Федерации и Украины, в Молдавии. Будет продолжено строительство оросительных систем в республиках Средней Азии, Закавказья и Казахстана. Наряду со строительством новых возрастают объемы реконструкции существующих оросительных систем. В целях более экономного расходования воды и сокращения затрат необходимо решительно переходить на подачу воды по облицованным каналам и закрытым системам, шире внедрять более прогрессивные способы полива, а также повысить материальную ответственность хозяйств за использование воды.

На каналах в земляном русле наблюдаются большие фильтрационные потери (40...50 % головного водозабора), которые вызывают подтопление прилегающих территорий, заболачивание и засоление, что ухудшает мелиоративное состояние орошаемых земель и снижает на них урожайность сельскохозяйственных культур.

Для борьбы с фильтрационными потерями на оросительных системах применяют различные типы защитных покрытий, на долю которых приходится значительный объем капитальных вложений при строительстве каналов.

Протяженность облицованных оросительных каналов, включая лотковые, достигла 90 тыс. км, а магистральных в земляном русле с частично укрепленными откосами – около 10 тыс. км.

Широкое распространение получили монолитные и сборные железобетонные облицовки, асфальтобетонные покрытия, облицовки и экраны с применением полимерных пленок – бетонопленочные и грунтопленочные.

При выборе защитных покрытий на оросительных каналах важное значение имеет обоснование наиболее эффективных и экономичных конструкций применительно к конкретной трассе канала с учетом грунтовых, гидрогеологических и климатических условий. Для обоснования различных вариантов защитных покрытий необходимо иметь достоверные данные об их эксплуатационной надежности и долговечности. Рекомендации по расчетам фильтрации через противофильтрационные облицовки с учетом их конструктивных особенностей, наличия различных дефектов и нарушений в облицовках, приведенные в книге, позволят определять достаточно точно эффективность облицовок и ожидаемый КПД каналов, а также сформулировать научно обоснованные требования к качеству их строительства.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ НЕОБХОДИМОСТЬ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

В СССР в соответствии с генеральной схемой комплексного использования водных ресурсов осуществляется крупномасштабное водохозяйственное строительство. При этом отчетливо прослеживается тенденция к росту строительства крупных оросительных каналов, к которым относят каналы с пропускаемыми по ним расходами Q = 200...1000 м^3/с (Алтунин, 1979). Неравномерность распределения водных ресурсов и вызванный ею дефицит воды в южных, наиболее сельскохозяйственно развитых районах, обусловливают строительство каналов с расходами Q = 520 м^3/с (Главный Каховский магистральный канал), Q = 300 м^3/с (Северо-Крымский канал).

Класс капитальности крупных каналов устанавливают в соответствии со СНиП II-50–74 и по нему назначают основные расчетные параметры каналов с учетом действующих нормативов. При этом необходимо учитывать возможность прорыва магистральных каналов, участвующих в создании напорного фронта, с катастрофическими последствиями, а также длительные перерывы в подаче воды.

Противофильтрационные защиты — практически непроницаемые или маловодопроницаемые облицовки, которые применяют для снижения фильтрационных потерь из каналов, повышения их КПД, предотвращения подтопления и вторичного засоления в приканальной зоне.

Берегоукрепительные защиты — защитные облицовки, предназначенные для защиты русла каналов от размыва потоком воды, волновыми и ледовыми воздействиями.

В данной работе не рассматриваются приканальные дренажные системы, обеспечивающие перехват фильтрационного потока из канала и поддержание уровня грунтовых вод на расчетной глубине, что исключает возможность подтопления прилегающей к каналу территории.

Фильтрационные потери воды. Из практики ирригационного строительства известно, что из-за потерь на фильтрацию, испарение и холостые сбросы до потребителя иногда доходит не более 50 % забираемой в голове канала воды. Это значительно повышает стоимость канала, требует увеличения его пропускной способности, проектного сечения в головной части, что приводит к дополнительным объемам земляных работ, увеличению площади отчуж-

даемых земель. В несамотечных каналах неоправданно увеличиваются мощности насосных станций.

Учитывая тенденцию к строительству крупных каналов комплексного назначения (эксплуатируемых круглый год), очевидно, что фильтрационные потери (даже небольшие в процентном отношении) по своим абсолютным величинам становятся недопустимыми (Алимов, 1982; Горбачев, 1974).

Кроме основного ущерба, который наносит инфильтрация в прилегающие территории, необходимо отметить, что насыщение грунта в непосредственной близости от канала может привести к потере устойчивости наружных откосов дамб. На канале Иртыш – Караганда на участке, проходящем по косогору, имели место оползни. Аварийные ситуации наблюдали на участках Северо-Крымского канала, проходящих в насыпи.

Фильтрационные потери из каналов приведены в таблице 36.

Подтопление и засоление прилегающих к каналам территорий. Значительный ущерб народному хозяйству наносит подтопление территорий, прилегающих к каналам. При отсутствии противофильтрационных покрытий значительные утечки приводят к быстрому подъему уровня грунтовых вод. В зависимости от бытового уровня этот процесс протекает в каждом конкретном случае в различное время. При неблагоприятных условиях бывает достаточно двух-трех лет для смыкания купола фильтрационной воды с грунтовыми водами. Особенно опасно подтопление в тех случаях, когда грунты на прилегающих к каналу территориях являются просадочными.

В Киргизской ССР на Чуйской оросительной системе в течение пяти лет ежегодно перепланировали поверхность орошаемых полей. В Таджикской ССР на Исфаринской оросительной системе в первый год после пуска воды по магистральному каналу (начало 1970-х годов) произошли разрушения населенных пунктов в результате подъема уровня грунтовых вод.

Для борьбы с этим явлением на Северо-Крымском канале на участках с глубоким залеганием гипсовых прослоек предусмотрели противофильтрационный экран по всему периметру. Для предотвращения заболачивания на ряде участков построены закрытый дренаж и открытые дренажные коллекторы. В настоящее время в зимний период Северо-Крымский канал опорожняют и он работает как открытая дрена, что способствует улучшению гидрогеологической обстановки на территориях, прилегающих к каналу. Однако в связи с тем что в перспективе предполагается его круглогодичная эксплуатация, на канале проводят работы по строительству противофильтрационных покрытий.

Другим неблагоприятным аспектом того же процесса подъема уровня грунтовых вод из-за фильтрационных утечек из каналов является засоление прилегающих территорий. Если грунтовые воды сильноминерализованные, что характерно для южных районов СССР, то при подъеме уровня происходят испарение воды и засоление почвенного слоя. Промывка земель требует больших расходов

воды, строительства коллекторно-дренажных сбросных систем и не всегда дает устойчивый результат. Основные меры борьбы с этим явлением — устройство противофильтрационных покрытий, строительство приканальных дренажей.

Заиление, зарастание и деформация русл каналов. Потери на испарение, зависящие от климатических условий и площади поверхности воды в канале, невелики (0,3...0,8 м в год). Кроме того, они не оказывают такого воздействия на прилегающую к каналу территорию, как фильтрационные потери. Жесткие типы защитных покрытий позволяют сузить поперечное сечение канала за счет меньшего заложения откосов по сравнению с каналом в земляном русле и тем самым уменьшить потери на испарение.

При зарастании каналов растительностью их пропускная способность может снизиться в 5...6 раз и более, скорость в 4...5 раз, а коэффициент шероховатости может увеличиться в 5 раз. При этом объемы работ по очистке от заиления оросительных каналов составляют 266,2 млн. $м^3$.

Более всего подвержены зарастанию и заилению малые и средние каналы общей протяженностью около 400 тыс. км. При этом затраты на очистку оросительной сети составляют более 30 %, а по отдельным системам 60...70 % общих расходов на содержание систем.

Особенно сильно сказывается влияние зарастания в южных районах СССР, где вода в каналах хорошо прогревается. Если при этом скорость потока невелика, то зарастание происходит очень быстро. Такое явление может иметь место на средних и даже крупных каналах в первые годы эксплуатации, когда вода транспортируется с пониженной (по сравнению с проектной) скоростью.

Большинство каналов периодического действия зарастает по всему сечению полупогруженной растительностью. При постоянной работе канала и обеспечении транспортирующей способности русло не зарастает.

Зарастание русл каналов значительно повышает коэффициенты шероховатости, снижает скорости, пропускную и транспортирующую способности. При сильном зарастании коэффициенты шероховатости достигают 0,087 и более. Следует отметить, что при выкашивании растительности коэффициенты шероховатости уменьшаются незначительно. Помимо прямого воздействия на гидравлические характеристики каналов, зарастание их растительностью резко увеличивает потери воды на испарение за счет транспирации.

Для крупных магистральных каналов зарастание менее опасно, так как оно ограничивается зоной уреза. Ряд специалистов рассмат-

ривают зарастание откосов как естественную биологическую защиту от размывов ветровыми и судовыми волнами.

Применение жестких покрытий не ликвидирует проблему зарастания малых и средних каналов. Так, бетонированные каналы ТМ-1 и ТМ-2 (Голодная степь), транспортирующие из водохранилища осветленную воду со скоростью 0,90...0,95 м/с, зарастали погруженной растительностью. При этом коэффициенты шероховатости (n = 0,015) возрастали в 1,8...2,2 раза, скорости уменьшались в 1,2... 1,9 раза, а пропускная способность снижалась в 1,21...1,65 раза по сравнению с проектной.

Однако в большинстве случаев они позволяют транспортировать поток с большими скоростями, что уменьшает заиление и затрудняет прорастание растений.

Снижение затрат на эксплуатацию каналов. Сейчас средние и крупные магистральные каналы все чаще проходят по густонаселенным районам с хорошо развитой инфраструктурой, имеют, как правило, комплексное назначение (в том числе и водоснабжение промышленных предприятий), поэтому требования к надежности их работы все время повышаются. Перспективно в этом отношении строительство каналов с частично облицованным руслом. Этот тип крепления эффективен по своим технико-экономическим показателям в тех случаях, когда фильтрационные потери не играют главной роли (высокий уровень грунтовых вод, малоценные земли и т. д.).

В первые годы эксплуатации Каракумского канала ширина некоторых участков его увеличилась до 30 % по урезу воды, что вызвало ежегодное снижение уровня воды на 0,4...0,6 м. На других участках наблюдали отложение наносов мощностью до 1,8 м, изменение гидравлического уклона: на одних участках он увеличился (с 0,0001 до 0,00023), на других уменьшился.

Эксплуатационные затраты на каналах без защитных покрытий распределяются примерно так: очистка от наносов 30...65 %, очистка от зарастания (окашивание) 5...25, устранение местных размывов 10... 15 и фильтрации 5...15, другие работы 15...20 %.

Защитные покрытия при увеличении капитальных затрат на строительство в той или иной мере снижают эксплуатационные затраты.

Проблема очистки каналов от наносов актуальна и для облицованных каналов. Многое зависит от качества воды, забираемой в голове канала (предпочтительнее забирать воду из водохранилища, то есть отстоявшуюся, потерявшую значительную часть взвешенных частиц); от согласованности эксплуатационных режимов каналов всех порядков (самый неблагоприятный — первоначальный период, когда вода транспортируется, как правило, с пониженными скоростями).

Однако при прочих равных условиях каналы с защитными покрытиями допускают (за исключением грунтопленочных) повышенные транзитные скорости. Следует учитывать и тот фактор, что очист-

ка облицованных русл позволяет широко применять различные средства механизации (механические, гидравлические) без деформации поперечного сечения канала.

При применении жестких или комбинированных типов покрытий в основном, а иногда и полностью отпадает проблема зарастания откосов полупогруженной растительностью и связанные с этим затраты на окашивание, гербициды и т. д. Значительно уменьшается опасность местных размывов и деформаций внутренних откосов, хотя эта проблема остается перед службой эксплуатации в любом случае. До сих пор не решен вопрос сооружения надежных деформационных швов, поэтому наблюдения, текущий ремонт отдельных повреждений швов и облицовок требуют постоянного и тщательного внимания.

Остается проблема и местной фильтрации. Облицовки выходят из строя в результате ошибок при проектировании, низкого качества работ в процессе строительства.

Таким образом, противофильтрационные мероприятия при проектировании каналов предусматривают для уменьшения потерь на фильтрацию и повышения КПД канала; предотвращения подтопления и засоления прилегающих к каналу территорий.

Противофильтрационные облицовки применяют, когда ожидаемые фильтрационные потери больше допустимых и фильтрация из каналов сопровождается подъемом уровня грунтовых вод, вызывающим подтопление и засоление орошаемых земель. При этом должны соблюдаться следующие условия (Кононов, 1978):

$$q_{доп} < 11{,}6\,Q_{ф}; \qquad (1)$$

$$h_{кр} > \Delta h, \qquad (2)$$

где $q_{доп}$ – допустимые потери воды на фильтрацию из канала, л/(с · км); $Q_{ф}$ – фильтрационные потери из земляного необлицованного русла канала, м³/сут из 1 м; $h_{кр}$ – критическая глубина залегания грунтовых вод от поверхности земли с учетом капиллярного подъема, м; Δh – глубина залегания уровня грунтовых вод при подъеме его вследствие фильтрации из земляного необлицованного русла, м.

Допустимые потери воды для магистральных и распределительных каналов устанавливают в соответствии с нормативными значениями КПД (СНиП II-52–74) не ниже 0,8...0,9.

Допустимые потери воды в зависимости от требуемого КПД канала и транспортируемого им расхода вычисляют по формуле

$$q_{доп} = Q(1-\eta)/\eta, \qquad (3)$$

где Q – расход, транспортируемый каналом на расстоянии 1 км без потерь, л/с; η – КПД канала, принимаемый по СНиП.

Противофильтрационные облицовки должны обеспечивать снижение уровня грунтовых вод от поверхности земли на величину критической глубины, которая зависит от типа почвы, что позволит предотвратить подтопление и засоление территории, прилегающей к каналу.

Предельный подъем уровня грунтовых вод относительно поверхности земли должен определяться высотой капиллярного поднятия воды и ориентировочно составляет: для несвязных грунтов – 1 м, для суглинистых – 3 м, для глинистых – 5 м.

Тип противофильтрационных облицовок зависит от фильтрационных свойств грунтов, слагающих ложе каналов, геологических и гидрогеологических условий, протяженности и размеров каналов, величины требуемого снижения потерь воды на фильтрацию и наличия соответствующих материалов.

Необходимость применения противофильтрационных облицовок и принятые в проекте типы одежд должны быть обоснованы технико-экономическими расчетами.

При выборе и проектировании противофильтрационных облицовок пользуются ориентировочными технико-экономическими показателями, приведенными в таблице 1.

1. Технико-экономические показатели различных типов облицовок

Тип облицовок	Осредненный коэффициент фильтрации 10^{-4}, см/с	Ориентировочный срок службы, лет	Стоимость 1 м², р.
Бетонные монолитные	3...5	15...20	5...6
Железобетонные монолитные	2,5...3,5	20...25	6...8
Железобетонные сборно-монолитные	3,5...4,5	35...40	6...14
Железобетонные сборные	4,5...7	35...40	8...9
Бетонопленочные монолитные	0,1...0,5	20...25	6...7
Бетонопленочные сборно-монолитные	0,5...1	35...40	7...12
Бетонопленочные сборные	1...1,5	35...40	7...10
Грунтопленочные	0,5...1,5	35...40	1...2
Асфальтобетонные	1...5	10...15	2,5...3

Эффективность тех или иных типов противофильтрационных облицовок определяется фильтрационными потерями. Так как фильтрационные потери через облицовки зависят не только от осредненного коэффициента их фильтрации, но и от градиента напора, который, в свою очередь, зависит от толщины облицовки, то наиболее эффективными типами облицовок являются бетонопленочные монолитные облицовки и грунтопленочные экраны.

Таблица 2. Области применения различных типов крепления каналов

Тип крепления	Достоинства	Недостатки	Условия применения
Типовые крепления			
Покрытия из монолитных железобетонных плит (плиты толщиной 15...50 см на слое подготовки или обратного фильтра)	Почти полная водо- и грунтонепроницаемость покрытия. Простота изготовления и возможность применения комплексной механизации	Возведение только при производстве работ "насухо". Необходимость использования ценных материалов (цемент и арматурная сталь). Жесткость покрытия. Трудоемкость работ по устройству обратного фильтра. Малая шероховатость покрытия	При производстве работ "насухо" на приволжских участках откосов, а также на любых участках откосов при малых объемах крепления
Покрытия из сборных разрезных железобетонных плит (плиты размером от 1 × 1 до 3 × 3 м, толщиной 0,10...0,35 м укладывают на обратный фильтр)	Гибкость покрытия, индустриальность конструкции. Возможность производства работ в зимнее время, высокое качество бетона	Возведение только при производстве работ "насухо". Необходимость устройства во всех случаях обратных фильтров. Использование дорогостоящих привозных строительных материалов, стали, цемента. Применяют только при высоте волны до 1,5 м	Для крепления откосов при высоте волны 1,5 м, при производстве работ "насухо", при ожидаемых осадках основания, а также для временных креплений, подлежащих демонтажу
Покрытия из сборных железобетонных плит, омоноличенных по контуру с укладкой на подготовку из гравия (плиты обычные и предварительно напряженные)	Индустриальность изготовления покрытия. Возможность механизации укладки плит и подготовки, а также производства работ в зимнее время	Производство работ только "насухо", тщательная планировка откосов и устройство подготовки	Для крепления откосов при высоте волны до 3 м, при производстве работ "насухо" на сравнительно прямолинейных участках
Асфальтобетонное покрытие покрытие толщиной 6...8 см на однослойной или двухслойной подготовке, укладываемое на откос в горячем состоянии	Высокая пластичность. Водонепроницаемость покрытия, быстрое твердение при производстве работ. Возможность механизации трудоемких процессов	Возможность механизированной укладки только на пологих откосах. Трудность уплотнения на откосах	При производстве работ "насухо", для покрытия пологих откосов в южных районах страны, а в отдельных случаях в районах с умеренным климатом
Тюфячные покрытия			
Тюфяки из железобетонных плит и блоков (покрытие состоит из отдельных железобетонных плит и блоков, соединенных между собой арматурными стержнями)	Гибкость покрытия. Возможность укладки на подводные откосы	Большая трудоемкость изготовления тюфяков. Укладка на откос возможна только с помощью специальных стапелей или кранов большой грузоподъемности. Необходимость изоляции соединительной арматуры или применения нержавеющей стали	Для защиты откосов и дна от размыва течением, подверженных местным осадкам. пучению
Асфальтобетонные тюфяки и маты	Гибкость, водонепроницаемость. Возможность укладки на подводные откосы и дно	Недостаточная плотность покрытий в районах с суровым климатом. Необходимость применения стапелей или кранов большой грузоподъемности. Малая сопротивляемость взвешивающему давлению при воздействии волны	Для защиты подводных откосов в основном от воздействия течения в районах с умеренными климатическими условиями
Каменное мощение откосов	Простота ремонта в надводной части. Достаточная долговечность при правильном подборе массы камня и материала обратного фильтра	Необходимость применения ручного труда. Конструкция подвержена разрушению в зоне льда или ледохода	Для крепления откосов "насухо", при незначительных волновых и ледовых нагрузках и небольшом объеме крепления
Каменная наброска (наброска камня слоем от 0,4 до 1 м на слое обратного фильтра)	Простота исполнения и ремонта. Возможность применения на всех грунтах основания (крепление следует за деформацией основания) и комплексной механизации работ при возведении	Подвергается разрушению от воздействия припая льда при подъеме и снижении уровня воды. Ограниченность применения в зависимости от высоты волны, значительный расход камня	Для защиты подводных и надводных откосов при производстве работ "в воду" при высоте волны не более 2 м в районах со сравнительно невысокой стоимостью камня, а также для защиты откосов каналов, сложенных мелкозернистыми и плывунными

Продолжение

Тип крепления	Достоинства	Недостатки	Условия применения
			грунтами. При креплении каменной наброской русло канала защищается от зарастания и от землеройных животных. Применяют только вне зоны населенных пунктов
Наброска камня в железобетонные ящики типа "Волго-Балт"	Простота исполнения, гибкость покрытия, возможность механизации строительных работ и производства работ в любое время года. Хорошо гасит волну	Большой расход камня. Подверженность разрушению от воздействия припая льда при подъеме и снижении уровня воды	Для защиты при производстве работ "насухо" надводных откосов в районах со сравнительно невысокой стоимостью камня, при отсутствии колебаний уровня воды в зимнее время. Применение вне населенных пунктов
Гравийные или щебеночные отсыпки	Невысокая стоимость, простота строительных и ремонтных работ	Не применяют на ответственных сооружениях	Для закрепления откосов малоответственных сооружений, а также для срочной защиты берегов от размыва в районах, богатых галькой и гравием
Хворостяные и каменные защитные тюфяки. Хворостяной тюфяк, камышитовый ковер, пригруженный камнем	Гибкость покрытия. Возможность использования местных строительных материалов. Сравнительно невысокая стоимость. Возможность укладки в зимнее время со льда с использованием средств механизации	В зоне колебания уровня воды тюфяки подвержены гниению. Применение ручного труда	Для защиты подводных откосов от размыва течением, а также в качестве подстилающего слоя под каменную наброску в районах, богатых хворостом или камышом
Посадка кустарников и посев трав (биологическая защита)	Возможность использования местных материалов. Долговечность	Необходимость ухода за растениями в первые годы эксплуатации	Для защиты затапливаемых откосов от разрушения под воздействием течения

Тип облицовки можно выбрать, используя ориентировочные значения КПД облицованных каналов, полученные при их эксплуатации:

Тип облицовок	КПД облицованного канала
Бетонные и железобетонные	0,91...0,96
Бетонопленочные	0,96...0,98
Грунтопленочные	0,98...0,99
Асфальтобетонные	0,95...0,97

Некоторые типы креплений и рекомендуемые области их применения приведены в таблице 2.

МАТЕРИАЛЫ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Для устройства защитных покрытий (противофильтрационных и берегозащитных) применяют следующие материалы и конструктивные элементы: монолитный бетон; сборные железобетонные плиты; полиэтиленовую стабилизированную пленку; защитные прокладки из толя, рубероида и др.; асфальтобетон и асфальтополимербетон; герметизирующие материалы и элементы; каменно-щебеночные материалы.

Для монолитных бетонных облицовок каналов применяют бетон гидротехнический, удовлетворяющий требованиям ГОСТа по прочности, водонепроницаемости, морозостойкости, водо- и коррозийной стойкости. Эти требования обеспечиваются при выполнении следующего комплекса мероприятий: использование определенных видов высококачественных цементов и заполнителей, составов бетона, включающих пластифицирующие воздухововлекающие и комплексные добавки; точное выполнение всех технологических процессов при строительстве облицовок.

Для повышения морозостойкости и долговечности монолитных облицовок применяют низкоалюминатные и сульфатостойкие портландцементы (ГОСТ 22266–76) с удельной поверхностью не более 3500 $см^2/г$ (по прибору ПСХ-4) с нормальной густотой цементного теста не более 28 % и с началом схватывания не ранее 1,5...2 ч.

Для снижения водопотребности бетонной смеси применяют крупно- и среднезернистые пески (ГОСТ 10268–80, 8736–77, 4797–69) с модулем крупности не менее 2, для создания лучшего воздухововлечения – в качестве добавок пески с крупностью зерен от 0,63 до 1,25 мм.

Состав крупных заполнителей бетонной смеси (щебня, щебня из

гравия и гравия из плотных пород) подбирают по ГОСТ 10268–80, 10260–82 экспериментально при наибольшей плотности. Максимальная фракция крупного заполнителя должна составлять не более трети толщины облицовки.

Крупный заполнитель (до 20 мм) разделяют на две фракции: 5...10 мм (35...45 %) и 10...20 мм (55...65 %), а при крупности до 40 мм – на три фракции: 5...10 мм (25...30 %), 10...20 мм (20...30 %), 20...40 мм (40...55 %).

Число фракций заполнителя уточняют по ГОСТ 4797–69. Применение гравийно-песчаной смеси или щебня (гравия) допускается после переработки и разделения их на фракции (ГОСТ 10268–70).

В состав бетонной смеси для монолитных облицовок каналов обязательно вводят добавки поверхностно-активных веществ (ПАВ), обеспечивающих пластификацию бетонной смеси, а также необходимые показатели морозостойкости, плотности и трещиностойкости бетона.

Основные химические добавки в бетон снижают расход цемента и улучшают свойства бетонной смеси.

Рекомендуемые химические добавки в бетон (% массы цемента в расчете на 100 % сухого вещества добавки) приведены ниже.

Пластифицирующие и пластифицирующие воздухововлекающие	
СДБ, УПБ	0,1...0,3
ВЛХК, ГКЖ-10, ГКЖ-11, НЧК, КЧНР	0,05...0,2
ВРП-1	0,005...0,03
ПАШ-1	0,1...0,8
Воздухововлекающие и газообразующие	
СНВ, СПД, ЦНИИПС-1, СДО, С, ОП	0,005...0,035
ГКЖ-94	0,03...0,1
ПАК	0,01...0,03
Ускорители твердения и ингибиторы коррозии стали	
СН, $НН_1$, ХК, С-85	0,5...0,2
НК, ННХК	1,5...3
НН, ННК	2...3

Так, добавка суперпластификатора С-3 в количестве 0,2...1 % массы цемента позволяет получать литые самоуплотняющиеся, практически не требующие вибрации бетонные смеси, а при снижении содержания воды — бетоны повышенной прочности при неизменной подвижности смеси.

Пластифицирующие или пластифицирующие воздухововлекающие добавки применяют для снижения начального содержания воды, уменьшения расхода цемента, удобоукладываемости и однородности смеси, повышения водонепроницаемости, морозостойкости, трещиностойкости, прочности бетона (всех видов).

Воздухововлекающие добавки вводят в бетон с целью улучшения однородности, связности и удобоукладываемости бетонной смеси, повышения морозостойкости, трещиностойкости и водонепроницаемости бетона с маркой по морозостойкости F150 и выше.

Ускорители твердения цемента служат для нейтрализации замедляющего действия ПАВ на процесс его гидратации и повышения плотности бетона, а также для ускорения твердения бетона при снижении положительной температуры.

Противоморозные добавки используют в комплексе с пластифицирующими воздухововлекающими или воздухововлекающими добавками для сохранения жидкой фазы бетона при отрицательной температуре окружающей среды. Рекомендуемые индивидуальные и комплексные добавки с учетом условий производства работ и твердения бетона приведены ниже.

Конструкция и условия твердения бетона	Индивидуальные и комплексные добавки
Монолитная (обычные, летние)	СДБ, ПАЩ-1, ВРП-1, СДБ+СНВ, СДБ+СДП, ПАЩ-1+СНВ, ПАЩ-1+СПД, ВРП-1+СНВ, ВРП-1+СПД
Монолитная (сухой жаркий климат)	СДБ, ГКЖ-10, ГКЖ-11, М, СДБ+ГКА, -10, СДБ+ГКЖ-11, СДБ+М, , СДБ+М, ГКЖ-10+М, ВРП-1+СНВ, ВРП-1+СПД, ВРП-1+ГКЖ-10, ВРП-1+ГКЖ-11, СДБ+СНВ, СДБ+СПД, СДБ+НК, СДБ+ННК
Монолитная (зимние)	ПАЩ-1+НК+М, ПАЩ-1+НКМ, ПАЩ-1+СПД+НКМ, ПАЩ-1+СНВ-НКМ, аммиачная вода
Сборная (тепловая обработка)	ПАЩ-1, ВРП-1, СДБ+СНВ+НК, СДБ+СПД+НК, СДБ+СНВ+ННК, СДБ+СПД+ННК, ПАЩ-1+СНВ, ПАЩ-1+СПД, ВРП-1+СНВ, ВРП-1+СПД, СДБ+НК, СДБ+ННК

Конкретную добавку из числа добавок одного вида выбирают на основании технико-экономического сравнения возможных вариантов с учетом их наличия.

Бетонная смесь, применяемая для монолитных бетонных, железобетонных и бетонопленочных облицовок каналов, должна быть однородной по своему составу; иметь водоцементное отношение (В : Ц) 0,50...0,55; обеспечивать максимально возможную плотность и однородность за счет своей подвижности; иметь показатели подвижности и жесткости в момент усадки, соответствующие заданным; иметь 3...5 % объема вовлеченного воздуха.

При использовании пластифицирующих добавок воды требуется на 2...4 % меньше при одной и той же подвижности по сравнению с

бетоном без добавок, что снижает расход цемента до 10 % на 1 м³ бетона.

Армированное монолитное бетонное покрытие устраивают на средних и крупных каналах с неоднородным грунтом по глубине и на участках в полувыемке и полунасыпи. Бетон в этом случае укладывают после установки арматурной сетки или стальной арматуры периодического профиля диаметром 5...12 мм (расстояние между стержнями 15...30 см).

Для армирования железобетонных конструкций гидротехнических сооружений без предварительного напряжения применяют стержневую горячекатаную гладкую и периодического профиля арматуру и обыкновенную холоднотянутую арматурную проволоку периодического профиля.

Для закладных деталей и соединительных накладок, как правило, применяют прокатную углеродистую сталь.

Основные показатели арматурных сталей, применяемых в гидротехнических железобетонных конструкциях, приведены в таблице 3.

3. Основные показатели арматурных сталей

Арматура	Класс арматуры	Марка стали	Диаметр, мм
Стержневая горячекатаная гладкая	А-I	Ст3сп3	6...40
		ВСт3сп2	6...40
		ВСт3пс2	6...40
		ВСт3кп2	6...40
		ВСтГпс2	6...18
Стержневая горячекатаная периодического профиля	А-II	ВСт5сп2	10...40
		ВСт5пс2	10...16
		ВСт5пс2	18...40
	А-III	35ГС	6...8
		35ГС	10...10
		25Г2С	6...8
		25Г2С	10...40
Обыкновенная арматурная проволока периодического профиля	Вр-I	–	3...5

Сборные железобетонные покрытия каналов позволяют повысить темпы строительства, способствуют максимальной индустриализации и механизации строительного процесса и обеспечивают необходимую прочность облицовки. В качестве конструктивных элементов сборных железобетонных покрытий применяют железобетонные плиты (см. табл. 3), а сборного защитного покрытия – предварительно напряженные железобетонные плиты НПК размером 6 × 1 × 0,06; 6 × × 1,5 × 0,06 и 6 × 2 × 0,06 м, сборные железобетонные плиты с выпус-

4. Технико-экономические показатели и типоразмеры сборных железобетонных плит

Марка плиты	Размеры, мм			Воздействия			Стоимость плиты (числитель) и 1 м² (знаменатель), р.
	длина	ширина	толщина	гидростатические	гидродинамические	ледовые	
Укрупроводхоз ТП 3.820-11							
ПК-30-5а	3000	500	60	3	0,5	–	12/8
ПК-30-20а	3000	2000	60	3	0,5	–	40/6,6
ПК-30-15	3000	1500	80	3	0,5	–	30,3/6,75
ПК-30-20	3000	2000	80	3	0,5	–	29,2/6,53
ПК-30-25	3000	2500	80	3	0,5	–	48/6,4
ПКУ-30-15	3000	1500	100	5	1,0	0,8	47,6/10,6
ПКУ-30-20	3000	2000	100	5	1,0	0,8	61,6/10,25
ПКУ-30-25	3000	2500	100	5	1,0	0,8	76,7/10,2
ПКУ-40-20	4000	2000	60	3	0,5	–	55/6,9
НПК-50-20	5000	2000	60	3	0,5	–	69/6,9
НПК-60-10	6000	1000	60	3	0,5	–	36,2/6,03
НПК-60-15	6000	1500	60	3	0,5	–	54,3/6,03
НПК-60-20	6000	2000	60	3	0,5	–	71,7/6
Ленгипроводхоз ТП 3.820-15 (применяют при сильно сжимаемом грунте основания)							
ПКО-10	4000	2000	100	15	1,0...1,2	0,4	–
ПКО-12	4000	2000	120	15	1,2	0,6	–
ПКО-15	4000	2000	150	15	1,5	0,8	–
ПКП-15	4000	2000	150	15	1,0	0,6	–

Продолжение

Марка плиты	Размеры, мм			Воздействия			Стоимость плиты (числитель) и 1 м³ (знаменатель), р.
	длина	ширина	толщина	гидростатические	гидродинамические	ледовые	
			Гипроречтранс ТП 3.505-2				
ПО-1-10	3000	2500	100	–	1,0	0,4...0,8	–/7,56
ПО-1-12	3000	2500	120	–	1,5	0,5...0,9	–/8,95
ПО-2-10	1500	2500	100	–	1,0	0,4...0,8	–/7,56
ПО-2-12	1500	2500	120	–	1,5	0,5...0,9	–/8,95
ПОН-1-10	3500	2500	100	–	1,5	0,6...0,8	–/7,79
ПОН-2-10	3000	2500	100	–	1,5	0,6...0,8	–/8,11
ПОН-3-10	1750	2500	100	–	1,5	0,6...0,8	–/7,79
ПОН-4-10	1500	2500	100	–	1,5	0,6...0,8	–/8,11
			Союзводпроект ЗЖБИ-6, г. Саратов				
НПВК	6000	2740	80	1	1,0	0,8	117,22/7,64

5. Основные показатели полимерных материалов, применяемых для противофильтрационных покрытий

Материал	Толщина, мм	Ширина, м	Прочность при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Морозостойкость, °С
		Пленочные			
Полиэтиленовая пленка	0,2...0,4	1,5...8	13,7...14,7	450	–60
Поливинилхлоридная пленка для мелиорации и водного хозяйства	0,25; 0,5; 0,7	1,35	13,7...14,7	260...270	–30
		Листовые			
Бутилкор-С (БК)	1,6; 2	0,8...1,2	2	350...850	–40
Полимерный материал из композиций на основе полиолефинов	1...2	1,4	5	600	–40
Армобитэп (БП)	3,5...5	1	–	–	–30
СГ-1, СГ-2 (БП)	1...2	1	15	6	–40
Бронеизол (БП)	8...10	0,9...1	4	–	–

Примечание. БК – бутилкаучуковый материал, БП – битумно-полимерный.

ком арматуры размером 3 × 2 × 0,1 м, вибропрокатные толщиной 0,08 м и другие плиты (табл. 4).

Плиты НПК и ПК применяют для строительства каналов с глубиной воды до 3 м при максимальной высоте волны 0,5 м, толщине льда 0,5 м, а ПКУ – соответственно 3...5 м, не более 1 м и 0,8 м.

Для изготовления сборных железобетонных плит используют тяжелые бетоны, удовлетворяющие требованиям проекта по прочности, водонепроницаемости, морозостойкости, водо- и коррозийной стойкости.

Для предварительно напряженных конструкций применяют проектные классы бетона по прочности на сжатие не менее В30 для конструкций со стержневой арматурой и не менее В40 для конструкций с высокопрочной арматурной проволокой, а для бетонов сборных железобетонных конструкций – низко- и среднеалюминатный портландцемент классов В40 и В50.

В качестве мелких заполнителей используют природные кварцевые или полевошпатовые пески и пески, получаемые дроблением плотных морозостойких горных пород до крупности не более 5 мм, крупных – щебень из твердых плотных черных пород и щебень из гравия в соответствии с требованиями ГОСТ 4797 – 69.

Арматура для изготовления обычных и предварительно напряженных железобетонных конструкций должна удовлетворять требованиям СНиП. При проектировании бетонных и железобетонных противофильтрационных облицовок в большинстве случаев под бетонным слоем предусматривают гравийные, щебеночные или гравийно-песчаные подготовки толщиной 10...30 см.

Основные виды и показатели пленочных и листовых полимерных материалов, используемых для противофильтрационных покрытий, приведены в таблице 5.

Для противофильтрационных покрытий наиболее широко в СССР применяют полиэтиленовую пленку, стабилизированную сажей. Остальные полимерные материалы – поливинилхлоридную пленку, бутилкаучуковые и битумно-полимерные листы – у нас в стране пока применяют лишь в опытном порядке.

Следует отметить, что в качестве листового полимерного материала перспективно применение бутилкаучукового безосновного материала – бутилкора-С и полимерного материала из композиций на основе полиолефинов.

Для предохранения пленки от повреждений сборные железобетонные плиты укладывают на защитные прокладки из толя, рубероида и пергамина (табл. 6).

Толь – кровельный и гидроизоляционный материал, получаемый путем пропитки кровельного картона каменноугольными или сланцевыми дегтевыми продуктами. Кровельный картон в зависимости

6. Физико-механические характеристики защитных рулонных материалов

Материал и марка	Основа	Общая площадь рулона, м²	Масса рулона, кг
Толь:			
ТКП-350	Картон кровельный		26
ТКП-400	То же	15 ± 0,5	28
ТГ-300	"		22
ТГ-350	"		24
Рубероид:	Картон:		
РКК-500А	А-500		29
РКК-400А	А-400	7,5 ± 0,5	27
РКК-400Б	Б-400		25
РКК-400В	В-400		24
РКМ-350Б	Б-350	10 ± 0,5	27
РКМ-350В	В-350		25
РПМ-300А	А-300		24
РПМ-300Б	Б-300		22
РПМ-300В	В-300		22
РПП-350Б	Б-350	15 ± 0,5	30
РПП-350В	В-350		27
РПП-300А	А-300		27
РПП-300Б	Б-300		23
РПП-300В	В-300		22
Пергамин:			
П-300	Картон кровельный	40 ± 0,5	26
П-350	То же	20 ± 0,5	13

от вида минеральной насыпи и массы 1 м² выпускают четырех марок с крупнозернистой (ТКК) и песочной (ТП) посыпкой. Толь гидроизоляционный (ТГ) имеет защитный слой мелкозернистой минеральной посыпки.

Рубероид – пропитанный мягкими нефтяными битумами кровельный картон с последующим нанесением на обе стороны его тугоплавкого нефтяного битума с наполнителем и насыпки. Выпускают рубероид кровельный с крупнозернистой (РКК) и мелкозернистой (РКМ) насыпками, а также подкладочный, используемый для гидроизоляции конструкций и устройства нижних слоев кровельного ковра с мелкозернистой (РПМ) и пылевидной (РПП) насыпками.

Пергамин – беспокровный рулонный материал, выпускают двух марок – П-300 и П-350.

В качестве защитных прокладок пленочных экранов используют толь марки ТГ, рубероид марок РКМ и РПП и пергамин марок П-300 и П-350.

В последнее время в качестве прокладок начали широко применять синтетические нетканые материалы (дорнит, фильнит), а также нетканно-волокнистый материал для гидрофильтров.

НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОКРЫТИЯ

На все виды защитных покрытий действуют следующие нагрузки: гидростатическое давление воды, противодавление воды, гидродинамическое давление воды, волновые нагрузки, ледовые нагрузки.

Покрытия также могут подвергаться температурным, химическим, биологическим, механическим воздействиям и деформациям грунтов основания.

В данной работе не рассмотрены специфические нагрузки, связанные, например, с воздействием судовых волн, так как они достаточно подробно освещены в специальной литературе.

Воздействие ветровых волн на откосы канала может разрушить защитные покрытия, особенно на вогнутых берегах в местах поворотов каналов. Поэтому необходимо в каждом конкретном случае проводить расчет креплений откосов канала на участках, где его ось искривлена и волнение претерпевает трансформацию из-за отклонения луча волны от первоначального направления.

В ходе расчета определяют: исходные параметры ветровых волн; деформацию волн на откосе при их фронтальном подходе к нему ($\alpha_0 = 0$); воздействие ветровых волн на откосы прямолинейного участка канала до поворота, на откос вогнутого берега в месте поворота канала и прямолинейной части канала после поворота; границы креплений откосов канала.

При расчете исходных параметров ветровых волн среднюю высоту волны h_d рассчитывают по формуле

$$h_d = 0{,}1\sqrt{25h_1^2 + 21(h_2^2 + h_2^2) + 13(h_3^2 - h_3^2) + (h_4^2 - h_4^2)}, \qquad (4)$$

где h – средняя высота волны, которую принимают согласно графику (рис. 1 в приложении 1, СНиП 2.06.04–82) по расчетной скорости ветра V_w и проекциям лучей Z_n на направление главного луча, совпадающего с направлением ветра, $n = 1, \pm 2, \pm 3, \pm 4$.

Лучи проводят из расчетной точки до пересечения с линией берега в направлениях $\pm 22{,}5^\circ$ от главного луча.

В каналах расстояния от оси до противоположных берегов одинаковы, поэтому формула (4) упрощается:

$$h_d = 0{,}1\sqrt{25h_1^2 + 21 \cdot 2h_2^2 + 13 \cdot 2h_3^2 + 3{,}5 \cdot 2 \cdot h_4^2}. \qquad (5)$$

В соответствии с СНиП 2.06.04–82 по безразмерной величине gh_d / V^2 определяют $g\tau / V$ и τ – средний период волн.

Для сооружений с откосами, укрепленными каменной наброской, элементы волн рассчитывают (СНиП 2.06.04–82) при обеспеченности высоты волн $< 2\,\%$ по формуле

$$h_{2\%} = K_t K_r K_f K_i h_d . \qquad (6)$$

где K_t – коэффициент трансформации, принимаемый по СНиП 2.06.04–82; K_r – коэффициент рефракции; K_f – обобщенный коэффициент потерь, принимаемый в зависимости от уклона дна i и относительной глубины $d / \bar{\lambda}$; K_i – коэффициент обеспеченности высоты волны.

Среднюю длину волн $\bar{\lambda}_d$ при известном $\bar{T}$ вычисляют по формуле

$$\bar{\lambda}_d = g\bar{T}^2 / 2\pi . \qquad (7)$$

Деформацию волны на откосе при ее фронтальном подходе к нему определяют для заданных уклонов дна i путем расчета критической глубины h_{cr} по СНиП 2.06.04–82 без учета рефракции, при этом в зависимости от безразмерной величины $d / \bar{\lambda}_d$ принимают значение $h_{cr1\%}/\bar{s}^3$ и соответственно $h_{cr1\%}$.

Воздействие ветровых волн на откосы прямолинейного участка канала до поворота определяют для луча волны, идущего над границей дна и откоса до линии обрушения волн, при этом траекторию луча волны при ее рефракции рассчитывают по формуле В. В. Шулейкина.

Воздействие ветровых волн на откос вогнутого берега в месте поворота канала определяют расчетом трансформации волн так же, как и на прямолинейном участке, а элементов волн – по СНиП 2.06.04–82. Отличие состоит в том, что на криволинейных участках луч подходит к последующей (n-й) изобате не под углом $\alpha_n = \alpha_{n-1} = \Delta\alpha$, а с добавлением к этому углу поправки на поворот. Вычисление этой поправки сложно, поэтому угол подхода к изобате удобнее снимать с рабочего чертежа в ходе расчета.

Прямолинейный участок за поворотом канала рассчитывают так же, как прямолинейный до поворота, учитывая новую длину разгона волны и скорость ветра.

Если волны выходят на откос вогнутой части канала не всем фронтом, то необходимо рассчитывать их трансформацию на прямолинейной части за поворотом.

Верхнюю границу крепления откосов канала принимают по высоте наката волн при максимальном уровне воды в канале.

Нагрузки от воздействия льда на берега крупных каналов, принимаемые по предельным разрушающим усилиям для льда, определяют

по исходным данным ледовой обстановки в районе сооружения в период наибольшего ледового воздействия.

Силы от воздействия ледяного поля на сооружение откосного профиля определяют по формулам:

горизонтальную составляющую силы F_h (МН) как наименьшее из значений, полученных по формулам

$$F_{в,w} = 0{,}5 R_c B h_d; \tag{8}$$

$$F_h = 0{,}1 B m_t R_f h_d^2; \tag{9}$$

вертикальную составляющую силы F_v (МН)

$$F_v = F_h / m_t. \tag{10}$$

где $F_{в,w}$ – сила от воздействия движущихся ледяных полей для секции сооружения при разрушении льда, МН; R_c – нормативное сопротивление льда сжатию, определяемое по опытным данным или при их отсутствии по СНиП 2.06.04–82, МПа; B – ширина сооружения по фронту секции на уровне действия льда, м; h_d – расчетная толщина льда, принимаемая для реки 0,8 максимальной за зимний период обеспеченностью 1 %, м; m_t – табличный коэффициент, определяемый по СНиП 2.06.04–82; R_f – нормативное сопротивление льда, определяемое по формуле (точку приложения равнодействующей необходимо принимать ниже расчетного уровня на $0{,}3 h_d$), МПа

$$R_f = 0{,}75 R_c. \tag{11}$$

При строительстве противофильтрационных и берегоукрепительных защит на каналах, проходящих в пылеватых суглинистых грунтах, при близком залегании уровня грунтовых вод (2 м) рекомендуется применять противопучинистую подготовку ("шубу" из песчано-гравийного материала, битумно-минеральной смеси, пенопласта, шлака и пр.), толщину которой рассчитывают по методике, приведенной ниже (Алимов, 1986).

Согласно расчетной схеме (рис. 1), изгибающий момент в критическом сечении облицовки равен алгебраической сумме моментов от действия сил морозного пучения подстилающих грунтов и веса облицовки совместно с противопучинистой "шубой":

$$M_{изг} = \left\{ \sigma_н [0{,}66 b_э + 0{,}33 m(\Delta H + t_п)] h'_п - 0{,}00005 [(\Delta H \sqrt{1 + m^2} + \right.$$

$$\left. + b_э (t_б \gamma_б + t_ш \gamma_ш) \right\} \frac{1}{2} (m \Delta H + b_э). \tag{12}$$

$\sigma_н$ – нормативное нормальное давление морозного пучения, создаваемое 1 см промороженного слоя грунта, принимаемое на основании опытных данных,

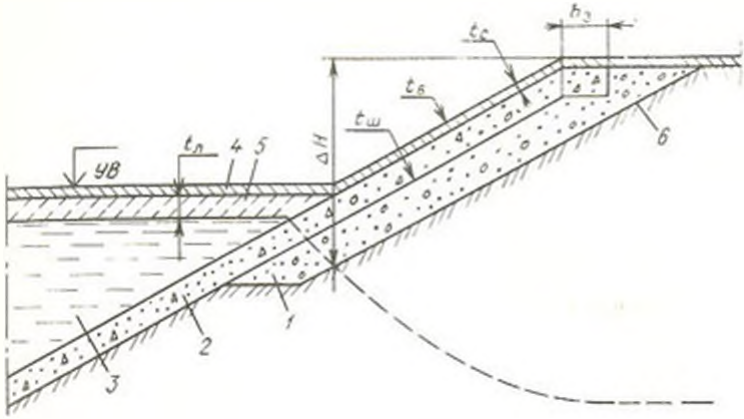


Рис. 1. Схема к расчету конструкции противофильтрационной одежды при морозном пучении подстилающих грунтов в условиях зимней эксплуатации канала:

1 – гравийно-песчаная подготовка; *2* – бетонная облицовка канала; *3* – вода, транспортируемая по каналу; *4* – снежный покров; *5* – ледяной покров; *6* – подстилающий грунт

КПа/см; b_3 – ширина заплечика облицовки на дамбе канала, см; m – заложение откоса канала; ΔH – превышение верхней границы крепления над эксплуатационным уровнем воды в канале, см; $t_л$ – толщина ледяного покрова в регионе строительства заданной обеспеченности (в %), см; $h_п$ – глубина промерзания грунтов на откосе с одеждой, см, $h_п = h_п - (t_c/\lambda_c + t_б/\lambda_б + t_ш/\lambda_ш)$ ($h_п$ – глубина промерзания грунтов заданной обеспеченности (в %) без покрытия, см; λ_c, $\lambda_б$, $\lambda_ш$ – коэффициенты теплопроводности соответственно снега, бетона, противопучинистого слоя "шубы", Вт/(м · К); t_c – минимальная толщина сложившегося снежного покрова, см; $t_б$ – толщина бетонного покрытия канала, см; $t_ш$ – толщина противопучинистого слоя "шубы" – песчано-гравийный материал, битумно-минеральная смесь, пенопласт, шлак и пр., см); $\gamma_б$ – плотность бетона, кг/м³; $\gamma_ш$ – плотность противопучинистого слоя "шубы", кг/м³.

Для обеспечения целостности противофильтрационных и берегозащитных облицовок из монолитного бетона, железобетона и сборных предварительно напряженных железобетонных плит необходимо: $M_{изг} \leqslant M_б$; $M_{изг} \leqslant M_{жб}$; $M_{изг} \leqslant M_{жб}$; $M_{изг} \leqslant M_{н.жб}$, где $M_б$, $M_{жб}$ и $M_{н.жб}$ – допустимые изгибающие моменты соответственно для облицовок бетонной, железобетонной и сборной из предварительно напряженных плит.

Толщину противопучинистой "шубы" под облицовками каналов в период зимней эксплуатации определяют по формуле

$$t_{ш} = \frac{A\,|\,h_{п} - (t_{с}/\lambda_{с} + t_{б}/\lambda_{б})\,\lambda_{г}\,|\,- B t_{б}\gamma_{б} - C_{1}}{A\,(\lambda_{г}/\lambda_{ш}) + B\gamma_{ш}}, \qquad (13)$$

где $\lambda_{г}$ – коэффициент теплопроводности грунта; A, B – эмпирические коэффициенты:

$$A = \alpha_{н}\,|\,0.66\,b_{э} + 0.33\,m\,(\Delta H + t_{п})\,|;$$

$$B = 0{,}00005\,(\Delta H\sqrt{1 + m^{2}} + b_{э});$$

C_{1} – эмпирический коэффициент, зависящий от типа облицовки:
для монолитной бетонной

$$C_{1} = \frac{0{,}234\,R_{р}\,t_{б}^{2}}{m\Delta H + b_{э}};$$

для монолитной железобетонной

$$C_{2} = \frac{0{,}52\,\mu_{н}R_{а} + t_{б}^{2}}{m\Delta H + b_{э}},$$

для сборной из предварительно напряженных плит

$$C_{3} = \frac{0{,}81\,t_{б}^{2}}{m\Delta H + b_{э}}\,(\mu_{п}R_{а}^{'} + \mu_{н}R_{а})\,(1 - 0{,}65\,\frac{\mu_{н}R_{а} + \mu_{п}R_{а}}{R_{пр}}),$$

где $R_{р}$ – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению для предельных состояний первой группы, кПа; $\mu_{н}$ – коэффициент армирования; $R_{а}$ – расчетное сопротивление арматуры растяжению для предельных состояний первой группы, кПа; $R_{а}^{'}$ – предварительное напряжение в напрягаемой арматуре, кПа; $R_{пр}$ – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы, кПа.

КОНСТРУКЦИИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ И БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ МОНОЛИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Технические характеристики бетона (прочность на сжатие, водонепроницаемость, морозостойкость) позволяют создавать долговечные покрытия. Физико-механические свойства бетона зависят от

природных факторов. Класс бетона по морозостойкости назначают по таблице 7.

7. Марки гидротехнического бетона по морозостойкости для различных климатических условий

Климатические условия	Число циклов попеременного замораживания и оттаивания					
	до 50	50...75	75...100	100...150	150...200	более 200
Умеренные	F50	F100	F150	F200	F300	F400
Суровые	F100	F150	F200	F300	F400	F500
Особо суровые	F150	F200	F300	F400	F500	F600

Предварительно класс бетона по прочности на сжатие, морозостойкости и водонепроницаемости выбирают по таблице 8.

8. Прочностные характеристики бетона в зависимости от класса

Прочность	Возраст бетона, сут	Класс бетона		
На сжатие	180	B15	B20	B30
На морозостойкость	28	F100	F150	F300
На водонепроницаемость	180	W4	W6	W12

Для обеспечения водостойкости защитных конструкций класс бетона по водонепроницаемости принимают не ниже W4.

Долговечность гидротехнического бетона, как показала практика строительства, составляет от 50 до 100 лет. Однако жесткость и относительно небольшая прочность его на растяжение требуют при разработке конструкций бетонных покрытий учета реальных условий их строительства и эксплуатации.

В то же время следует учитывать сравнительно высокую материалоемкость конструкций из бетона, трудоемкость и энергоемкость технологического процесса возведения бетонных облицовок и, как следствие, необходимость максимальной механизации всего технологического цикла: подготовки основания, укладки бетона, ухода за ним, устройства швов.

Бетонная или железобетонная монолитная облицовка — плита, разрезанная температурно-усадочными или температурно-деформационными швами на конструктивно-технологические карты. Толщина облицовок ирригационных каналов зависит от их назначения, размеров, условий эксплуатации и принимают ее от 10 до 20 см (табл. 9).

9. Рекомендуемые толщины бетонной облицовки каналов

Пропускная способность, $м^3/с$	Ширина по дну, м	Глубина, м	Толщина облицовки, м
0...5	0,3...1,5	0,3...2	0,08...0,10
5...100	1,5...10	1,5...4	0,10...0,12
100...1000	10...100	5...15	0,12...0,20

Расстояние между швами делают тем больше, чем больше толщина облицовки. Так, при толщине бетона 10...15 см расстояние между швами принимают 3...4 м, при толщине 15...20 см – 4...6 м.

Определяют его из условий исключения появления трещин при температурных перепадах, попеременном увлажнении и высыхании, замораживании и оттаивании.

Причина образования трещин в бетоне – возникновение растягивающих напряжений, превышающих предел прочности бетона на растяжение. В зависимости от перепадов температуры и усадки облицовки в незатопленном водой канале он составляет

$$\sigma_р = E[\alpha_т \Delta t + \alpha_{ус}], \qquad (14)$$

а при разбухании после затопления водой

$$\sigma_р = E[\alpha_т \Delta t + \alpha_{ус} - \alpha_р], \qquad (15)$$

где E – модуль упругости при растяжении бетона; Δt – перепад температур; $\alpha_{ус}$ – коэффициент усадки бетона; $\alpha_т$ – коэффициент температурного расширения бетона; $\alpha_р$ – коэффициент разбухания бетона.

Из этих условий в зависимости от толщины облицовки, класса бетона и других факторов находят расстояние между деформационными швами по формуле

$$l_д = \frac{0{,}2\,\delta R_р}{K(\delta \rho_б + H\rho_в) f}, \qquad (16)$$

где δ – толщина облицовки, м; $R_р$ – класс бетона при осевом растяжении, МПа; K – коэффициент, учитывающий неравномерность сопротивления облицовки сдвигу по ее длине; $\rho_б$ – плотность бетона, $т/м^3$; H – разность давлений воды по обе стороны облицовки, м; $\rho_в$ – плотность воды, $т/м^3$; f – коэффициент трения облицовки по грунту.

При проектировании и строительстве облицовок каналов необходимо учитывать возможные деформации грунтов: пучения от морозов, разуплотнения, набухания; просадочные и послепросадочные.

Учитывая, что деформации пучения, набухания и просадки зависят от водонасыщения грунтов, при проектировании используют водонепроницаемые облицовки, исключающие недопустимое увлажнение грунтов, или облицовки относительно водопроницаемые, но устойчивые к деформациям.

В первом случае устраивают усиленные монолитные облицовки с гидроизоляционным слоем и со швами повышенной надежности; во втором – сравнительно гибкие конструкции: асфальтобетонные облицовки, сборные железобетонные со швами повышенной эластичности или в комбинации с пленочным экраном.

При проектировании и строительстве бетонных или железобетонных облицовок часто под бетонный слой закладывают подготовку: гравийную, щебеночную или гравийно-песчаную различной толщины (10...30 см).

Если необходимо снять противодавление, предотвратить суффозию и вынос грунта через щели и стыки облицовки, то подготовку укладывают в виде ленточных или сплошных фильтров. Однако такая конструкция является берегоукрепительной, но не противофильтрационной. Иногда подготовку из разнозернистой каменной смеси применяют по технологическим соображениям, исходя из удобства производства работ. Используют также песчаные и гравийно-песчаные подготовки с целью снижения деформаций грунта от набухания и пучения, но эффективность таких подготовок не определена. Отмечены случаи, когда облицовки, уложенные на подготовки, разрушались от пучения грунтов, причем иногда быстрее, чем облицовки без подготовок.

В автомобильных дорогах подготовки играют роль балласта, воспринимающего и распределяющего механические нагрузки. В каналах же таких нагрузок нет, поэтому при отсутствии значительных противодавлений и возможности исключения суффозии и вымыва грунта из-под облицовки (облицовка без зазоров и трещин) подготовка не требуется. Более того, в бетонных, железобетонных и асфальтобетонных облицовках применение фильтрующих подготовок для увеличения противофильтрационного эффекта и повышения надежности нежелательно. При плотном (без фильтрующей подготовки) контакте бетона с грунтом основания фильтрация через трещины, если они появляются, более локальна и ограничена (последнее наиболее характерно для слабофильтрующих грунтов).

При наличии дренирующего слоя (подготовки) проходящая через трещины вода более свободно растекается под облицовкой и с меньшим сопротивлением фильтрует в грунт.

Монолитные облицовки оросительных каналов (рис. 2) устраивают с применением как средств малой механизации и ручного труда (бетон подают крапово-бадейным способом, разравнивают вручную,

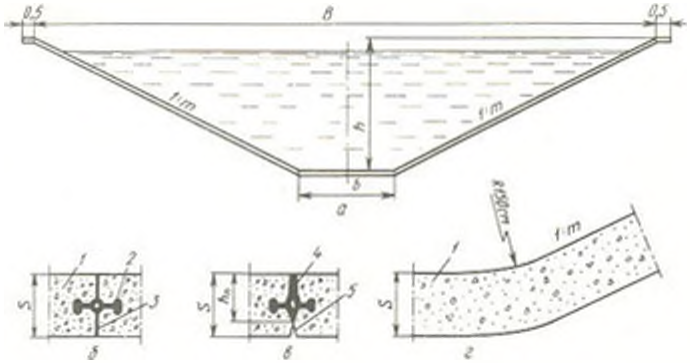


Рис. 2. Конструкция бетонной монолитной облицовки магистрального канала глубиной до 7 м:

а – поперечное сечение; *б* – строительный технологический шов; *в* – температурно-усадочный шов; *г* – сопряжение дна с откосом; *1* – бетон монолитный БГТ; *2* – герметизирующая плоская прокладка из ПВХ; *3* – битумная разделительная обмазка $t = 0{,}5...2$ мм; *4* – герметизирующая крестообразная прокладка из ПВХ; *5* – усадочная трещина; *S* – толщина бетонной облицовки, $S = 0{,}15...0{,}25$ м – принимают по расчету; $h_п$ – высота крестообразной прокладки

уплотняют глубинными и поверхностными вибраторами; швы устраивают, как правило, закладывая деревянные доски), так и бетоноукладочных машин (40 %).

Монолитные бетонные облицовки на Бортнической, Ингулецкой и Широковской оросительных системах, выполненные вручную, по водонепроницаемости и морозостойкости не уступают, а в некоторых случаях лучше, чем облицовки, выполненные бетоноукладчиком (по данным УкрНИИГиМ), что свидетельствует о несовершенстве бетоноукладочной техники.

Усадка бетона покрытия и опасность трещинообразования, а также тепловые деформации требуют устройства как поперечных, так и продольных швов.

Различают три типа швов: шов сжатия, образованный в результате естественной усадки бетона: положение шва регулируется специально ослабленной полостью в бетоне; шов расширения между прилегающими друг к другу плитами, способный воспринять температурные деформации расширения плит покрытия; рабочий (строительный) шов, образованный между ранее уложенным и новым бетоном покрытия из-за перерыва в работе или по технологическим причинам.

Как известно, во время схватывания вследствие усадки бетон сжимается. Величина усадки зависит от вида цемента, его количества, водоцементного отношения и других факторов. Если не предусмотреть в

бетонном покрытии швов сжатия, то в нем образуются беспорядочные усадочные трещины. После затвердевания бетон периодически при изменении температуры и влажности расширяется и сжимается. Поэтому при отсутствии зазоров плиты покрытия могут разрушиться.

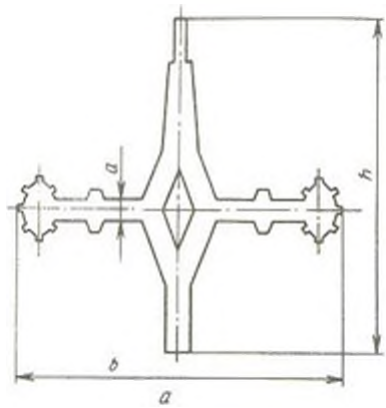
Традиционная схема устройства швов в бетонных облицовках каналов и дорожных покрытий – чередование швов расширения и сжатия, которые иногда называют "ложными". Расстояние между швами сжатия, как правило, принимают 3...5 м, расширения – 9...15 м.

Однако, как показывает опыт, при использовании современных механизированных методов непрерывной укладки бетонной смеси от устройства швов расширения можно отказаться и устраивать только швы сжатия с расстоянием 3...7 м в зависимости от толщины покрытия, свойств бетона и других условий.

В швах сжатия величина зазоров, образующихся вследствие усадки бетона, достаточна для последующей частичной или полной компенсации теплового расширения. "Организованные" швы сжатия – это пазы или прорези глубиной $^1/_6...^1/_3$ толщины бетона, устроенные в облицовке, как правило, в верхней зоне покрытия. Вместо устройства пазов, как показывает опыт, в бетон можно закладывать деревянные рейки, пластмассовые и другие прокладки.

Для предотвращения фильтрации воды через "ложные" швы-прорези их заполняют битумной мастикой или полимерным герметиком. Однако битумные мастики не отвечают современным требованиям, а каучуковые – дороги и дефицитны.

Устройство пазов или прорезей в процессе укладки бетона или после его схватывания имеет свои трудности. До последнего времени применяли механизированный способ формирования пазов ножом или роликом. Не-



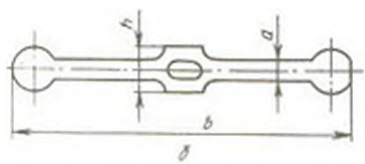


Рис. 3. Герметизирующие прокладки типа "констол" для устройства швов монолитных бетонных облицовок:

а – крестообразная марок ГП-140; ГП-150 и ГП-160; *б* – плоская марки ГП-265

достаток этих способов – нарушение структуры бетона в зоне шва, что приводит в процессе эксплуатации к преждевременному разрушению бетона в этой зоне.

Широкое применение нашел прогрессивный способ механизированного устройства деформационных швов – закладка герметизирующих профилей в "сырой" бетон одновременно с устройством монолитной облицовки и уплотнением бетона в зоне шва с помощью бетоноукладочной машины для строительства магистральных каналов производства фирмы "Рахко" (США).

При этом используют прокладку "констоп", имеющую крестообразную форму с замкнутой полостью (деформатором) в пересечении вертикальных и горизонтальных элементов (открылков) и с утолщениями по концам горизонтальных элементов. Вертикальные элементы служат для образования ослабленного сечения бетонного покрытия и определяют положение шва. Горизонтальные элементы – открылки с анкерными утолщениями – соединяют бетонные плиты и предотвращают фильтрацию воды через шов. Прокладки изготавливают методом непрерывного экструдирования из пластифицированного ПВХ. С 1976 г. начато производство отечественных герметизирующих прокладок типа "констоп" (рис. 3, табл. 10 и 11), аналогичных американским.

10. Герметизирующие прокладки типа "констоп" для устройства швов монолитных бетонных облицовок

Прокладка ПВХ	Марка	Размеры поперечного сечения, мм			Масса, кг
		высота	ширина	толщина	
Крестообразная	ГП-140	40	38	3	0,294
	ГП-150	50	38	3	0,334
	ГП-160	60	38	3	0,338
Плоская	ГП-265	65	65	2,5	0,300

11. Рекомендуемые марки прокладок типа "констоп" для различных толщин облицовок и видов швов

Толщина облицовки, см	Вид шва	Марка
10	Продольный	ГП-140
	Поперечный	ГП-140
15	Продольный	ГП-150
	Поперечный	ГП-140
20	Продольный	ГП-160
	Поперечный	ГП-150
	Строительный и межсменный	ГП-265

За 1976...1978 гг. в магистральные каналы Каховской и Комсомольской оросительных систем уложено около 800 тыс. м таких прокладок.

СБОРНЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

В последние два десятилетия по мере развития строительной индустрии в практике каналостроения на Украине, в Узбекистане, в Поволжье и других районах страны широкое применение нашли сборные облицовки. Железобетонные плиты позволяют повысить темпы строительства, максимально индустриализировать и механизировать строительный процесс, обеспечить необходимую прочность облицовки.

В настоящее время наиболее часто для облицовки каналов применяют предварительно напряженные армированные гладкие плиты типа НПК длиной 6 м, шириной 1; 1,5 и 2 м при толщине 6 см. Плиты экономичны, имеют относительно небольшое содержание арматуры (30... 40 кг на 1 $м^3$).

Несмотря на широкое применение, НПК имеют низкие морозостойкость и трещиностойкость бетона в поперечном сечении плиты. Из-за имевших место разрушений облицовок плиты НПК стали соединять между собой скруткой из проволоки за монтажные петли.

В связи с трудностью устройства между плитами водонепроницаемых швов стали применять противофильтрационные покрытия из плит НПК в сочетании с полиэтиленовым экраном.

Из ненапряженных плит применяют для облицовки каналов (Голодностепстрой) плоские вибропрокатные плиты шириной 3,2 м, длиной 3, 4 и 5 м при толщине 8 см.

Основная проблема при строительстве противофильтрационных сборных облицовок — устройство водонепроницаемых швов, которое дорого и трудоемко.

С целью сокращения числа швов, уплотняемых герметиками, в последние годы стали применять сборные плиты толщиной 8...10 см с выпусками арматуры, предназначенными для жесткого соединения плит омоноличиванием стыков, для чего выпуски арматуры длиной 15...20 см соединяют между собой внахлест без сварки. Такие облицовки с 1975 г. применяет Саратовводстрой на различных оросительных системах (магистральный канал Комсомольской оросительной системы, Северо-Крымский и Большой Ставропольский каналы).

Деформационные швы расширения между сборными плитами устраивают через 12...20 м и более в зависимости от температурных условий. Облицовки с омоноличенными стыками достаточно прочны и устойчивы. Работа сборных облицовок с жесткими омоноличенными швами изучена недостаточно, еще не опробовано омоноличивание стыков расширяющимся или безусадочным бетоном.

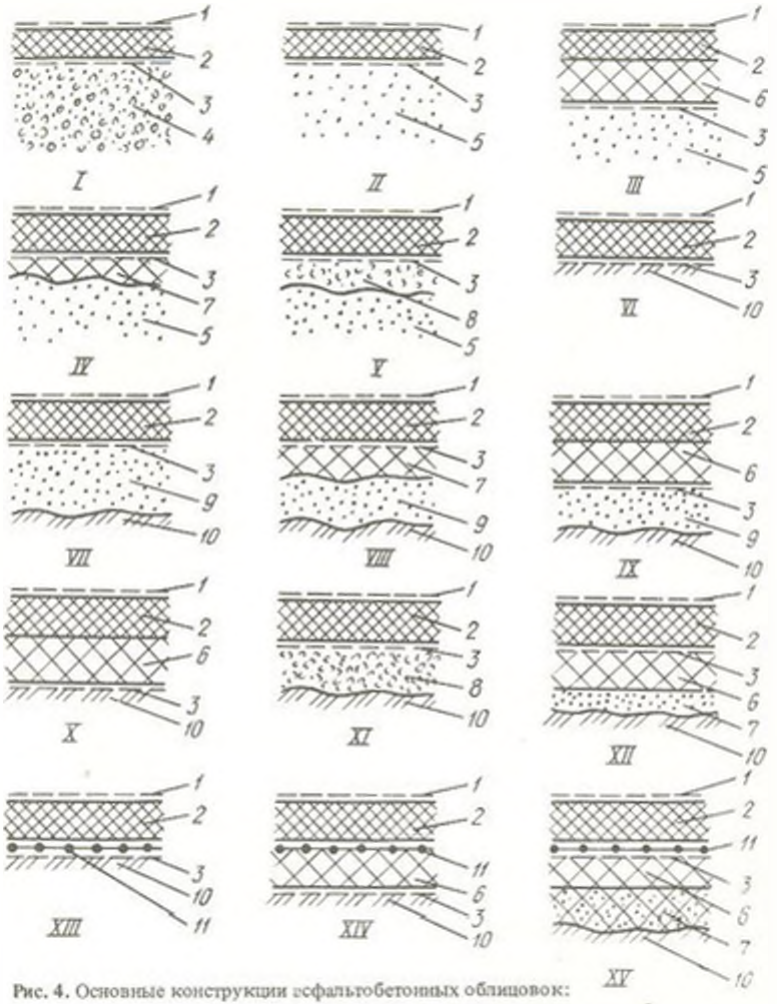


Рис. 4. Основные конструкции асфальтобетонных облицовок:

1 – поверхностная обработка; *2* – асфальтобетонное покрытие; *3* – слой, обработанный гербицидом; *4* – гравелистый и песчано-гравелистый грунт основания; *5* – песчаный грунт основания; *6* – пористый асфальтобетон, или черный щебень; *7* – слой битумно-песчаной смеси, устраиваемый методом смешивания на месте, или смеси, изготовленной в смесителе; *8* – слой щебня, отсева или гравия; *9* – слой песка; *10* – связный грунт основания (глина, суглинок, растительный грунт, супесчаный грунт, насыщенный водой); *11* – армирующий рулонный материал

В сборных железобетонных облицовках на малых каналах плиты, как правило, укладывают длинной стороной вдоль оси канала. Однако в больших каналах, когда размер откоса равен или больше длины плиты, целесообразно класть плиты длинной стороной поперек канала (рис. 4), что придает облицовке большую устойчивость.

Однако имеются резервы по улучшению качества, технологии производства и монтажа плит. С применением усовершенствованных плитовозов, укладчиков и оснасток (например, вакуумных захватов) могут быть повышены габариты плит и эффективность их применения.

В настоящее время разработаны конструкции сборных железобетонных плит, предназначенных для облицовки каналов с глубиной воды от 3 до 15 м и высотой волн от 0.5 до 1,5 м. Некоторые марки плит рассчитаны на ледовые нагрузки. Наиболее распространенные типоразмеры сборных железобетонных плит, применяемых для облицовки каналов, приведены в таблице 4.

3861

АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ ПОКРЫТИЯ

Опыт применения асфальтобетона в мировой практике гидротехнического строительства показывает его эффективность при ремонте различных типов защитных покрытий откосов каналов и плотин. Если при длительной эксплуатации облицовки происходит лишь снижение противофильтрационного эффекта без аварийных разрушений покрытия противодавлением, возникавшим по какой-либо причине, то в этих случаях чаще всего укладывают слой монолитного уплотняемого асфальтобетона. Техника, применяемая для этой цели, требует опорожнения канала на время производства ремонтных работ. При разрушении покрытия противодавлением и возможности повторения таких случаев бетонное покрытие заменяют на сборное асфальтобетонное, которое укладывают как на сухие откосы опорожненного канала, так и под воду. Ремонт покрытий путем укладки поверхностного слоя монолитного или сборного асфальтобетона, как правило, обходится дешевле других способов.

В последние годы стали широко применять асфальтополимербетоны (АПБ), приготавливаемые на битумно-полимерных вяжущих (БПВ). АПБ трещиностойки при температурах до –50 °С, теплостойки до 70 °С. Благодаря более высоким по сравнению с традиционными асфальтобетонами технологическим и эксплуатационным свойствам их применение возможно на всей территории нашей страны.

Асфальтовые (главным образом АПБ) покрытия целесообразно применять: для устройства противофильтрационных облицовок с высокой степенью водонепроницаемости; при значительных деформациях оснований (морозные пучения, просадки и т. д.); если предъявляют

повышенные требования к коррозионной стойкости облицовки; при необходимости укладки покрытия под воду.

В связи с разнообразием материалов, применяемых для приготовления АПБ смесей, и, как следствие, широкими пределами, в которых могут изменяться характеристики покрытий, разработку конструкций этого типа облицовок ведут в две стадии: сначала рассматривают облицовки объектов-аналогов, а затем проводят расчеты конструкции на внешние воздействия.

АПБ облицовки рассчитывают на ледовые и волновые нагрузки, трещиностойкость и фильтрационное противодавление, а также на изгиб при подмыве потоком нижней части берегоукрепительной конструкции. Эти расчеты проводят перед определением расчетных характеристик АПБ, выполняемым при подборе составов смесей.

Состав смесей подбирают в соответствии с требованиями П 20-85 Минэнерго СССР.

В настоящее время нет общесоюзных нормативных документов по расчетам АПБ облицовок на различные нагрузки и воздействия, но есть работы Ю. К. Жданова (1985), Ю. Н. Касаткина (1970), В. Гаука, Х. Хааса и других, в которых изложена методика расчета покрытий этого типа.

Асфальтобетонные облицовки применяют в практике гидротехнического строительства в качестве противофильтрационных и берегоукрепительных одежд и различают по следующим конструктивным типам: монолитные и сборные; однослойные и многослойные; поверхностные и типа "погребенная мембрана".

Монолитные асфальтобетонные облицовки являются несущими противофильтрационными и противоэрозионными креплениями ложа каналов и представляют собой бесшовное покрытие, верхний слой которого выполнен из плотного гидротехнического асфальтобетона.

Сборные асфальтобетонные облицовки выполняют те же функции, что и монолитные, но в отличие от них не требуют устройства жестких подготовок и переходных слоев. Изготовляют их в виде длинномерных плит и гибких тюфяков и, как правило, укладывают в один или два слоя.

Однослойные монолитные и *сборные асфальтобетонные покрытия* применяют в тех случаях, когда требования, предъявляемые к покрытию, обеспечиваются при толщине уложенного асфальтобетона 4...6 см.

Многослойные асфальтобетонные покрытия применяют при толщине уложенного асфальтобетона от 4 до 40 см (с послойным его уплотнением до требуемой остаточной пористости), когда этого требуют расчеты и конструктивные соображения.

Поверхностные асфальтобетонные облицовки, как монолитные, так и сборные, выполняют функции противофильтрационной и берего-

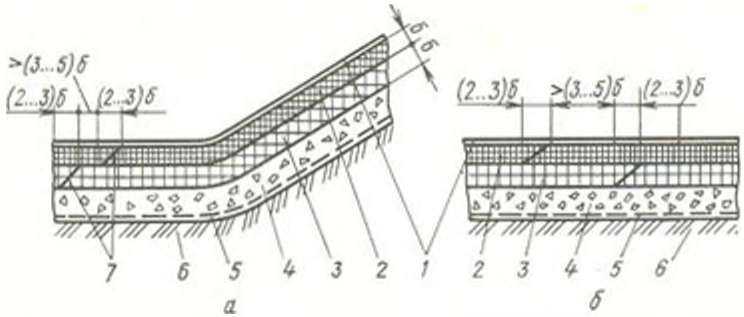


Рис. 5. Конструкция технологических швов и сопряжения облицовки на откосе и дне канала:

а – сопряжение облицовки на откосе и дне канала; *б* – сопряжения смежных швов; *1* – слой поверхностной обработки; *2* – собственно АПБ; *3* – переходный слой; *4* – слой подготовки; *5* – поверхность грунта, обработанная гербицидом; *6* – грунт основания; *7* – поверхности, обработанные разжиженным или горячим битумом

укрепительной одежды с легко контролируемым качеством уложенного покрытия и несложным его ремонтом.

При устройстве поверхностных асфальтобетонных облицовок не требуется дополнительных объемов земляных работ, связанных с разработкой сечений каналов, превышающих проектные, и устройством защитного слоя.

"*Погребенные мембраны*" предназначены для борьбы с фильтрацией из каналов. Это "погребенные" асфальтовые экраны, изготовленные горячим способом, а также в виде сборных экранов с использованием асбестового наполнителя или армированных стеклохолстом, толщина мембраны 1,5...10 мм.

Следует отметить, что "погребенные мембраны", выполненные горячим способом, как показала практика, недолговечны и не могут быть рекомендованы в качестве надежного способа снижения фильтрационных потерь воды из каналов.

Основные конструкции асфальтобетонных покрытий каналов, разработанных ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, показаны на рисунке 5, а области их применения в зависимости от условий эксплуатации в таблице 12.

Типовая конструкция асфальтобетонного покрытия состоит из следующих основных элементов: основания под облицовку, асфальтового покрытия и слоя поверхностной обработки. Кроме того, облицовки усиленного типа и крепления содержат дополнительные элементы: переходные слои и слои подготовки.

Основание асфальтобетонного покрытия – подготовленная по-

12. Области применения основных конструкций асфальтобетонных облицовок каналов

Тип конструкции (см. рис. 4)	Грунт основания песчаный и гравелистый						Грунт основания связный					
	не промерзает			промерзает			не промерзает			промерзает		
	уровень грунтовых вод ниже дна канала	уровень грунтовых вод выше дна канала		уровень грунтовых вод ниже дна канала	уровень грунтовых вод выше дна канала		уровень грунтовых вод ниже дна канала	уровень грунтовых вод выше дна канала		уровень грунтовых вод ниже дна канала	уровень грунтовых вод выше дна канала	
		низкие скорости сработки воды в канале	высокие скорости сработки воды в канале		низкие скорости сработки воды в канале	высокие скорости сработки воды в канале		низкие скорости сработки воды в канале	высокие скорости сработки воды в канале		низкие скорости сработки воды в канале	высокие скорости сработки воды в канале
I	+	+	+	+	+	+						
II	+	+	–	+	+	–						
III	+	+	+	+	+	+						
IV	+	+	–	+	+	–						
V	+	+	+	+	+	+						
VI							+	–	–	–	–	–
VII							+	+	–	+	+	–
VIII							+	+	–	+	+	–
IX							+	+	+	+	+	–
X							+	+	–	–	–	–
XI							+	+	+	+	+	–
XII							+	+	+	–	–	–
XIII										+	–	–
XIV										+	–	–
XV										+	+	+

Недостаточно надежны

Недостаточно экономичны или нерациональны

Примечание. К связным грунтам в рассматриваемом случае относят: глину, суглинок и насыщенную водой супесь; к высоким скоростям сработки воды в канале относят скорости, при которых понижение уровня воды под облицовкой (перепад уровней) более чем на 50 см отстает от снижения уровня воды в канале; (+) – рекомендуется к применению, (–) – не рекомендуется

верхность грунта в ложе канала. В подготовку основания входят планировка, обработка грунта гербицидами и при необходимости его уплотнение. Слой подготовки основания служит как выравнивающий противопучинистый слой для повышения несущей способности основания при движении строительных машин. Противопучинистый слой песчаной подготовки в асфальтобетонных покрытиях равен глубине промерзания.

Толщину слоя пористого асфальтобетона, битумного песка или щебня, выполняющих роль фильтра и переходного слоя, назначают исходя из расчета облицовки на прочность, несущую способность и пропускную способность как фильтра.

Толщина АП определяется действующими нагрузками, свойствами материалов, используемых для их выполнения, и свойствами грунтов основания. Предварительную толщину АП можно назначать из конструктивных соображений по аналогии с существующими покрытиями. Рекомендации по инженерному расчету АП изложены в требованиях П 20–85.

Под действием солнечной радиации со временем происходит снижение эксплуатационных свойств АП в поверхностном слое толщиной от 5 до 20 мл. Для предотвращения этого явления на свежеуложенное АП наносят слой поверхностной обработки – битумные, битумно-полимерные эмульсии с расходом 1...1,5 кг на 1 м^2 (по битуму).

По условиям работы АП подразделяют на облицовки, выполняемые в грунтах с низким уровнем грунтовых вод (ниже дна канала) и в грунтах с высоким уровнем грунтовых вод, когда требуется их отвод из-под облицовки.

Облицовки первого вида (см. рис. 5, X, XII ...XVI, XIX, XXI) рекомендуют для каналов, проходящих в песчаных или гравелистых грунтах, без устройства дополнительной дренажной прослойки, исключая случаи, когда она выполняет другие функции; второго вида (см. рис. 5, XI, XVII, XVIII, XX, XXII, XXIII) – для каналов, проходящих в связных грунтах, с дополнительной дренажной прослойкой. Последнюю не делают, если скорости снижения уровня воды в канале низкие. В остальных случаях под облицовкой укладывают продольный трубчатый дренаж, воду из которого отводят за пределы трассы канала.

В монолитных АП температурные и деформационные швы не устраивают, а только технологические, обусловленные особенностями технологии их строительства.

При устройстве данной облицовки на каналах вначале укладывают асфальтобетон на откосы, затем на дно. Сопрягают эти слои по схеме, приведенной на рисунке 5.

В сборных АП швы между сборными элементами, уложенными на откосе канала, герметизируют горячей мастикой при ширине шва до 60 мм или горячей асфальтобетонной смесью при ширине шва от 60

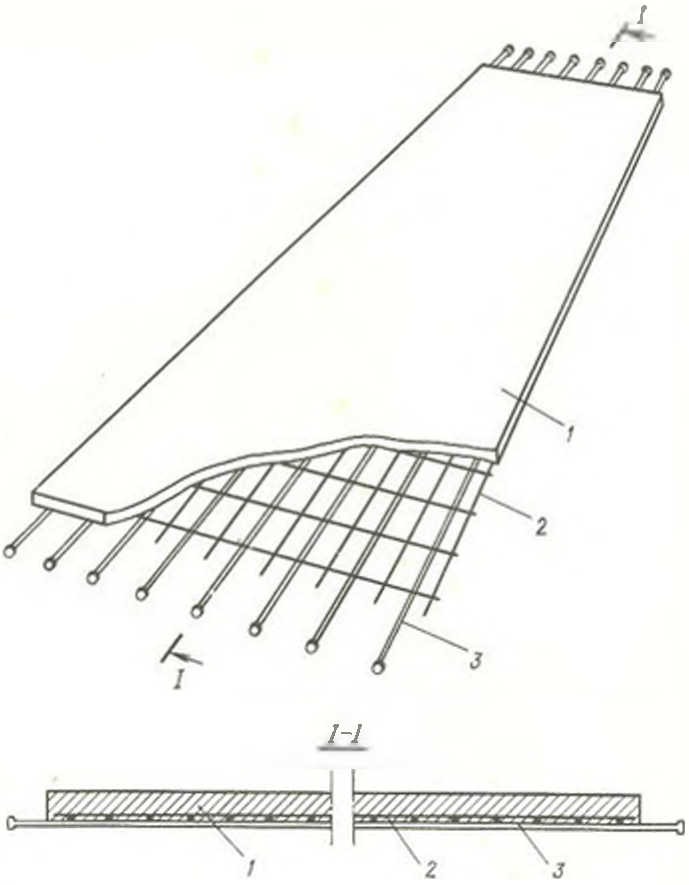


Рис. 6. Конструкция АПБ плиты:

1 – слой плотного АПБ; *2* – поперечная арматура; *3* – несущие стержни с монтажными выпусками

до 150 мм. Составы мастик и асфальтобетонных смесей, как правило, те же, что и для изготовления сборных элементов.

В двухслойной сборной облицовке стыки элементов нижнего слоя должны перекрываться элементами верхнего слоя.

Одним из основных показателей качества уложенного монолитного АП является плотность. Она характеризуется остаточной пористостью, которая не должна превышать 3 %.

Водонепроницаемость асфальтовых покрытий для оросительных каналов глубиной до 5...7 м, как показывают исследования, можно гарантировать при остаточной пористости 4...5 %. В этом случае необходимо качественно выполнять операции по подготовке основания и поверхностной обработке покрытия для обеспечения необходимой его морозостойкости.

Благодаря тому что швы между сборными элементами АПБ покрытий заделывают теми же материалами, из которых изготавливают плиты, обеспечивается их высокая водонепроницаемость. Сборные АПБ облицовки находят все более широкое применение в гидротехническом строительстве.

Элементы таких покрытий изготавливают в виде плит или матов. Плиты, как правило, имеют ширину до 2,1 м, длину 10...12 м (в отдельных случаях до 18 м), толщину до 6 см.

Маты значительно длиннее и в отличие от плит их наматывают на барабаны, с помощью которых транспортируют и укладывают в канал. Имеется опыт строительства покрытий из матов размерами 2,4 х 35 х 0,06 м.

Сборные элементы армируют сварными сетками из стальной проволоки диаметром 3...4 мм или сетками из стекловолокна.

Плиты длиной более 6 м, как правило, имеют комбинированное армирование: проволочную сетку усиливают продольными стальными стержнями (рис. 6).

Если конструкцией покрытия предусмотрена укладка под облицовку нетканых фильтрующих материалов, то сборные элементы чаще всего изготавливают в виде "сэндвича" – плиты, к нижней поверхности которой прикреплено полотнище нетканого фильтра.

ПОКРЫТИЯ И ЭКРАНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

Один из эффективных способов борьбы с фильтрацией из оросительных каналов – устройство противофильтрационных покрытий и экранов с применением полимерных материалов, что позволяет повысить КПД магистральных и распределительных каналов до 0,95...0,98.

Противофильтрационные покрытия с применением полимерных пленок не отличаются большим разнообразием. Основные конструктивные типы их включают пленочный противофильтрационный элемент, подстилающий грунтовый слой и защитное покрытие из грунта, монолитного бетона и сборных железобетонных плит.

Так, применение противофильтрационных экранов на распределительных каналах Каховской оросительной системы позволило снизить потери воды с 30...40 до 7...10 л/с на 1 км канала с расчетным расходом до 30 м^3/с.

Противофильтрационные покрытия оросительных каналов с при-

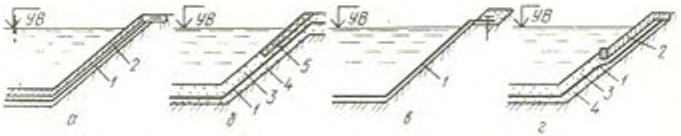


Рис. 7. Типы противофильтрационных покрытий с применением полимерных пленок:

а – бетонопленочные; *б* – грунтопленочные; *в* – поверхностные; *г* – комбинированные; *1* – полимерный противофильтрационный экран; *2* – бетонное покрытие; *3* – защитный слой грунта; *4* – подстилающий слой; *5* – крепление защитного слоя

менением полимерных пленок по конструктивным особенностям (в зависимости от вида защитного покрытия) разделяют на четыре основных типа (рис. 7): бетонопленочные, грунтопленочные, поверхностные, комбинированные.

Бетонопленочные облицовки представляют собой конструкции, в которых полимерный пленочный противофильтрационный элемент защищен сверху слоем монолитного бетона или сборными железобетонными плитами (рис. 7, *а*). *Грунтопленочные экраны* – конструкции, в которых пленочный противофильтрационный элемент уложен под защитный слой грунта (рис. 7, *б*). *Поверхностные экраны* – полимерные противофильтрационные конструкции, укладываемые на поверхность ложа канала без защитного покрытия, как правило, из листового полимерного материала (рис. 7, *в*). *Комбинированные покрытия* – конструкции, выполненные из сочетания двух или нескольких типов покрытий (рис. 7, *г*).

Бетонопленочные облицовки. Наиболее широкое применение на оросительных каналах нашли бетонопленочные облицовки. Они одновременно выполняют роль как противофильтрационных, так и берегоукрепительных покрытий. Их рекомендуют устраивать на сильнофильтрующих, суффозионно-неустойчивых и просадочных грунтах.

В бетонопленочных облицовках в качестве покрытия по пленке применяют: железобетонные плиты (рис. 8, *а*); монолитный бетон



Рис. 8. Конструкции бетонопленочных облицовок:

а – сборных; *б* – монолитных; *в* – сборно-монолитных; *1* – сборные железобетонные плиты; *2* – полиэтиленовая пленка; *3* – защитные прокладки; *4* – заделки из монолитного бетона; *5* – монолитный бетон; *6* – заделки из сборных железобетонных элементов; *7* – металлические шпильки

при механизированной укладке (рис. 8, *б*); монолитный бетон или железобетон при укладке вручную на отдельных участках при небольших объемах работ; комбинированное покрытие из монолитного бетона по дну и сборных железобетонных плит на откосах (рис. 8, *в*).

При устройстве бетонопленочной облицовки с покрытием из сборных железобетонных плит заложение откосов канала принимают не более 1 : 1,5, а с покрытием из монолитного бетона или железобетона – 1 : 2.

В сборных бетонопленочных облицовках заделка стыков бетоном жесткая без герметизации, что прежде всего предотвращает повреждения пленки от внешних воздействий.

В качестве сборного защитного покрытия применяют предварительно напряженные железобетонные плиты (НПК) размером 6 × 1 × 0,06; 6 × 1,5 × 0,06; 6 × 2 × 0,06 м с содержанием арматуры 30...40 кг/м^3, сборные железобетонные плиты с выпусками арматуры размером 3 × 2 × 0,1 м, вибропрокатные плиты толщиной 0,08 м и другие плиты, основные типоразмеры которых приведены в таблице 4.

НПК применяют для строительства каналов с глубиной воды до 3 м при максимальной высоте волны 0,5 м и толщине льда 0,5 м. С такими же ограничениями применяют плиты крепления (ПК). Плиты крепления усиленные (ПКУ) используют в каналах с глубиной воды 3...5 м и высотой волны не более 1 м при толщине льда до 0.8 м.

При прохождении канала в гравелистых или галечниковых грунтах с целью исключения повреждения пленочного экрана устраивают подготовку толщиной 10...15 см из песка или супеси с крупностью частиц не более 5 мм.

Пленочный экран на пересушенный и переувлажненный грунт не укладывают во избежание его повреждения.

Для предотвращения разрушения облицовки поверхностными водами необходима защита откосов от ливней, что исключает попадание ливневых вод под облицовку в период строительства и эксплуатации канала.

Разработаны конструкции дренажных устройств бетонопленочных облицовок (рис. 9), которые позволяют предупредить выпор плит облицовки избыточным давлением при быстрой (со скоростью более 25...30 см/сут) сработке уровня воды в канале и высоком стоянии грунтовых вод за счет свободного отвода их через облицовку. Дренажные устройства выполняют в виде трубчатых выпусков с обратными клапанами или жестких элементов коробчатой формы с перфорированными передней и задней стенками и клапанами из пластин, имеющих выступы (см. рис. 9).

Устанавливают такие устройства в нижней части облицовки в

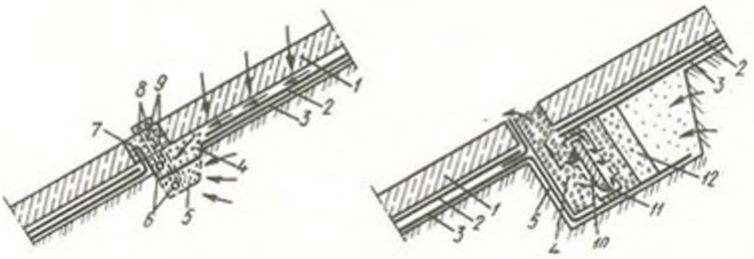


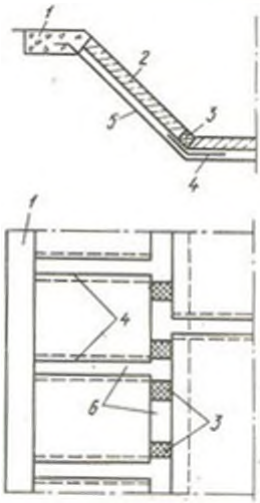
Рис. 9. Дренажные устройства бетонопленочных облицовок (ЮжНИИГиМ):

1 – железобетонные плиты НПК; *2* – защитная прокладка из толя; *3* – полиэтиленовая пленка; *4* – траншеи, заполненные крупнозернистым материалом; *5* – искусственный защитный фильтрующий материал (стеклохолст); *6* – дренажные трубы; *7* – складка из пленки; *8* – обратные клапаны; *9* – трубчатые выводы; *10* – жесткий элемент с перфорированными стенками; *11* – клапан в виде пластины с выступами; *12* – обратный фильтр

местах швов или при сопряжении нижнего ряда по ширине (1...2 м) плит с облицовкой дна канала через 15...20 м вдоль откоса в один ряд.

С целью предохранения пленки от повреждения гранями плит перед их монтажом под стыки подстилают полоски защитных прокладок (толь, рубероид, пергамин) шириной не менее 20 см.

Укладывают плиты в облицовку канала параллельно плоскости откоса, для чего на кранах применяют специальную оснастку: стропы с ветвями разной длины, поворотные устройства и манипуляторы.



Плиты укладывают сначала на дно канала, а затем на откосы. Между плитами оставляют зазоры шириной 10 см для последующей заделки раствором бетона (рис. 10). При этом плиты раскладывают преимущественно длинной стороной перпендикулярно к оси канала (рис. 11, *а*) или применяют смешанную раскладку плит (рис. 11, *б*).

При устройстве бетонопленочных облицовок в теплое время года рекомендуется делать только жесткие швы. Заполняют их мелкозернистым бетоном

Рис. 10. Схема укладки плит по пленочному экрану:

1 – заплечик; *2* – железобетонные плиты; *3* – бетонные призмы 6×10×10 см; *4* – защитная мягкая полосовая прокладка шириной не менее 20 см; *5* – полиэтиленовая пленка; *6* – швы, заделанные монолитным бетоном

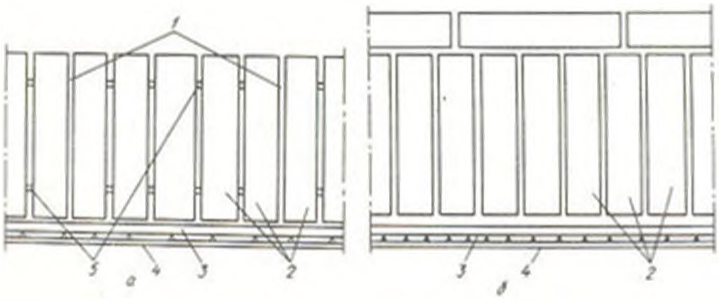


Рис. 11. Конструктивные схемы покрытия из плит НПК:

а – жесткое соединение в карты; *б* – смешанная раскладка плит; *1* – деформационные швы; *2* – плиты НПК 600×200 см; *3* – монолитный бетон; *4* – полиэтиленовая пленка; *5* – стык в месте расположения монтажных петель на плитах

с обязательным уплотнением вибрированием или трамбованием.

При устройстве облицовок в холодное время года устраивают временные деформационные швы через 25...30 м, заполняемые упругим материалом (пороизол, гернит), которые в теплое время года заменяют на бетон.

Толщина покрытия из монолитного бетона зависит от размера сечения канала и способа укладки бетона.

В монолитных облицовках устраивают несквозные (ложные) температурно-усадочные швы (рис. 12, *а*) в поперечном направлении канала не более чем через 6 м и сквозные швы (рис. 12, *б*) – как в поперечном, так и в продольном направлениях, в соответствии с расчетом, но не реже чем через 20...25 м. Сквозные температурные швы, как правило, предусматривают по линии сопряжения дна откосов канала.

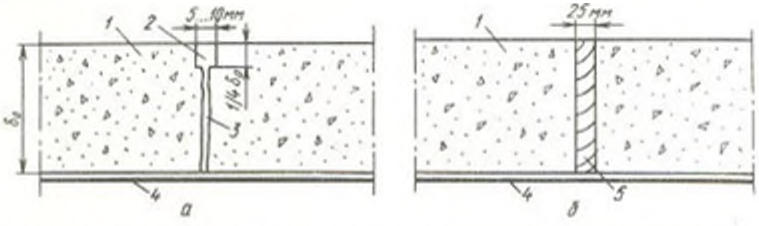


Рис. 12. Типы температурно-усадочных швов монолитных бетонопленочных облицовок:

а – ложный; *б* – сквозной температурно-усадочный шов; *1* – монолитный бетон; *2* – паз; *3* –усадочная трещина; *4* – экран из полиэтиленовой пленки; *5* –антисептированная доска

При армировании облицовок арматура в местах расположения температурно-усадочных швов должна быть разрезана. Арматурные сетки непосредственно на пленку не укладывают. Они должны быть уложены на бетонные призмочки (кубики) толщиной 3...4 см.

При строительстве бетонопленочных облицовок не удается обеспечить полное и равномерное опирание плит по всей поверхности, что приводит к образованию трещин в процессе эксплуатации. Для устранения неравномерного опирания плиты на откос эффективно нагнетание цементного раствора в зону между плитой и пленкой, что позволяет обеспечить высокую надежность и водопроницаемость облицовки. Этот способ применили на БСК-III и канале РЧ-2 в зоне Северо-Крымского канала (Огурцов, Шлаен, Юдович, 1979).

Нагнетание цементного раствора между плитой и пленкой обеспечивает расчетные условия работы плиты, а также кольматацию мелких порывов или просто точечных отверстий в пленке и пор грунта.

Опыт эксплуатации канала РЧ-2 в течение 4 лет показал, что выполненная таким способом облицовка практически водонепроницаема.

Грунтопленочные покрытия. Для создания подстилающего и защитного слоев грунтопленочных экранов в соответствии с СН 551–82 рекомендуется применять грунты с частицами максимальной крупностью до 5 мм. При наличии мягких грунтов они могут быть также использованы для устройства подстилающего и защитного слоев с соблюдением вышеуказанных требований. В грунте подстилающего и защитного слоев не должно быть льда, снега, камней, твердых комьев грунта и других включений.

Применение грунтопленочных экранов наиболее целесообразно для крупных оросительных каналов с устройством пригрузки или крепления защитного слоя грунта (рис. 13).

При устройстве защитного слоя из местных грунтов с частицами крупнее 5 мм, а также из гравийно-галечниковых грунтов сначала поверх пленки укладывают слой привозного мягкого грунта толщиной не менее 0,4...0,5 м, а затем отсыпают местный грунт до проектной толщины.

Для каналов с глубиной воды до 5 м и грунтов подстилающего и

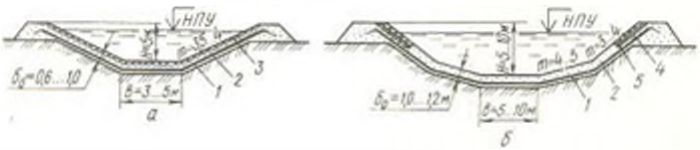


Рис. 13. Конструкции грунтопленочных покрытий:

а – с пригрузкой защитного слоя; *б* – с креплением защитного слоя в зоне волнового воздействия; *1* – полиэтиленовая пленка; *2* – защитный слой; *3* – пригрузка; *4* – подготовка под крепление; *5* – крепление

защитного слоев, отвечающих вышеуказанным требованиям и не содержащих частиц размером более 2 мм, толщину полимерной пленки принимают 0,2...0,3 мм. При больших глубинах и грунтах, содержащих частицы крупнее 2 мм, толщину пленочного элемента определяют расчетом в соответствии с СН 551–82.

Во избежание повреждения пленочного элемента в период эксплуатации канала растительностью с мощной корневой системой (тростник, камыш) подэкрановое основание обрабатывают гербицидами или смесями гербицидов при расходе на 100 м^2: атразина – 0,5 кг, далапона – 0,5, диурона : симазина (3 : 1) – 0,4 кг.

Толщину защитного слоя грунта назначают не менее 0,5 м из условия неповреждаемости пленки строительными механизмами. На крупных каналах толщину защитного слоя (1...1,2 м) выбирают из условия устойчивости на откосах и проверяют расчетом.

Заложение откосов каналов с грунтопленочными покрытиями назначают по данным эксплуатации каналов-аналогов; при их отсутствии – согласно расчету устойчивости защитного слоя. При этом следует учитывать предполагаемый режим эксплуатации канала. Если возможны внезапные сработки уровня, то устойчивость необходимо определять с учетом гидродинамического давления фильтрационного потока, возникающего в защитном слое.

Коэффициент запаса устойчивости защитного слоя грунта с учетом гидродинамического давления фильтрационного потока при быстром понижении уровня воды в общем случае вычисляют по формуле

$$k_з = \frac{E\cos(\beta + \theta) + (G\cos\theta - W'_\Gamma \sin\theta)\mu + s}{G\sin\theta + W'_\Gamma \cos\alpha}, \qquad (17)$$

где E – пассивное сопротивление грунтовой призмы, $E = {}^1/_2 \gamma_{гр} \delta_0^2 \operatorname{tg}^2(45 + \varphi/2)$ (φ – угол внутреннего трения грунта защитного слоя); β – угол наклона вектора пассивного сопротивления призмы к горизонтали, $\beta = {}^1/_3(2\theta - 1)$; θ – угол наклона пленочного экрана; W_Γ – гидродинамическое давление от фильтрационного потока в защитном слое; μ – коэффициент трения грунта по пленке; s – сила сцепления; G – вес призмы сползания защитного слоя, $G = \gamma_{гр} \delta_з (H/\sin\theta)$ ($\gamma_{гр}$ – объемный вес грунта; $\delta_з$ – толщина защитного слоя; H – высота откоса); α – угол наклона откоса.

В соответствии со СНиП II-16–76 защитный слой пленочного экрана устойчив при выполнении следующего условия:

$$n_c N_р \leqslant (m/K_н) R, \qquad (18)$$

где n_c – коэффициент сочетания нагрузок, для основного сочетания нагрузок $n_c = 1$; $N_р$ и R – расчетные значения соответственно обобщенной сдвигающей силы и силы предельного сопротивления;

$$N_p = G \sin\theta + W_г \cos\alpha,$$

$$R = E \cos(\beta + \theta) + (G \cos\theta - W_г \sin\alpha)\mu + s;$$

m – коэффициент условий работы, принимаемый по СНиП II-16–76 как для искусственных откосов сооружений, $m = 1$; $K_н$ – коэффициент надежности, принимаемый по СНиП II-50–74, для сооружений III класса – 1,15, IV – 1,1.

Тогда из соотношения (19) с учетом зависимости (18) будем иметь

$$n_c K_н / m \leqslant K_э. \qquad (19)$$

Гидродинамическую силу $W_г$ при быстром снижении уровня воды в условиях неустановившегося режима фильтрации определяют по формуле

$$W_г = \gamma_в I F_в \qquad (20)$$

с учетом эмпирических зависимостей Ю. М. Косиченко, справедливых при скорости снижения 0,005...0,007 см/с:

$$I = 0{,}018 / \mu_в \sqrt{\Delta H / H_0}; \qquad (21)$$

$$F_в = [h_в + 0{,}5\,\delta_0 I / \sin\theta]\,\delta_0 / \sin\theta; \qquad (22)$$

$$h_в = [0{,}1 + 0{,}3\,\delta_0 / H_0]\,0{,}2\,\Delta H / \mu_в. \qquad (23)$$

где $\gamma_в$ – удельный вес воды; I – градиент фильтрации; $F_в$ – площадь насыщения грунта защитного слоя водой выше уровня воды в канале; $\mu_в$ – коэффициент водоотдачи грунта защитного слоя; ΔH – максимальная высота снижения уровня воды в канале; H_0 - первоначальная глубина воды в канале; $h_в$ – высота высачивания на откосе.

Для приближенной оценки фильтрационных сил в защитном слое экрана при других скоростях снижения уровня воды в сооружении можно пользоваться теоретической зависимостью В. П. Недриги, определив время снижения уровня воды под непроницаемым покрытием.

Гидродинамическое давление при насыщении защитного слоя поверхностными водами от ливневых дождей и таяния снега, а также грунтовыми водами, когда вся толща защитного слоя будет насыщена водой (наиболее опасный случай), вычисляют по формуле

$$W_г = \gamma_в \delta_0 (H / \sin\theta)(1 / \sqrt{1 + m_0^2}), \qquad (24)$$

где m_0 – коэффициент заложения откоса.

При отсутствии опасности возникновения в защитном слое неустановившегося движения фильтрационного потока его устойчивость приближенно можно оценить по зависимости (СН 551–82)

$$\mu / \operatorname{tg}\phi \geq (K_з)_{доп}. \qquad (25)$$

Величиной сцепления материала s защитного слоя по пленке пренебрегают. Коэффициент трения материала защитного слоя по пленке принимают по СН 551–82.

Ориентировочно заложение откосов каналов с грунтопленочными покрытиями можно принять по таблице 13.

13. Заложение откосов каналов с грунтопленочными покрытиями в зависимости от их высоты

Грунт защитного слоя	Высота откоса, м				
	3...5	5...7		7...10	
		низ	верх	низ	верх
Суглинок	3	4	3	5	3
Супесь, песок	3,5	4,5	3,5	5,5	3,5
Лесс	4	5	4	6	4

Для предупреждения размыва грунта защитного слоя и повышения его устойчивости на откосах уплотнение его проводят послойно до обеспечения плотности грунта 1,65...1,70 г/см^3.

Во избежание подмыва защитного слоя в зоне возможного волнобоя на участке от бровки откоса и на 0,5 м ниже расчетного уровня воды в канале устраивают волновое крепление из галечника или щебня по подготовке из песчано-гравийной смеси. Толщину крепления принимают 20...30 см, толщину подготовки – 10...15 см.

На крупных каналах волновое крепление защитного слоя выполняют в виде каменной наброски и рассчитывают на волновое, ледовое и судовое воздействия в соответствии со СНиП 2.06.04–82.

Некоторые данные по крупным оросительным каналам, где применены противофильтрационные покрытия и экраны из полимерных пленок, приведены в таблице 14.

Устройство грунтопленочных экранов считается эффективным для каналов, расходы которых превышают 5...10 м^3/с. Они нашли применение на Каховском, Куйбышевском, Каракумском, Большом Ставропольском и целом ряде других каналов.

Первый крупный магистральный канал с грунтопленочным экра-

14. Основные показатели крупных оросительных каналов

Канал	Год строительства	Основные показатели канала		
		расход, $м^3/с$	глубина, м	длина, км
Машинный канал в зоне Каракумского МК	1967	40	4	7,6
Главный Каховский МК (ГКМК)	1971–1975	530	8	130
Межхозяйственный распределительный канал Р-1 в зоне ГКМК	–	40	2	–
Куйбышевский обводнительно-оросительный канал	1972–1973	36	3,75	279
Большой Ставропольский канал (БСК):				
I очередь	1973, 1977 1979 1980	180	5	156
II очередь	1973	60	3,45	
III очередь	1980	55	3	42,5
Октябрьский распределитель в зоне БСК-III	1978	10,5	–	40
Каршинский МК	1972–1975	175	4,4	165
Магистральный канал Большой Волгоградской ОС	1974	116	6,35	35,9
Межхозяйственный распределитель РЧ-2 в зоне Северо-Крымского МК	–	19,6	–	60
Магистральный канал им. Октябрьской Революции в ДагАССР (КОР)	1977	41	2,5	91,2
Кулундинский МК	1975–1979	22	3	
Алейский МК	1979	35,5	1,65	2

Примечание. ГПП – грунтопленочное покрытие; БПС – бетонопленоч бетонопленочная комбинированная облицовка; КП – комбинированное покрытие;

с противофильтрационными покрытиями из полимерных пленок

Основные показатели покрытия						Стоимость 1 м² покрытия, р.
тип покрытия	вид и толщина пленки, мм	вид и толщина предохранительных слоев, см		способ соединения пленки	длина экранированного участка, км	
		защитного	подстилающего			
ГПП	ПЭ; 0,2	Суглинок, 100	–	Сварка	2,2	2,98
КП (ГПП + БПМ)	ПЭ; 2 × 0,2	Суглинок, 100	–		110	1,1...1,2
БПС	ПЭ; 2 × 0,2	НПК	–	"		8,5...9
ГПП	ПЭ; 0,2	Уплотненный суглинок, 120	–	Скрутка	56	–
ГПП	ПЭ; 0,2	Суглинок, 50	Суглинок, 20...40	"	0,21	4,4
БПС	ПЭ; 0,2	Железобетонные плиты 3 × 2 × 0,1 м		Скрутка	0,60	11,4
ПЭ	БК; 2	–	Суглинок, 10...20	Склейка	0,075	4,6
ГПП	ПЭ; 0,2	Уплотненный суглинок, 100	–	–	6,57	2,48
БПК	ПЭ; 0,2	НПК 6 × 2 × 0,06 м 6 × 1,5 × 0,06 м	Суглинок, 85	Скрутка	28,9	12,3
БПС	ПЭ; 0,2	Железобетонные плиты	–	–	40	–
БПМ	ПЭ; 0,3	Монолитный бетон	–	–	4700 тыс. м²	6,1...9,3
БПС	ПЭ; 2 × 0,2 и 1 × 0,2	НПК, 6 × 1,5 × 0,06 м	–	Сварка	–	8,4...8,8
БПС	ПЭ; 0,2	НПК	Суглинок	Сварка	–	–
БПС	ПЭ; 0,2	НПК	Суглинок	Сварка	32,8	10,56
ГПП	ПЭ; 0,2	Суглинок, 100	–	Сварка	19,1	1,02
ГПП	ПЭ; 0,2	Суглинок со сборными железобетонными плитами	–	–	2	3,57

ная сборная облицовка; БПМ – бетонопленочная монолитная облицовка; БПК – ПЭ – поверхностный экран.

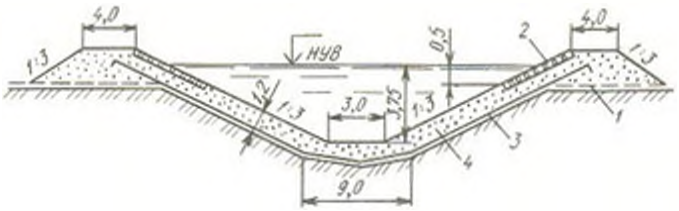


Рис. 14. Типовое сечение Куйбышевского обводнительно-оросительного канала: *1* – растительный слой δ = 20 см; *2* – крепление щебнем δ = 20 см; *3* – полиэтиленовая стабилизированная пленка δ = 0,2 мм; *4* – защитный слой из уплотненного суглинка (размеры в м)

ном на расход 40 м^3/с длиной 2,2 км был построен в зоне Каракумского канала в 1967 г.

Грунтопленочное покрытие было сооружено также на Куйбышевском обводнительно-оросительном канале расходом 36 м^3/с на участке протяженностью 56 км. Экран укладывали по периметрической схеме с защитным слоем из уплотненного суглинистого грунта толщиной 1,2 м (рис. 14).

Поверхностные экраны. Поверхностные экраны из полимерных материалов рекомендуют для малых оросительных каналов с расходом до 10 м^3/с, проходящих в сильнофильтрующих просадочных и пучинистых грунтах.

Для поверхностных экранов можно использовать листовые полимерные материалы на основе бутилкаучука бутилкор-С толщиной 1,6...2 мм (ТУ 38-103377–77), полимерные листы на основе полиолефина и различные битумно-полимерные материалы с армирующей основой (см. табл. 5). Вследствие малой изученности бутилкора-С его применение можно рекомендовать для экспериментального строительства.

Поверхностный экран крепят металлическими шпильками на уступе откоса или в траншейке, которые забивают через 3...5 м и присыпают грунтом или заделывают бетоном.

Впервые в нашей стране такие экраны были сооружены на канале Бт-Р-5 Азовской ОС в Ростовской области и на канале Х-3-1-1 в совхозе "Искра" Крымской области.

Комбинированные покрытия. На крупных каналах круглогодичного действия рекомендуют устраивать комбинированные покрытия, состоящие из бетонопленочной облицовки в верхней части откоса (зона волнового воздействия), сопрягаемой с грунтопленочным покрытием, уложенным по дну и части откосов (рис. 15, *а*). Узлы сопряжения и крепления данного покрытия выполняют согласно рисунку 16.



Рис. 15. Конструкция комбинированных покрытий:

а – с применением грунтопленочного покрытия; *б* – с применением листового полимерного материала; *1* – полиэтиленовая пленка; *2* – защитный слой грунта; *3* – монолитный железобетон; *4* – сборные плиты НПК; *5* – листовой полимерный материал (на основе бутилкаучука или полиолефинов); *6* – шов соединения

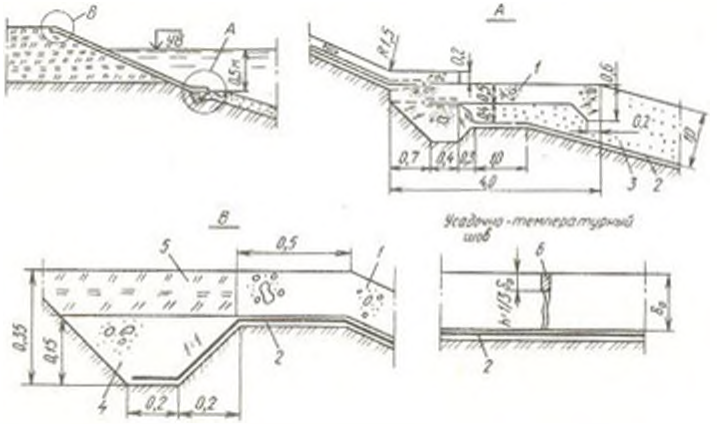


Рис. 16. Узлы сопряжения и крепления комбинированных покрытий:

1 – железобетонная плита; *2* – пленочный экран; *3* – защитный слой грунта; *4* – каменная наброска зуба; *5* – глина; *6* – герметизация шва (размеры в м)

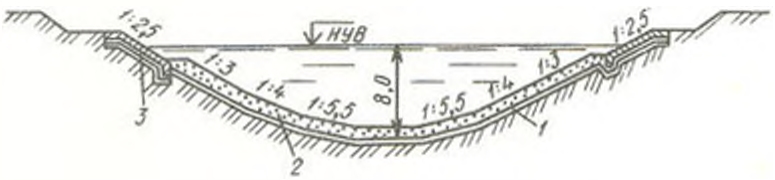


Рис. 17. Типовое сечение Каховского магистрального канала:

1 – два слоя полиэтиленовой пленки толщиной по 0,2 мм; *2* – защитный слой из уплотненного суглинка δ = 1 м; *3* – монолитный железобетон δ = 0,16 см по полиэтиленовой пленке

Такую конструкцию покрытия применили для защиты Главного Каховского магистрального канала (ГКМК) на длине 110 км (рис. 17). На этом участке канал проходит в средних и легких лессовидных суглинках с коэффициентом фильтрации 0,07...0,5 м/сут. Потери воды на фильтрацию из канала без противофильтрационной одежды составили бы 16 м³/с, или 480 млн. м³ в год.

В качестве пленочного экрана использовали полиэтиленовую пленку, стабилизированную сажей, толщиной 0,2 мм в два слоя. Толщина защитного слоя грунта из суглинка – 1 м, бетонного крепления – 16 см.

На участке магистрального канала длиной 38 км, введенного в эксплуатацию в 1973 г., суммарные потери воды по всей длине канала при экранированном русле составили 2 м³/с. Это позволит сэкономить более 400 млн. м³ воды в год и значительно уменьшить затраты на устройство дренажа на орошаемых землях и в жилых поселках, расположенных в зоне магистрального канала. Общие потери по всем участкам канала составляют 0,84 м³/с, а КПД – 0,998. Допуская, что со временем грунтопленочные покрытия канала утратят противофильтрационные свойства и потери достигнут 1,8 м³/с, КПД уменьшится лишь до 0,997.

Для повышения пропускной способности крупных каналов круглогодичного действия при обеспечении средней скорости потока (1...1,5 м/с) рекомендуют применять покрытие, состоящее из поверхностного экрана без защитного слоя на дне и части откосов (ниже минимального уровня воды в канале) и бетонопленочной облицовки в верхней части откосов канала (см. рис. 15, *б*).

Для обеспечения устойчивости против сдвига полимерного листового покрытия движущимся в канале потоком воды его закрепляют шпильками в поперечном направлении через 3 м и в продольном направлении по течению потока через 10 м. Крепление в верхней части откоса канала выполняют из сборных плит НПК или из монолитного бетона.

БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫЕ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Сборные крепления из железобетонных плит. При устройстве сборных креплений из железобетонных плит необходимы тщательная планировка основания, устройство герметичных швов и проведение мероприятий, предотвращающих вымыв грунта из-под покрытий, например устройство обратных фильтров или грунтонепроницаемых швов. Крепления из железобетонных плит заводского изготовления выполняют в виде несоединенных или частично соединенных между собой плит (рис. 18), уложенных на фильтровую подготовку, или в виде соединенных жестко в крупные карты (омоноличиванием) железобетонных плит, уложенных на однослойную подготовку или непосредственно на грунт. Так, при ремонте откосов на канале им. Москвы крепления выполняли из сборных железобетонных плит по песчано-гравийной подготовке. Швы между плитами в первое время заделывали битумной мастикой, впоследствии – бетоном.

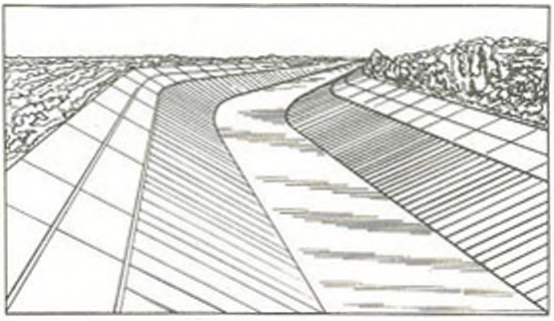


Рис. 18. Крепление откоса канала сборными железобетонными плитами; стыки омоноличены цементным раствором

Крепления из сборных железобетонных плит, омоноличенных по контуру. Стыковые соединения такого покрытия имеют ту же (или соизмеримую) прочность, что и в сечении самой плиты.

Для покрытий из железобетонных плит, омоноличенных по контуру, применяли плиты размером от 2 × 2 до 3,5 × 3,5 м, толщиной 0,10...0,25 м. Плиты армированы двумя сетками и рассчитаны как на знакопеременные волновые нагрузки, так и на транспортно-монтажные.

Для соединения плит сваркой и последующего омоноличивания по контуру предусмотрены уступы-четверти с соединительными закладными деталями.

Плиты укладывают на подготовку из разнозернистого щебня толщиной 0,10...0,35 м, а также на омоноличивающие подкладки.

В направлении вдоль уреза воды карты разделяют деформационными швами, под которыми устраивают ленточные обратные фильтры. В направлении, перпендикулярном урезу воды, на стыках карт устраивают деформационные швы или анкерные упоры. В нижней части омоноличенные по контуру плиты упирают в упорную призму или плиту.

Соединяют плиты с помощью железобетонных подкладок шириной до 30 см и толщиной 10 см. Нижние пластинки закладных деталей плит приваривают к закладным деталям подкладок, а верхние пластинки закладных деталей двух соседних плит сваривают между собой отрезками арматурной стали.

В поперечных стыках плиты соединяют между собой только арматурными стержнями. Стыки армируют сетками и омоноличивают бетоном.

Плиты, омоноличенные по контуру, нашли широкое применение. Такую конструкцию покрытия использовали для крепления волноза-

щитной дамбы Саратовского порта. Со стороны акватории порта при расчетной высоте волны 1 м толщина плит принята 10 см, а со стороны водохранилища при расчетной высоте волны 2,2 м – 20 см.

На канале им. Москвы при ремонтно-восстановительных работах откосы крепили плитами размером 2 × 4 × 0,12 м (нижний ряд) и 2 × 2 × 0,1 м (верхний ряд). Укладывали их на подготовку из разнозернистого гравия толщиной 0,15 м. Такая конструкция крепления рассчитана на воздействие волны высотой до 1 м.

Расход металла и стоимость 1 м² покрытия откосов из сборных омоноличенных по контуру железобетонных плит приведены в таблице 15.

15. Расход металла и стоимость 1 м² покрытия из сборных омоноличенных по контуру железобетонных плит

Высота волны, м	Плиты из обычного бетона			Плиты из предварительно напряженного железобетона		
	толщина, см	расход металла, кг	стоимость 1 м², р	толщина, см	расход металла, кг	стоимость 1 м², р.
1,0	10	13,0	9,8	–	–	–
1,5	12	16,2	11,4	10	13,8	9,9
2,0	15	17,1	13,0	15	17,3	14,2
2,5	20	20,2	16,8	17	23,6	16,5
3,0	–	–	–	20	25,6	18,5

Крепления из монолитного железобетона. Для крепления откосов применяют монолитные железобетонные плиты размером от 5 × 5 до 15 × 15 м, толщиной от 12...15 до 55 см в зависимости от расчетных нагрузок. Армирование плит одиночное или двойное. Верхние арматурные стержни иногда располагают только по контуру плит. Температурно-деформационные швы в покрытии обычно устраивают через 20...50 м в направлении, перпендикулярном урезу воды. Под такими швами укладывают трехслойный ленточный обратный фильтр.

Достоинства монолитных железобетонных покрытий – полная грунтонепроницаемость и возможность получать покрытия необходимой прочности. Такие крепления применены на сооружениях Волгоградского, Куйбышевского, Горьковского водохранилищ, на Волго-Балтийском водном пути, на реках Сибири, на Каме, Дону, Днепре.

При строительстве Новосибирской ГЭС для крепления откосов с заложением 1 : 3, 1 : 4 использовали монолитные железобетонные плиты размером 10 × 10 и 11 × 12 м, толщиной 40...50 см, которые рассчитаны на высоту волны 2,8 м. Плиты укладывали без подготовки и с швами из антисептированных досок. Под швами устроили двухслойный ленточный фильтр. На некоторых объектах Волжской ГЭС им. В. И. Ленина такое покрытие укладывали без

обратного фильтра с перекрытием стыков сборными железобетонными элементами. На слой утрамбованной щебеночной подготовки толщиной 15 см по контуру плит располагали железобетонные балочки толщиной 7...12 см, покрытые битумными матами.

На опытном участке волнолома Каховской ГЭС плиты размером 20 × 20 × 0,2 м укладывали на основание без фильтровой подготовки с противосуффозионными шпонками. Покрытие выдержало воздействие волны высотой 2,8 м.

При применении плит размером от 3 до 5 м обратный фильтр выполняют сплошным, при больших размерах плит ленточный обратный фильтр устраивают только под стыками, а на всей площади отсыпают щебеночную или гравийную подготовку.

Гибкие грунтонепроницаемые тюфяки из плит малого размера. Покрытия из гибких тюфяков применяют для защиты берегов каналов и рек, мостовых переходов и для ремонтных работ под водой.

Часто используют тюфяки, состоящие из шарнирно соединенных плит размером от 0,5 × 0,5 до 1 × 1 м, толщиной 15...30 см. Тюфяки укладывают на гравийную или щебеночную подготовку толщиной 20...25 см. Такое покрытие обеспечивает надежность крепления при скорости течения до 5 м/с (рис. 19).

Применяют и гибкие железобетонные тюфяки, состоящие из железобетонных плит размером 1,22 × 0,35 м, толщиной 7,5 см, соединенных арматурной сеткой из нержавеющей проволоки в секцию размером 7,62 × 1,22 м, которые, в свою очередь, соединены специальным болтовым креплением и тросами в тюфяки размером 30,5 × 213,5 или 42,7 × 213,5 м. Собирают отдельные секции в тюфяк и укладывают его в сооружение с помощью специальной установки, смонтированной на барже, способной устанавливать до 10 тыс. м^2 такого крепления в сутки. Тюфяк укладывают на гравийную подготовку.

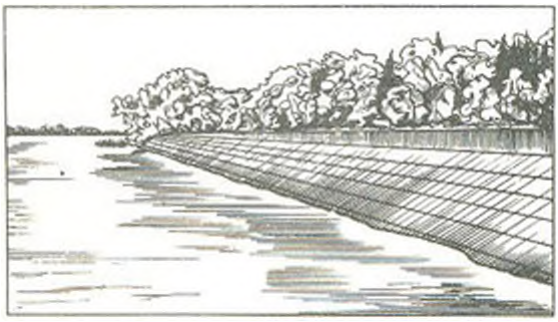


Рис. 19. Крепление откоса левого берега р. Комызяк (один из рукавов дельты Волги) гибким бесфильтровым покрытием из сборного железобетона

На Волго-Балтийском водном пути откосы крепили отдельными гибкими железобетонными блоками размером 2,25 × 4,5 м, толщиной 10...15 см, состоящими из 28 плиток размером от 75 × 75 до 37,5 × 37,5 см и связанными между собой сквозной арматурной сеткой и прокладкой гидрорелина. Гибкость покрытия в пределах угла загиба обеспечивалась скосами кромок плит. Стыки между блоками выполняли путем сварки закладных деталей в штрабах плит с последующей заделкой цементным раствором. Тюфяки укладывали на спланированную поверхность, имеющую отклонения от плоскости блоков не более 10 см.

Крепление берегов шпунтовыми стенками. Шпунтовые крепления исключают накат волн, и, следовательно, требуется меньший запас гребня дамб над уровнем воды в канале. Надежность крепления повышается за счет увеличения длины вертикальных путей фильтрации.

Деревянные шпунтовые крепления выполняют в виде свайного или брусчатого шпунтового ряда. В первом варианте для предотвращения суффозии грунта в качестве фильтра используют синтетические материалы, например "дормит". Для защиты древесины от гниения в зоне выше уровня воды необходимо антисептирование. Свайный и брусчатый ряды сверху омоноличивают сборной железобетонной шапочной балкой.

Стенки из железобетона выполняют из шпунтов таврового или плоского сечения. Швы между отдельными шпунтинами перекрывают металлическими пластинами. Эта конструкция позволяет исключить дорогостоящий обратный фильтр и допускает производство работ под водой.

Вертикальные шпунтовые стенки из заанкерованного железобетонного шпунта сечением 0,8 × 0,5 м применяли для крепления берегов Воткинского водохранилища в г. Чайковском, а также берегов р. Тобол в г. Кургане. Анкеровку шпунта осуществляли металлическими тягами через шапочный брус за железобетонные анкерные плиты.

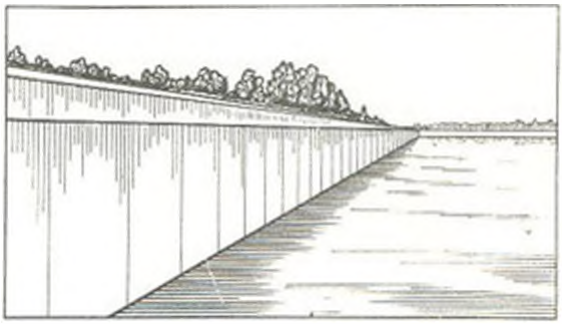


Рис. 20. Крепление откоса канала им. Москвы вертикальной стенкой высотой 2,5 м из неанкерованного железобетонного шпунта таврового сечения

Наиболее широкое применение на канале им. Москвы получило крепление из незаанкерованного железобетонного шпунта, сечение которого представлено двумя типами: прямоугольное для плотных глинистых и суглинистых грунтов и тавровое для песчаных грунтов. Ширина шпунта в первом случае 0,5 м, во втором – 1,5 м. Швы между шпунтинами перекрывали металлическими пластинами (рис. 20).

Крепление камнем. Крепление откосов судоходных каналов *каменным мощением* широко применяли издавна.

Откосы канала им. Москвы мостили камнем крупностью 18...25 см с расклинцовкой. Мощение выполняли по гравийной подготовке толщиной 15 см. В дальнейшем крепление было заменено каменной мостовой из крупномерного камня размером 25...30 см с расклинцовкой, укладываемого на слой разнозернистого гравия толщиной 20...25 см с нижним упором в виде деревянной выборки, удерживаемой деревянными сваями.

Увеличение интенсивности движения флота в последующие годы эксплуатации канала вызвало разрушение каменного мощения. Причинами разрушений, кроме волновых воздействий, являлись просадка грунтов основания, механические повреждения судами, льдом, населением в пляжных местах.

Крепление откосов каменным мощением было осуществлено также на Волго-Донском судоходном канале им. В. И. Ленина. Мощение состояло из слоя камня толщиной 25...35 см и обратного фильтра – слоя щебня толщиной 15 см, слоя каменной крошки толщиной 10 см и слоя песка толщиной 10 см. Крепление было рассчитано на воздействие волны высотой 1,2...1,4 м.

Существенный недостаток крепления каменным мощением – большие затраты ручного труда. Поэтому в настоящее время его применяют только при ремонтно-восстановительных работах.

Возможность круглогодичного производства работ по креплению каналов *каменной наброской* как насухо, так и под воду, а также возможность исключить ручной труд определяют преимущество этого вида крепления над креплением каменным мощением.

Долговечность крепления из каменной наброски в основном зависит от морозостойкости и крупности камня, а также правильного подбора подстилающего фильтра, а размеры камня – от волновых воздействий. Мелкие камни размером 10...15 см не обеспечивают устойчивости крепления на судоходных каналах.

Крепление наброской из несортированного камня применили на строительстве Каховского водохранилища. Каменной наброской слоем 1,6 м камнями размером 10...100 см укрепили откос с заложением 1 : 3 по однослойной щебеночной подготовке толщиной 0,2 м. Крепление такой конструкции выдержало воздействие волн высотой до 2,8 м.

На строительстве Волго-Донского канала и канала им. Москвы применили крепление каменной наброской. При ремонтно-восстановительных работах креплений канала им. Москвы использовали камень минимальной массой 25 кг. Толщина слоя камня в верхней части – 0,4 м, в нижней – 0,6 м. Подготовку выполняли из разнозернистого гравия слоем 0,4 м (рис. 21).

По данным Гипроречтранса, стоимость 1 м^2 покрытия из каменной наброски зависит от высоты волны и при ее диапазоне от 0,7 до 2 м составляет 25...33 р.

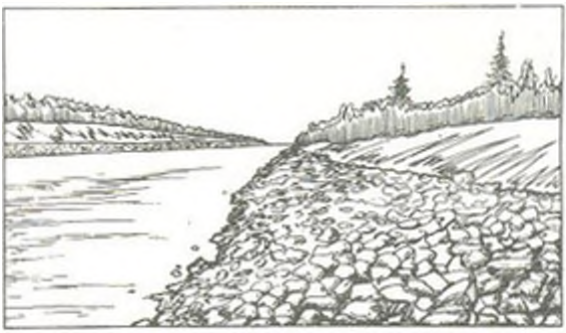


Рис. 21. Крепление откоса канала им. Москвы каменной наброской

Щебеночные или гравийные отсыпки. Для крепления пологих берегов применяют гравийно-галечниковые смеси. Так, правый берег о. Сенеж с уклоном 1 : 10 был образован отсыпкой суглинистого грунта с пригрузкой гравием крупностью до 60 мм.

Некоторые участки Оби и Енисея были защищены от размыва гравийной отсыпкой толщиной 1 м, которая надежно защищает береговую полосу уже 10 лет.

Крепления типа "Волго-Балт". Это крепление в виде железобетонных ящиков, заполненных камнем сравнительно небольшой крупности (20...25 см), выдерживает волны высотой до 2 м. Железобетонные ящики размером 1,2 × 1,2 и 1,5 × 1,5 м, высотой 0,3... 0,4 м, с толщиной стенок 10 см выполнены из бетона класса В25 и армированы одиночными стержнями диаметром 8 мм. Укладывают их на фильтровую подготовку из двух слоев: нижнего из песчано-гравийной смеси толщиной 0,3 м и верхнего из гравия крупно-

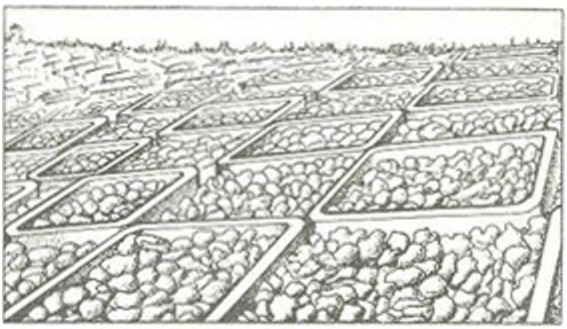


Рис. 22. Каменная наброска в железобетонных ящиках

стью 5...40 мм, толщиной 0,10...0,15 м. Укладку осуществляют в шахматном порядке под углом 45° к образующей откоса, что способствует заклиниванию камня в сходящихся стенках ящиков. Между собой ящики не соединяют. Крепление хорошо гасит волну, уменьшает высоту наката на откос, обеспечивает свободный выход грунтовых вод, обладает гибкостью, его можно возводить в любое время года и легко ремонтировать (рис. 22).

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ СТЫКОВ ОБЛИЦОВОК

Герметизация стыков сборных железобетонных покрытий. Герметики стыков сборных железобетонных покрытий подразделяют на заливочные или мастичные, профильные прокладки и обжатые жгуты, поверхностные — оклеечные и прижимные с применением армированных эластичных лент и других листовых материалов.

Заливочные герметики применяют в основном двух типов: тиоколовые полимерные и битумно-полимерные мастики.

Тиоколовые мастики – двухкомпонентные композиции, состоящие из основной и отверждающей паст, имеющие вязкую консистенцию, способность после смешивания превращаться практически без усадки при нормальной температуре в эластичный материал. Выпускают их в готовом к смешиванию виде, в заводской упаковке. Составы некоторых тиоколовых мастик приведены в таблице 16.

Битумно-полимерные мастики — вязкая масса, поставляемая на строительство в готовом виде.

Мастика МГ-1 обладает повышенными эксплуатационными показателями, состав ее приведен ниже.

Компоненты	Масса, %
Битум БНД 90/130 или БНД 60/90	59...65
Дивинилстирольный термоэластопласт (ДСТ-30)	5,2...5,6
Газовый конденсат	11,4...13,8
Асбестовая мука № 7-520	9...11
Шлифовальная пыль	9...11

Усовершенствованная конструкция деформационного шва, в которой улучшены условия работы герметизирующего материала, что значительно повышает надежность и долговечность битумно-полимерной мастики, показана на рисунке 23. Такую конструкцию водонепроницаемого деформационного шва применяют в сборном железобетонном покрытии дна и откосов каналов через 6 м.

В качестве герметизирующих материалов используют битумно-полимерные мастики, приведенные в таблице 17, и однокомпонентные силиконовые мастики (табл. 18), отверждение которых проис-

16. Состав некоторых тиоколовых мастик

Мастика	Тип тиокола	Содержание компонентов, %			
		тиокол	эпоксидная смола марок ЭД-5, ЭД-40	пластификаторы марок П-ЭОР, П-У	сажа
КБ-0,5	НВТС-25-0,5	100	5	5	15
ТБ-0,5	ТСН-0,5 (80-120)	100	5	3	15
КМ-0,5	ТСН-0,5 (80-120)	100	5	3	15
АМ-0,5	НВТС-25-0,5	100	5	5	–

Продолжение

Мастика	Тип тиокола	Содержание компонентов, %			
		каолин	титановые белила	отвердители	
				П-30	Б-1
КБ-0,5	НВТС-25-0,5	25	–		12
ТБ-0,5	ТСН 0,5 (80-120)	25	–	10...20	
КМ-0,5	ТСН-0,5 (80-120)	25	–	15...23	
АМ-0,5	НВТС-25-0,5		20	17...28	

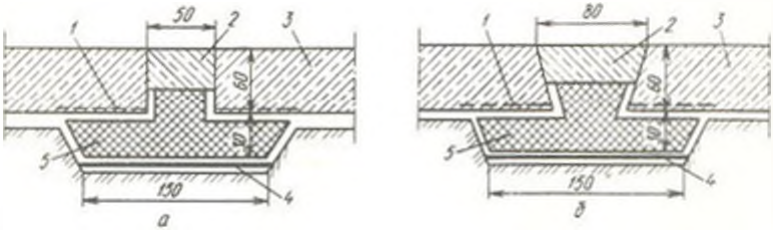


Рис. 23. Деформационный шов по уплотняющей полосе из битумной мастики:

а — по торцам плит; *б* — по длинной стороне; *1* — праймированная поверхность; *2* — бетон; *3* — плиты ПЦК; *4* — полиэтиленовая пленка; *5* — битумная мастика (размеры в мм)

17. Состав различных битумно-полимерных мастик

Мастика	Компоненты, масса в %						
	битум БНД 40/60	битум БН-IV	резиновая крошка	латекс СКД-1	этиленпропиленовый каучук СКЭПТ-30	зеленое масло	порошок известняковый
МБР-75	–	88	7	–	–	5	–
МБР-90	–	93	7	–	–	–	–
БИТЭП	–	85...90	–	–	10...15	–	–
БРМ	78	–	10	–	–	2	10
БКЛ-М	56	–	–	4	–	–	40

18. Состав силиконовых мастик

Мастика	Марка	Компоненты, масса в %					
		паста У-1	катализатор № 18	бензин	паста № 2	катализатор № 28	ГКЖ-94
Виксинт	У-1-18	100	0,33	30...50	–	–	–
Виксинт	У-2-28	–	–	–	100	1,5	1,4

ходит за счет влаги воздуха без добавки катализатора, характеризующиеся высокой химической стойкостью, а также водо- и атмосфероустойчивостью. Перед укладкой силиконовой мастики необходимо нанести специальную эпоксидную грунтовку.

Профильные прокладки для герметизации стыков сборных железобетонных покрытий изготавливают в основном из пороизола — эластичного пористого материала черного цвета, по внешнему виду напоминающему губчатую резину, с закрытыми внутренними порами.

Обжатые жгуты из пороизола применяют в качестве амортизатора на период монтажа сборного покрытия каналов для повышения противофильтрационных свойств герметизирующего шва.

Обжатые прокладки из пороизола или битумно-полимерных мастик можно использовать при устройстве сборных железобетонных покрытий с самоуплотняющимися швами.

Оклеечные и прижимные герметики применяют в виде тиоколовых лент или армогерметиков, работающих при значительных напряжениях и на деформируемых грунтах основания.

Армогерметики изготовляют из вулканизирующих мастик-эластомеров, армированных стеклохолстом. Основное преимущество их –

высокая прочность при разрыве, превышающая прочность гидротехнического бетона, деформируемость шва обеспечивается компенсаторным устройством. Длина провеса-компенсатора должна быть равна 10 см + $1,2\,b_{ш}$, где $b_{ш}$ – расчетная ширина шва. Толщина армогерметика, пропитанного мастикой, не должна быть более 1,5 мм.

Техническая характеристика герметизирующих мастичных материалов, выпускаемых в СССР, основой которых являются полимеры, приведена в таблице 19.

19. Технические характеристики герметизирующих мастик

Материал	Сопротивление разрыву, не менее, МПа	Деформируемость при разрыве, не менее, %	Сопротивление отрыву от субстрата, не менее, МПа	Жизнеспособность, лет	Водопоглощение, %	Допускаемые температуры эксплуатации, °С
Мастика полиизобутиленовая строительная УМС-50	0,1	200	0,12	–	0,8	–50...+70
Двухкомпонентные тиоколовые мастики:						
ГС-1 и У-30М	10	70	10	4	1...2	–40...+70
КБ-0,5 АМ-0,5	3	170	–	1...6	–	–50...+70
Однокомпонентные тиоколовые мастики 51-УТО-40 и 51-УТО-43	5	100	3	–	3	–40...+70
Нетвердеющие мастики МПС и НТМ	0,09	200	0,09	–	0,9 по объему	–20...+50
Пенополиуретановый заливочный герметик	2	180	2,5	–	2...2,5	–32...+70
Бутилкаучуковые нетвердеющие мастики	0,1	150	–	–	0,8	–40...+70
Бутилкаучуковые мастики ЦПЛ-2, БГМ-1, БГМ-2	15...20	150...200	4	2	0,01	–40...+70
Однокомпонентная силиконовая мастика эластосил 11-06	20	150	20	–	–	–50...+90

Герметизация стыков монолитных бетонных покрытий. При устройстве деформационных и температурных (ложных) швов в монолитных бетонных облицовках используют в основном те же типы герметизирующих уплотнений, что и при устройстве швов в сборных железобетонных покрытиях.

Среди указанных выше типов герметизирующих уплотнений, с уче-

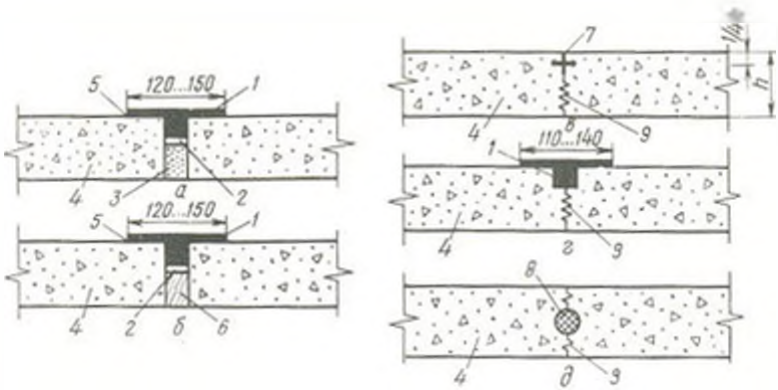


Рис. 24. Конструкции деформационных и ложных швов в монолитных облицовках каналов:

а, б – деформационные швы; *в, г, д* – температурно-усадочные швы; *1* – битумно-полимерная мастика; *2* – противоадгезионный слой; *3* – цементный раствор; *4* – монолитный бетон; *5* – заплечики из битумно-полимерной мастики; *6* – антисептированный деревянный брус; *7* – герметизирующая профильная прокладка; *8* – пороизол; *9* – упругая прокладка

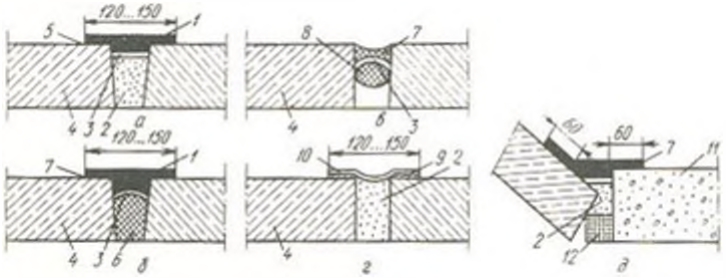


Рис. 25. Конструкции деформационных швов в сборных и комбинированных облицовках канала:

а, б, в, г – для любого варианта устройства облицовки из сборных железобетонных плит; *д* – для сопряжения откосных сборных плит: *1* – битумно-полимерная мастика; *2* – цементный раствор; *3* – противоадгезионный слой; *4* – сборные железобетонные плиты; *5* – заплечики; *6* – пороизол; *7* – полимерная мастика; *8* – упругая прокладка; *9* – клей из тиоколовой мастики; *10* – армогерметик; *11* – монолитный бетон; *12* – упорная призма

том использования современных средств механизации строительных работ на крупных каналах, в основном применяют профильные прокладки в виде эластичных полос (лент) из резины, ПВХ, неопрена и других синтетических материалов.

Конструкции деформационных и температурных (ложных) швов монолитных облицовок каналов показаны на рисунке 24.

Конструкции швов, выполняемых путем устройства заглубленных герметизирующих шпонок (рис. 25, *в*, *д*) с заполнением полосы шва упругопластичными мастиками – асфальтовыми и битумно-полимерными (рис. 25, *а*, *б*, *г*) – применимы в любых вариантах монолитных облицовок каналов.

Ориентировочные технико-экономические показатели устройства деформационных и ложных швов в облицовках каналов (см. рис. 24, 25) с использованием битумно-полимерной мастики МГ-1 приведены в таблице 20.

Расчет деформационных швов. Основное требование, предъявляемое к деформационным швам облицовок каналов, – герметичность и надежность в эксплуатации.

При проектировании противофильтрационных облицовок важно правильно выбрать герметизирующий материал для заполнения швов и обоснованно назначить их размеры.

Ширину швов из герметиков-эластомеров (тиоколовые мастики КМ-0,5; АМ-0,5; КБ-0,5, силиконовые мастики и др.), практически не изменяющих своих деформационных свойств под влиянием температуры, определяют по зависимости, учитывающей температурные деформации грунтов основания и показатели физико-механических свойств герметиков.

$$B_{ш} \geqslant \frac{\Delta h + \alpha \delta_0 (t_{max} - t_{min})}{0{,}01\, \epsilon\, K} \geqslant [\delta], \qquad (26)$$

где δ_0 – ширина облицовки, см; $B_{ш}$ – ширина деформационного шва, см; Δh – предельное высотное смещение одной плиты относительно другой, составляющее не более 40 % общей ожидаемой предельной деформации основания, см; α – коэффициент линейного расширения бетона, град; t_{max}, t_{min} – максимальная и минимальная температура воздуха, наблюдавшаяся в районе строительства, °С; ϵ – относительное удлинение при разрыве образцов герметика, выдержанных на воздухе, %; K – коэффициент, учитывающий снижение деформационных свойств упругого герметика в результате внешних воздействий и длительного напряжения (для тиоколовых мастик $K = 0{,}25$); $[\delta]$ – минимальная ширина шва, при которой герметик сохраняет упругие свойства, см.

Ширину швов из тиоколовых мастик (АМ-0,5; КМ-0,5; КБ-0,5) определяют по номограмме (рис. 26), построенной на основании формулы (26).

20. Ориентировочные технико-экономические показатели устройства швов в облицовках каналов на основе битумно-полимерной мастики МГ-1

Тип шва (см. рис. 25)	Расход основных материалов на 100 м шва							Стоимость устройства 100 м шва, р		Затраты труда одного человека на устройство 100 м шва, дней	
	битумно-полимерная мастика, кг	поролон диаметром 35 и 40 мм, кг на 1 м	цементный раствор В10, л	противоадгезионный раствор (тальк, в том числе мыло и вода в соотношении 1 : 1), кг	грунтовочный состав (битумно-полимерная мастика – 1 весовая часть, газовый конденсат – 1 весовая часть), кг	деревянные бруски хвойных пород IV сорта, м³	светозащитный окрасочный состав (битумно-полимерная мастика – 1 весовая часть, газового конденсата – 1,5...2 весовых частей, алюминиевая пудра – 0,3 весовые части), кг	с применением заливщика швов МБ-16	вручную	с применением заливщика швов МБ-16	вручную
а	85	–	100	25	42	–	10,2	38,67	48,14	1,77	4,62
б	98	80/100	–	25	42	–	10,2	61,23	63,51	2,44	4,39
д	121	–	1200	32	51	0,18	10,2	60,58	64,88	2,20	4,83
а	72	–	90	18	42	–	10,2	39,42	41,73	1,57	4,62
б	72	–	–	18	42	0,18	10,2	38,16	43,96	0,94	3,99
г	61	–	–	–	31	–	10,2	27,33	33,24	1,01	3,69
д	20	80/100	–	–	–	–	–	–	29,57	–	3,38

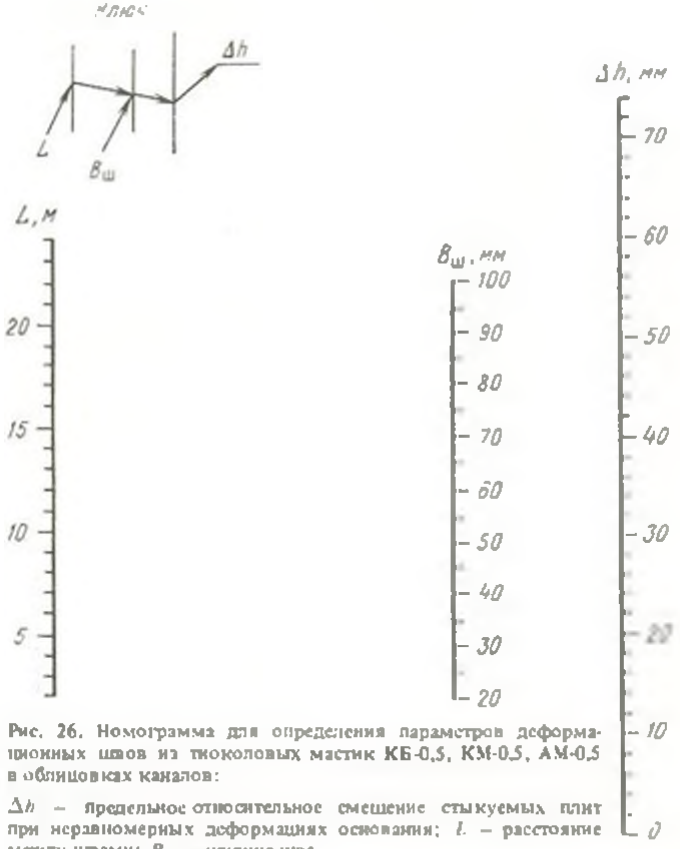


Рис. 26. Номограмма для определения параметров деформационных швов из тиоколовых мастик КБ-0,5, КМ-0,5, АМ-0,5 в облицовках каналов:

Δh – предельное относительное смещение стыкуемых плит при неравномерных деформациях основания; L – расстояние между швами; $B_ш$ – ширина шва

Ширину швов из битумно-полимерных мастик, деформационные свойства которых зависят от температуры окружающего воздуха, рассчитывают по формуле

$$B_ш \geqslant \frac{\Delta h}{0{,}01\,\epsilon_2 K_2} + \frac{\alpha \delta_0 (t_{max} - t_{min})}{0{,}01\,\epsilon_1 K_1} \geqslant [\delta], \qquad (27)$$

где ϵ_1 – среднее значение показателя относительного удлинения герметика при разрыве в диапазоне эксплуатационных температур от t_{max} до t_{min}; ϵ_2 – среднее значение показателя относительного удлинения герметика в диапазоне

температур, при которых отмечены неравномерные деформации основания (морозное пучение от 0 до −40 °С, просадка и набухание от 5 до 25 °С), %; K_1 – коэффициент усталости материала заполнения шва, учитывающий снижение деформационных свойств герметика при длительной работе в диапазоне эксплуатационных температур от t_{max} до t_{min}; K_2 – коэффициент усталости материала заполнения шва, учитывающий снижение деформационных свойств герметика в результате длительной работы в области положительных или отрицательных температур.

Для битумно-полимерных и резинобитумных мастик на основании экспериментальных данных (Алимов, 1981, 1986) принимают $K_1 = 0{,}6$, а K_2 – в зависимости от характера деформации основания: морозное пучение – 0,7; просадка, выпор, набухание – 0,4.

Относительное удлинение битумно-полимерной мастики МГ-1 и битумно-бутилкаучуковой мастики МББГ зависит от температуры воздуха в период эксплуатации (табл. 21).

21. Относительное удлинение битумно-полимерных мастик, %

Температура, °С	МГ-1	МББГ
40	250	210
20	190	125
0	100	80
−20	15	55
−30	10	20

Ширину швов из битумно-полимерных мастик МГ-1 и МББГ находят по номограммам (рис. 27, 28), построенным по данным формулы (28).

Толщину герметика (мм) в конструкции шва рассчитывают по формуле

$$\delta \geqslant 98 \frac{m \gamma H B_{ш}}{|\sigma|}, \qquad (28)$$

где m – коэффициент условий работы шва, $m = 1{,}3$; γ – плотность воды, г/см³; H – наполнение канала, м; $B_{ш}$ – ширина шва, см; $|\sigma|$ – допустимая адгезия или когезия (принимают наименьший показатель), КПа.

При расчете параметров противофильтрационных облицовок следует учитывать все виды нагрузок, действующих на облицовку в процессе ее устройства и эксплуатации: обмерзание облицовок по контакту с ложем канала (при незаполненном канале); температурно-усадочные деформации в бетоне при укладке в облицовку; воздействие напора воды в канале и со стороны грунтовых вод; волнение и

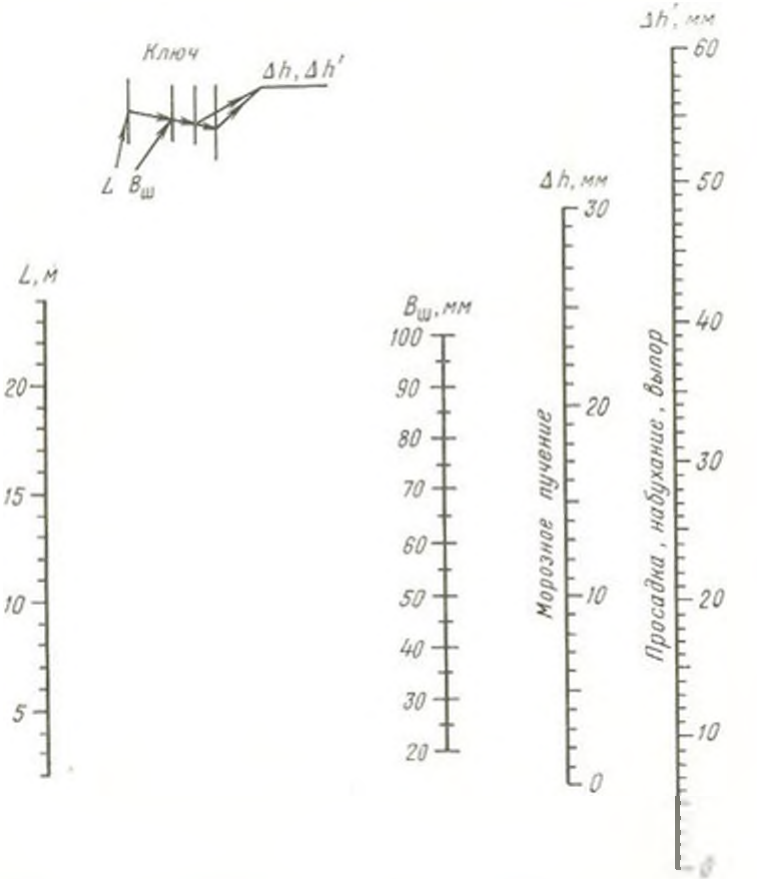


Рис. 27. Номограмма для определения параметров деформационных швов из мастики МГ-1 в облицовках каналов:

Δh, $\Delta h'$ - предельное относительное смещение стыкуемых плит при неравномерных деформациях основания

ледовые нагрузки, возникающие в зоне изменения эксплуатационного уровня воды в канале, и др.

Расстояния между деформационными швами в монолитных бетонных и железобетонных облицовках при их смерзании с ложем канала рассчитывают по зависимостям:

для монолитной бетонной облицовки

$$l_б \leqslant 1{,}16\,\delta_0\,R_р / \sigma_с. \qquad (29)$$

где $l_б$, δ_0 – соответственно длина и толщина бетонной плиты, м; $R_р$ – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению для предельного состояния первой группы; $\sigma_с$ – напряжение смерзания плиты облицовки с основанием при глубине промерзания подстилающих грунтов до 1,4 м, вычисляемое по зависимости, полученной по данным натурных исследований, КПа:

$$\sigma_с = 23 + 24\,\delta_0; \qquad (30)$$

для монолитной железобетонной облицовки

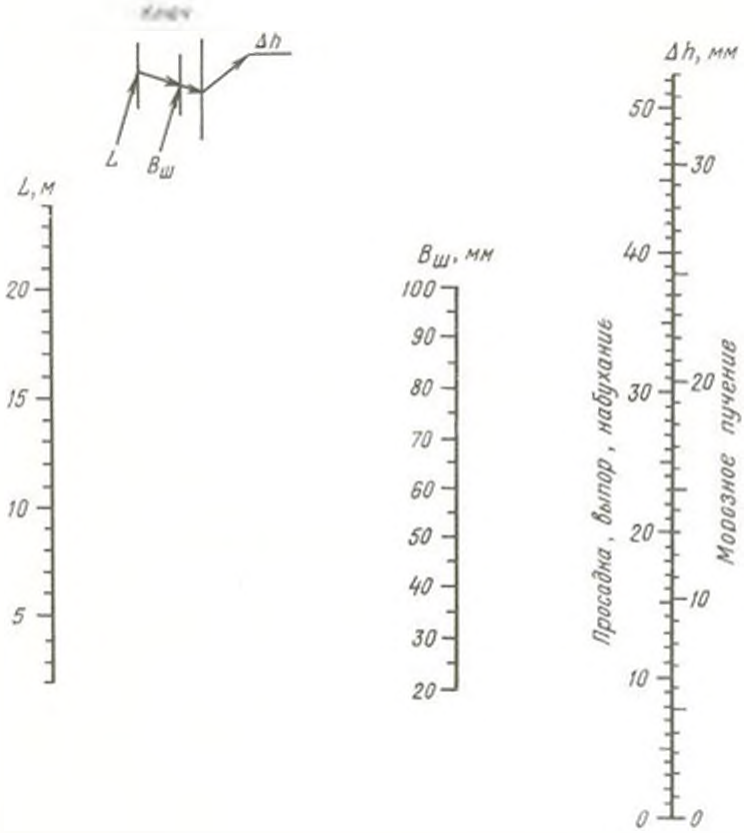


Рис. 28. Номограмма для определения параметров деформационных швов из битумно-бутилкаучуковой мастики (МББГ) в облицовках канала

$$l_{жб} \geqslant p/2 + \sqrt{p^2/4 + q}. \qquad (31)$$

где $l_{жб}$ – расстояние между швами в монолитной железобетонной облицовке, м; p, q – величины, определяемые по зависимостям:

$$p = \frac{0{,}36\,R_{пр}\,\delta_в - 2{,}93\,R_а\,\mu\,\delta_в}{\sigma_2};$$

$$q = 6{,}4 \cdot 10^{-4}\,\mu R_а\,\delta_0^2\,(1{,}06\,R_{пр} - \mu R_а),$$

где $R_{пр}$ – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию для предельных состояний первой группы, КПа; $R_а$ – расчетное сопротивление арматуры растяжению для предельных состояний первой группы, КПа; μ – коэффициент армирования; σ_2 – адгезия или когезия, КПа.

Предельное расстояние между температурно-усадочными швами в монолитной бетонной облицовке определяют по формуле

$$l_{max} = 2\,\frac{\delta_в E}{G}\,\text{arc ch}\,\frac{\epsilon E}{\epsilon E - R}, \qquad (32)$$

где ϵ – относительная усадочная деформация; R – предел прочности бетона при растяжении, КПа; G – модуль сдвига бетона, $G = 0{,}4E$; E – модуль упругости бетона в начальный период его твердения, кг/см^2.

Установлено, что усадочные напряжения в бетоне достигают максимального значения через 10...12 ч после его укладки в конструкцию облицовки. Модуль упругости бетона в этом возрасте составит $E_{0{,}5\,сут} = 45\,000$ кг/см^2 (СНиП II-56–77).

Подставляя в формулу (32) значение параметров G, $E_{0{,}5\,сут}$ и вводя коэффициент $\gamma = 1{,}75$, учитывающий снижение напряжений в бетоне при усадке вследствие пластических деформаций, получим

$$l_{max} = 3{,}16\,\sqrt{n}\,\text{arc ch}\,\frac{45\,000\,\epsilon}{45\,000\,\epsilon - 0{,}0175\,R_р}. \qquad (33)$$

Контрольные расчеты, выполненные по формуле (33), показали достаточно близкую сходимость вычисленных значений l_{max} с натурными данными.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ И БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

До последнего времени одним из существенных недостатков технологии строительства монолитных бетонных облицовок была сезонность работ. Бетонную смесь в облицовку каналов укладывали с набором прочности бетона не менее 50 % проектной прочности до наступления периода отрицательных температур и возможности промерзания облицовки.

Опыт применения противоморозных добавок, например аммиачной воды, показал, что бетон можно укладывать в облицовки канала не только при положительных температурах, но и в широком диапазоне отрицательных температур.

При сооружении монолитных бетонных облицовок каналов в зависимости от их конструкций и параметров применяют следующие комплексы машин и оборудования: планировщики, бетоноукладчики, машины для устройства деформационных швов и для ухода за бетоном; бетоносмесительные установки и автобетоносмесители, обеспечивающие приготовление и доставку бетона к бетоноукладочным машинам; транспортные машины, обеспечивающие подачу бетонной смеси и других материалов, применяемых при устройстве облицовок каналов; вспомогательные машины и оборудование, необходимые для перебазирования и технического обслуживания комплекса машин.

Машины и механизмы, применяемые для облицовки каналов монолитным бетоном: виброформы полнопрофильные скользящие и на рельсовом ходу; виброформы полупрофильные на рельсовом ходу; оборудование к одноковшовому экскаватору для бетонирования откосов.

Технические характеристики машин и механизмов, предназначенных для устройства монолитных бетонных облицовок, приведены в таблицах 22...26.

Каналы глубиной от 0,6 до 1,6 м бетонируют полнопрофильными виброформами МБ-15А, МБ-17 и бетоноукладчиком МБ-11А.

Виброформы МБ-15А и МБ-17 представляют собой профильный бункер по размеру канала, имеющий распределительные и рабочие органы для уплотнения бетона, вибронож и лебедку. С помощью последней виброформа самоподтягивается к якорю, в качестве которого используют экскаватор ЭТР-201А либо два трактора класса тяги 6...10. Виброформы имеют ячеистый бункер-распределитель, куда

22. Машины для строительства монолитных бетонных облицовок каналов, их классификация (по ведущей машине) и основные характеристики

Параметры канала	Тип машин (основной)							
	профильные				мостовые			
					продольные		поперечные	
Глубина, м	1...0,6	1,6...1,1	1,5...0,9	3...1,5	5,7...2	7,2...2,5	5...2,5	6...2
Ширина по дну, м	0,8...0,4	1,2...0,8	1,2...0,8	2,5...1,5	8...3	20...3	8...4	—
Длина откоса, м	1,8...1,1	3...1,9	2,7...1,6	5,4...2,7	13...6	16,2...5,5	11...4,5	20...3
Заложение откосов	1...1,5	1...1,5	1...1,5	1...1,5	1...2; 2...2,5; 1...3	1...2; 1...2,5; 1...3	1...1,5; 1...2	1...1,5; 1...2; 1...3

23. Машины для профилирования и планировки ложа канала

Показатель	Шнекороторный экскаватор		Экскаватор-профилировщик			Многоковшовый цепной экскаватор ЭМ-202	Сменное оборудование к экскаватору Э-652Б
	ЭТР-201А	ЭТР-206А	МБ-10А	МБ-4 (Д-654Б)	МБ-1 (Д-582)		
Техническая производительность, м³/ч	250	350	56...46	50	54...40	38	200...60
Рабочий орган	Шнекороторный с отвальным транспортером		Многоковшовый цепной поперечного черпания				Планировщик ковшовый
Ходовое оборудование	Гусеничный трактор		Рельсовый ход				Полурельсовый ход
Обслуживающий персонал, чел.	2	2	1	1	2	2	3

24. Машины для бетонирования каналов

Показатель	Виброформы		Бетоноукладчики		
	МБ-15А	МБ-17	МБ-11Б	МБ-5 (Д-655В)	МБ-2 (Д-580)
Техническая производительность, м³/ч	17...14	30...17	28	38	21
Рабочий орган	Бункер профильный, ползущий вдоль канала		Бункер профильный ячеистый, виброброс	Ковшовый бункер, виброброс	
Ходовое оборудование	Самоподтягивающийся к якорю		Рельсовый ход		
Обслуживающий персонал, чел.:					
основной	1	1	1	1	2
вспомогательный	4	5...7	2	2	3

25. Машины для устройства деформационных швов

Показатель	Виброформы		Нарезчики швов		
	МБ-15А	МБ-17	МБ-12Б	МБ-6 (Д-656)	МБ-3 (Д-651)
Техническая производительность, м шва за 1 ч	30	30	19...9	84	100
Рабочий орган	Гильотинный вибронож		Профильный гильотинный нож	Два виброножа на каретке	
Ходовое оборудование	Виброформы ползучие самоподтягивающиеся		Рельсовый ход		
Обслуживающий персонал, чел.	1	1	1	1	2

Показатель	Распределитель пленкообразующей жидкости МБ-23	Нарезчики швов		
		МБ-12А	МБ-6 (Д-656)	МБ-3 (Д-651)
Техническая производительность, м³/ч	230	2500	4500	5000
Рабочий орган		Поливочное устройство		
Ходовое оборудование		Колесный ход		
Обслуживающий персонал, чел.	2	1	1	2

подается бетонная смесь из автосамосвалов или бадьями с помощью крана. Уложенный бетон уплотняют вибробрусьями по всему профилю канала. Швы нарезают гильотинным профильным виброножом, установленным поперек сечения канала. Электропитание виброформ — от передвижной электростанции. Обслуживают виброформу машинист и бетонщик.

Совместно с виброформами работает распределитель пленкообразующего материала МБ-23, распыляющий лак "этиноль" на свежеуложенное бетонное покрытие, чем обеспечивается безвлажностный уход за покрытием.

Каналы глубиной до 1,5 м облицовывают монолитным бетоном, используя комплект машин: экскаватор-профилировщик МБ-10Б, бетоноукладчик МБ-11Б (ведущая машина) и нарезчик швов МБ-12Б. Машины комплекта выполняют профилирование грунта ложа канала, укладку подстилающего слоя, бетонирование полного профиля канала и нарезку поперечных швов в свежеуложенном бетоне с распылением по поверхности пленкообразующей жидкости. Все машины комплекта самоходные и передвигаются по рельсовому пути, установленному по бермам под заданный уклон.

Каналы глубиной до 3 м облицовывают монолитным бетоном, используя комплект машин на рельсовом ходу, в который входят экскаватор-профилировщик МБ-4Б (Д-654Б), бетоноукладчик МБ-5 (Д-655) и нарезчик швов МБ-6 (Д-656).

Каналы глубиной до 5 м облицовывают монолитным бетоном, используя комплект полупрофильных машин на рельсовом ходу, состоящий из экскаватора-профилировщика МБ-1 (Д-582), бетоноукладчика МБ-2 (Д-580) и нарезчика швов МБ-3 (Д-651). Для герметизации деформационных швов применяют заливщик швов МБ-16А.

Для приготовления бетонной смеси используют бетоносмесительную установку непрерывного действия СБ-109 производительностью 120 м³/ч. Бетонную смесь можно приготавливать и доставлять до

объекта строительства автобетоносмесителями СБ-69Б или СБ-92 с объемом готового замеса 2,5 и 3,5 м³. Перебазируют машины с объекта на объект тракторами-тягачами, установив пневмошинные колеса, входящие в комплект.

Для чистовой планировки за один проход откоса и части дна канала предназначен экскаватор-профилировщик МБ-24.

Бетоноукладчик МБ-25 принимает бетонную смесь, уплотняет и распределяет ее по откосу и части дна, устраивает в ней продольные деформационные швы с герметизирующими профильными элементами. Формование бетонной облицовки происходит одновременно с закладкой в нее профильной ленты для образования герметичных продольных швов.

Для устройства поперечных деформационных швов с закладными герметизирующими профильными элементами и нанесения пленкообразующей жидкости на поверхность свежеуложенного бетона предназначен нарезчик швов МБ-26.

Опыт применения бетоноукладочного комплекса "Рахко" на Каховской оросительной системе. В 1975 г. в США были закуплены два комплекса бетоноукладочных откосных машин фирмы "Рахко" для строительства монолитных бетонных облицовок и вспомогательные машины.

Эти комплексы работали на Каховской оросительной системе на Украине и на Комсомольской оросительной системе в Поволжье. Схема поперечного сечения канала, бетонируемого комплексом "Рахко", показана на рисунке 29, а состав комплекса – на рисунке 30.

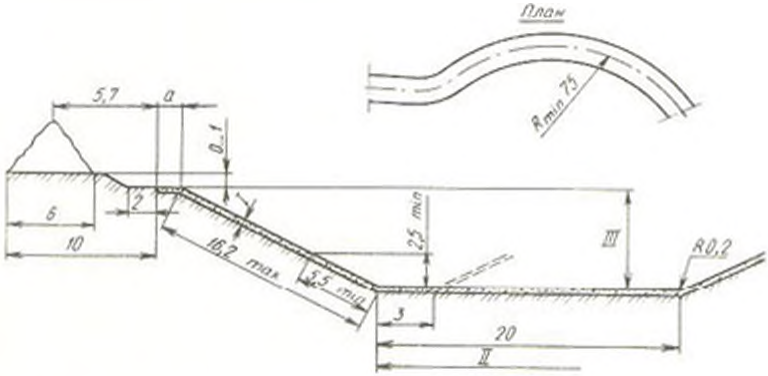


Рис. 29. Схема поперечного сечения канала, бетонируемого комплексом "Рахко" (размеры в м):

I – возможная толщина бетонной облицовки – 0,10; 0,15; 0,20 м; *II* – общая ширина дна канала – 3, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 м; *III* – максимальная глубина (при $m = 2,0$) – 7,2 м; *a* – ширина заплечика (при $m = 1,5$ и 2,0 – 0,2 м; $m = 2,5$ – 0,3 м и $m = 3,0$ – 0,4 м)

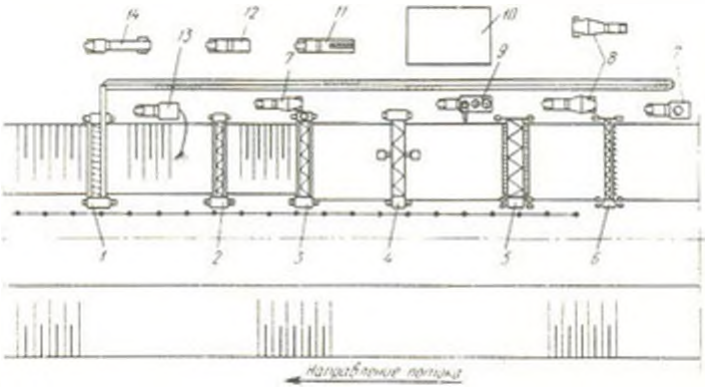


Рис. 30. Технологическая схема строительства монолитных бетонных облицовок комплексом фирмы "Рахко":

1 – экскаватор-профилировщик HT-560C; *2* – бетоноукладчик HS-60C; *3* – платформа для устройства поперечных швов HJJ-60C; *4* – платформа для устройства продольных швов; *5* – платформа для отделки поверхности облицовки HWJ-60C; *6* – платформа для ухода за бетоном HJJ-60C; *7* – автобетоносмесители; *8* – гидравлический транспортный подъемник RH-120; *9* – фронтальный погрузчик H-90E; *10* – бетонный завод "Уинплан 135S"; *11* – автокран с платформой для перевозки катушек с лентами "констоп" грузоподъемностью 5 т; *12* – цистерна для пленкообразующей жидкости на базе автомобиля; *13* – цистерна для воды на базе автомобиля; *14* – автозаправщик

Русло канала разрабатывают общестроительной землеройной техникой, не входящей в комплекс машин "Рахко", с недобором грунта до 0,45 м.

Самоходный экскаватор-профилировщик HT-560C производительностью до 300 м³/ч срезает слой грунта до 0,45 м. Эта самоходная установка на гусеничном ходу снабжена фрезерно-роторным рабочим органом и транспортером для перемещения и выгрузки срезанного грунта на берму канала. Обслуживающий персонал – 3 чел.

Бетоноукладчик HS-60C укладывает слой монолитного бетона на откос и часть дна канала или только на дно канала с одновременным устройством продольных деформационных швов. Эта самоходная установка на гусеничном ходу может быть использована также для устройства щебенисто-гравийного слоя и укладки бетона на арматуру. Машина оборудована вибротрубой для уплотнения бетона и устройством для закладки в продольные швы пластмассовых профильных герметизирующих лент типа "констоп". Производительность – 60...120 м³/ч, обслуживающий персонал – 3 машиниста и 6 бетонщиков.

Самоходная платформа для устройства поперечных швов HJJ-60C оборудована двумя подвижными тележками, имеющими устройства для заделки в поперечные швы пластмассовых профильных герметизирующих лент типа "констоп". Производительность – 15 м/ч, обслуживающий персонал – 3 машиниста и 2 бетонщика.

Самоходная платформа для отделки поверхности облицовки HJJ-60C предназначена для размещения рабочих, заглаживающих с помощью ручного инструмента поверхность свежеуложенного бетона. Производительность – 720 м²/ч, обслуживающий персонал – 1 машинист и 8 бетонщиков.

Конечная операция в технологическом процессе – уход за бетоном с помощью платформы HJJ-60C путем распыления на свежеуложенное бетонное покрытие пленкообразующей эмульсии. Это позволяет сохранить влагу в твердеющем бетоне и получить требуемые характеристики бетонной облицовки. Производительность – 300 м²/ч, обслуживающий персонал – 1 чел.

Для обеспечения бетоноукладочного комплекса бетонной смесью в комплект входит *передвижной бетонный завод "Уинплан 135S"*, который имеет в составе: бетоносмесительную установку с расходными емкостями для составляющих бетона, дозаторы, оборудование для введения жидких добавок, склад материалов, транспортное технологическое оборудование и т. д.

Перемешивание и подачу бетонной смеси к бетоноукладчику выполняют автобетоносмесители.

В состав комплекса также входит оборудование для транспортировки машин с объекта на объект, ввода и вывода их из канала.

Комплекс бетоноукладочных машин "Рахко" позволяет устраивать противофильтрационные облицовки на каналах с различными параметрами из монолитного бетона, железобетона и бетонопленочных покрытий, а кроме того, его можно применять при строительстве дорожных бетонных и железобетонных покрытий.

Все машины комплекса имеют автоматические системы управления (по базовому копирному тросу, грунтовому основанию и поверхности облицовки), которые с высокой точностью обеспечивают выдерживание в заданных пределах уклонов канала, заложений откосов и толщин облицовок. Точность профилирования земляных откосов составляет +6 мм, выдерживания толщины слоя бетонной облицовки – ± 3 мм. Кроме того, автоматические системы управления комплекса продублированы ручным управлением, что повышает маневренность машин и увеличивает надежность системы управления.

Высокая производительность комплекса требует четких организационно-технических мероприятий, связанных с обеспечением фронта работ, своевременного выполнения земляных работ и непрерывного обеспечения комплекса бетонной смесью, что не всегда легко выполнить.

Недостаток комплекса "Рахко" – необходимость больших затрат ручного труда при отделке поверхности облицовки с платформы HJJ-60C.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ

Технология строительства асфальтобетонных облицовок зависит от применяемых в каждом конкретном случае типов покрытий, размеров сооружаемых каналов, способов возведения ("насухо" или "в воду") и наличия используемых машин и механизмов.

Устройство монолитных асфальтобетонных облицовок из горячих уплотняемых смесей состоит из следующих операций: приготовление и транспортирование, подготовка основания, укладка и уплотнение, поверхностная обработка готового покрытия.

Для осуществления указанных операций при строительстве каналов необходимо предусмотреть комплексную механизацию всего производственного процесса с учетом местных условий строительства.

При устройстве монолитных АБ и АПБ облицовок применяют следующие комплексы машин и механизмов: для подготовки основания под облицовку, обеспечивающие планировку, стерилизацию и

уплотнение грунтового ложа канала; для устройства переходных слоев подготовки и укладки АБ и АПБ смесей в канале; для уплотнения смесей; для поверхностной обработки уложенного покрытия. Технологический процесс приготовления гидротехнических АБ смесей аналогичен процессу приготовления АБ смесей, применяемых в дорожном строительстве. Поэтому для их приготовления можно применять серийные асфальтосмесительные установки.

Ориентировочные составы гидротехнических АБ смесей приведены в таблице 27, а АПБ смесей для монолитных облицовок (Стабников, 1980) – в таблице 28.

27. Ориентировочные составы гидротехнических АБ смесей, % по массе

Компонент	Содержание фракций в составе		
	песчаном	мелкозернистом	пористом
Щебень	–	10...25	40...65
Каменная крошка крупностью до 5 мм	20...35	40...65	20...35
Среднезернистый песок	40...65	15...25	15...25
Порошкообразный наполнитель	15...25	15...20	0...5
Волокнистый наполнитель, асбест VII сорта	1...5	1...3	–
Нефтяной битум БНД 40/60 или 60/90 (сверх 100 % минеральной части)	8...11	7...10	5...7

28. Ориентировочные составы АПБ смесей для монолитных облицовок

Компонент	Мелкозернистый АПБ		Среднезернистый АПБ бетон
	северные районы	центральные районы	южные районы
Щебень или гравий (15...25 мм)	–	–	17.5
Щебень или гравий (5...15 мм)	36.5	36.5	17.5
Песок или каменная крошка (до 5 мм)	45.5	45.5	20.0
Песок крупностью до 2 мм	–	–	25.0
Минеральный порошок	16...18	16...18	20

Продолжение

Компонент	Мелкозернистый АПБ		Среднезернистый АПБ бетон
	северные районы	центральные районы	южные районы
Битум (сверх 100 % минеральной части)	БНД 90/130 7...9	БНД 60/90 3...9	БНД 40/60 9...10
Полимерная добавка (свыше, % от количества битума)	Этиленпропиленовый каучук (СКЭПт) 5...10	Этиленпропиленовый каучук (СКЭПт) 3...5	Латекс (СКД-1) 1...3

Помимо СКЭПт и СКД-1 в качестве полимерных добавок применяют дивинилстирольный термоэластопласт ДСТ-30 первой или второй групп с характеристикой вязкости не менее 1,2; латекс СКС-30 (водная эмульсия дивинилстирольного каучука).

Проводятся исследования по использованию полимерных отходов и побочных продуктов производства полимеров для модификации битумных вяжущих с целью повышения эксплуатационных качеств и снижения расхода битумов: резины (резиновая крошка, регенераты, отходы производства шин и резинотехнических изделий); полиолефинов (полиэтилен, полипропилен, сополимеры этилена с пропиленом и др.); латексов и каучуков (неутилизированные полимерные отходы синтетических латексов и каучуков, накапливающихся в больших количествах в сточных водах производств товарных латексов и каучуков при чистке оборудования на заводах синтетических каучуков).

Для выпуска АПБ смесей асфальтобетонные заводы (АБЗ) оснащают установками для приготовления битумно-полимерных вяжущих (БПВ).

Установка представляет собой два битумонагревательных котла, снабженных системой принудительной циркуляции БПВ, с лопастными мешалками, дозатором полимера, терморегулирующей аппаратурой, насосом и трубопроводом для подачи готового БПВ в смесительную установку. Два котла необходимы для обеспечения непрерывности процесса приготовления БПВ, так как пока из одного котла вяжущее расходуется, во втором оно приготавливается.

БПВ приготовляют таким образом. В котел битумным насосом по битумопроводам подают 60...70 % объема обезвоженного битума, выпаренного в инвентарном битумном котле АБЗ. В охлажденный до

120...115 °С битум вводят полимер. Например, используя в качестве полимерной добавки водный раствор латекса (СКД-1), при его введении происходят интенсивное испарение воды и пенообразование с одновременным увеличением объема вяжущего в котле, вследствие чего возникает опасность выплескивания его наружу. Поэтому полимер вводят постепенно, небольшим расходом, интенсивно перемешивая лопастной мешалкой. По окончании введения полимера вяжущее выдерживают 3...4 ч при температуре 130...140 °С с включенной системой циркуляции до полного совмещения полимера с битумом.

Готовность вяжущего определяют по постоянству температур размягчения и пенетрации, которые должны соответствовать приведенным ниже физико-механическим свойствам БПВ при заданном его количестве.

Свойство	Показатель
Глубина проникания иглы, не менее, % от показателя исходного битума:	
при 25 °С (100 г 5 с)	65
при 0 °С (200 г 60 с)	100
Температура размягчения, не менее, % от показателя исходного битума	105
Растяжимость, не менее, см:	
при 25 °С	40
при 0 °С	12

Перед подачей в дозатор смесителя БПВ разогревают до 150...160 °С. Длительный нагрев вяжущего до температуры 160 °С, как и кратковременный нагрев до температуры свыше 180 °С, недопустим, так как это приводит к деструкции полимера и вяжущее теряет необходимые свойства (происходит "пережог" вяжущего).

Полимер, введенный в битум, значительно увеличивает его вязкость. Поэтому вся аппаратура установки для приготовления БПВ (котлы, битумопроводы, насосы и краны) должна иметь систему обогрева и хорошую теплоизоляцию.

Технологическая схема приготовления АПБ приведена на рисунке 31.

АПБ приготавливают перемешиванием разогретых в сушильном барабане до 200...220 °С минеральных материалов с БПВ, имеющим температуру 150...160 °С, минеральный порошок подают в смеситель в холодном состоянии по отдельному тракту подачи.

При содержании полимера до 3 % время перемешивания смеси не увеличивается. Практика показывает, что при приготовлении гидротехнических АПБ смесей на серийных АБЗ их производительность не уменьшается.



Рис. 31. Технологическая схема приготовления асфальтополимербетонной смеси

На выходе из смесителя АПБ имеет температуру около 160 °С. Показатели физико-механических свойств АПБ смеси должны соответствовать следующим данным.

Объемная масса, г/см³	Не менее 2,25
Остаточная пористость, % объема	Не более 3
Прочность при сжатии, МПа:	
при 20 °С	Не менее 1,9
То же после насыщения под вакуумом	Не менее 1,7
при 50 °С	Не менее 0,7
Водопоглощение по объему под вакуумом, % объема	Не более 0,6
Набухание под вакуумом, % объема	Не более 0,5

АПБ смеси к месту укладки транспортируют автосамосвалами, оборудуемыми в случае необходимости системой обогрева или теплоизоляцией.

Стерилизация грунтового ложа каналов – обязательная операция при строительстве АПБ облицовок.

Противофильтрационные облицовки оросительных каналов повреждаются двумя группами сорных многолетних растений: корневищными (тростник, рогоз, свинорой и пырей ползучий) и корнеотпрысковыми (бодяк, вьюнок полевой, горчак ползучий, гумай), которые размножаются преимущественно вегетативным способом и обладают большой регенерационной способностью, поэтому стерилизации грунтового ложа канала уделяют самое серьезное внимание.

Тростник и рогоз распространяются преимущественно на массивах земель с глубиной залегания грунтовых вод менее 3 м и произрастают в основном ниже уровня воды в облицованных каналах; свинорой и пырей ползучий – выше уровня воды в канале при близком и глубоком залегании грунтовых вод.

Корнеотпрысковые сорняки произрастают при близком и глубоком залегании грунтовых вод и представляют опасность для облицовок оросительных каналов периодического действия. На каналах постоянного действия они произрастают выше уровня воды.

Для уничтожения корнеотпрысковой сорной растительности, произрастающей в оросительных каналах и их бермах, рекомендуют вносить атразин нормой 30 кг д. в. на 1 га. При повышенной плотности сорняков (20 на 1 м^2) применяют смеси, например из атразина 30 кг и далапона 120 кг д. в. на 1 га (по данным Союзгипроводхоза и Кубанского сельскохозяйственного института).

Почвогрунты (все сечение канала и прилегающие к нему бермы) этими препаратами обрабатывают опрыскивателями ПОУ, ОН-400, ОН-400-2, ОП-1600-2, агрегатируемыми с тракторами МТЗ всех модификаций с расходом рабочей жидкости 2000 л/га.

Для исключения стекания химических препаратов с откосов оросительных каналов необходимо точное попадание заданной нормы гербицидов на обрабатываемую поверхность, для чего ведут строгий контроль за расходом рабочей жидкости. Можно также добавлять в растворы смачиватели типа ОП-7.

Почвогрунты русл сооружаемых каналов стерилизуют после экскавации. При этом период от стерилизации до облицовки противофильтрационными материалами должен быть предельно коротким, чтобы избежать смыва химических препаратов с откосов атмосферными осадками. При выпадании интенсивного дождя и смыва препаратов с откосов их вносят повторно половинной нормой.

Химические обработки проводят раз в три года в эксплуатационный период специализированные химические отряды, состоящие из

3867

водителей автомобилей, трактористов, грузчиков с закреплением за ними соответствующей техники. Число отрядов зависит от объема работ и установленных сроков их проведения.

В зависимости от расстояния до пункта химизации или стационарного пункта приготовления рабочих жидкостей, имеющегося набора машин принимают одну из следующих технологических схем выполнения работ:

рабочие жидкости гербицидов готовят на стационарном пункте и транспортируют к месту работы агрегатов, заправляют агрегаты рабочей жидкостью на краю канала;

рабочие жидкости гербицидов готовят передвижными или переоборудованными машинами на специально подготовленной площадке вблизи обрабатываемого канала. Для приготовления рабочей жидкости гербицида применяют мобильные агрегаты АПР "Темп" АПЖ-12, "Пемикс-1022" (ВНР) или стационарный механизированный пункт СМС-10. Воду и гербициды доставляют к передвижному агрегату обычными транспортными средствами, автоцистернами АЦА-4,2-53А.

Раствор готовят в количестве, кратном объему баков опрыскивателя. Требуемое количество препарата (кг) определяют с учетом вместимости заправщика по формуле

$$П = (Mq)/(aQ), \qquad (34)$$

где M – норма внесения, кг/га; q – вместимость заправщика, л; a – долевое содержание действующего вещества (часть от целого); Q – расход рабочей жидкости, л/га.

Рабочие растворы рекомендуемых препаратов используют сразу после их приготовления. При работе в ветреную погоду опрыскивающие устройства должны быть закрыты защитными кожухами.

Для уплотнения грунта по сечению канала до проектной плотности применяют прицепные вибрационные катки, перемещаемые в поперечном направлении при помощи экскаваторов, оборудованных крановой стрелой.

АПБ смеси на малых каналах (глубиной до 1,5 м) укладывают профильными укладчиками типа МБ-15А, МБ-17, на которых дополнительно устанавливают трамбующий брус, выглаживающую плиту и систему обогрева поверхностей, контактирующих со смесью при ее распределении по периметру канала и уплотнении.

Облицовку укладывают в один слой толщиной 4...6 см. Требуемой величины остаточной пористости n уложенного покрытия достигают при одном проходе уплотняющих органов лишь в тех случаях, когда модуль деформации основания для связных грунтов составляет $E \geqslant 20$ МПа, а несвязных – $E \geqslant 40...50$ МПа.

При опытном строительстве монолитных облицовок малых ка-

налов в Волгоградской области минимальная остаточная пористость облицовок составила 4...5 %. Такую остаточную пористость можно допускать при соответствующем обосновании, так как при напорах воды до 10 м гидротехнические асфальтобетоны с достаточным количеством вяжущего водонепроницаемы при n = 5...6 %. В то же время, принимая минимально допустимый коэффициент морозостойкости (по аналогии с цементным бетоном) $K_{мез}$ = 0,85, можно сделать заключение, что для гидротехнического АПБ можно принять n = 4,..4,5 %.

Если за один проход обеспечить требуемое уплотнение уложенной облицовки не удается, то применяют пластичные смеси либо дополнительный механизм — многопроходный уплотнитель, в качестве которого используют дорожный каток с шириной вальцев, соответствующей ширине дна канала, оборудованный навесными вибробрусьями для уплотнения облицовки на откосах канала. Технологическая схема устройства монолитных облицовок на каналах глубиной до 1,5 м, разработанная Союзгипроводхозом, применявшаяся при строительстве каналов в Волгоградской области, приведена на рисунке 32.

АБ облицовку на откосах каналов длиной 4...16 м (рис. 33) устраивают в такой последовательности: планировка грунта ложа канала планировщиком ЭМ-202; обработка откоса водным раствором гербицида с помощью оборудования, навешенного на планировщик; уплотнение основания после стерилизации виброуплотнителем типа ВС, используемым для уплотнения АБ смеси; укладка и уплотнение АБ смеси комплектом машин Б-2, САУ-25 и ВС, разработанных ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева; поверхностная обработка готового пок-

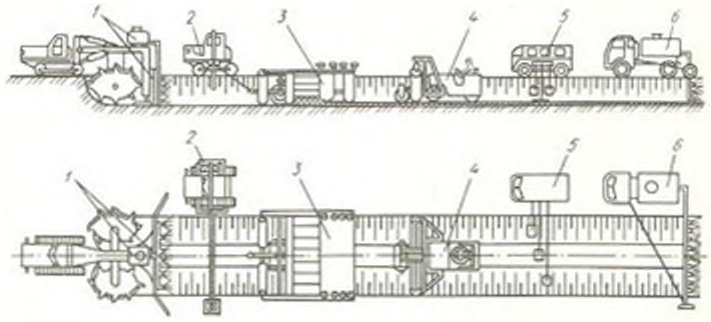


Рис. 32. Технологическая схема устройства монолитных асфальтобетонных облицовок каналов глубиной до 1,5 м:

1 – роторный экскаватор ЭТР-201, ЭТР-301 с оборудованием для распределения раствора гербицида; *2* – тягач-буксировщик; *3* – профильный асфальтоукладчик; *4* – уплотнитель; *5* – измерительная автолаборатория; *6* – автогудронатор

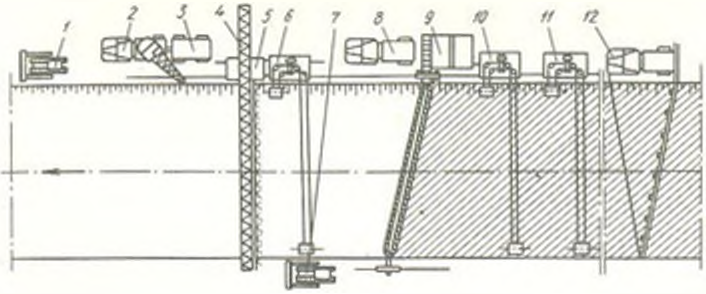


Рис. 33. Технологическая схема строительства АБ облицовок на откосах длиной 4...16 м:

1, 7 – бульдозеры; *2* – автокраны; *3* – автоприцеп; *4* – планировщик ЭМ-201А; *5* – навесное оборудование для распределения раствора гербицида; *6, 10* – прицепные виброуплотнители; *8* – автосамосвал; *9* – асфальтоукладчик; *11* – самоходный виброуплотнитель; *12* – автогудронатор ДС-53А с навесным оборудованием

рытия автогудронаторами ДС-53А, снабженными выносными распределительными трубопроводами, опирающимися на откос.

АБ облицовку на откосах крупных каналов длиной 10...25 м устраивают в такой последовательности: планировка основания бульдозерами Д-606, Д-493А или грейдерами ДЗ-122, ДЗ-98, которые перемещаются по откосу, поддерживаемые тросом лебедки экскаватора ЭО-6112Б (Э-1252Б) или Э-10011Д, стоящего на берме канала; стерилизация готового основания поливомоечной машиной, перемещаемой по откосу подобно грейдеру; уплотнение грунтового ложа откоса виброуплотнителем В-4 либо дорожными катками, перемещающимися по откосу тяговым тросом экскаватора или крана; укладка АБ смеси на откос бункерными асфальтоукладчиками Е-2 или на пологих откосах дорожными укладчиками; уплотнение АБ смеси теми же механизмами, что и при уплотнении грунтов; поверхностная обработка покрытия автогудронатором, перемещаемым по откосу экскаватором аналогично перемещению грейдера при планировке откоса.

АБ облицовку на откосах протяженностью более 25 м устраивают в такой последовательности: планировка, стерилизация грунтового ложа канала и поверхностная обработка готового покрытия аналогично работам при длине откосов до 25 м; укладка АБ смеси дорожными асфальтоукладчиками, оборудованными траверсой, закрепленной сзади укладчика, для подвески двух самоходных легких виброкатков, взаимоуравновешенных тросом, которые совместно с рабочими органами укладчика обеспечивают предварительное уплотнение смеси; окончательное уплотнение покрытия тяжелыми виброкатками, перемещаемыми по откосу с помощью экскаватора или крана, расположенного

на берме канала; загрузка укладчика, перемещаемого с помощью специального портала, смесью непосредственно из автосамосвалов ЗИЛ-ММЗ-555, перемещающихся по откосу при помощи лебедки.

Разработан (ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева) комплекс ЭДС-1 для строительства АБ облицовок на откосах большой протяженности, включающий серийные асфальтоукладчики ДС-126А и катки ДУ-54 и ДУ-47А.

На крутых откосах для нормальной работы машин должны обеспечиваться: равномерная подача топлива в двигатель, постоянное смазывание деталей и узлов, устойчивость при движении машин по откосу.

Асфальтоукладчик оснащен дизелем с пусковым карбюраторным двигателем. Работа пускового двигателя на крутых откосах затруднена, а дизеля — не зависит от заложения откоса. Поэтому пуск последнего осуществляют на горизонтальной поверхности, после чего возможна его нормальная работа на откосе. Для обеспечения продольной устойчивости укладчика на откосе дополнительных мероприятий не требуется. Катки ДУ-54 массой 1,5...1,7 т оснащены карбюраторными двигателями, поэтому для обеспечения пуска и работы на откосе их необходимо повернуть на 15° (при заложении откоса $m = 2$) в вертикальной плоскости.

Катки ДУ-47А массой 6...8 т оснащены дизельным двигателем с электростартером. Поэтому возможны пуск и работа их на откосе. Продольная устойчивость катков достаточная.

При строительстве крупных каналов, облицовки которых испытывают значительные нагрузки и воздействия, для обеспечения надежного сцепления основного гидроизоляционного слоя монолитного АБ экрана с основанием выполняют прогрунтовку последнего битумными материалами с помощью автогудронаторов.

Возможна также пропитка грунта основания битумной эмульсией или битумной эмульсионной пастой с помощью специальных растворонасосов или пневмоустановок (например, МД-196 конструкции института "Оргэнергострой"). Битумные эмульсии, пасты и разжиженные битумы приготавливают в соответствии с ВСН 8-115—65.

Если в конструкции облицовки предусмотрено устройство переходных слоев, то основные требования, предъявляемые к планировке грунтового основания, сохраняются и для поверхности переходных слоев. Переходные слои из щебня распределяют автогрейдерами или распределителями, а из черного щебня и пористого асфальтобетона — теми же механизмами, что и АБ смесь.

Уплотнение АБ смеси — основной процесс при устройстве монолитной АБ облицовки, так как от качества его выполнения во многом зависит качество и долговечность готового покрытия.

Покрытия из горячих АБ смесей устраивают в сухую погоду при

температуре воздуха не ниже 5 °С, причем укладываемая смесь должна иметь температуру не менее 120...150 °С.

На горизонтальных участках и на пологих откосах (заложение до 1 : 5) укладывают и уплотняют АБ смесь по общепринятой в дорожном строительстве технологии дорожными асфальтоукладчиками и катками.

Для обеспечения повышенных требований к АБ облицовкам по водонепроницаемости и водоустойчивости проводят поверхностную обработку при температуре воздуха не ниже 15 °С по сухому и очищенному от грязи покрытию (по возможности на свежеуложенную облицовку) – разливают битумный расплав или битумно-полимерную мастику с последующей присыпкой каменной крошкой или крупнозернистым песком (5...10 кг на 1 м^2) и окончательно прикатывают легким катком. Горячий (150...170 °С) битумный расплав разливают автогудронаторами.

При нанесении защитного слоя из мастики на однослойное покрытие необходимо соизмерять количество вяжущего с его количеством в самой облицовке. Отслоение защитного слоя недопустимо.

Сборные АБ покрытия в отличие от монолитных не требуют устройства жестких подготовок и переходных слоев. Укладывают их, как правило, в один или два слоя.

В двухслойной сборной облицовке стыки элементов нижнего слоя должны перекрываться элементами верхнего слоя. На всех каналах, включая каналы глубиной до 1,5 м, гибкие элементы сборных АБ и АПБ облицовок укладывают перпендикулярно оси.

Герметизацию швов между сборными элементами, уложенными на откосе, осуществляют горячей битумно-полимерной мастикой при ширине шва до 60 мм или горячей асфальтополимербетонной смесью при ширине шва 60...150 мм. Составы битумно-полимерной мастики и асфальтополимербетонной смеси те же, что и для изготовления сборных элементов.

При укладке под воду торцы плит и тюфяков соединяют внахлестку. Ширина перекрытия – 0,5...1 м.

Элементы сборных АБ и АПБ облицовок в виде гибких плит и тюфяков изготавливают на приобъектных полигонах.

При изготовлении АПБ плит и строительстве из них сборной облицовки проводят следующие основные технологические операции (рис. 34): приготовление БПВ и АПБ смеси, изготовление технологической арматуры, формование АПБ плит, транспортирование готовых плит на место укладки и монтаж их на канале, омоноличивание стыков, поверхностная обработка (эту операцию следует по возможности проводить на полигоне по окончании формования плит).

АПБ, применяемые для изготовления плит и тюфяков, должны

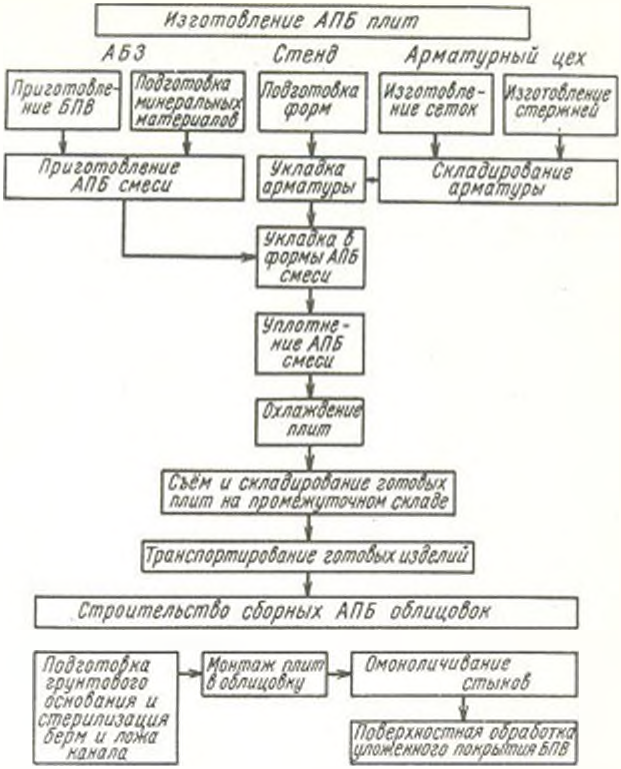


Рис. 34. Технологическая схема изготовления АПБ плит и строительства сборной АПБ облицовки

быть более эластичными, чтобы изделия могли изгибаться без образования трещин подъемно-транспортных операциях.

Формуют изделия на стендовых линиях, состоящих из отдельных форм. В зависимости от требуемой производительности полигона и района строительства днища форм можно оборудовать трубопроводами для подачи воды на охлаждение готовых изделий либо пара для подогрева смеси во время ее уплотнения.

При изготовлении плит длиной до 12 м смесь в формы раскладывают дорожными асфальтоукладчиками.

Распределяют смесь на стендах, где изготавливают длинномерные тюфяки, специализированными бункерными укладчиками на рельсовом ходу, а уплотняют двухвальцевыми вибрационными легкими и средними катками.

В последнее время переходят от уплотнения АПБ смесей вибрационными катками к уплотнению устройствами, состоящими из вибрационных и вибротрамбующих брусьев, что значительно сокращает затраты энергии и время на уплотнение, повышает качество последнего.

Снимают и складируют готовые плиты после остывания их до 40 °С. Охлаждают изделия водой.

Хранят плиты под передвижными солнцезащитными стендами, укладывая их на ровную площадку без свесов. Чтобы избежать слипания между собой, их поверхность посыпают песком.

Грузят плиты на автотранспорт и укладывают их в облицовку специальными траверсами, позволяющими при монтаже изменять прогиб плиты.

Применение для этих целей вакуум-захватов не нашло широкого распространения, так как уплотнительные манжеты вакуумных камер

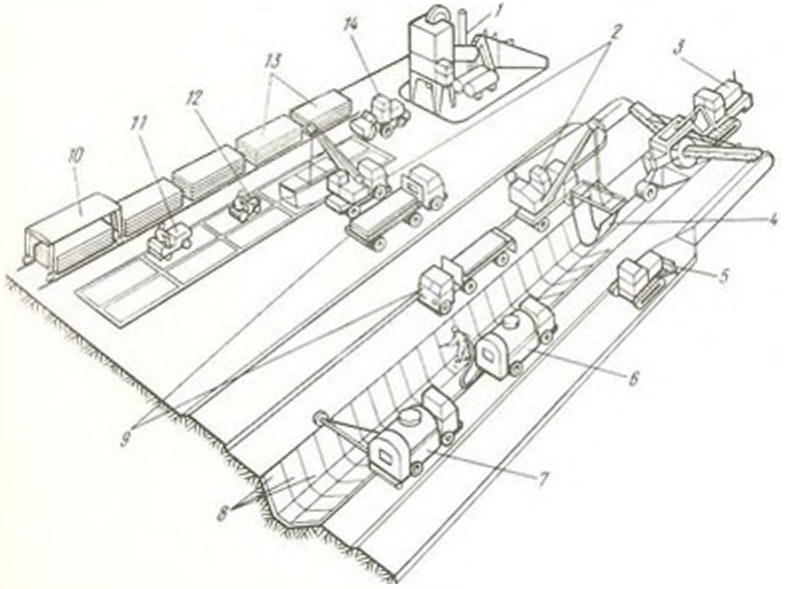


Рис. 35. Технология строительства сборных АПБ облицовок оросительных каналов для дождевальной машины "Кубань":

1 – АБЗ; *2* – автокран с траверсой; *3* – роторный экскаватор; *4* – бульдозер; *5* – АПБ плита, укладываемая в канал; *6* – заливщик швов; *7* – автогудронатор; *8* – плиты, укладываемые в канал; *9* – автотранспорт для перевозки плит; *10* – передвижной навес для защиты штабелей готовых плит от солнца; *11, 12* – средний и малый вибрационные катки; *13* – склад готовых плит; *14* – асфальтоукладчик

быстро обволакиваются битумом и теряют свою эластичность, а соблюдение правил техники безопасности значительно усложняет конструкции этих устройств.

Тюфяки, намотанные на барабаны, укладывают на откосе канала с помощью тяговой лебедки экскаватора, оборудованного стрелой.

Швы заделывают полимерно-битумным вяжущим при помощи заливщиков швов ДС-67А, МБ-16А.

Если швы заделывают АПБ смесью, то перед ее укладкой уплотняемые полосы прогревают инфракрасными излучателями или горелками (открытое пламя не допускается) и промазывают расплавленным или разжиженным битумом.

Поверхностную обработку уложенного сборного покрытия непосредственно на канале выполняют теми же машинами, что и при заделке швов.

Преимущества сборных АПБ облицовок наиболее видны при строительстве каналов под дождевальные машины "Кубань" (рис. 35). Применение такой облицовки позволяет сократить расход цемента и металла (табл. 29), а также сроки ввода объекта в действие, так как канал готов к эксплуатации через несколько часов после окончания облицовки.

29. Расход материалов при строительстве противофильтрационных покрытий оросительных каналов для дождевальных машин "Кубань" (периметр канала 5 м, длина 2000 м), т

Материал	Монолитный бетон, укладываемый виброформой (δ = =10 см)	Сборные железобетонные плиты НПК-60-15	АПБ плиты (δ = 4 см)	
			с металлической сеткой	с тканым материалом из стекловолокна
Цемент из расчета, кг/м²:				
250	250	—	—	—
330	—	264	—	—
Металл	—	33	20	—
Битум	—	—	93	93
Полимер:				
латекс (СКД-1)	—	—	3,7	3,7
термоэластопласт (ДСТ)	—	—	1,7	1,7
Тканый материал из стекловолокна (СПАП-КАМА или СПАП-БЖ)	—	—	—	4

Укладывают плиты и тюфяки под воду с берега или с плавсредств

в зависимости от размеров канала. Поскольку при этом элементы покрытия укладывают внахлест, их монтаж ведут против течения.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭКРАНОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

Грунтопленочные экраны. Технологию строительства грунтопленочных экранов выбирают в зависимости от схемы укладки пленочных полотнищ, типового сечения канала и комплекса машин и оборудования, применяемого для земляных работ.

Технология строительства грунтопленочных экранов состоит из следующих операций: планировка основания, устройство подстилающего слоя из мягкого грунта, обработка гербицидами, уплотнение подстилающего слоя катками, укладка и соединение полотнищ пленочного экрана, отсыпка защитного слоя, уплотнение защитного слоя, контроль качества готового экрана.

Для выполнения этих операций при строительстве крупных каналов необходимо обеспечить полную механизацию земляных работ, поточность технологического процесса с учетом применения оптимального комплекса машин и оборудования.

При устройстве грунтопленочных экранов применяют следующие машины и оборудование: машины для подготовки основания под пленочный экран, оборудование для обработки грунтового основания ядохимикатами, машины для планировки и уплотнения основания, машины для транспортировки рабочих полотнищ пленки к месту укладки, оборудование для сварки или склеивания пленочных полотнищ, машины для отсыпки и уплотнения защитного слоя.

При устройстве выемки крупных каналов рекомендуют использовать известные способы производства земляных работ с применением землеройных, землеройно-транспортных механизмов и других способов разработки и транспортирования грунта (Палад-заде, Гришенко, Чаталбашев, 1982).

Основания под грунтопленочные экраны подготавливают в соответствии со СНиП III-45–76. Состав и технология производства земляных работ (устройство выемки, планировка откосов, уплотнение) аналогичны устройству каналов в земляном русле.

При подготовке основания под грунтопленочные экраны следует устраивать подстилающий слой толщиной 0,1...0,3 м с учетом механизированной укладки грунта.

С подстилающего слоя необходимо удалить камни, скопления снега и льда, добиваясь содержания частиц на поверхности не более 5 мм. Если местные грунты удовлетворяют указанному требованию, то в качестве подстилающего слоя используют естественное основание после его предварительного разравнивания и уплотнения.

Работы, связанные с укладкой пленочного экрана (планировка основания, устройство подготовки из мягкого грунта, обработка гербицидами и укатка), целесообразно выполнять в безморозный период года и непосредственно перед укладкой пленочного экрана.

Пленочный экран не рекомендуют укладывать на пересушенный или переувлажненный грунт и устраивают его сразу же после подготовки основания. Поверхность основания предварительно тщательно выравнивают и уплотняют. Степень уплотнения в каждом случае устанавливают проектом.

Грунтовое основание перед устройством экрана обрабатывают гербицидами, применяя способы, обеспечивающие равномерную обработку грунта с минимальными затратами труда. Для этого используют тракторные опрыскиватели.

При укрупнении полиэтиленовых полотнищ целесообразно применять сварку, используя для этого специальное оборудование (сварочные машины, ручные экструдеры, сварочные полозы и термоимпульсные аппараты). Технические характеристики наиболее распространенного оборудования для сварки приведены в таблице 30. В стационарных условиях (в оборудованных помещениях на столах) в зависимости от ширины пленки в рулоне и механизации погрузочно-разгрузочных работ можно изготовлять полотнища размером от 10 × 100 до 24 × 100 м, массой не более 600 кг. При этом влажность воздуха в цехе поддерживают 50...60 %.

При сварке полиэтиленовой пленки прочность соединения в соответствии с СН 551–82 должна составлять не менее 80 % ее прочности в стационарных условиях и не менее 60 % – в полевых условиях. Для контроля рекомендуют два способа: визуальный осмотр с целью обнаружения мест непровара или пережога и выборочный отбор образцов для испытания на разрыв.

При транспортировке полотнищ к месту укладки и погрузочно-разгрузочных работах необходимо полностью исключить механические повреждения пленки.

Пленочные полотнища в полевых условиях соединяют с помощью сварки или склейки битумно-полимерной мастикой, которую приготавливают из компонентов, вес. ч.:

битум нефтяной дорожный БНД 40/60 или строительный БН 50/50	88...93
кубовые остатки синтетических жирных кислот (КОСЖК) фракции C_{17} и выше марки Б или С	6...8
катионактивная адгезионная битумная присадка БП-3	1...4

Битумно-полимерную мастику приготавливают по следующей технологии. В битумоварочный котел на $^3/_4$ его объема загружают битум, разогревают до температуры 130...140 °С и обезвоживают.

30. Технические данные сварочного оборудования, применяемого при строительстве пленочных противофильтрационных экранов

Аппарат	Тип сварочного узла	Масса, кг	Скорость сварки, м/мин	Напряжение, В	Суммарная толщина свариваемых пленок, мм
		Переносные			
Утюг с терморегулятором	Контактный односторонний нагрев	1,2	0,5...1,5	220	0,5 + 0,5
Импульсный полоз НИАГ	То же	0,8	0,5...3	50...70	0,3 + 0,3
Импульсный полоз, модифицированный СевНИИГиМ	"	1	0,5...6	24...30	0,3 + 0,3
Машина МСМ-1	Контактный двусторонний нагрев	4,7	До 2,5	220	0,1...1
Машина ПСП-15	То же	6	1...3	36	0,1...1
Сварочные клещи КТН-301	"	8,3	Один цикл 150 мм за 15 с	220	0,5 + 0,5
Ручной экструдер ПСП-43	Сварка присадочным прутком	8,5	0,3...0,6	220	0,1 + 1
Экструдер ПСТ-2	Сварка присадочным материалом (гранулы)	12...16	До 20	220	Пленки 0,5 + 0,5, листы до 10

Продолжение

Аппарат	Тип сварочного узла	Масса, кг	Скорость сварки, м/мин	Напряжение, В	Суммарная толщина свариваемых пленок, мм
Ручной полуавтоматический ПСП-11	Контактный односторонний нагрев	4	2...1	220	0,25 + 0,25
Сварочный пистолет РЭСУ-500	Сварка присадочным прутком	1,5	До 1,3	24	0,6
Сварочная горелка	Нагретый воздух, газ	0,32	До 0,5	36	Листовые материалы 0,5
	Стационарные				
ТСП-5	Термоимпульсная двухсторонняя сварка	85	600 мм за 4 с	23	0,1...1
МСП-15	Одно- и двухсторонний контактный нагрев	80	0,5...1,5	36	0,1...1
СПК-М	Сварка горячим воздухом или ИК-излучением	100	0,6...6	220	До 2 мм
МСП-2	Горячим воздухом и газом	73	До 60	220	0,1 + 0,1

Затем в битум вводят КОСЖК согласно рецептуре и массу тщательно перемешивают при указанной температуре в течение 10...15 мин. После полного растворения КОСЖК в битуме вводят битумную присадку БП-3 и полученную массу аналогично перемешивают. Готовую мастику охлаждают до рабочей температуры 90...110 °С, которую поддерживают в течение всего времени ее использования.

Устройство защитного слоя заключается в разработке и доставке грунта, перемещении его на пленку и уплотнении и является определяющим при определении как стоимости, так и технологической схемы строительства грунтопленочного экрана и для каждого объекта индивидуально.

Окончательно способ устройства защитного слоя выбирают в зависимости от дальности доставки грунта и наличия строительных машин и механизмов. Используют как общестроительные машины — скреперы, бульдозеры, экскаваторы, так и специализированные механизмы - грейдеры-элеваторы, отсыпающие грунт в защитный слой без заезда на пленку (рис. 36).

Толщину защитного слоя выбирают из условия неповреждаемости пленки механизмами при движении по нему, она составляет не менее 0,5 м на горизонтальных участках и не менее 0.8 м на откосах.

Строительство грунтопленочных экранов на крупных каналах осуществляют по следующей технологической схеме (рис. 37):

планируют дно, откосы канала бульдозером и прикатывают гладкими катками с доувлажнением грунта до оптимальной влажности непосредственно перед укладкой пленки;

сваривают рулоны пленки в полотнища на специальном полигоне, укладывают их поперек канала;

выполняют бульдозером надвижку защитного слоя по дну канала и на пологих откосах (не круче 1 : 5);

отсыпают первый слой на крутых откосах (круче 1 : 5) экскавато-

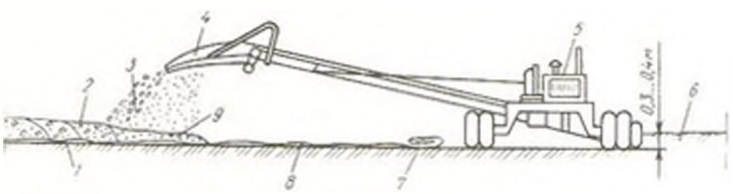


Рис. 36. Устройство защитного слоя грунтопленочного экрана грейдером-элеватором:

1 — основание; *2* — защитный слой; *3* - перемещаемый грунт; *4* — отвальный транспортер с насадкой; *5* — грейдер-элеватор; *6* — разрабатываемый грунт; *7* — законсервированный край пленочного полотнища; *8* – пленочный экран; *9* — подушка из мелкого грунта

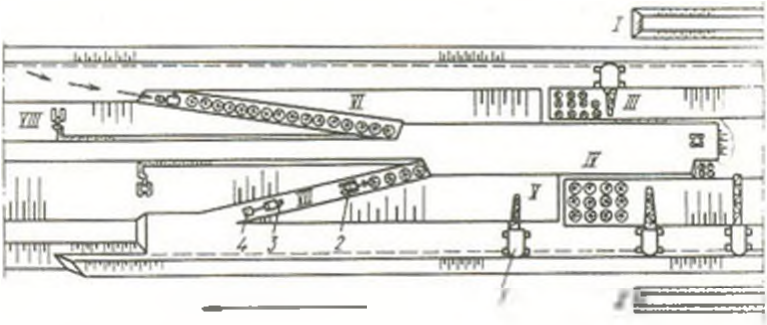


Рис. 37. Технологическая схема строительства грунтопленочных облицовок на крупных каналах:

1 – экскаватор; *2* – бульдозер; *3, 4* – трактор и прицепной каток; *I...VIII* – последовательность операций:

I – отсыпка отвала из местного грунта; *II* – отсыпка отвала из привозного грунта; *III* – подача грунта на шейку экскаватором; *IV* – разравнивание грунта вручную; *V* – уплотнение грунта вальцевой трамбовкой; *VI* – доставка грунта автосамосвалами; *VII* – разравнивание грунта и уплотнение его прицепным катком; *VIII* – срезка "бахромы" и доведение толщины защитного слоя до проектной

ром с последующим выравниванием бульдозером, при этом толщина грунтовой прослойки, по которой перемещается бульдозер, должна быть не менее 50 см. Отсыпают последующие слои защитного покрытия при общей толщине его более 1 м скреперами в виде наклонных (под углом к оси канала) слоев толщиной не более 20 см с последующим уплотнением прицепными катками.

При строительстве грунтопленочных экранов необходим постоянный контроль качества их выполнения – предупреждение и своевременное обнаружение дефектов пленочного элемента. Контроль проводит инженерно-технический персонал строительной организации, технический и авторский надзор проектной организации.

Осуществляют контроль всех технологических операций (проверяют полученный полимерный материал, подготовку основания под экран, расстилку полимерного материала и его соединение – сварка или склейка, устройство защитного слоя, целостность полимерного экрана), а затем проводят приемочные испытания.

Прогрессивную технологию сооружения грунтопленочных экранов применили на строительстве Куйбышевского обводнительно-оросительного и Главного Каховского магистрального каналов.

Работы по устройству экрана *Куйбышевского обводнительно-оросительного канала* проводили в такой последовательности. После разработки сечения канала бульдозерами, скреперами и экскаваторами провели планировку дна и откосов

канала бульдозерами и гладкими прицепными виброкатками. Затем бригада из 4...6 чел. укладывала пленочный экран из отдельных полотнищ шириной 8 м и длиной 36 м, равной периметру канала. Полотнища закрепляли на бровке в предварительно вырытую борозду. Полотнища между собой соединяли скруткой их кромок на ширину 30...40 см. Защитный слой экрана устраивали в два этапа. Сначала отсыпали слой толщиной 30...40 см экскаваторами-драглайнами (вместимость ковша 1 м³) и бульдозерами.

Затем осуществляли контроль герметичности пленочного экрана методом трехэлектродного электропрофилирования. Обнаруженные в пленочном экране повреждения устраняли. Далее отсыпали второй слой защитного покрытия толщиной 80...90 см авто- и прицепными скреперами с вместимостью ковша 8...9 м³. Грунт отсыпали наклонными продольными слоями толщиной 10...20 см. Уплотнение проводили в процессе работ транспортными средствами. По поверхности слой уплотняли пятитонными прицепными катками Д-130Б. Завершали устройство защитного покрытия планировкой откосов и канала (Аронин, 1981).

Работы по устройству грунтопленочного экрана *Главного Каховского магистрального канала* можно разделить на операции (Варваров, Богатов, 1977): подготовка основания для укладки пленки (устройство карты); заготовка пленочных полотнищ в цехе и доставка их к месту укладки; устройство пленочного экрана в канале; устройство защитного слоя по пленке; отделочные работы (планировка).

Подготовку основания или карты выполняла бригада, в распоряжении которой находились 10...12 скреперов, 3...4 трактора-толкача, 2 бульдозера, грейдер-струг и при необходимости – поливочная машина. Дно и откосы канала выравнивали грейдером, бульдозером и уплотняли легкими катками. Если грунт был пересушен, поверхностный слой его перед укаткой увлажняли до такой степени, чтобы комочки свободно разминались и образовывалась бы однородная пластичная поверхность. Обычно влажность грунта в этом случае составляет 16...18 %.

По подготовленному основанию укладывали полиэтиленовую пленку в два слоя. Общая толщина противофильтрационного элемента составляла 0,4 мм, что обусловлено высокой капитальностью магистрального канала, а также сложной, не имеющей достаточного опыта, технологией устройства и эксплуатации грунтопленочного экрана.

Пленочные полотнища предварительно подготавливали в цехах, на базе снабжающей организации, и затем доставляли к месту укладки автотранспортом. Полученную с заводов пленку в рулонах разматывали на специальных верстаках-столах и сваривали электрическими бытовыми утюгами в полотнища шириной от 13 до 18 м и длиной в зависимости от периметра канала 68...72 м. Сваренное полотнище складывали "гармошкой", а затем наматывали на отрезок трубы. На стройку поступали рулоны площадью около 1000 м² и массой до 500 кг.

Полотнища раскатывали по периметру канала, соединяя их между собой сваркой электроутюгом с нахлестом 10...15 см. Учитывая полевые условия, где не всегда выдерживается тщательная протирка свариваемых полос от грязи, швы делали двойными. Ширина свариваемых швов составляла 2...3 см.

Длина участков пленочного экрана, подготавливаемых к покрытию грунтовым защитным слоем, — 120...200 м. Во избежание повреждения уложенной полиэтиленовой пленки первоначально бульдозером отсыпали защитный слой грунта толщиной 0,5 м. Далее защитный слой грунта отсыпали скреперами послойно до проектной толщины 1 м. Уплотняли грунт катками при толщине отсыпаемого слоя 0,25 м либо груженными автоскреперами при попутных рейсах до плотности $\gamma_{сух}$ 1,65...1,70 т/м³.

В канале выше грунтопленочного экрана в пределах колебания уровней воды и волновых воздействий устроили бетонопленочную облицовку. На подготовленное основание укладывали два слоя полиэтиленовой пленки, нижний конец которой стыковали сваркой с пленкой грунтопленочного экрана, а верхний заделывали в борозду на глубину 15...20 см. По пленке укладывали пергамин и на бетонных кубиках 5×5 см, фиксирующих защитный слой бетона, арматурные сетки из стержней диаметром 8...10 мм с шагом 20 см. Бетон укладывали бетоноукладчиком Д-580 или бадьями на автокране.

Стоимость 1 м² грунтопленочного экрана с учетом всех начислений составила 1,1...1,2 р., а бетонопленочного покрытия – 8,5...9 р.

Для ремонта крупных магистральных каналов в условиях ограниченного срока остановки канала ЮжНИИГиМом совместно с Управлением эксплуатации БСК разработана технология строительства грунтопленочных экранов (рис. 38), сущность которой заключается в ускоренном строительстве экрана в пределах осушенного отсека. Технологией предусмотрено одновременное выполнение наибольшего числа операций: качественная отсыпка подстилающего выравнивающего слоя из мягких грунтов с очисткой его вручную от твердых включений, уплотнение основания, расстилание подготовленных полотнищ пленки с заделкой концов в траншеи, отсыпка верхнего защитного слоя из суглинков. Все работы выполняют под защитой временных перемычек при работе откачивающих средств. Длину отсеков назначают исходя из протяженности аварийных участков канала и возможности разворота техники. Так, из опыта проведения ремонтно-эксплуатационных мероприятий на 1 очереди БСК общая протяженность каждого отсека достигала 200...250 м. Завершающий этап производства работ – устройство крепления гравелисто-щебеночным материалом с уплотнением катками. Применение указанной технологии позволяет быстро и в сжатые сроки провести укладку грунтопленочного экрана на аварийном участке канала, практически обеспечивая бесперебойную его работу.

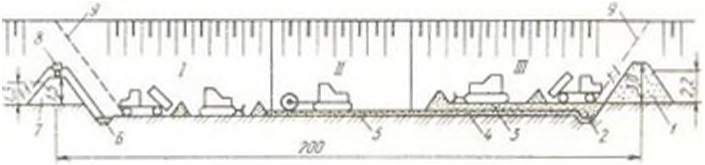


Рис. 38. Схема одновременных технологических операций по устройству грунтопленочного экрана при проведении ремонтных работ на крупном действующем канале (на примере БСК-1, 5,7 км):

I – отсыпка и разравнивание подготовительного слоя; *II* – уплотнение подготовительного слоя; *III* – укладка полотнищ и устройство защитного слоя; *1* – верховая перемычка; *2* – зуб для заделки пленки; *3* – защитный слой; *4* – пленка; *5* – подстилающий слой; *6* – приямок для откачки воды; *7* – низовая перемычка; *8* – передвижная насосная станция; *9* – съезд (размеры в м)

Бетонопленочные облицовки. Технология строительства бетонопленочных облицовок включает следующие операции: подготовку дна и откосов канала; раскладку пленочных полотнищ и их соединение; укладку по пленке предохранительных прокладок; монтаж сборных железобетонных плит или укладку монолитного бетона; уход за свежеуложенным бетоном и заделку швов. Для выполнения этих операций необходим комплекс специальных машин и механизмов (см. табл. 24...27).

Сборные плиты по пленке укладывают параллельно плоскости откоса, применяя специальные стропы и плитоукладчики, что обеспечивает целостность пленки в строительный период. При этом плиты по пленке целесообразно укладывать гладкой стороной.

При строительстве бетонопленочных сборных облицовок рекомендуют применять плиты НПК, выпускаемые в соответствии с требованиями ГОСТ 22930–78.

Для предохранения пленки от повреждений при укладке плит поверх нее укладывают полоски прокладочного материала: толь, пергамин, гидроизол, стекловолокнистый холст, стекловолокно, стеклорубероид, гидростеклоизол, армобитэп.

Для уплотнения деформационных швов используют усовершенствованную конструкцию его с применением битумно-полимерных мастик. Водонепроницаемый деформационный шов устраивают в сборном железобетонном покрытии канала через 6 м.

В подстилающем слое облицовки может быть использована смесь бентонитового порошка и сухого песка с условием, что исходная глина при замачивании увеличивается в объеме в 3...4 раза. Это значительно повысит противофильтрационный эффект бетонопленочной облицовки, так как расширение глины в объеме при замокании позволит заполнить пространство между плитами и подстилающим грунтом, возникающее в результате просадок или из-за недостаточно хорошо спланированной поверхности.

Бетон для устройства покрытия по полиэтиленовому экрану должен удовлетворять требованиям, предъявляемым к гидротехническому бетону.

При армировании бетонного покрытия арматура в местах расположения температурно-усадочных швов должна быть разрезана. Армирование необходимо выполнять сетками, укладываемыми на бетонные кубики. Укладка арматурных сеток непосредственно на пленку и их волочение по пленке не допускаются.

Монолитный бетон на пленку укладывают крапово-балейным способом, применяя средства малой механизации, либо бетоноукладочными машинами.

Для соблюдения проектной толщины покрытия и получения ровной его поверхности при использовании средств малой механизации

бетонирование необходимо вести картами, ограниченными инвентарной опалубкой, которая по высоте должна быть равна толщине покрытия. Рекомендуемый размер карт 3 м. В некоторых случаях откосы целесообразно бетонировать полосами.

При подаче бетона на карту высота падения смеси не должна превышать 0,5 м во избежание повреждений пленки. Направление бетонирования в карте должно выдерживаться от дна вверх к откосу.

Для монтажа сборных железобетонных плит применяют общестроительные подъемные краны на пневмоколесном или гусеничном ходу, которые по своим параметрам соответствуют условиям производства работ.

При укладке плит можно использовать специальный плитоукладчик МБ-8А, предназначенный для укладки железобетонных плит на спрофилированные и уплотненные откосы и дно каналов глубиной до 5 м.

Машина смонтирована на базе стрелового гусеничного крана МКГ-25БР и имеет специальное оборудование, состоящее из стойки, стрелы с грузовой кареткой, траверсы и крюковой обоймы.

Траверса предназначена для подъема и укладки плит на дно или откосы канала, выполняемых посредством стропов. Длина их при укладке плит зависит от заложения откосов. При укладке плит на дно канала пользуются стропами одинаковой длины.

Техническая характеристика плитоукладчика МБ-8А

Техническая производительность (укладка плит размером 3 × 3,2 м), $м^2$/ч	180
Вылет грузовой каретки при угле подъема стрелы 45°, м:	
наименьший	3,3
наибольший	18,1
Наибольшая высота подъема стрелы, м	10
Грузоподъемность на всех вылетах стрелы, т	3
Скорость, м/мин:	
подъема плиты	7,25...0,36
опускания плиты	7,73...3,50
посадочная	0,4
перемещения грузовой каретки	16,8
машины	14,1
Удельное давление, МПа	0,62

При строительстве бетонопленочных облицовок пленочные экраны соединяют склейкой битумно-полимерной мастикой с использованием деревянных трапов по технологической схеме, представленной на рисунке 39. На крутых откосах и при неровной их поверхности наиболее рационально изготовление крупногабаритных полотнищ на ровной поверхности бермы канала путем склейки мастикой ряда полотнищ

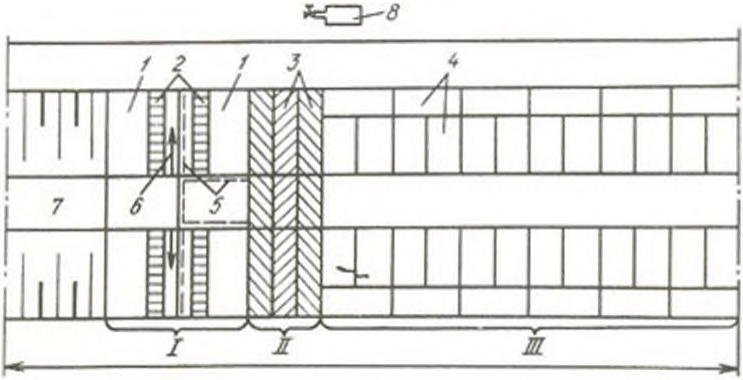


Рис. 39. Технологическая схема производства работ по соединению бетонопленочных облицовок битумно-полимерной мастикой:

I – раскладка пленочных полотнищ и соединение их битумно-полимерной мастикой; *II* – раскладка рулонов прокладки под бетонное покрытие; *III* – укладка сборных плит и монолитного бетона; *1* – пленочные полотнища; *2* – деревянные трапы; *3* – шов соединения пленочных полотнищ; *4* – направление нанесения битумно-полимерной мастики; *5* – прокладки из толя, рубероида; *6* – сборные плиты; *7* – монолитное бетонное покрытие; *8* – битумоварочный котел

пленки (5...10 полос) по длине откоса. Крупногабаритное полотнище после склейки сворачивают в рулон и переносят на откос. На месте укладки его соединяют поперечным швом с полотнищем, ранее уложенным по дну, и продольными швами по откосу через 12...20 м.

ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА БЕРЕГОУКРЕПИТЕЛЬНЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Механизация строительства сборных облицовок. Для облицовки каналов сборными железобетонными плитами применяют: профилировщики для доработки грунтового ложа канала, бетоноукладчики для распределения подстилающего слоя под облицовку, плитоукладчики для укладки плит на дно и откосы канала, заливщики швов для герметизации стыков между плитами.

Для облицовки оросительных каналов сборными железобетонными плитами, когда требуется точная укладка плит, чтобы не повредить предварительно уложенную полиэтиленовую пленку, применяют плитоукладчик МБ-8А на базе крана МКГ-25БР, предназначенный для укладки железобетонных плит на спрофилированные и уплотненные откосы и дно канала глубиной 1,5...5 м, шириной по дну 1,5...8 м и заложением откосов 1 : 1,5 и более.

Для герметизации швов в бетонных и железобетонных каналах глубиной до 4 м горячими битумно-полимерными мастиками выпускают заливщик швов МБ-16А на базе автомобиля ГАЗ-53А. Он выполняет следующие операции: пневмоочистку шва от мелких частиц пыли, загрунтовку его раствором мастики, подогрев, перемешивание мастики и подачу ее от машины к шву по подогреваемому шлангу. Техническая производительность заливщика – до 200 м/ч, обслуживающий персонал – 3 чел.

Производство работ по креплению откосов канала каменной наброской. Возможность производства работ по креплению каменной наброской в зимнее и летнее время – преимущество этого типа крепления по сравнению с другими.

Работы по креплению выполняют как на сухом откосе, так и под водой.

Например, наброску из несортированного камня на строительстве волнозащитных сооружений Каховского водохранилища выполняли на сухом откосе с заложением 1 : 3.

Опыт крепления откосов каменной наброской на Волго-Донском канале и канале им. Москвы указывает на возможность производства работ в воде в течение 6...8 мес в году.

На этих объектах наброску, как правило, отсыпали плавучим краном с баржи. Толщину слоя отсыпки под водой контролировали промерами, наброски камня на сухой части откоса – по выставленным на откосе маякам (деревянным кольям).

Основные работы проводили в навигационный период (май – ноябрь). В зимний период после понижения уровня воды выравнивали наброску вручную на отметках между нормальными и минимальными зимними уровнями.

СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Значительную часть общих капиталовложений в строительство оросительной сети составляют затраты на сооружение защитных покрытий. Стоимость строительства и затраты на эксплуатацию зависят от степени соответствия реального качества конструкций тому экономическому и техническому уровню, который обоснован проектом. Отклонение от него в любую сторону приводит либо к необоснованному увеличению стоимости, либо к снижению долговечности и надежности конструкций защитных покрытий.

Контроль качества бетонных покрытий. Традиционные лабораторные методы испытаний бетонной смеси широко известны и регламентированы ГОСТами и многочисленной специальной нормативной литературой.

При производстве работ современными высокопроизводительными бетоноукладочными комплексами особое значение приобретает оперативный контроль параметров плотности, прочности и стойкости к усадочному трещинообразованию. ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова разработал систему управления качеством грунтоуплотнительных и бетоноукладочных работ при строительстве каналов и дорог "Каскад". Были проведены исследования укладки бетона в облицовки каналов укладчиками непрерывного действия и получена формула для определения оптимальной скорости движения укладчика, м/мин:

$$V = \frac{60 l_G}{k_0 \mathcal{Ж}_c} \sqrt{\frac{V_T}{V_{ст}}}, \qquad (35)$$

где l_G – длина виброоргана; k_0 – коэффициент, учитывающий вид основания, определяют из условия сохранения формы свежеуложенной облицовки (k_0 = =0,4...1,4 при $\mathcal{Ж}_c$=10...30 с); $\mathcal{Ж}_c$ – жесткость смеси по ГОСТ 10181–62; V_T – принятая интенсивность вибрирования; $V_{ст}$ – стандартная интенсивность вибрирования.

Для оперативного контроля плотностных характеристик рекомендуется применять серийно выпускаемые радиоизотопные плотномеры и влагомеры (ИОМР-1, ИОМР-2, ИПВР-1 и др.). В этом случае можно полностью отказаться от отбора образцов, результаты получают через 10...30 с после установки датчика, точность измерений плотности и влажности (±0,03 г/см^3 и ±1 %) не уступает традиционным объемно-весовому и термостатно-весовому методам.

Там же разработана методика прогнозирования усадочного трещинообразования, основанная на измерениях: влагопотерь бетона в момент образования видимых трещин в защемленном образце, твердеющем в стандартных или близких к реальным климатических условиях; проявившейся деформации усадки свободного образца, твердеющего при тех же условиях, в момент образования трещин в защемленном образце; предельной растяжимости свободного образца в момент образования трещин в защемленном образце.

Другие показатели – морозостойкость и водонепроницаемость – являются характеристикой бетона конструкции и определяют их при испытании натурных образцов согласно действующим стандартам.

Контроль качества строительства грунтопленочных экранов. Основная задача контроля – предупреждение и своевременное обнаружение дефектов пленочного элемента. Контроль осуществляют инженерно-технический персонал строительной организации, технический надзор – заказчик и авторский надзор – организация-проектировщик.

Документация контроля состоит из журналов работ, актов на

скрытые работы, паспортов полотнищ пленки, справок строительной лаборатории о качестве основания и о результатах испытаний сварных швов, журнала геофизического контроля, журнала авторского надзора. Перечисленные документы предъявляют приемочной комиссии.

Контроль проводят на всех технологических операциях и завершают приемочными испытаниями.

Входной контроль проходят поступающие на стройку полимерная пленка, липкая лента для ремонтных работ, материал, используемый как термостойкая прокладка при сварке, и др. Полимерную пленку проверяют на соответствие толщины, ширины и места разрезки рулонов (боковая, центральная). Если полимерные материалы хранились более 6 мес или условия хранения отличались от оптимальных (высокие влажность, температура), то проводят повторную проверку, при этом полиэтиленовую пленку дополнительно испытывают на свариваемость (сваривают образцы швов и испытывают их на прочность).

Контроль в цехе сварки заключается в калибровке рулонов по массе (иначе возникают сложности при стыковке полотнищ на карте экранирования и возрастают отходы), осмотре рулонов с целью обнаружения заводских дефектов и повреждений при транспортировке, проверке прочности сварных соединений. Прочность их не должна быть менее 75 % при сварке полозом и 85 % — экструдером (для цеховых условий); испытания проводят на разрывной машине. Допускается в порядке исключения испытывать образцы на разрыв при помощи пружинных весов с пределом взвешивания 10 кг. Образец при этом закрепляют галстучным узлом.

На карте экранирования проверяют качество основания (отсутствие включений, проектная плотность), пристыковочных (полевых) швов — прочность их должна быть не менее 60 % прочности основного материала при сварке полозом и не менее 70 % — экструдером, толщину защитного слоя, устройство сопряжений с сооружениями.

Если после отсыпки грунтового защитного слоя осуществляют геофизический контроль, то его результаты используют (вместе с актами ремонтных работ) для приемки сооружения без дополнительных гидравлических испытаний.

Впервые контроль качества строительства грунтопленочного экрана применили (Союзгипроводхоз) на Тортугульском водохранилище в 1969 г. Целостность пленочного элемента проверяли сразу после отсыпки защитного слоя, то есть после технологической операции, вызывающей наибольшее число повреждений. Точность обнаружения мест повреждений высока ($\pm 0{,}2...0{,}4$ м), что позволяет вскрыть защитный слой и отремонтировать повреждение.

В 1972 г. этот метод использовали при контроле качества грунтопленочного экрана Куйбышевского обводнительно-оросительного канала. По данным ВНИИГиМа, проводившего эти работы, экономический эффект составил 182 тыс. р. на участке канала длиной 50 км.

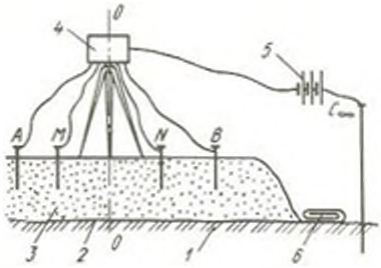


Рис. 40. Установка комбинированного электропрофилирования AMN(C_∞)MNB:

1 – грунт основания; *2* – пленочный экран; *3* – грунт защитного слоя; *4* – измерительный прибор; *5* – батарея питания; *6* – законсервированная кромка полотнища

При проведении контроля используют свойства полимерных экранов, проявляющих себя как плоские диэлектрики в проводящей среде, роль которой выполняют грунты защитного и подстилающего слоев. В качестве измерительной установки, как правило, применяли известную в разведочной геофизике установку комбинированного электропрофилирования AMN(C_∞)MNB. Электрод C_∞ заземляют за пределами экранированного участка в "бесконечность" под пленку, питающие электроды A, B и приемные электроды M, N перемещают по защитному слою грунта, периодически замеряя "кажущиеся сопротивления" $\rho_к$. Принципиальная схема установки приведена на рисунке 40. Шаг установки (периодичность замеров) устанавливают на основании опытно-тарировочных работ.

В 1980–1984 гг. Союзгипроводхоз совместно с СевНИИГиМом проводил опытно-экспериментальные работы по оптимизации геофизического контроля. В результате определены оптимальные размеры установки для большинства грунтов: AO·OB·5 м, MN·1 м; расстояние между профилями измерений – 5 м. При этом с достаточной достоверностью обнаруживают повреждения площадью 5...10 см^2. Поскольку установка AMN(C_∞)MNB малопроизводительна при детализированных измерениях, рекомендуют точно (±0,2 м) устанавливать место повреждения при помощи схемы потенциалов AMNA'(B → ∞) и схемы градиента потенциала AA'*fix* как более производительных.

В последнее время разработан ряд способов контроля пленочных экранов, учитывающих специфику их строительства. Хорошо зарекомендовал себя способ контроля, позволяющий определить не только место повреждения под слоем грунта, но и его конфигурацию, что значительно облегчает работы по вскрытию и ремонту повреждения.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ

ДЕФЕКТЫ И НАРУШЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Применение противофильтрационных покрытий на оросительных каналах будет экономически и технически оправдано при обеспечении их высокой эффективности, эксплуатационной надежности и долговечности. В свою очередь, эффективность и надежность противофильтрационных покрытий зависят от наличия в отдельных элементах их конструкций различных дефектов и нарушений, образующихся как в процессе строительства, так и при эксплуатации оросительных каналов.

На поверхности бетонных облицовок, помимо коротких усадочных, встречаются и длинные продольные и поперечные трещины (в сборной железобетонной облицовке их меньше и они тоньше, чем в монолитной). Присутствуют и другие трещины: косые, у углов плит, у монтажных петель, образующиеся при транспортировании плит, их складировании и монтаже. При расстоянии между поперечными швами более 4...5 м в результате температурных напряжений возникают поперечные трещины.

Продольные трещины, как правило, появляются в нижней половине плит монолитной облицовки, в среднем на высоте $^1/_3$ откоса канала. В глубоких каналах продольные трещины образуются (хотя и в меньшем числе) и в зоне уреза воды. Это позволяет считать одной из основных причин образования продольных трещин температурно-усадочные напряжения, возникающие в зоне температурного и влажностного перепадов в бетонной облицовке.

Важнейшая часть бетонной облицовки — швы. По контакту бетонных плит облицовки и заполнителя стыков (цементных, битумоцементных) обычно образуются усадочные трещины: только на поверхности облицовки; на определенной глубине вдоль контактной поверхности; на всю глубину цементной заделки с постоянной шириной; по всей ширине контактной поверхности, расширяющиеся вверху в устьевой части.

При обследовании стыков и швов облицовок на каналах Ингулецкой оросительной системы было обнаружено по 40 % трещин первого и второго типов; 15 % — третьего и 5 % — четвертого типа.

Обследование оросительных каналов Волгоградской области показало, что в монолитных облицовках (независимо от наличия арматуры) в процессе их эксплуатации образуются трещины с различной шириной раскрытия (от 0,1...0,5 до 3 мм и более). Трещинообразование развивается в основном поперек откоса, от бровки к дну канала. Продольные трещины образуются реже.

Трещинообразование в бетонной облицовке происходит в результате усадки бетона и напряженного состояния конструкции, воспринимающей эксплуатационную нагрузку. Усадка бетона длится примерно 1,5...2 года и зависит от его состава и ухода за ним. В обычных условиях твердения и при создании оптимальной влажности в процессе ухода за бетоном в течение 3...7 сут она составляет 0,3...1,2 мм на 1 м облицовки.

В ложных швах при расстоянии между ними 5 м раскрытие трещин составляет 1,5...2,5 мм. Усадочные трещины, образованные в сплошном бетоне, имеют величину 0,8...4 мм с расстоянием между ними 4...12 м.

Создание оптимальной влажности в течение длительного времени снижает усадку бетона в 1,5...2 раза, армирование бетона – в 2...3 раза.

Трещины, вызванные напряженным состоянием облицовки (после наполнения канала водой), имеют раскрытие 0,2...1 мм, в том числе наиболее характерное – 0,3...0,5 мм.

Таким образом, вследствие напряженного состояния и усадки бетона облицовка толщиной 10...14 см делится на блоки с размером: максимальный – 3 х 6,5 м, минимальный – 2,5 х 3,5 м и шириной раскрытия трещин – от долей миллиметра до 3...5 мм и более.

Установлена допускаемая длина блоков бетонирования противофильтрационной облицовки, при которой исключается трещинообразование, вызванное усадкой: для железобетона, уложенного в летнее и зимнее время, соответственно 20...25 и 25...30 м; для бетона, уложенного летом, – 5...12 м, зимой – 8...16 м (Горбачев, 1973).

Изучение деформации тела сборных железобетонных плит показало, что 100 % их имеют волосяные трещины различного направления, 40 % – поверхностные глубиной 3...15 мм, длиной 2,5...6 см и 30 % – трещины у монтажных петель.

Водопроницаемость противофильтрационных покрытий и экранов с применением полимерных пленок зависит главным образом от наличия повреждений в пленочных экранах, которые образуются при строительстве и эксплуатации.

Механические повреждения пленочного элемента наиболее вероятны при его укладке или устройстве защитных покрытий, особенно из грунта или бетона.

На устройство защитного слоя с заездом на него механизмов приходится до 80 % общей площади дефектов. Наиболее сильно пленочные экраны повреждают при монтаже сборных железобетонных плит, так как в этот период, как правило, образуются небольшие отверстия (проколы) вследствие продавливания пленки частицами грунта при механизированном устройстве защитного слоя и острыми гранями и неровностями поверхности бетонных плит. При несоблюдении проектной технологии строительства экрана (снижение требований к

31. Натурные данные о повреждении пленочных противофильтрационных экранов

Объект	Общая площадь, га	Обследованная площадь, га	Число повреждений	Площадь повреждений, м²	Поврежденность, %	Диаметр отверстия повреждения, приведенного к 1 м², см
Грунтопленочные экраны и облицовки						
Тортгульское водохранилище в Киргизской ССР	657	70	247	2600	0,37	6,36
Куйбышевский обводнительно-оросительный канал	279 км	–	–	–	0,2	5,04
Базар-Курганское водохранилище в Киргизской ССР	144	144	361	792	0,055	2,65
Копань на участке "Центральный" совхоза "Гатчинский"	2,53	0,62	8	0,59	0,0095	1,1
Пруд-накопитель в совхозе "Губкинский" Белгородской области	39	10	50 на 1 га	–	0,255	–
Бетонопленочные облицовки						
Канал ЮР-18-1 в Голодной степи	–	–	1 на 20 м²	–	–	–
Каршинский магистральный канал	78,4 км	–	1 на 8...12 м²	–	–	–
Распределительный канал Р-2-2 Каховской ОС	–	17,4 м²	124 (7 на 1 м²)	–	0,0168	0,1...1
Большой Ставропольский канал III очередь (ПК 268)	45 км	36 м²	51 (1...3 на 1 м²)	–	0,0319	0,2...0,3
IV очередь (ПК 23)	80,5 км	18 м²	7 (1 на 3 м²)	–	0,00012	0,2...0,3
Александровский распределитель в зоне БСК-III	–	12 м²	57 (3...6 на 1 м²)	–	0,045	0,2...0,3

подстилающему грунту, резкое разворачивание механизмов на защитном слое, уменьшение проектной толщины защитного слоя, смещение плит по пленке) возможны сдиры и вырывы пленки площадью до нескольких квадратных метров.

Следует учитывать и то, что в производственных условиях не всегда можно обеспечить качественное соединение отдельных полотнищ экрана путем их сваривания или скрутки "в замок". Вследствие этого в стыках полотнищ образуются щели от непровара, пропуска или пережога пленки.

При эксплуатации каналов могут наблюдаться разрывы и расхождения швов полотнищ экрана от неравномерной деформации основания или сдвига защитного грунтового слоя и сборных железобетонных плит по пленке, размывы защитного слоя талыми и ливневыми водами, повреждения растительностью, грызунами и пр.

Данные о повреждениях пленочных экранов, обнаруженных в результате полевых исследований на строящихся объектах, приведены в таблице 31.

При строительстве и эксплуатации противофильтрационных облицовок с пленочными экранами (бетонопленочных, грунтопленочных) наиболее вероятны и чаще встречаются в основном три вида повреждений: узкие щели значительной протяженности по линии шва или разрыва полотнища экрана; отдельные отверстия (проколы) небольшого диаметра; значительные по площади разрывы и вырывы пленки.

Средняя ширина щелей в пленочном экране может составлять 5...50 мм, длина 10...100 см, а площадь отдельной щели – 0,1...10 $см^2$. Средняя частота повреждений пленочного экрана – одно на 10... 20 $м^2$. В ряде случаев они расположены чаще – одно на 1...2 $м^2$.

ФИЛЬТРАЦИЯ ИЗ ОБЛИЦОВАННЫХ КАНАЛОВ

Потери воды на фильтрацию из оросительных каналов определяют гидрометрическим, балансовым, объемным методами и методом точечных фильтромеров.

Определение потерь гидрометрическим способом на каналах с противофильтрационными облицовками, КПД которых превышает 0,95, при точности измерений расходов вертушками до 5 % недостоверно, так как расход, измеренный в нижнем створе, может оказаться (за счет неточности вертушечных измерений) больше расхода, измеренного в верхнем створе. Потери из каналов с противофильтрационными облицовками, имеющими, как правило, высокий КПД, чаще измеряют объемным методом или методом изолированных фильтрационных отсеков, методом точечных фильтромеров. Наиболее точные результаты дает метод фильтрационных отсеков. Однако использо-

вание его ограничено, особенно на крупных каналах круглогодичного действия, когда отсутствует возможность прекращения эксплуатации канала и создания в нем временных перемычек. На таких каналах более удобен метод точечных фильтромеров, хотя он и менее точен, но позволяет определять дифференцированные потери воды по элементам облицовки (бетон тела облицовки, трещины и швы) в период эксплуатации.

Фильтромер – прибор, состоящий из металлического стакана, устанавливаемого на поверхность облицовки по дну и откосам канала, и расходомера, например в виде эластичной емкости – резиновой грелки, подсоединяемой с помощью шланга к фильтрационному стакану и прикрепляемой тросиками к облицовке под уровень воды. Крепят фильтромер к поверхности облицовки с помощью цементного раствора, который подают между внутренней и наружной стенками стакана (фильтромеры УкрНИИГиМ, Укргипроводхоз, ГрузНИИГиМ). Устанавливают такие фильтромеры при глубине воды до 0,5 м (Олехнович, Ермакова, Пузанов, 1964). Для установки фильтромеров на глубину до 5 м ЮжНИИГиМом разработано специальное устройство, включающее штангу и поршень для выдавливания цементного раствора после опускания фильтрационного стакана и размещения его на поверхности облицовки.

32. Потери в каналах Голодной степи (по данным В. А. Духовного)

Канал	Толщина облицовки, см	Вид облицовки	Потери на 1 км, м³/с		Снижение потерь, раз
			без облицовки	с облицовкой	
Южный Голодностепский канал					
ПК 1035...1177	16	Армированная бетонная	0,170	0,065	2,8
Центральная ветка	24	Двухслойная бетонная	0,156	0,022	7,1
Кургантепинская ветка	20	То же	0,118	0,025	4,7
М-2	12	Однослойная бетонная	0,120	0,028	4,3
ЮР-17 (ПК 104+116)	12	То же	0,080	0,006	12
ЮР-16	10	"	0,100	0,012	8
ПР-3	10	"	0,060*	0,020	3
ПР-4	10	"	0,064*	0,016	3,6
ПР-6	10	"	0,066	0,018	4,1
ЛР-5	10	"	0,056*	0,021	2,7
ЮР-18 (ПК 10+92)	10	"	0,092	0,025	3,5
КТР-3-1	10	"	0,041	0,012	3,35

* Получены расчетом по формуле Райцина

Потери в каналах Голодной степи, облицованных бетоном, приведены в таблице 32. Потери из этих каналов за счет устройства бетонных облицовок снизились в 2,7...12 раз.

Фактические потери на фильтрацию через облицовки на каналах Волгоградской области, определенные объемным способом с помощью изолированных водных отсеков, приведены в таблице 33.

33. Показатели фильтрации через покрытия каналов Волгоградской области (по данным А. Г. Алимова)

Канал	Срок эксплуатации, лет	Тип облицовки	Потери на 1 км, л/с		Коэффициент фильтрации, см/с		Снижение потерь, раз
			без облицовки	с облицовкой	облицовки	грунтов ложа канала	
МК Большой Волгоградской ОС	1	Бетонопленочная	437	32	$2 \cdot 10^{-6}$	$0.95 \cdot 10^{-3}$	13,7
ПК 0...34 + 20	4	Сборно-монолитная	437	24	$1.5 \cdot 10^{-4}$	$0.95 \cdot 10^{-3}$	18,2
ПК 204+50... 84+20 МК Заволжской ОС:	1	То же	450	38	$3.7 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-3}$	12
ПК 0...32+00	2	Бетонная	1700	100	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$2.85 \cdot 10^{-3}$	17
ПК 32...56	1	Сборно-монолитная	594	36	$5.3 \cdot 10^{-6}$	$2.35 \cdot 10^{-3}$	16,5
ПК 56...119	0,5	То же	447	32	$8.3 \cdot 10^{-6}$	$2.1 \cdot 10^{-3}$	14

Противофильтрационная эффективность бетонных облицовок при хорошем качестве строительства и надежной герметизации швов практически может приближаться к эффективности бетонопленочных облицовок. Так, эффективность сборно-монолитной бетонной облицовки магистрального канала Заволжской оросительной системы (ОС) с заделкой швов тиоколовой мастикой (КМ-0,5, КБ-0,5) по пороизоловому жгуту соответствует бетонопленочной облицовке магистрального канала Большой Волгоградской ОС (снижение потерь составляет 12...18 раз).

Противофильтрационная эффективность облицовок зависит также от срока службы и условий эксплуатации канала. После 4 лет эксплуатации магистрального канала Большой Волгоградской ОС коэффициент фильтрации облицовки снизился с $2 \cdot 10^{-6}$ до $1.5 \cdot 10^{-4}$ см/с, что было вызвано самоуплотнением и кольматацией мелких трещин и других дефектов в элементах противофильтрационной одежды.

Наблюдения за эффективностью облицовок (полиэтиленовая, поливинилхлоридная, полиолефиновая) на опытных отсеках Черноморской ветки Северо-Крымского канала показали, что облицовка из сборного железобетона по пленке имеет малую противофильтрационную эффективность, которую можно повысить в 3 раза за счет инъекции цементного раствора в подплитное пространство (Ворошнов, 1983). Повысить эффективность сборной бетонопленочной облицовки можно также применив технологию строительства, исключающую повреждения пленки, и изменив конструктивные особенности облицовки.

Противофильтрационную эффективность сборно-монолитной бетонопленочной облицовки БСК-III определяли с помощью точечных фильтромеров как при малых глубинах (0,5...1,3 м) в начальный период эксплуатации, так и при проектных глубинах (2...3 м) для длительного периода эксплуатации (табл. 34). На канале было выбрано 9 характерных створов с хорошо замоноличенными швами и деформационными трещинами в швах и на плитах облицовки с шириной раскрытия 1...3 мм.

34. Водопроницаемость отдельных элементов облицовки на БСК-III (по данным ЮжНИИГиМ)

Створы наблюдений	Средний коэффициент фильтрации, см/с, облицовки при глубинах		Примечание
	0,5...1,3 м	2...3 м (проектные)	
Сборные железобетонные плиты НПК			
ПК 5+50	$2,29 \cdot 10^{-6}$	$2,61 \cdot 10^{-6}$	Инъекция проведена
ПК 20	$3,32 \cdot 10^{-6}$	$0,87 \cdot 10^{-6}$	" "
ПК 54	$5,36 \cdot 10^{-5}$	$1,08 \cdot 10^{-6}$	При малых глубинах инъекцию не проводили
ПК 191+50	–	$1,51 \cdot 10^{-6}$	Инъекция проведена
ПК 193	–	$2,20 \cdot 10^{-6}$	" "
ПК 252	$5,29 \cdot 10^{-5}$	$8,80 \cdot 10^{-6}$	При малых глубинах инъекцию не проводили
ПК 254+50	–	$4,86 \cdot 10^{-6}$	То же
ПК 268	–	$1,22 \cdot 10^{-5}$	"
Трещины в швах сборных плит			
ПК 5+50	$1,45 \cdot 10^{-4}$	$1,80 \cdot 10^{-4}$	Инъекция проведена
ПК 20	$1,14 \cdot 10^{-5}$	$2,29 \cdot 10^{-6}$	То же
ПК 191+50	–	$3,8 \cdot 10^{-6}$	"
ПК 193	–	$1,8 \cdot 10^{-6}$	"
ПК 254+50	–	$3,1 \cdot 10^{-6}$	"
ПК 268	–	$1,51 \cdot 10^{-5}$	"

Продолжение

Створы наблюдений	Средний коэффициент фильтрации, см/с, облицовки при глубинах		Примечание
	0,5...1,3 м	2...3 м (проектные)	
	Монолитный бетон		
ПК 5+50	$1.22 \cdot 10^{-6}$	$1.51 \cdot 10^{-7}$	Инъекцию не проводили
ПК 54	$2.18 \cdot 10^{-5}$	$3.16 \cdot 10^{-6}$	То же
ПК 69	–	$5.83 \cdot 10^{-6}$	"
ПК 252	$2.97 \cdot 10^{-8}$	$3.08 \cdot 10^{-5}$	"

Сравнивая и анализируя значения коэффициентов фильтрации отдельных элементов облицовки БСК-III при малых глубинах и длительном поддержании проектных глубин, можно отметить следующее. В начальный период эксплуатации канала при малых глубинах коэффициент фильтрации облицовки, особенно в местах расположения трещин, в 6...8 раз больше, чем в случае длительного поддержания проектных глубин, что объясняется недостаточным и медленным насыщением как бетона облицовки, так и подстилающего основания в местах повреждений пленочного экрана. Кроме того, на коэффициент фильтрации оказывает влияние и качество инъекции. При частичном заполнении подплитного пространства цементным раствором образовавшиеся пазухи заполняются медленно, но впоследствии насыщаются водой, что снижает и стабилизирует коэффициент фильтрации облицовки. После проведения качественной инъекции коэффициенты фильтрации по элементам облицовки практически выравниваются, то есть в этом случае трещины облицовки на фильтрационные потери не влияют. Следовательно, инъекция повышает противофильтрационный эффект облицовки и в целом нивелирует потери по периметру канала, даже при наличии деформационных трещин.

Осредненные коэффициенты фильтрации облицовки БСК-III, рассчитанные на основании данных по отдельным элементам облицовки, приведены в таблице 35. При этом для оценки достоверности полученных результатов Севкавгипроводхоз и ЮжНИИГиМ также провели исследования потерь методом изолированных отсеков на участках первых двух створов (ПК 5+50 и ПК 20).

Вычисления потерь на фильтрацию из БСК-III по формуле Н. Н. Веригина и С. В. Васильева с использованием осредненных коэффициентов фильтрации облицовки по характерным участкам канала, полученных методом точечных фильтромеров (см. табл. 35), позволили найти КПД канала, который с учетом подстилающего облицовку суг-

линистого слоя толщиной 1 м и потерь на испарение составил 0,9967.

Коэффициенты фильтрации различных типов облицовок составляют (табл. 36): для плит из железобетона $0,1...2,2 \cdot 10^{-6}$ см/с; для уплотненного бетона на средних и крупных каналах $0,5...5 \cdot 10^{-6}$; для облицованных участков распределительных каналов $14 \cdot 10^{-6}$; при швах, заделанных цементом, $35\ 10^{-6}$; при наличии трещин в уплотненных облицовках $35...100 \cdot 10^{-6}$ см/с.

35. Осредненные коэффициенты фильтрации облицовки БСК-III, определенные различными методами

Точечных фильтрометров		Изолированных отсеков	
створ наблюдений	осредненный коэффициент фильтрации по створу, 10^{-4} см/с	отсек наблюдений	осредненный коэффициент фильтрации по отсеку, 10^{-4} см/с
ПК 5+50	1,57	ПК 0+12	1,26
			5,53
ПК 20	1,58	ПК 16+50...24+50	0,61
ПК 54	1,72	–	–
	37,7		
ПК 69	5,83	–	–
ПК 191+50	2,65	–	–
ПК 193	2,0	–	–
ПК 252	15,5	–	–
	41,3		
ПК 254+50	3,98	–	–
ПК 268	13,7	–	–

Примечание. Числитель – коэффициенты фильтрации облицовки после проведения инъекции, знаменатель – до проведения инъекции.

По степени эффективности (осредненному коэффициенту фильтрации) противофильтрационные облицовки можно расположить в такой последовательности: бетонопленочные, сборно-монолитные, монолитные и грунтопленочные; железобетонные монолитные; бетонопленочные сборные; бетонные монолитные; железобетонные сборные.

Коэффициенты фильтрации наиболее эффективных типов облицовок (бетонопленочных сборно-монолитных, монолитных и грунтопленочных) в среднем на порядок ниже, чем для бетонных и сборных железобетонных.

36. Фильтрационные потери из каналов и осредненные коэффициенты фильтрации различных типов противофильтрационных облицовок

Канал	Тип облицовки	Фильтрационные потери, л/(сут·м²)	Коэффициент фильтрации облицовки, 10^{-6} см/с
Магистральный канал Большой Волгоградской ОС	Бетонопленочная сборно-монолитная	54...140	1,5...3,7
Каршинский магистральный канал (головная часть)	Бетонопленочная сборно-монолитная	84,7...127,8	2,72...4,11
	Монолитная	29,6...161,9	2,43...13,4
Канал ЛКХ-I Прохладненской ОС КБАССР	Бетонопленочная монолитная	5,8...6,6	1,02...1,94
Канал ЮР-18-I в Голодной степи	Бетонопленочная сборно-монолитная	2,95...4,46	0,35...0,54
Большой Ставропольский канал (III очередь)	То же	11,3...45,3	0,61...3,00
Северо-Крымский канал	"	5,72...11,44	0,21...0,42
Северо-Рогачикский магистральный канал	"	6,18...7,48	–
Канал I-X-I Кисловской ОС Волгоградской области	Бетонопленочная сборная	16...20	2,9...3,76
Распределительный канал Бг-Р-7 Багаево-Садковской ОС Ростовской области	То же	2,75...39,83	2,94...8,66
Каналы ВС-8-Х-1 и ВС-8-Х-3 Багаево-Садковской ОС	"	225,6...338,4	28,8...43,2
Главный Каховский магистральный канал	Грунтопленочная	3,4...8,1	0,56...1,35
Куйбышевский обводнительно-оросительный канал	"	4,06	1,67
Магистральный канал Алейской ОС (II очередь)	"	6	3,32
Распределитель Р-2 Каховской ОС	"	19	5,65
Магистральный канал Заволжской ОС	Железобетонная сборно-монолитная	32...100	4,5...8,3
Канал Р-11 Ингулецкой ОС	Железобетонная сборная	–	7,5...9,5
Канал Х-11-Р Краснознаменской ОС	То же	–	3,4
Канал "Паштан" в Каршинской степи	Бетонная монолитная	–	3,32...13,90
Южный Голодностепский канал	То же	0,002...0,0033	16,9...31,8
Распределительный канал Р-5 Каховской ОС	Бетонная монолитная, уложенная бетоноукладчиком "Рахко"	10,7...16,5	0,86...1,33
Кисловский магистральный канал	Бетонная монолитная	46	3,94

РАСЧЕТ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Защитные покрытия, применяемые для противофильтрационных облицовок оросительных каналов, в той или иной степени водопроницаемы. В ряде случаев фильтрационные потери из оросительных каналов высоки и близки к потерям каналов в земляном необлицованном русле.

Поэтому уже на стадии проектирования оросительных каналов возникает необходимость в количественной оценке водопроницаемости противофильтрационных облицовок и прогнозе подъема уровня грунтовых вод. Это дает возможность установить требования к качеству их строительства и предупредить недопустимые потери оросительной воды.

В общем случае водопроницаемость противофильтрационной облицовки рассчитывают из условия равенства фильтрационного расхода через нее сумме единичных фильтрационных расходов через отдельные нарушения и дефекты облицовки на заданной площади:

$$Q_{\text{обл}} = \sum_{i=1}^{n} q_{\text{деф}_i}, \qquad (36)$$

где $Q_{\text{обл}}$ – фильтрационный расход через облицовку на площади F; $q_{\text{деф}}$ – единичный расход через отдельные нарушения и дефекты облицовки; n – число нарушений и дефектов облицовки.

Противофильтрационные облицовки – сложные в фильтрационном отношении неоднородные системы, так как фильтрация через них проходит не сплошным фронтом, а локально в очагах, вызванных нарушениями и дефектами как в противофильтрационном элементе, так и в защитном покрытии. Поэтому для расчета водопроницаемости противофильтрационных облицовок используют универсальную характеристику водопроницаемости – условный осредненный коэффициент фильтрации облицовки, приведенный к однородному по проницаемости материалу:

$$k'_{\text{обл}} = (Q_{\text{обл}}\,\delta_{\text{о}})/(h_{\text{о}} + \delta_{\text{о}})\,F_{\text{о}}. \qquad (37)$$

где $\delta_{\text{о}}$ – толщина облицовки; $h_{\text{о}}$ – глубина воды над облицовкой; $F_{\text{о}}$ – площадь облицовки.

Единичные расходы через отдельные нарушения и дефекты противофильтрационных облицовок определяют по следующим расчетным формулам:

для трещины в бетонной облицовке с гладкими стенками по формуле Г. М. Ломизе

$$q_{тр} = (\gamma / 12\mu)\,\delta_{тр}^{2}\, I; \qquad (38)$$

для трещины в бетонной облицовке с шероховатыми стенками по формуле Г. М. Ломизе

$$q_{тр} = (\gamma / 12\mu)\,\delta_{тр}^{3}\, I \left\{ 1/[\,1 + 6(e/\delta_{тр})^{1,5}\,] \right\}; \qquad (39)$$

для щелей в пленочном экране с защитным слоем грунта по формуле В. П. Недриги

$$q_{ш} = 2\pi k_1 (h_0 + \delta_0) / \operatorname{arch} \frac{2\operatorname{ch}(2\pi\delta_0 / l)}{1 - \cos(\pi m / l)}; \qquad (40)$$

для щелей в пленочном элементе грунтопленочных экранов и бетонопленочных облицовок по формуле Ю. М. Косиченко

$$q_{ш} = \pi k_1 (h_0 + \delta_0) / \ln(16\,\delta_0 / \pi m); \qquad (41)$$

для отверстий в пленочном элементе грунтопленочных экранов и бетонопленочных облицовок по формуле Ю. М. Косиченко и В. А. Бородина

$$q = \frac{\pi^2 k_1 r_0 (h_0 + \delta_0 + T - h_1)}{\ln(8\,\delta_0 / \pi r_0)}, \qquad (42)$$

$$h_1 = \frac{\sigma(h_0 + \delta_0 + T)\operatorname{arch}(\operatorname{ch}\frac{\pi T}{2R} / \sin\frac{\pi r_0}{2R})}{\ln(8\delta_0 / \pi r_0) + \sigma\operatorname{arch}(\operatorname{ch}\frac{\pi T}{2R} / \sin\frac{\pi r_0}{2R})}, \qquad (43)$$

где γ – плотность воды; μ – динамический коэффициент вязкости; $\delta_{тр}$ – ширина раскрытия трещины; I – градиент фильтрации, $I = (h_0 + \delta_0)/\delta_0$; e – высота выступа шероховатости трещины; k_1, k_2 – коэффициенты фильтрации соответственно материала защитного покрытия и подстилающего основания; l – расстояние между щелями пленочного экрана; m – ширина щели; r_0 – радиус отверстия; T – мощность подстилающего облицовку основания до границы более проницаемого слоя; h_1 – пьезометрический напор в месте повреждения экрана; σ – параметр, представляющий собой отношение коэффициентов фильтрации защитного покрытия к подстилающему основанию, $\sigma = k_1/k_2$; R – радиус растекания фильтрационного потока под экраном, $R = {}^{1}/_{2}\,\beta(h_0 + \delta_0)$; β – коэффициент, учитывающий боковое растекание фильтрационного потока под облицовкой, принимают 0,5...1,5.

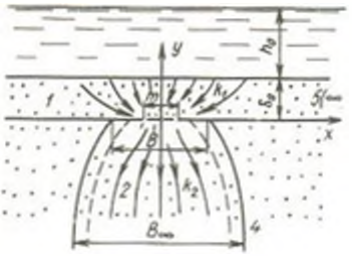


Рис. 41. Расчетная схема напорно-безнапорной фильтрации из щели пленочного экрана с защитным покрытием

Водопроницаемость противофильтрационных облицовок можно также оценить, используя зависимости В. В. Ведерникова для одиночной дрены на водоупоре, Н. Н. Веригина для оросителя ирригационной системы, С. Ф. Аверьянова для канала, Н. К. Гиринского для налива в шурфы и другие.

Однако в формулах (38)...(42) не учтено влияние подстилающего основания или предполагается напорный режим фильтрации в нем, что в некоторых случаях не соответствует физической картине движения.

В действительности под облицовкой через каждый дефект образуются самостоятельные области фильтрации со свободными границами и напорно-безнапорным режимом.

Для случая свободной фильтрации из щели пленочного экрана с защитным покрытием из грунта или бетона с учетом напорно-безнапорного режима и капиллярного растекания потока в однородное водопроницаемое основание (рис. 41) Ю. М. Косиченко получил следующие расчетные формулы:

фильтрационный расход

$$q = \frac{\pi k_2 (h_1 + H_к)}{\operatorname{arch}(1/\sqrt{\alpha} - 1)}; \qquad (44)$$

пьезометрический напор вдоль щели

$$h_1 = \frac{\alpha (h_0 + \delta_0) \operatorname{arch}(1/\sqrt{\alpha} - 1) - H_к \ln(16\delta_0/\pi m)}{\alpha \operatorname{arch}(1/\sqrt{\alpha} - 1) + \ln(16\delta_0/\pi m)}, \qquad (45)$$

где $H_к$ – высота капиллярного вакуума; α – параметр, определяемый из уравнения

$$m = m/(h_1 + H_к) = F_1(\alpha). \qquad (46)$$

Ширину зоны растекания определяют по зависимости:

под экраном

$$B = B/(h_1 + H_к) = F_2(\alpha) + m. \qquad (47)$$

на бесконечности

$$B_{\infty} = q / k_2. \qquad (48)$$

Функции $F_1(\alpha)$ и $F_2(\alpha)$ зависят от параметра α и определяют их по таблице 37.

37. Значения функций $F_1(\alpha)$ и $F_2(\alpha)$

α	$F_1(\alpha)$	$F_2(\alpha)$	α	$F_1(\alpha)$	$F_2(\alpha)$
1,0000001	0,000046	0,180	1,3	0,482	0,732
1,0000005	0,000113	0,198	1,4	0,601	0,753
1,000001	0,000167	0,207	1,5	0,714	0,768
1,000005	0,0000419	0,231	1,6	0,823	0,780
1,00001	0,000624	0,243	1,7	0,927	0,790
1,00002	0,000933	0,256	1,8	1,028	0,798
1,00005	0,00159	0,276	1,9	1,126	0,804
1,0001	0,0024	0,294	2	1,221	0,810
1,0002	0,00364	0,313	3	2,068	0,840
1,0005	0,00633	0,343	4	2,790	0,852
1,001	0,00971	0,369	5	3,433	0,859
1,005	0,0269	0,443	6	4,020	0,863
1,01	0,0424	0,483	7	4,564	0,866
1,05	0,128	0,592	8	5,074	0,868
1,1	0,211	0,646	9	5,555	0,870
1,15	0,285	0,678	10	6,013	0,871
1,2	0,354	0,701			

Используя ранее приведенные расчетные формулы фильтрационного расхода через отдельные нарушения и дефекты в противофильтрационном покрытии и в соответствии с равенствами (36) и (37), можно получить зависимости для определения коэффициентов фильтрации различных типов противофильтрационных облицовок.

Бетонные и железобетонные облицовки. Для оценки водопроницаемости бетонных и железобетонных облицовок с трещинами и разрушенными швами предварительно устанавливают режим движения фильтрационного потока по характерному (N_1) и критическому ($\mathrm{Re}_{\text{н. кр}}$) значениям числа Рейнольдса в соответствии с формулами (Ломизе, 1951):

$$N_1 = 600 \left[1 - 0{,}96 \left(e / \delta_{\text{тр}} \right)^{0{,}4} \right]^{1{,}5}; \qquad (49)$$

$$\mathrm{Re}_{\text{н. кр}} = 6{,}72 \left[1 + 6 \left(e / \delta_{\text{тр}} \right)^{1{,}5} \right] \left[1 - 4{,}8 \lg \left(e / \delta_{\text{тр}} \right) \right]. \qquad (50)$$

При выполнении условия $\mathrm{Re} < \mathrm{Re}_{\text{н. кр}}$ ($\mathrm{Re}_{\text{н. кр}} > N_1$) движение

является ламинарным, а $Re > Re_{н.кр}$ ($Re_{н.кр} = N_1$) – турбулентным.

Число Рейнольдса

$$Re = v\delta_{тр}/\nu, \qquad (51)$$

где v – скорость фильтрации в трещине, $v = q_{тр}/\delta_{тр}$; ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости.

Ламинарный режим движения потока через трещину облицовки, как правило, наблюдается при ширине ее раскрытия $\delta_{тр} < 0{,}1$ см, а турбулентный режим – при $\delta_{тр} > 0{,}1$ см (Хлебников, Разумовская, 1963).

Осредненный коэффициент фильтрации бетонных и железобетонных облицовок при ламинарном режиме движения рассчитывают по формулам:

для трещин с гладкими стенками

$$k'_{обл} = \gamma/(12\mu F_o)\sum_{i=1}^{n}\delta^3_{тр_i} l_{тр_i}, \qquad (52)$$

для трещин с шероховатыми стенками

$$k_{обл} = \gamma/(12\mu F_o)\sum_{i=1}^{n}\delta_{тр_i} l_{тр}/[1+6(e_i/\delta_{тр_i})^{1,5}]. \qquad (53)$$

Осредненный коэффициент фильтрации бетонных и железобетонных облицовок при турбулентном режиме движения определяют по формулам:

для трещин с гладкими стенками

$$k'_{обл} = 4{,}7F_o\sum_{i=1}^{n}\delta_{тр_i} l_{тр_i}\sqrt[7]{\frac{g^4}{\nu}\delta^5_{тр}\left(\frac{\delta_o}{h_o+\delta_o}\right)^3}, \qquad (54)$$

для трещин с шероховатыми стенками

$$k'_{обл} = \frac{1}{F_o}\sum_{i=1}^{n}\delta_{тр_i} l_{тр_i}\sqrt{g\frac{\delta_o}{h_o+\delta_o}\delta_{тр_i}\left(2{,}6+5{,}1\lg\frac{\delta_{тр_i}}{2e_i}\right)}, \qquad (55)$$

где $l_{тр}$ – длина трещины; g – ускорение свободного падения.

Водопроницаемость закольматированных трещин и разрушенных швов приближенно можно вычислить по зависимости

$$k'_{обл} = k_{кол} / F_o \sum_{i=1}^{n} \delta_{тр_i} l_{тр_i}, \qquad (56)$$

где $k_{кол}$ – коэффициент фильтрации кольматирующего слоя в трещине.

Бетонопленочные облицовки. Для оценки водопроницаемости бетонопленочных облицовок примем расчетную фильтрационную схему (рис. 42). Под действием напора воды происходит движение фильтрационного потока через трещины и разрушенные швы в бетонном покрытии, а также через сам бетон в пространство между облицовкой и пленкой по свободным ходам фильтрации между подошвой бетонной облицовки и пленкой, которые обычно образуются из-за неравномерной просадки грунта основания, к повреждениям в пленочном экране. При этом между бетонной облицовкой и пленочным экраном под трещинами облицовки и в местах повреждений пленочного экрана устанавливается пьезометрический остаточный напор h_1. Фильтрация через сам бетон облицовки проходит только в пределах активной зоны влияния каждого повреждения в пленочном экране, ориентировочно принимаемой больше ширины и длины повреждения на двойную глубину воды, то есть $2h_o$.

С целью обобщения расчетной схемы предположим, что число трещин в бетонной облицовке n_1 и число повреждений в пленочном экране n_2 отличны друг от друга ($n_1 \neq n_2$).

Осредненный коэффициент фильтрации бетонопленочной облицовки при наличии в основании на глубине T более проницаемого слоя рассчитывают по формулам:

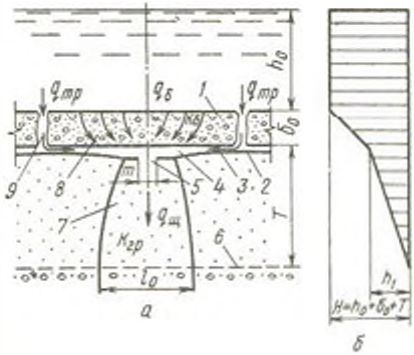


Рис. 42. Расчетная схема фильтрации через бетонопленочную облицовку (*а*) и эпюра пьезометрических напоров по оси повреждения пленочного экрана (*б*):

1 – бетонное покрытие; *2* – пленочный экран; *3* – свободные ходы; *4* – пустоты, образованные просадкой основания; *5* – повреждение пленочного экрана; *6* – граница более проницаемого слоя грунта; *7* – зона фильтрации под экраном; *8* – зона фильтрации через бетон облицовки; *9* – трещины в бетоне; $q_б$, $q_{тр}$, $q_щ$ – удельные фильтрационные расходы соответственно через бетон, трещины облицовки и через повреждения в пленочном экране

$$k'_{обл} = \frac{(h_0 + \delta_0 - h_1)\,\delta_0}{(h_0 + \delta_0)\,F_0}(A + Б) \qquad (57)$$

или

$$k'_{обл} = \frac{(h_1 + T)\,\delta_0}{(h_0 + \delta_0)\,F_0}C, \qquad (58)$$

где h_1 – пьезометрический напор в месте повреждения экрана;

$$h_1 = \frac{A(h_0 + \delta_0) + Б(h_0 + \delta_0) - CT}{A + Б + C},$$

А, Б, С – параметры, определяемые по зависимостям, приведенным в таблице 38. Эти зависимости справедливы для условий ламинарного режима течения в трещинах облицовки, где $Re < Re_{н.кр}$.

В случае неограниченной мощности водопроницаемого основания ($T = \infty$) пользуются приближенными расчетными формулами для бетонопленочной облицовки:

при наличии щелей

$$k'_{обл} = \frac{\pi k_1 (h_0 + \delta_0 + H_к)\,\delta_0}{(h_0 + \delta_0)\,F_0} \sum_{i=1}^{n_1} \frac{l_{щ\,i}}{\operatorname{arch}(1/\sqrt{\alpha} - 1)}, \qquad (59)$$

при наличии отверстий

$$k'_{обл} = \frac{\pi^2 k_1 (h_0 + H_к)\,\delta_0}{(h_0 + \delta_0)\,F_0} \sum_{i=1}^{n_1} \frac{r_{o\,i}}{\operatorname{arch}(1/\sqrt{\alpha} - 1)}, \qquad (60)$$

где α – параметр, определяемый по уравнению (46).

Грунтопленочные экраны. Расчетные формулы для определения осредненного коэффициента фильтрации грунтопленочных экранов (табл. 39) различаются в зависимости от соотношения коэффициентов фильтрации подстилающего основания и защитного слоя k_2/k_1 и вида повреждения пленочного элемента (щели или отверстия). При соотношении $k_2/k_1 \geqslant 10$ подстилающее основание практически не оказывает влияния на водопроницаемость грунтопленочных экранов, поэтому проницаемостью подстилающего основания в этом случае пре-

38. Параметры А, Б и С для расчета водопроницаемости бетонопленочных облицовок

Облицовка	Характер нарушений	Расчетные формулы	Условные обозначения
Бетонное покрытие	Гладкие трещины	$A = \frac{\gamma}{12\mu} \cdot \frac{1}{\delta_o} \sum_{i=1}^{n_1} \delta^3_{тр_i} \, l_{тр_i}$	
	Трещины с шероховатыми стенками	$A = \frac{\gamma}{12\mu} \cdot \frac{1}{\delta_o} \sum_{i=1}^{n_1} \frac{\delta^3_{тр_i} \, l_{тр_i}}{1 + 6\,(e_i / \delta_{тр_i})^{1,5}}$	
	Закольматированные трещины	$A = k_{кол} / \delta_o \sum_{i=1}^{n_1} \delta_{тр_i} \, l_{тр_i}$	
Пленочный экран	Щели в экране	$Б = 2 h_o k_б \delta_o \sum_{i=1}^{n_2} (l_{щ_i} + 2 h_o)$	$l_o = \beta\,(h_1 + H_к)$ $\beta = 0{,}5 \ldots 1{,}5$
		$C = \pi k_{гр} \sum_{i=1}^{n_2} \frac{l_{щ_i}}{\operatorname{arch}\left[\operatorname{ch}(\pi T / l_o) / \sin(\pi m_i / 2 l_o)\right]}$	

Продолжение

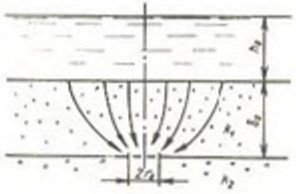
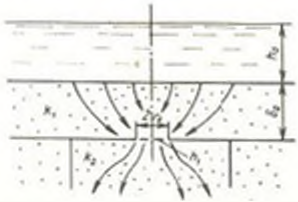
Облицовка	Характер нарушений	Расчетные формулы	Условные обозначения
Пленочный экран	Отверстия в экране	$Б = \pi k_б \delta_о \sum_{i=1}^{n_1} (r_{o_i} + 2h_o)^2$	$R = 1/2\,\beta\,(h_o + H_к)$
		$C = \pi k_{гр} \sum_{i=1}^{n_1} \frac{r_{o_i}}{\operatorname{arch}\left[\operatorname{ch}(\pi T/2R)/\sin(\pi r_{o_i}/2R)\right]} \times$	
		$\times \operatorname{ch}\frac{\pi\delta_o}{2R}/\sin\frac{\pi r_o}{2R} = \operatorname{ch}\frac{\pi^2(h_o + \delta_o)}{4h_o}$	

Примечание. $k_{кол}$, $k_б$ $k_{гр}$ – коэффициенты фильтрации соответственно кольматирующего слоя, бетона облицовки и подстилающего основания.

39. Расчетные формулы для определения условного осредненного коэффициента фильтрации грунтопленочных экранов и бетонопленочных монолитных облицовок

Расчетные схемы	Расчетные формулы	Условия применения
Щели в экране на сильнопроницаемом основании	$k'_{обл} = \pi k_1 \frac{\delta_o}{F_o} \sum_{i=1}^{n} \frac{l_{ш_i}}{\ln(16\delta_o/\pi m_i)}$	$k_2/k_1 \geqslant 10$
Щели в экране с учетом напорно-безнапорной фильтрации в основании	$k_{обл} = \frac{\pi k_2 \delta_o}{(h_o + \delta_o) F_o} \sum_{i=1}^{n} \frac{(h_{1_i} + H_к) l_{ш_i}}{\operatorname{arch}(1/\sqrt{\alpha_i - 1})}$	$k_2/k_1 < 10$
	$h_{1_i} = \frac{\sigma(h_o + \delta_o)\operatorname{arch}(1/\sqrt{\alpha_i - 1}) - H_к \ln(16\delta_o/\pi m_2)}{\sigma \operatorname{arch}(1/\sqrt{\alpha_i - 1}) + \ln(16\delta_o/\pi m_i)}$	
	$F_1(\alpha_i) = m_i/(h_{1_i} + H_к)$ (см. табл. 38)	

Продолжение

Расчетные схемы	Расчетные формулы	Условия применения
Отверстия в экране на сильнопроницаемом основании 	$k'_{обл} = \pi^2 k_1 \frac{\delta_o}{F_o} \sum_{i=1}^{n} \frac{r_{o_i}}{\ln(8\delta_o / \pi r_{o_i})}$	$k_2/k_1 \geqslant 10$
Отверстия в экране с учетом проницаемости основания 	$k'_{обл} = \frac{\pi^2 k_1 \delta_o}{(h_o + \delta_o) F_o} \sum_{i=1}^{n} \frac{(h_o + \delta_o - h_{1_i}) r_{o_i}}{\ln(8\delta_o / \pi r_{o_i})}$ $h_{1_i} = \frac{\pi^2 \sigma (h_o + \delta_o) - 4H_K \ln(8\delta_o / \pi r_{o_i})}{\pi^2 \sigma + 4\ln(8\delta_o / \pi r_{o_i})}$ $\sigma = k_1 / k_2$	$k_2/k_1 < 10$

небрегаем, считая коэффициент фильтрации его бесконечно большим, ($k_2 \to \infty$), и наоборот, при $k_2/k_1 < 10$ влияние подстилающего основания существенно, что учитывают соответствующими расчетными зависимостями.

Расчетные формулы, приведенные в таблице 39, справедливы также и для бетонопленочных монолитных облицовок с плотным контактом защитного покрытия и пленочного экрана при отсутствии трещин и разрушенных швов в бетонной облицовке.

40. Коэффициенты фильтрации бетонопленочных противофильтрационных облицовок (см/с)

Грунт подстилающего основания	Коэффициент фильтрации грунта подстилающего основания, см/с	Расчетная поврежденность пленочного экрана Π, %	Защитное покрытие	
			сборные плиты НПК, толщина 6 см	монолитное бетонное покрытие, толщина 15 см
	10^{-3}	0,1	$(2,14...3,46)\,10^{-5}$	$(2,12...2,83)\,10^{-5}$
		0,01	$(5,73...8,85)\,10^{-6}$	$(6.00...8.73)\,10^{-6}$
Песок				
	10^{-3}	0,1	$(2,16...3,69)\,10^{-6}$	$(2,12...3,19)\,10^{-6}$
		0,01	$(5,78...9,13)\,10^{-7}$	$(5,91...9,93)\,10^{-7}$
	10^{-4}	0,1	$(2,19...4,12)\,10^{-7}$	$(2,13...3,55)\,10^{-7}$
		0,01	$(0,58...1,04)\,10^{-7}$	$(0,58...1,11)\,10^{-7}$
Супесь				
	10^{-4}	0,1	$(2,23...4,61)\,10^{-8}$	$(1,98...3,91)\,10^{-8}$
		0,01	$(0,59...1,15)\,10^{-8}$	$(0,53...1,43)\,10^{-8}$
	10^{-5}	0,1	$(0,23...0,51)\,10^{-8}$	$(0,18...0,44)\,10^{-8}$
		0,01	$(0,60...1,26)\,10^{-9}$	$(0,47...1,70)\,10^{-9}$
Суглинок				
	10^{-7}	0,1	$(0,24...0,55)\,10^{-9}$	$(0,19...0,49)\,10^{-9}$
		0,01	$(0,61...1,39)\,10^{-10}$	$(0,32...2,30)\,10^{-10}$

Примечание. $\Pi = 0,1...0,01$ % соответствует удовлетворительному качеству.

Для упрощения расчетов вместо сумм целесообразно вводить произведения общего числа нарушений и дефектов облицовки на площади F_0 на выражения под знаком суммы с учетом осредненных параметров дефектов.

При строительстве каналов с пленочными экранами их поврежденность, виды и осредненные размеры повреждений можно устанавливать по результатам геофизического контроля. Используя эти данные, рассчитывают водопроницаемость пленочных экранов по ранее приведенным зависимостям. Однако при проектировании выполнение

41. Коэффициенты фильтрации грунтопленочных противофильтрационных экранов (толщина защитного слоя 1 м), см/с

Грунт защитного слоя	Коэффициент фильтрации грунта защитного слоя, см/с	Расчетная повторяемость экрана $П$, %	Отношение проницаемости защитного слоя к грунту основания				
			100	10	5	1	0,1 (0)
	10^{-2}	0,1	$(7,04...7,26)\,10^{-6}$	$(5,98...6,16)\,10^{-5}$	$(1,02...1,06)\,10^{-4}$	$(2,39...2,46)\,10^{-4}$	$(2,40...3,51)\,10^{-4}$
		0,01	$(2,22...2,28)\,10^{-6}$	$(1,82...1,88)\,10^{-5}$	$(3,04...3,13)\,10^{-5}$	$(6,53...6,73)\,10^{-5}$	$(8,82...9,08)\,10^{-5}$
Песок							
	10^{-3}	0,1	$(7,08...7,43)\,10^{-7}$	$(6,01...6,31)\,10^{-6}$	$(1,03...1,08)\,10^{-5}$	$(2,40...2,52)\,10^{-5}$	$(3,42...3,59)\,10^{-5}$
		0,01	$(2,23...2,34)\,10^{-7}$	$(1,83...1,92)\,10^{-6}$	$(3,05...3,21)\,10^{-6}$	$(6,56...6,90)\,10^{-6}$	$(8,86...9,30)\,10^{-6}$
	10^{-4}	0,1	$(7,27...8,48)\,10^{-8}$	$(6,17...7,20)\,10^{-7}$	$(1,06...1,23)\,10^{-6}$	$(2,46...2,87)\,10^{-6}$	$(3,51...4,10)\,10^{-6}$
		0,01	$(2,29...2,67)\,10^{-8}$	$(1,88...2,19)\,10^{-7}$	$(3,13...3,66)\,10^{-7}$	$(6,74...7,87)\,10^{-7}$	$(0,91...1,06)\,10^{-6}$
Супесь							
	10^{-5}	0,1	$(7,39...9,18)\,10^{-9}$	$(6,28...7,80)\,10^{-8}$	$(1,08...1,34)\,10^{-7}$	$(2,51...3,11)\,10^{-7}$	$(3,57...4,44)\,10^{-7}$
		0,01	$(2,33...2,89)\,10^{-9}$	$(1,91...2,37)\,10^{-8}$	$(3,19...3,96)\,10^{-8}$	$(6,86...8,52)\,10^{-8}$	$(0,93...1,15)\,10^{-7}$
	10^{-6}	0,1	$(0,75...1,01)\,10^{-9}$	$(6,41...8,54)\,10^{-9}$	$(1,10...1,46)\,10^{-8}$	$(2,56...3,41)\,10^{-8}$	$(3,65...4,06)\,10^{-8}$
		0,01	$(2,38...3,17)\,10^{-10}$	$(1,95...2,60)\,10^{-9}$	$(3,26...4,34)\,10^{-9}$	$(7,01...9,33)\,10^{-9}$	$(0,95...1,26)\,10^{-8}$
Суглинок							
	10^{-7}	0,1	$(0,76...1,05)\,10^{-10}$	$(6,48...8,91)\,10^{-10}$	$(1,11...1,53)\,10^{-9}$	$(2,59...3,56)\,10^{-9}$	$(3,69...5,07)\,10^{-9}$
		0,01	$(2,4...3,3)\,10^{-11}$	$(1,97...2,71)\,10^{-10}$	$(3,29...4,53)\,10^{-10}$	$(7,08...9,73)\,10^{-10}$	$(0,95...1,31)\,10^{-9}$

такого расчета затруднено прежде всего из-за отсутствия данных по наиболее вероятным видам повреждений пленочного экрана и их размерам.

При отсутствии полевых данных наиболее рационально с точки зрения наименьшей погрешности считать, что отверстия по всей площади экранирования распределены равномерно.

Для практического использования составлены таблицы расчетных значений осредненных коэффициентов фильтрации бетонопленочных облицовок и грунтопленочных экранов (табл. 40, 41), которые позволяют определять $k_{обл}$ по расчетной поврежденности пленочного экрана в зависимости от проницаемости подстилающего основания и защитного покрытия. Расчет $k_{обл}$ проводят по формулам (57), (60) и по формулам таблицы 40 с использованием ЭВМ.

Поврежденность пленочного экрана (%) вычисляют по зависимости

$$П = (\Sigma\omega_{пов.\,ед} / F_0)\,100, \qquad (61)$$

где $\omega_{пов.\,ед}$ – площадь единичных повреждений.

Осредненный радиус отверстий при равномерном их распределении определяют по формуле

$$r_0 = 0{,}1\sqrt{П / \pi}. \qquad (62)$$

Расчетную поврежденность можно задавать по осредненным среднестатистическим данным полевых исследований (см. табл. 32), согласно которым поврежденность пленочного экрана при удовлетворительном качестве строительства составляет 0,01...0,1 %, причем меньшее значение поврежденности соответствует более высокому качеству строительства.

Пределы изменения осредненных коэффициентов фильтрации облицовок, которые соответствуют большим (нижний предел при глубине 10 м) и малым (верхний предел при глубине 1 м) глубинам, даны в таблицах 40 и 41.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ИЗ ОБЛИЦОВАННЫХ КАНАЛОВ И РАСЧЕТ ИХ КПД

Фильтрация из облицованных каналов может быть свободной, при которой фильтрационный поток из канала не связан с естественным грунтовым потоком и не взаимодействует с ним, и несвободной (с подпором), при которой фильтрационный поток связан с естественным грунтовым потоком и взаимодействует с ним, то есть подпирается грунтовым потоком.

Стадия инфильтрации потока до первоначального уровня грунто-

вых вод считается свободной, а при подъеме его до дна канала фильтрация из свободной переходит в подпертую.

Различают фильтрацию из облицованных каналов с неполным заполнением пор зоны аэрации под облицовкой, если (Васильев, Веригин, Глейзер и др., 1970)

$$k_1/k'_{\text{обл}} > (h_0 + \delta_0 + H_к)/\delta_0, \qquad (63)$$

и с полным, когда это неравенство не выполняется.

Фильтрационные потери из каналов с облицовкой при установившейся свободной фильтрации, когда выполняется неравенство (63), рассчитывают по формуле Н. Н. Веригина и С. В. Васильева

$$Q_ф = k'_{\text{обл}} \left[\frac{b(h_0 + \delta_0)}{\delta_0} + 2m_0 h_0 + \frac{h_0^2}{\delta_{\text{отк}}}\sqrt{1 + m_0^2}\right], \qquad (64)$$

где b – ширина канала по дну; m_0 – заложение откосов; δ_0, $\delta_{\text{отк}}$ – толщина облицовки по дну и на откосах.

Указанная формула не учитывает отрицательное давление по подошве облицовки и предусматривает наличие здесь атмосферного давления. Имеются зависимости, учитывающие разрежение под облицовкой, которые в ряде случаев позволяют уточнить фильтрационные потери: С. Г. Хлебникова (1963), Р. М. Горбачева (1974), Ф. И. Пикалова, Боувера, Я. А. Пустыльникова (1979).

В случае, когда фильтрация из канала проходит с полным насыщением грунта основания под облицовкой, то есть в условиях обратного неравенства (63), расчет проводят по формуле С. Ф. Аверьянова:

$$Q_ф = \frac{k_1 (B + Ah_0)}{1 + A\delta_0 / B (k_1/k'_{\text{обл}} - 1)}, \qquad (65)$$

где B – ширина канала по урезу воды, $B = b + 2m_0 h_0$; A – коэффициент, определяемый по таблицам В. В. Ведерникова; k_0 – коэффициент фильтрации грунта основания.

При подпоре расход на фильтрацию из канала с облицовкой в однородном грунте вычисляют по формулам:

видоизмененная формула А. А. Угинчуса

$$Q_ф = k'_{\text{обл}} h_0 / \delta_0 \left[b + (2h_0 - \Delta h)\sqrt{1 + m_0^2}\right], \qquad (66)$$

формула И. В. Кононова

$$Q_{\Phi} = k'_{\text{обл}} / \delta_0 \left[h_0^2 \sqrt{1 + m_0^2} + \Delta h (b + m_0 \delta_0) \right], \qquad (67)$$

где Δh – превышение уровня воды в канале над уровнем грунтовых вод.

Понижение уровня грунтовых вод $\Delta h'$, достигаемое за счет облицовки, находят по зависимости (Кононов, 1978):

$$\Delta h' = p - \sqrt{p^2 - q_1}, \qquad (68)$$

где p и q_1 – величины, определяемые по зависимостям:

$$p = h_{\text{к}} - q_2 / 2\varphi; \quad q_1 = (h_{\text{к}}^2 - h_{\text{д}}^2) - q / \varphi;$$

$$\varphi = k_1 \alpha \lambda / L_0; \quad q_2 = k'_{\text{обл}} b / \delta_0;$$

$$q = k'_{\text{обл}} h_0^2 \sqrt{1 + m_0^2} / \delta_0; \quad L_0 = 0{,}5 (L_1 + L_2);$$

$$\alpha = \frac{2 \alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}; \quad \alpha_i = \frac{1}{1 + m'_0 A_{0_i} / L_i} \quad (i = 1, 2);$$

$$m'_0 = 0{,}5 (h'_0 + \Delta h'_0) + \alpha^* H_{\text{к}} \quad (\alpha^* = 0{,}3),$$

$h_{\text{к}}$ – превышение уровня воды в канале над водоупором; L_0, L_1, L_2 – расстояния соответственно среднее, слева и справа от канала до естественных понижений над водоупором; $h_{\text{д}}$ – превышение уровня воды естественных понижений над водоупором; α, λ, A_0 – коэффициенты, определяемые по формулам С. Ф. Аверьянова; h'_0 – средняя глубина потока грунтовых вод; $\Delta h'_0$ – подъем уровня грунтовых вод; α^* – коэффициент, учитывающий высоту капиллярного поднятия.

Фильтрационные потери из облицованных каналов в случае установившейся подпертой фильтрации с учетом влияния симметрично

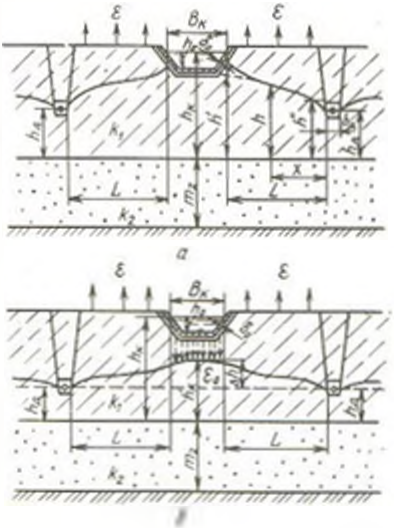


Рис. 43. Расчетные схемы фильтрации из облицованного канала в прикапальный дренаж в двухслойном грунте: *а* – с подпором; *б* – свободная фильтрация с подъемом грунтовых вод.

расположенного приканального дренажа для наиболее распространенной в природе схемы двухслойного грунта (рис. 43,*а*) определяют по формуле А. Я. Олейника с учетом дополнительного сопротивления, обусловленного применением облицовки. Расчетные формулы для одностороннего погонного оттока из канала $q_к$ и притока в дрену $q_д$ имеют вид:

$$q_к = \frac{TH + \epsilon L (0{,}5 L + \Phi_д)}{L + \Phi_к + \Phi_д + \Phi_{обл}}, \qquad (69)$$

$$q_д = \frac{TH - \epsilon L (0{,}5 L + \Phi_к)}{L + \Phi_к + \Phi_д + \Phi_{обл}}, \qquad (70)$$

где T – проводимость основания:

$$T = k_1 [(h_к + h_д)/2] + k_2 m_2;$$

m_2 – мощность нижнего слоя основания; H – напор в канале, $H = h_к - h_д$; ϵ – интенсивность испарения с поверхности грунтовых вод; L – расстояние от канала до дренажа; $\Phi_д$, $\Phi_к$, $\Phi_{обл}$ – фильтрационные сопротивления на гидродинамическое несовершенство дренажа, канала и дополнительное сопротивление от применения облицовки. $\Phi_д = \Phi'_д + 2\Phi''_д$, $\Phi_к = \Phi'_к + \Phi''_к$.

Кривую депрессии между каналом и дреной на участке L строят по данным, полученным по уравнению

$$h = h'' + \frac{h' - h''}{L} x - \frac{\epsilon x}{2T}(L - x), \qquad (71)$$

где h', h'' – ординаты кривой депрессии – начальная и конечная:

$$h' = h_к - (q_к / T)(\Phi_к + \Phi_{обл});$$

$$h'' = h_д + (q_к / T)\Phi_д.$$

Фильтрационные сопротивления на гидродинамическое несовершенство канала и дрены в двухслойном грунте определяем по формулам (Олейник, 1978):

$$\Phi'_i = \alpha \frac{k_2}{k_1} m' f'_i(m') + \frac{k_1 - k_2}{k_1} m_1 f'_i(m_1); \qquad (72)$$

$$\Phi_i'' = \beta \frac{k_2}{k_1} m' f_i''(m') + \frac{k_1 + k_2}{k_1} m_1 f_i''(m_1); \quad i = к, д, \tag{73}$$

где α и β – поправочные коэффициенты, определяемые по графикам А. Я. Олейника; f_i' и f_i'' – параметры, определяемые по зависимостям:

$$f_i' = s / 2 m_i - 1{,}466 \lg \operatorname{ch} \pi s / 4 m_i,$$

$$f_i'' = 0{,}733 \lg \operatorname{ctg} \pi s / 4 m_i.$$

При определении сопротивлений Φ' и Φ'' принимают: для канала $m' = h_к + m_2$, $m_1 = h_к$, $s = b$; для дрены $m' = \Delta h_д + m_2$, $m_1 = h_д$, $s = b_д$.

Дополнительное фильтрационное сопротивление, обусловленное применением облицовки, вычисляем по формуле

$$\Phi_{обл} = 2\delta_о (k_1 / k'_{обл}). \tag{74}$$

При одностороннем и двухсторонием несимметричном оттоке из канала в дрену фильтрационные потери рассчитывают по А. Я. Олейнику с учетом дополнительного сопротивления облицовки $\Phi_{обл}$.

Фильтрация из канала с облицовкой в приканальный дренаж при отсутствии подпора грунтовых вод (рис. 43, *б*) происходит не сплошным потоком, а в виде дождя. При этом под каналом наблюдается подъем грунтовых вод над их бытовым уровнем, а фильтрация из канала соответствует стадии свободной с интенсивностью $\epsilon_о$ и расходом

$$Q_ф = k'_{обл} [(h_о + \delta_о)/\delta_о] B_к. \tag{75}$$

Записав приток в дрену согласно формуле (70) без сопротивления канала и сопротивления облицовки

$$q_д = (T \Delta h - 0{,}5 \epsilon L^2) / (L + \Phi_д)$$

и приравняв его половине расхода канала, получим уравнение для определения подъема уровня грунтовых вод непосредственно под каналом

$$\Delta h_о' = h_к' - h_д = k'_{обл} \frac{h_с + \delta_о}{2\delta_о T} B (L + \Phi_д) + \frac{\epsilon L^2}{2T}, \tag{76}$$

где $h_к'$ – максимальная ордината уровня грунтовых вод под каналом.

В случае однородного грунта и без учета испарения ($\epsilon = 0$) уравнение (76) примет вид:

$$h'^2_к - h^2_д = \frac{k'_{обл}}{k_1} \frac{h_о + \delta_о}{\delta_о} B(L + \Phi_д). \quad (77)$$

Свободная фильтрация будет иметь место до тех пор, пока уровень грунтовых вод не поднимется выше подошвы облицовки, то есть когда

$$h'_к \leqslant h_к - (h_о + \delta_о). \quad (78)$$

Пример. Определить фильтрационные потери из канала с грунтопленочным экраном и подъем уровня грунтовых вод для однослойного основания.

Исходные данные: глубина воды в канале $h_о = 2$ м, ширина канала по дну $b = 4$ м, ширина канала по урезу воды $B = 8$ м, заложение откосов $m_о = 1$, длина канала $L_к = 10$ км, толщина защитного слоя $\delta_о = 0{,}5$ м, площадь экрана $F_о = 10$ га, превышение уровня воды в канале над водоупором $\Delta h_к = 12{,}5$ м, ширина дренажных каналов по дну $b_д = 2$ м, превышение уровня воды в дренажном канале над водоупором $\Delta h_д = 7{,}5$ м, расстояние от канала до дренажных каналов $L = 2000$ м, коэффициент фильтрации грунта защитного слоя и основания $k_1 = k_2 = 0{,}2$ м/сут, осредненный коэффициент фильтрации грунтопленочного экрана $k'_{обл} = 3{,}4 \cdot 10^{-4}$ м/сут и $k'_{обл} = 3{,}4 \cdot 10^{-5}$ м/сут, испарение с поверхности грунтовых вод $\epsilon = 0$.

Потери из канала определим для случая установившейся подпертой фильтрации и с целью сопоставления – при свободной фильтрации без подпора. При подпертой фильтрации расчет проводили по формулам А. Я. Олейника (69), И. В. Кононова (67); свободной – по формулам (75), Н. Н. Веригина и С. В. Васильева (64).

Для сравнения с потерями из неэкранированного канала в земляном русле приведены результаты расчета для подпертой фильтрации по формулам А. Я. Олейника и С. Ф. Аверьянова и для свободной фильтрации – по формулам В. В. Ведерникова и Н. Н. Павловского.

Результаты расчета сведены в таблицы 42...44.

42. Фильтрационные потери из облицованного канала, вычисленные разными способами, м³/сут

Коэффициент фильтрации экрана, м/сут	Подпертая фильтрация		Свободная фильтрация	
	по методу фильтрационных сопротивлений	по формуле И. В. Кононова	по формуле (75)	по формуле Н. Н. Веригина и С. В. Васильева
$3{,}4 \cdot 10^{-4}$	$9{,}61 \cdot 10^{-3}$	$7{,}54 \cdot 10^{-3}$	$1{,}22 \cdot 10^{-2}$	$1{,}20 \cdot 10^{-2}$
$3{,}4 \cdot 10^{-5}$	–	–	$1{,}22 \cdot 10^{-2}$	$1{,}20 \cdot 10^{-2}$

Так как при $k'_{обл_1} = 3{,}4 \cdot 10^{-4}$ м/сут условие (78) не выполняется (11,35 > > 10 м), фильтрация из канала проходит с подпором, а при $k'_{обл_2} = 3{,}4 \cdot 10^{-5}$ м/сут оно выполняется (8,36 < 10 м), следовательно, в этом случае фильтрация свободная без подпора с наличием зоны аэрации между подошвой экрана и уровнем грунтовых вод.

43. Фильтрационные потери из необлицованного канала, вычисленные разными способами, м³/сут

По формуле А. Я. Олейника	По формуле С. Ф. Аверьянова	По формуле В. В. Ведерникова	По формуле Н. Н. Павловского
$1{,}24 \cdot 10^{-3}$	$1{,}08 \cdot 10^{-3}$	2,68	2,4

44. Подъем уровня грунтовых вод $\Delta h_0'$ (м) в приканальной зоне

Коэффициент фильтрации экрана, м/сут	По методу фильтрационных сопротивлений	По формулам И. В. Кононова
$3{,}4 \cdot 10^{-4}$	3,85	3,80
$3{,}4 \cdot 10^{-3}$	0,86	0,94
Канал в земляном русле	4,90	–

Фильтрационные потери и подъем уровня грунтовых вод, полученные как по методу фильтрационных сопротивлений, так и по формулам И. В. Кононова, достаточно близки. О применимости методики расчета фильтрационных потерь, основанной на методе фильтрационных сопротивлений, свидетельствует также хорошее совпадение полученных результатов для необлицованного канала в земляном русле с широко известной и проверенной в натурных условиях формулой С. Ф. Аверьянова.

Сопоставляя потери на фильтрацию из облицованного канала в зависимости от проницаемости экрана, можно придти к следующему заключению. Фильтрационные потери при значительной проницаемости экрана ($3{,}4 \cdot 10^{-4}$ м/сут) в случае подпора приближаются к потерям необлицованного канала. Снижение потерь произошло лишь в 1,3 раза. В случае свободной фильтрации наблюдается высокое снижение потерь из канала с аналогичной проницаемостью пленочного экрана – более чем в 200 раз. Это указывает на малую эффективность экрана при таком его качестве в случае подпора и на нецелесообразность его применения с данным качеством в подобных условиях.

КПД каналов с облицовками определяют по формуле

$$\eta' = (Q - Q_{\text{п}})/Q\,. \qquad (79)$$

где Q – расход в голове канала; $Q_{\text{п}}$ – общие потери на участке или на всей протяженности канала, складывающиеся из потерь на фильтрацию и испарение с водной поверхности, $Q_{\text{п}} = Q_{\text{ф}} + Q_{\text{и}}$.

Потери на испарение можно найти по формуле А. Н. Костякова

$$Q_{\text{и}} = h_0 e_0 (\alpha + 2m_0)\,, \qquad (80)$$

где e_0 – слой воды, испарившейся за сутки, в жаркие дни достигает 20 мм; α – отношение ширины по дну к глубине воды в канале.

Связь между КПД облицованного и необлицованного (в земляном русле) каналов устанавливают соотношением

$$\eta' = 1 - (1 - \eta)\,\beta' = 1 - [(1 - \eta)/N], \qquad (81)$$

где η, η' – КПД канала в земляном русле и с противофильтрационной облицовкой; β', N – степень и кратность уменьшения потерь воды на фильтрацию при использовании облицовки, $\beta' = 1/N$.

Противофильтрационные покрытия на оросительных каналах повышают их КПД до 0,92...0,95. При этом наибольшей эффективностью (КПД = 0,995...0,999) обладают покрытия с применением полимерных пленок (табл. 45).

45. КПД межхозяйственной сети оросительных систем Ростовской области (по данным Н. Ф. Чередниченко, Л. Г. Сумцовой и Л. Н. Меженской)

Облицовка	Азовская	Багаево-Садковская	Нижне-Донская
	Без облицовки		
Земляное русло	0,73	0,73	0,77
	С облицовкой		
Бетонопленочная	0,998	0,997	0,996
Бетонная монолитная	0,988	0,988	0,977
Бетонная сборная	0,977	0,970	0,955

46. Зависимость КПД систем от их технического уровня (по данным В. А. Духовного)

Характеристика системы	Межхозяйственная сеть	Внутрихозяйственная сеть	Оросительная система
Земляное русло (в суглинках) инженерного типа	0,80...0,95	0,65...0,75	0,52...0,60
То же (в супесях)	0,80...0,95	0,60...0,71	0,50...0,57
Бетонная облицовка	0,85...0,96	0,75...0,86	0,60...0,75
Бетонная облицовка (межхозяйственная сеть) и лотковая (внутрихозяйственная сеть)	0,85...0,96	0,86...0,90	0,65...0,78
Сборная облицовка по пленке (межхозяйственная сеть) и лотковая (внутрихозяйственная)	0,90...0,98	0,86...0,90	0,75...0,88
Бетонная облицовка (межхозяйственная сеть) и в трубах (внутрихозяйственная сеть)	0,85...0,96	0,92...0,96	0,80...0,90

Применение противофильтрационных покрытий на оросительных системах Ростовской области показало, что эффективность межхозяйственной сети может быть повышена на 25...27 % (см. табл. 45).

Противофильтрационные мероприятия на оросительных каналах позволяют не только повысить их КПД, но и КПД оросительной системы в целом, что очень важно с точки зрения рационального использования водных ресурсов и повышения эффективности капитальных вложений в мелиорацию.

КПД оросительной системы и его составляющие (КПД внутрихозяйственной и межхозяйственной сетей) зависят от удельной протяженности сети, физических свойств грунтов, слагающих ложе каналов, типа покрытия, гидрогеологических условий и периодичности работы каналов (табл. 46).

КПД оросительной системы можно повысить с 0,50...0,60 до 0,60... 0,75, устроив бетонную облицовку на межхозяйственной и внутрихозяйственной сети, и до 0,75...0,90 — противофильтрационные покрытия на межхозяйственной сети и лотки или трубы на внутрихозяйственной.

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Наиболее общая характеристика эффективности противофильтрационных облицовок — кратность уменьшения потерь воды на фильтрацию по сравнению с необлицованным земляным руслом канала, определяемая соотношением

$$N = Q'_{\Phi} / Q_{\Phi}, \tag{82}$$

где Q'_{Φ}, Q_{Φ} — удельные потери воды на фильтрацию из канала соответственно облицованного и в земляном русле.

Эффективность противофильтрационной облицовки

$$\eta_{\Phi} = (Q_{\Phi} - Q'_{\Phi}) / Q_{\Phi}. \tag{83}$$

Эффективность противофильтрационных облицовок с пленочными экранами определяют по коэффициенту эффективности, введенному В. П. Недригой, который вычисляют как отношение расхода через облицовку с пленочным экраном к расходу через аналогичную облицовку без пленки:

для бетонопленочной облицовки

$$\eta'_{\Phi} = Q_{\text{бп}} / Q_{\Phi}, \tag{84}$$

для грунтопленочного экрана

$$\eta_э' = Q_{гп} / Q_{гэ}, \qquad (85)$$

где $Q_{бп}$, $Q_б$ – фильтрационные потери из канала с бетонопленочной и бетонной облицовками при идентичных нарушениях бетона облицовки; $Q_{гп}$ – фильтрационные потери из канала с грунтопленочным экраном; $Q_{гэ}$ – фильтрационные потери через грунтовый экран, эквивалентный по толщине грунтопленочному.

Коэффициент эффективности противофильтрационных облицовок можно вычислить и по коэффициентам их фильтрации:

для бетонопленочной облицовки

$$\eta_э' = k_{бп}' / k_б', \qquad (86)$$

для грунтопленочного экрана

$$\eta_э' = k_{гп}' / k_{гэ}, \qquad (87)$$

где $k_{бп}'$, $k_б'$, $k_{гп}'$ – условные осредненные коэффициенты фильтрации бетонопленочной, бетонной облицовок и грунтопленочного экрана; $k_{гэ}$ – коэффициент фильтрации грунтового экрана.

По приведенным выше характеристикам подбирают тип и конструкцию облицовки. На предварительных стадиях проектирования при подборе типа облицовки и оценке ее качества руководствуются следующими рекомендациями: бетонопленочные облицовки и грунтопленочные экраны эффективнее бетонных облицовок и экранов, а следовательно, их применение будет оправдано, если коэффициент эффективности $\eta_э' < 0{,}1...0{,}2$; чем меньше этот коэффициент, тем выше эффективность.

Окончательно эффективность облицовки, выбор ее типа и оценку требований к ее качеству проводят по условию предупреждения подтопления земель в соответствии с рекомендациями И. В. Кононова, устанавливающими связь между КПД канала, подъемами уровней грунтовых вод и гидрогеологическими условиями до и после устройства облицовки:

$$N = \frac{1 - \eta}{1 - \eta'} = \beta \frac{\Delta (2h_0' + \Delta)}{\Delta h_0' (2h_0' + \Delta h_0')} \approx \beta \frac{\Delta}{\Delta h_0'}, \qquad (88)$$

где β – коэффициент, учитывающий потери при входе потока из земляного русла в грунтовый поток; Δ и $\Delta h_0'$ – подъем уровня грунтовых вод при фильтрации соответственно из земляного и облицованного каналов; h_0' – средняя глубина потока грунтовых вод.

При несоблюдении условия (88) в ряде случаев вследствие подпертой фильтрации из облицованных каналов даже при высоких КПД и ничтожных потерях на фильтрацию будут наблюдаться подтопление и

вторичное засоление прилегающих к каналу земель. При этом, если разность в отметках поверхности земли и депрессионной кривой в суглинках составляет менее 3 м, а в глинистых грунтах — менее 5 м, то территорию считают подтопленной.

Для оценки качества противофильтрационной облицовки можно определить ее коэффициент фильтрации по требуемому КПД канала. В случае свободной фильтрации, когда водоупор отсутствует или залегает на значительной глубине и уровень грунтовых вод не поднимается выше дна канала,

$$k_{обл} = \frac{Q\,(1-\eta)\,\delta_0}{\eta\left[b\,(h_0+\delta_0)+\eta m_0\,\delta_0 h_0+h_0^2\sqrt{1+m_0^2}\;\right]L_к}, \qquad (89)$$

где $L_к$ – длина канала.

В случае фильтрации с подпором коэффициент фильтрации определяют по требуемым КПД канала и снижению уровня грунтовых вод под каналом, исключающему подтопление приканальной территории,

$$k_{обл} = \frac{Q\,(1-\eta)\,\delta_0}{\eta\left[(h_0^2\sqrt{1+m_0^2}+\Delta h'(b+m_0\delta_0)\right]L_к}. \qquad (90)$$

Для случая фильтрации с подпором только по условию снижения уровня грунтовых вод коэффициент фильтрации вычисляют по зависимости И. В. Кононова

$$k_{обл} = \frac{\alpha\lambda\delta_0 k_1\,(H_0-h_0-\Delta h')\,(H_0+h_0-\Delta h')}{L_0\left[h_0^2\sqrt{1+m_0^2}+\Delta h'(b+m_0\delta_0)\right]}, \qquad (91)$$

а КПД канала – по формуле

$$\eta = \frac{\delta_0 Q}{\delta_0 Q + L_к k_{обл}\left[h_0^2\sqrt{1+m_0^2}+\Delta h'(b+m_0 h_0)\right]}, \qquad (92)$$

где α и λ - коэффициенты, определяемые по С. Ф. Аверьянову; H_0 – расстояние от уровня воды в канале до водоупора; $\Delta h'$ – заданное снижение уровня грунтовых вод под каналом; Q – расход воды в канале.

Качество противофильтрационных облицовок каналов оценивают по допускаемым осредненным коэффициентам фильтрации и фильтрационным потерям (табл. 47) и уточняют по натурным данным.

47. Допускаемые коэффициенты фильтрации и фильтрационные потери противофильтрационных облицовок

Тип облицовки	Осредненный коэффициент фильтрации, 10^{-4} см/с	Осредненные фильтрационные потери, л/(сут · м²)
Бетонные монолитные	3...5	–
Железобетонные монолитные	1,5...3,5	–
Железобетонные сборно-монолитные	3,5...4,5	–
Железобетонные сборные	4,5...7	–
Бетонопленочные монолитные	0,1...0,5	3...6
Бетонопленочные сборно-монолитные	0,5...1	7...10
Бетонопленочные сборные	1...1,5	8...12
Грунтопленочные	0,5...1,5	10...15
Асфальтобетонные	1...5	–

Таким образом, одним из показателей надежности противофильтрационных облицовок может быть их поврежденность

$$П = \omega_п / F_о, \qquad (93)$$

где $\omega_п$ – общая площадь повреждений и дефектов облицовки; $F_о$ – площадь облицовки.

Другим показателем надежности может быть условный коэффициент фильтрации облицовки $k'_{обл}$, определяемый по формуле (37).

Один из важных вопросов обоснования применения защитных покрытий и облицовок – их надежность.

Под противофильтрационной надежностью облицовок понимают способность облицовки сохранять в нормальных условиях эксплуатации в течение прогнозируемого срока службы свои противофильтрационные качества на требуемом уровне с допустимой степенью поврежденности отдельных ее элементов.

Анализ полевых обследований позволил установить основные причины ненадежности (нарушения герметичности) противофильтрационных облицовок с пленочными экранами: конструктивные дефекты, вызванные несовершенством конструкций облицовок (защитных покрытий, прокладок, подстилающего основания и др.); технологические дефекты, обусловленные нарушением принятой технологии и контроля качества строительства (некачественная герметизация швов; неправильный уход за свежеуложенным бетоном; трещины и дефекты сборных плит, образованные при их транспортировке и монтаже; укладка плит на пленку без защитных прокладок и непредусмотренный сдвиг их по пленке; отсыпка защитного слоя грунта на пленку при малой его толщине; некачественное соединение пленки – пропуски,

недовары, пережоги, неточная подготовка основания и др.); эксплуатационные дефекты, вызванные нарушениями правил эксплуатации и износом облицовки, температурно-усадочными напряжениями в бетоне и старением пленочного материала вследствие протекания в полимере физико-химических процессов, разуплотнением швов-стыков облицовки, просадочными явлениями и морозным пучением грунтов основания.

Как следствие всех перечисленных причин — возможность появления в процессе строительства и эксплуатации противофильтрационных облицовок различных нарушений, дефектов и повреждений.

Качество облицовки определяют из условий

$$k'_{\text{обл}} \leqslant k_{\text{обл. доп}} \quad \text{или} \quad \Pi \leqslant \Pi_{\text{доп}}, \tag{94}$$

где $k_{\text{обл. доп}}$ – допускаемый коэффициент облицовки; $\Pi_{\text{доп}}$ – допускаемая поврежденность.

Следовательно, надежность противофильтрационной облицовки будет характеризоваться вероятностью непревышения $k_{\text{обл. доп}}$ или $\Pi_{\text{доп}}$.

Для установления связи между этими двумя показателями надежности используем условие (36) равенства расхода фильтрации через облицовку сумме единичных расходов фильтрации через отдельные повреждения и дефекты на определенной площади облицовки.

С учетом теоретических зависимостей для фильтрационных расходов через отдельные повреждения пленочного экрана получены следующие расчетные формулы поврежденности пленочного экрана бетонопленочных облицовок:

при наличии протяженных щелей в экране

$$\Pi = \frac{k'_{\text{обл}} \beta_0 \bar{m} \operatorname{arch} \left[(\operatorname{ch} \pi T/l) / (\sin \pi \bar{m} / 2l) \right]}{\pi k (h_1 + T) \chi_0}, \tag{95}$$

при наличии протяженных щелей с учетом неполного влагонасыщения и капиллярного растекания под экраном

$$\Pi = \frac{k'_{\text{обл}} \beta_0 \bar{m} \operatorname{arch} (1 / \sqrt{a - 1})}{\pi k_\omega (h_1 + H_к) \chi_0}, \tag{96}$$

при наличии отверстий (проколов) в экране

$$\Pi = \frac{k'_{\text{обл}} \beta_0 \bar{r}_0 \operatorname{arch} \left(\operatorname{ch} \frac{\pi T}{2R} / \sin \frac{\pi r_0}{2R} \right)}{\pi k (h_1 + T) \chi_0}, \tag{97}$$

где β_0 – величина, зависящая от параметров канала и облицовки

$$\beta_0 = \frac{b\,(h_0 + \delta_0)}{\delta_0} + 2m_0 h_0 + \frac{h_0^2}{\delta_0}\sqrt{1 + m_0^2}\,;$$

$\bar{m}$ – среднестатистическая ширина щели; T – мощность подстилающего облицовку основания; l – ширина растекания фильтрационного потока под экраном, $l = 2R \approx \beta\,(h_1 + H_к)$, β – коэффициент, учитывающий боковое растекание фильтрационного потока, равный 0,5...1,5; k – коэффициент фильтрации грунта основания без учета влагонасыщения; h_1 – остаточный напор между подошвой бетонного покрытия и пленкой (в первом приближении принимают равным h_0); χ_0 – смоченный периметр канала, $\chi_0 = b + 2h_0\sqrt{1 + m_0^2}$; α – параметр, определяемый по таблице 38; k_ω – коэффициент фильтрации грунта с учетом неполного влагонасыщения; $\bar{r}_0$ – среднестатистический радиус отверстия; R – радиус растекания фильтрационного потока под экраном.

Расчетные формулы поврежденности грунтопленочных экранов имеют вид:

при наличии щелей в экране на сильнопроницаемом основании

$$П = \frac{k'_{обл}\,\bar{m}}{\pi k\,\delta_0}\,\ln\,(16\,\delta_0 / \pi\,\bar{m}); \qquad (98)$$

при наличии щелей в экране с учетом проницаемости подстилающего основания

$$П = \frac{k'_{обл}\,\bar{m}}{\pi k_1 k_2\,\delta_0}\left[k_2 \ln\frac{16\,\delta_0}{\pi\bar{m}} + k_1\,\mathrm{arch}\,\frac{2l}{\pi m}\right]; \qquad (99)$$

при наличии отверстий в экране

$$П = \frac{k_{обл}\,\mathrm{arch}\,[(\mathrm{ch}\,\pi\delta_0 / 2R) / (\sin\pi\bar{r}_0 / 2R)]}{\pi k_1\,(h_0 + \delta_0 - h_1)}, \qquad (100)$$

где k_1, k_2 – коэффициенты фильтрации соответственно защитного и подстилающего слоев грунта пленочного экрана; h_1 – пьезометрический напор в месте повреждения, определяемый по формуле, приведенной в таблице 39.

Задаваясь допустимым коэффициентом фильтрации облицовки $k_{обл.доп}$ в соответствии с требуемым их качеством (см. табл. 37), определяют допускаемую поврежденность $П_{доп}$.

Надежность противофильтрационных облицовок целесообразно рассчитывать по аналогии с методикой оценки надежности размываемого основания, сложенного из связных грунтов, предложенной Ц. Е. Мирцхулавой (1974).

В связи с тем что повреждения на единице площади пленочного экрана F_0 расположены случайно, распределение их, как редкое явление, для простоты будем считать подчиняющимся закону Пуассона.

Допускаемую поврежденность облицовки с заданной надежностью определим по формуле

$$П(P) = П_{доп} / \eta_н, \tag{101}$$

где P – вероятность безотказной работы; $\eta_н$ – коэффициент надежности:

$$\eta_н = 1 - \frac{\sqrt{\sigma^2_{п.доп} + \sigma^2_п}}{\bar{П}} \sqrt{-2 \ln \frac{(-\ln P)}{\gamma F_0 \bar{\nu}_п}}; \tag{102}$$

$\sigma_п$, $\sigma_{п.доп}$ – среднеквадратические отклонения фактической и допускаемой поврежденности облицовки; $\bar{П}$, $П_{доп}$ – средние фактическая и допускаемая поврежденности, $\bar{\nu}_п$ – средняя частота повреждений, $\bar{\nu}_п = N_0/F$; N_0 – среднее число пересечений кривой поврежденности допускаемого значения $П_{доп}$ на площади F; F – общая обследованная площадь облицовки при определении ее поврежденности на отдельных участках канала; γ – величина, определяемая по зависимости

$$\gamma = \sigma_п / \sqrt{\sigma^2_{п.доп} + \sigma^2_п}. \tag{103}$$

Полученные формулы дают возможность установить расчетную допускаемую поврежденность противофильтрационных облицовок $П$, которая предотвратит недопускаемые фильтрационные потери из канала и предупредит подъем уровня грунтовых вод с заданной надежностью и вероятностью P на площади облицовки F_0 с числом выбросов $\bar{\nu}_п$.

Допустим, что отклонение фактической поврежденности $П$ обследованного участка облицовки от его среднего значения равно $\Delta П$. Тогда условие надежности примет вид:

$$П \leqslant П_{доп} + \Delta П.$$

Если считать, что такая случайная величина, как поврежденность, подчиняется нормальному закону распределения, вероятность превышения $П - \Delta П$ значения $m_1 П_{доп}$ можно установить с помощью интеграла вероятности

$$P(П - \Delta П > m_1 П_{доп}) = 0{,}5 - 0{,}5\,\Phi\left[\frac{(m_1 - 1)П_{доп}}{\sigma}\right], \tag{104}$$

где $\Phi(x)$ – интеграл вероятности:

$$\Phi_x = 2/\sqrt{2\pi} \int_0^x e^{-t^2/2} dt,$$

m_1 – коэффициент запаса.

Таким образом, приведенные зависимости позволяют оценить при проектировании и строительстве степень надежности противофильтрационных облицовок с точки зрения их поврежденности и дают возможность наметить пути изменения конструктивных и технологических параметров облицовок для придания им необходимых противофильтрационных качеств.

Основной показатель эксплуатационной надежности противофильтрационных облицовок – долговечность.

Прогнозировать долговечность конструкций можно, используя обобщенное уравнение Аррениуса (Мирцхулава, 1974):

$$\ln s = \ln s_0 - K'' \tau e^{u/E}, \qquad (105)$$

где s – мгновенная прочность; s_0 – начальная прочность; u – энергия активации разрушения; E – энергия реакции; K'' – константа, включающая K и K' и являющаяся функцией концентрации веществ, а также их природы (K – константа, зависящая от материала; K' – константа, характеризующая размер дефекта); τ – время до разрушения облицовки (долговечность).

Из уравнения следует, что при постоянстве внешней среды прочность конструкции уменьшается со временем по экспоненциальному закону; срок службы конструкции до достижения заданной прочности обратно пропорционален концентрации материала среды; логарифм долговечности объекта, отвечающий определенной прочности, обратно пропорционален энергии среды.

При эксплуатации оросительных каналов долговечность противофильтрационных облицовок зависит главным образом от деформаций основания, вызванных просадками и морозным пучением, надежности элементов облицовки – прочности и трещинообразования сборных плит или бетона монолитного покрытия, расстройства швов, старения пленок и полимерных герметиков в стыках плит облицовки.

Ориентировочный срок службы противофильтрационных облицовок до полного восстановления составляет: монолитных, бетонных, железобетонных и бетонопленочных – 35...40 лет, асфальтобетонных – 10...15 лет.

Основная причина старения пленочных экранов – термодеструкция, скорость которой существенно зависит от действия повышенных температур (Сокольская, 1969).

Полиэтиленовые пленки, находившиеся под бетоном, стареют быст-

рее, чем под защитным слоем грунта, что объясняется действием щелочной среды, которая является поверхностно-активной по отношению к бетону облицовки, снижающей поверхностную энергию вновь образуемой поверхности при разрушении. После 4...6 лет показатели физико-механических свойств пленки стабилизируются. На основании этих исследований сделан вывод о предполагаемой долговечности пленки под защитой бетона более 40 лет. Долговечность пленочных экранов под защитным слоем грунта выше и составляет не менее 40...50 лет (Глебов, Кричевский, Лысенко и др., 1976).

ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева предложена методика, в соответствии с которой долговечность таких экранов зависит от величины растягивающих напряжений. При ограничении растягивающих напряжений в пленке до 0,5...1 МПа долговечность пленочных экранов прогнозируется на срок до 100 лет (Глебов, Лысенко, Белышев, 1979).

В качестве характеристики надежности противофильтрационной облицовки с учетом временного фактора или долговечности может быть использован коэффициент надежности, определяемый по зависимости

$$\eta_{и} = 1 + \frac{\sqrt{\sigma^2_{П_{к.доп}} + \sigma^2_{П_к}}}{П_к} \sqrt{-2\ln\frac{(-\ln P)}{\gamma\tau\nu_{П_к}}}, \qquad (106)$$

где $\sigma_{П_к}$, $\sigma_{П_{к.доп}}$ – среднеквадратические отклонения комплексной фактической и допускаемой поврежденности; $П_к$ – комплексный показатель поврежденности, зависящий от качества строительства, расчетных условий работы облицовки, нагрузок, действующих на облицовку в процессе эксплуатации, и продолжительности эксплуатации облицовки τ; γ – величина, определяемая аналогично зависимости (103) с заменой среднеквадратических отклонений комплексного показателя поврежденности.

В данном случае допускаемую поврежденность назначают в зависимости от предельного срока службы облицовки и допускаемой нагрузки на нее.

Расчет водопроницаемости, фильтрационных потерь и оценки надежности и эффективности противофильтрационных облицовок рассмотрим на примерах.

Пример 1. Рассчитать водопроницаемость и эффективность различных типов противофильтрационных облицовок магистрального канала. Для расчета использованы данные III очереди БСК: глубина воды $h_0 = 3$ м, ширина канала по дну $b = 6$ м, коэффициент заложения откосов $m_0 = 2{,}1$, длина канала $L_к = 27$ км, мощность подстилающего основания до границы более проницаемого слоя $T_1 = 20$ м, коэффициент фильтрации грунта основания $k_1 = 0{,}116 \cdot 10^{-3}$ см/с.

Для канала с бетонопленочной облицовкой имеем следующие виды нарушений бетонного покрытия и пленочного экрана: одну трещину в облицовке при средней ширине раскрытия $\delta_{тр} = 0{,}02$ см, шероховатости $e = 0$ и $c = 0{,}01$ см через 100 м, средней длине трещины $l_{тр} = 1$ м и одну щель в пленочном экране

1. Результаты расчета эффективности противофильтрационных облицовок

Тип облицовки и характер ее нарушения	Коэффициент фильтрации облицовки $k'_{обл}$, см/с	Фильтрационные потери из канала $Q_ф$, м²/с	Коэффициент эффективности облицовки $\eta_э$	Кратность уменьшения фильтрационных потерь N, раз
Бетонопленочная облицовка:				
гладкие трещины	$0{,}705 \cdot 10^{-7}/0{,}141 \cdot 10^{-5}$	$0{,}344 \cdot 10^{-6}/0{,}685 \cdot 10^{-5}$	0,276/0,045	860/43
трещины с шероховатыми стенками	$0{,}652 \cdot 10^{-7}/0{,}136 \cdot 10^{-5}$	$0{,}318 \cdot 10^{-6}/0{,}665 \cdot 10^{-5}$	0,752/0,067	930/44
закольматированные трещины	$0{,}137 \cdot 10^{-8}/0{,}156 \cdot 10^{-7}$	$0{,}667 \cdot 10^{-8}/0{,}760 \cdot 10^{-7}$	0,194/1,0* ($\eta_э > 1$)	$4{,}4 \cdot 10^{4}/3{,}9 \cdot 10^{3}$
без трещин	$0{,}590 \cdot 10^{-9}/0{,}114 \cdot 10^{-7}$	$0{,}288 \cdot 10^{-8}/0{,}556 \cdot 10^{-7}$	0,085/1,0* ($\eta_э > 1$)	$10{,}2 \cdot 10^{3}/5{,}2 \cdot 10^{3}$
Бетонная облицовка:				
гладкие трещины	$0{,}255 \cdot 10^{-6}/0{,}311 \cdot 10^{-4}$	$1{,}243 \cdot 10^{-6}/1{,}516 \cdot 10^{-4}$	–	240/1,9
трещины с шероховатыми стенками	$0{,}867 \cdot 10^{-7}/0{,}202 \cdot 10^{-4}$	$0{,}423 \cdot 10^{-6}/0{,}982 \cdot 10^{-4}$	–	700/3,0
закольматированные трещины	$0{,}706 \cdot 10^{-8}/0{,}752 \cdot 10^{-8}$	$0{,}344 \cdot 10^{-7}/0{,}367 \cdot 10^{-7}$	–	$8{,}6 \cdot 10^{3}/8 \cdot 10^{3}$
без трещин	$0{,}694 \cdot 10^{-8}$	$0{,}338 \cdot 10^{-7}$	–	$8{,}7 \cdot 10^{3}$
Грунтопленочный экран:				
защитный слой из местного грунта	$0{,}981 \cdot 10^{-7}/0{,}189 \cdot 10^{-5}$	$0{,}564 \cdot 10^{-7}/1{,}087 \cdot 10^{-6}$	$0{,}846 \cdot 10^{-4}$ / $0{,}163 \cdot 10^{-2}$	$5{,}2 \cdot 10^{3}/2{,}7 \cdot 10^{2}$
защитный слой из уплотненной глины	$0{,}221 \cdot 10^{-5}/0{,}425 \cdot 10^{-5}$	$0{,}127 \cdot 10^{-5}/0{,}245 \cdot 10^{-5}$	$0{,}221 \cdot 10^{-3}$ / $0{,}425 \cdot 10^{-2}$	$2{,}3 \cdot 10^{2}/1{,}2 \cdot 10^{2}$
Грунтовый экран	$1 \cdot 10^{-6}$	$0{,}575 \cdot 10^{-6}$	–	$5{,}1 \cdot 10^{2}$
Необлицованное русло	–	$0{,}295 \cdot 10^{-5}$	–	–

Примечание. В числителе приведены результаты расчетов для первого случая, в знаменателе – для второго случая.

при средней ширине $m = 1$ см через 200 м, средней длине $l_{щ} = 1,5$ м; одну трещину в облицовке $\delta_{тр} = 0,1$ см, $e = 0$ и $e = 0,02$ см через 100 м, $l_{тр} = 1$ м и одну щель в пленочном экране через 10 м, $l_{щ} = 1,5$ м. Кроме того, принята водопроницаемость бетона облицовки, соответствующая марке W2 с $k_{б} = 0,7 \cdot 10^{-8}$ см/с, $k_{кол} = 0,116 \cdot 10^{-3}$ см/с, $\gamma = 1 \cdot 10^{4}$ Н/м^3, $\mu = 0,134 \cdot 10^{-3}$ Па · с.

На канале с грунтопленочным экраном толщиной $\delta_{э} - \delta_{отк} = 1$ м имеем: одну щель в пленочном экране средней шириной $m = 1$ см через 200 м, средней длиной $l_{щ} = 1,5$ м; одну щель $m = 1$ см через 10 м, $l_{щ} = 1,5$ м. Кроме того, примем $k_{1} = 0,116 \cdot 10^{-3}$ см/с, для защитного слоя из местного грунта $k_{1} = 0,116 \cdot 10^{-3}$ см/с, а из уплотненного глинистого грунта $k_{1} = 1 \cdot 10^{-6}$ см/с.

Результаты вычислений сведены в таблицу 1.

Для сравнения приведен расчет канала с бетонной облицовкой, грунтовым экраном и для необлицованного русла. Коэффициенты фильтрации различных типов облицовок определяли по вышеприведенным зависимостям. Фильтрационные потери из облицованных каналов вычисляли по формуле Н. Н. Веригина и С. В. Васильева, а для необлицованного русла – по формуле В. В. Ведерникова. Противофильтрационную эффективность облицовок оценивали коэффициентом эффективности и сокращением фильтрационных потерь из облицованного канала по отношению к необлицованному (в земляном русле).

Противофильтрационная эффективность бетонопленочной облицовки существенно (на один-два порядка) возрастает при полной кольматации трещин в бетоне облицовки, что подтверждают наблюдения за эксплуатацией каналов в течение ряда лет (Алимов, 1982). При этом после механического кольматажа трещин облицовка по своим свойствам приближается к качественно выполненной бетонопленочной облицовке без каких-либо трещин и дефектов.

Эффективность бетонопленочных облицовок зависит от поврежденности пленочного экрана: при большой поврежденности экрана (второй случай расчета) противофильтрационная эффективность бетонопленочных облицовок падает до эффективности бетонных. Здесь пленка, уложенная под защитное бетонное покрытие, фактически утрачивает свое основное назначение как противофильтрационный элемент.

Следует отметить, что фильтрационные потери из канала с бетонопленочной облицовкой для второго расчетного случая при условии кольматажа трещин и без трещин получены несколько выше, чем при аналогичных условиях для бетонной облицовки, а коэффициент эффективности $\eta_{э} > 1$. Это можно объяснить некоторой схематизацией принятой модели фильтрации через облицовку, а также тем, что используемые формулы для расчета являются приближенными.

Достаточно высокая эффективность получается для грунтопленочных экранов, которая оказывается в несколько раз выше бетонопленочных облицовок с такими же размерами повреждений пленочного элемента при наиболее часто встречающемся на практике их качестве, когда в бетонном покрытии имеются трещины и разрушенные швы. При устройстве же защитного слоя из уплотненного глинистого грунта эффективность грунтопленочного экрана повышается на два порядка, а по сравнению с бетонопленочной облицовкой – не менее чем на три порядка.

Бетонные облицовки при значительных их нарушениях по эффективности практически приближаются к необлицованному руслу канала.

Как показывают расчеты, наибольшие КПД ($\eta = 0,9989$) имеют каналы с грунтопленочными экранами, где основные потери происходят главным образом из-за испарения. В каналах с бетонопленочными облицовками КПД снижается до 0,9956, но остается вместе с тем достаточно высоким. А в случае бетонных облицовок его значение падает до 0,92...0,95 и приближается к КПД земляного необлицованного русла (0,85).

Сравнение расчетных данных с натурными позволяет сделать заключение, что наиболее близкие результаты получены для второго расчетного случая, когда пленочный экран имеет большую поврежденность (0,0075 %). Так, для сборно-монолитной бетонопленочной облицовки (на откосах – плиты, по дну – монолитный бетон) расчетный $k_{обл}$ близок к натурным значениям облицовок магистрального канала Большой Волгоградской оросительной системы и III очереди Большого Ставропольского канала, на примере которого выполнен указанный расчет. Для грунтопленочного экрана расчетный $k_{обл}$ получен близким к натурным данным Главного Каховского магистрального и Куйбышевского обводнительно-оросительного каналов.

Приведенные расчеты, а также сопоставление с данными натурных исследований подтверждают возможность использования предлагаемых способов расчета водопроницаемости защитных покрытий для оценки их противофильтрационной эффективности при проектировании и эксплуатации облицованных каналов.

Пример 2. Рассчитать требуемое качество противофильтрационной облицовки по заданным КПД канала и снижению уровня грунтовых вод при следующих исходных данных: расход канала $Q = 100$ м^3/с, глубина $h_0 = 3$ м, длина $L_к = 10$ км, ширина по дну $b = 8$ м, заложение откосов $m_0 = 2$, толщина облицовки $\delta_0 = 0{,}06$ м, заданные КПД канала и снижение уровня грунтовых вод приведены в таблице 2.

2. Осредненные коэффициенты фильтрации противофильтрационной облицовки, см/с

Снижение уровня грунтовых вод Δh, м	КПД канала η				
	0.9	0,95	0,99	0,995	0,999
3	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$	$7{,}1 \cdot 10^{-5}$	$1{,}3 \cdot 10^{-5}$	$6{,}7 \cdot 10^{-6}$	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$
5	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$	$5{,}2 \cdot 10^{-5}$	$9{,}9 \cdot 10^{-6}$	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$	$9{,}0 \cdot 10^{-7}$
10	$6{,}5 \cdot 10^{-5}$	$3{,}1 \cdot 10^{-5}$	$5{,}0 \cdot 10^{-6}$	$2{,}7 \cdot 10^{-6}$	$4{,}0 \cdot 10^{-7}$
20	$3{,}6 \cdot 10^{-5}$	$1{,}7 \cdot 10^{-5}$	$3{,}0 \cdot 10^{-6}$	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$	$1{,}0 \cdot 10^{-7}$

Расчет проводим по формуле (90), а результаты сводим в таблицу 2.

При КПД канала ниже 0,95 и снижении уровня грунтовых вод свыше 3 м применение противофильтрационных облицовок нецелесообразно, так как расчетный осредненный коэффициент фильтрации превышает допускаемый (см. табл. 38). Для обеспечения КПД канала 0,99 и снижения уровня грунтовых вод более 5 м целесообразно применение бетонных и железобетонных облицовок с качеством, удовлетворяющим допускаемым значениям коэффициента фильтрации $(2{,}5...7) \cdot 10^{-6}$ см/с. При обеспечении КПД свыше 0,995 и снижении уровня более 3 м целесообразно применять только грунтопленочные экраны и бетонопленочные облицовки, причем при КПД = 0,999 требуется особо высокое качество строительства облицовки, удовлетворяющее $k_{обл} < 1{,}0 \cdot 10^{-6}$ см/с, что можно достигнуть лишь за счет устройства монолитных бетонопленочных облицовок.

Пример 3. Установить расчетную допускаемую поврежденность пленочного экрана при строительстве бетонопленочной облицовки оросительного канала при следующих данных: глубина $h_0 = 3$ м, ширина по дну $b = 6$ м, заложение откосов $m_0 = 2{,}1$, толщина облицовки $\delta_0 = 0{,}15$ м, длина канала $L_к = 27$ км, мощность основания до проницаемого слоя $T = 20$ м, коэффициент фильтрации грунта ос-

нования $k = 0{,}116 \cdot 10^{-3}$ см/с, повреждения пленочного экрана имеют форму протяженных щелей среднестатистической шириной $m = 0{,}01$ м.

Поврежденность пленочного экрана, определенная в результате обследования отдельных участков облицовки канала на площади F ($F \leq F_0$), задана рядом 0,070; 0,075; 0,082; 0,088; 0,091; 0,095; 0,095; 0,097; 0,099; 0,101; 0,102; 0,102; 0,104; 0,106; 0,109; 0,112; 0,117; 0,280 10^{-4}.

По результатам статистической обработки представленных данных имеем среднеарифметическое значение поврежденности $\bar{\Pi} = 0{,}107 \cdot 10^{-4}$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma_{\Pi} = 0{,}0448 \cdot 10^{-4}$.

Определяем параметры облицовки $\chi_0 = 20$ м, $F_0 = 5{,}4 \cdot 10^5$ м^2.

Задаваясь допускаемым коэффициентом фильтрации бетоноплемочной облицовки $k_{\text{обл. доп}} = 0{,}4 \cdot 10^{-3}$ см/с и принимая $h_1 = h_0 = 3$ м, по формуле (95) находим допускаемую поврежденность $\Pi_{\text{доп}} = 0{,}267 \cdot 10^{-4}$.

В соответствии с вышеприведенными данными число выбросов $N_0 = 1$, тогда $\nu_{\Pi} = 1/F$. При отсутствии данных специальных исследований приближенно примем $\sigma_{\Pi_{\text{доп}}} = \sigma_{\Pi} = 0{,}0448 \cdot 10^{-4}$. Результаты определения расчетных значений допускаемой поврежденности пленочного экрана при различных значениях вероятности безотказной работы облицовки канала P и общей обследованной площади экрана F приведены в таблице 3.

3. Расчетная допускаемая поврежденность пленочного экрана противофильтрационной облицовки с различной надежностью

F/F_0	P							
	0,1		0,5		0,9		0,95	
	$\eta_{\text{н}}$	$\Pi(10^{-4})$	$\eta_{\text{н}}$	$\Pi(10^{-4})$	$\eta_{\text{н}}$	$\Pi(10^{-4})$	$\eta_{\text{н}}$	$\Pi(10^{-4})$
1/300	2,78	0,096	3,00	0,089	3,31	0,081	3,42	0,078
1/50	2,38	0,112	2,66	0,100	3,02	0,088	3,14	0,085
1/10	1,89	0,141	2,28	0,117	2,72	0,098	2,89	0,093
1/2	–	–	1,71	0,156	2,35	0,114	2,52	0,106
1	–	–	1,12	0,238	2,16	0,124	2,36	0,113

Примечание. Под чертой приведена допускаемая поврежденность, удовлетворяющая среднему фактическому значению $\bar{\Pi} = 0{,}107 \cdot 10^{-4}$.

С увеличением площади обследования поврежденного пленочного экрана F повышается расчетная допускаемая поврежденность $\Pi(P)$. Это позволяет снизить требования к качеству строительства облицовки. С увеличением надежности и вероятности безотказной работы сужается допускаемая поврежденность $\Pi(P)$, что требует повышения качества облицовки. Необходимо также отметить, что расчетную допускаемую поврежденность можно существенно повысить, уменьшив дисперсию (разброс) натурных данных поврежденности σ_{Π}. Так, при уменьшении среднеквадратического отклонения поврежденности до $\sigma_{\Pi} = 0{,}02 \cdot 10^{-4}$ даже при малой площади обследования облицовки $F =$

$= (1/300)$ F_0 и высокой вероятности безотказной работы $P = 0{,}95$; 0,99; 0,999 получим для данного примера соответственно следующую расчетную поврежденность $\Pi(P)$ = 0,128; 0,122; $0{,}116 \cdot 10^{-4}$.

Таким образом, принимая достаточно высокую вероятность безотказной работы противофильтрационной облицовки, можно рассчитать допускаемую поврежденность пленочного экрана, а следовательно, установить требуемое качество строительства облицовки и контроль за ним на минимально необходимой площади обследования облицовки, при которых недопустимые потери воды из канала вследствие фильтрации станут практически невозможными.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Эффективность и эксплуатационная надежность защитных покрытий зависят от конструкции облицовок и качества их строительства, герметизирующих материалов для заделки швов, срока и условий эксплуатации и гидрогеологических условий по трассе каналов.

Одно из основных направлений повышения противофильтрационной эффективности и надежности покрытий – широкое использование монолитных облицовок, выполненных механизированно с помощью бетоноукладочных комплексов. Однако у нас в стране применение таких облицовок сдерживается из-за отсутствия высокопроизводительных бетоноукладочных машин.

Использование бетоноукладочного комплекса машин фирмы "Рахко" на распределительном канале Р-5 Каховской оросительной системы позволило получить высокую марку бетона по водонепроницаемости W8 (по проекту W4...W6) (Синяков, Науман, Павлов и др., 1980). Эффективность монолитных бетонных облицовок, выполненных комплексом "Рахко", практически соответствует бетонопленочным и позволяет снизить потери на фильтрацию по сравнению с необлицованным руслом канала более чем в 17 раз.

Кроме того, в монолитной облицовке при механизированной укладке бетонной смеси сокращается трещинообразование на 17...22 % по сравнению с бетоном ручной укладки.

Через швы и трещины в бетоне обычно фильтруется большая часть расхода, составляющая в зависимости от качества покрытия 60...97 % общих потерь. Поэтому важное значение в повышении эффективности противофильтрационных облицовок имеет надежная герметизация швов.

Сборные железобетонные облицовки с неомоноличенными швами относительно надежны, если для герметизации швов применяют пороизол и тиоколовые мастики. Другие герметизирующие материалы (битумно-резиновые и битумно-полимерные) не обеспечивают достаточной противофильтрационной эффективности.

Повысить эффективность сборных облицовок можно за счет омоноличивания сборных плит в большие карты. Расчеты показывают, что отказ от устройства деформационных швов оправдан, так как температурные деформации осуществляются за счет незначительного раскрытия стыков плит (0,2...0,4 мм), которые легко могут быть герметизированы покрытием недефицитной мастикой (Орлов, 1981).

Повышения эффективности монолитных облицовок достигают, применяя закладные герметики — "констопы". В этом случае устройство специальных деформационных швов не требуется, так как швы с "констопами", воспринимая усадочные деформации, в последующем работают как температурные.

Для уменьшения трещинообразования и снижения фильтрации в бетонных облицовках следует рационально разрезать покрытия поперечными деформационными швами.

При строительстве оросительных каналов применение монолитного железобетона предпочтительнее, чем бетона, особенно при механизированной укладке облицовки. Армирование бетона металлической сеткой позволяет снизить трещинообразование на 20...25 %. Применяя монолитный железобетон, можно значительно повысить противофильтрационную эффективность облицовки за счет более действенной здесь кольматации и самоуплотнения трещин по отношению к бетонной облицовке. При кольматации трещин в железобетоне фильтрация стабильно уменьшается в десятки раз. В бетонной облицовке, разделенной трещинами на отдельные разобщенные блоки, испытывающие циклические деформации, вызванные суточными и сезонными колебаниями температуры воды, периодически изменяются величина раскрытия трещин и условия их кольматации; сокращение потерь здесь достигает 1,5...12 раз.

Результаты натурных исследований (Алимов, 1982; Горбачев, 1974) свидетельствуют, что применение бетонопленочных облицовок обеспечивает сокращение фильтрационных потерь в 20...80 раз.

Особенно эффективно применение бетонопленочных облицовок из плит НПК, уложенных по полиэтиленовой пленке, на пучинистых, набухающих, просадочных и суффозионно-неустойчивых грунтах при деформациях подстилающих грунтов до 5 см.

Повышение эффективности противофильтрационных облицовок с пленочными экранами (бетонопленочных и грунтопленочных) может быть достигнуто за счет тщательного пооперационного контроля качества укладки пленки, от целостности которой зависит главным образом водопроницаемость облицовки. При этом целесообразно использование геофизических способов контроля (комбинированного электропрофилирования, замеров электрических сопротивлений с помощью мегомметра), позволяющих отыскивать места повреждений пленки под защитным покрытием (Огурцов, Шлаен, Юдович, 1979).

Снижение числа швов пленочных экранов, выполняемых в полевых условиях, позволяет повысить их герметичность. Пленочные полотнища в полевых условиях соединяют контактной сваркой электроутюгами или сварочными полозами. Однако сплошность и непрерывность шва обеспечиваются не всегда. Сварка пленочных полотнищ в стационарных условиях повышает качество строительства пленочных облицовок. Поэтому целесообразнее изготавливать укрупненные полотнища пленки в специально оборудованных цехах или помещениях. Ширина таких полотнищ достигает 10...20 м, а длина – 100 м, при этом масса полотнищ пленки при механизации погрузочно-разгрузочных работ составляет 250...500 кг.

При строительстве грунтопленочных экранов особо тщательный контроль должен быть при укладке пленки и устройстве подстилающего и защитного слоев в соответствии с Инструкцией Госстроя СССР (СН 551–82). Для предотвращения размыва защитного слоя грунтопленочных экранов откосы крепят галечником или щебенистым грунтом и уплотняют его до объемного веса 1.60...1,65 т/м^3.

Другое важное направление повышения эффективности и эксплуатационной надежности пленочных облицовок – применение в качестве противофильтрационного элемента более толстых полимерных материалов (листов толщиной 1...2 мм), позволяющих снизить его поврежденность в процессе строительства и повысить надежность при эксплуатации. К таким материалам относятся листы из композиций на основе полиолефина, разработанные ВНПО "Союзводполимер", бутилкаучук, битумно-полимерные материалы.

Снижение поврежденности пленочных экранов, а следовательно, повышение их надежности возможны за счет применения более эффективных защитных прокладок под сборные железобетонные плиты. Так, для защитных прокладок могут быть использованы стекловолокнистый холст и синтетический нетканый материал.

Существенное влияние на увеличение срока службы полиэтиленового экрана под сборными плитами НПК оказывает жесткая заделка стыков цементным раствором, которая снижает активное действие солнечной радиации на пленку и предупреждает в ней термическую и окислительную деструкцию.

Для повышения эффективности сборных бетонопленочных облицовок рекомендуется инъекция в подплитное пространство цементного раствора. Этот конструктивный прием позволяет достигнуть полного и равномерного опирания плит по всей поверхности и тем самым обеспечить высокую надежность и водонепроницаемость облицовки. Кроме того, нагнетание цементного раствора между плитой и пленкой способствует залечиванию (кольматации) мелких порывов и проколов в пленке (Огурцов, Шлаен, Юдович, 1979). В среднем

эффективность бетонопленочной облицовки повышается в 3...5 раз (Косиченко, Ищенко, Максимов, Рябыкин, 1985).

Проведение текущего ремонта в установленные сроки повышает долговечность противофильтрационных облицовок. При этом наиболее часто проводят работы по заделке трещин в облицовке, ремонту разрушенных швов и обнаруженных повреждений пленки.

Трещины в бетоне облицовки заделывают полимерными композициями: эпоксидными клеями, композициями на основе смолы. Заделка трещин в бетоне полимерными композициями состоит из разделки трещины в треугольный желоб и заполнения его полимерным раствором. При глубоких трещинах с раскрытием не менее 0,1 мм проводят их инъецирование разжиженными растворителями и эпоксидными композициями (Ачкасов, Иванов, 1984).

Работа герметизирующих материалов в швах облицовки, подвергающихся растяжению и обжатию, сменяющихся в относительно короткие периоды времени, вызывает необратимые деформации и приводит к разрушению и разуплотнению швов-стыков. Для ремонта разрушенных швов рекомендуют применять цементный раствор, армогерметики, резиновые шпонки в сочетании с полимерными и битумно-полимерными мастиками. При демонтаже и очистке швов используют пневматические или электрические инструменты, пескоструйные аппараты, щетки, скарпели и другие приспособления.

Обнаруженные повреждения в пленочных экранах ремонтируют с помощью липкой ленты или приклеивания латок пленки на местах повреждений, самоклеящейся ленты "герлен".

Для предупреждения выпора сборных железобетонных плит облицовки на наиболее опасных участках предусматривают дренажные устройства для отвода грунтовых вод при высоком их стоянии или быстром опорожнении канала. Эти устройства можно устанавливать в нижней части облицовки в местах швов.

Эффективность облицовок можно повысить за счет проведения различных эксплуатационных мероприятий на оросительных каналах.

Так, замочка отдельных отсеков канала до проектных глубин путем создания временного подпора в предэксплуатационный период позволит в 3...5 раз снизить потери на фильтрацию в начальный период эксплуатации канала в течение 2...3 мес, когда по каналу пропускают малые расходы. Временный подпор создают с помощью мягких мембранно-гидровантовых плотин, обеспечивающих поддержание заданных глубин в отсеке до 2,5...3 м и перелив потока для наполнения последующего отсека. Опыт применения временных плотин (перемычек) на БСК-III показал высокую эффективность данного мероприятия при незначительных затратах на их установку и возможность многократного использования.

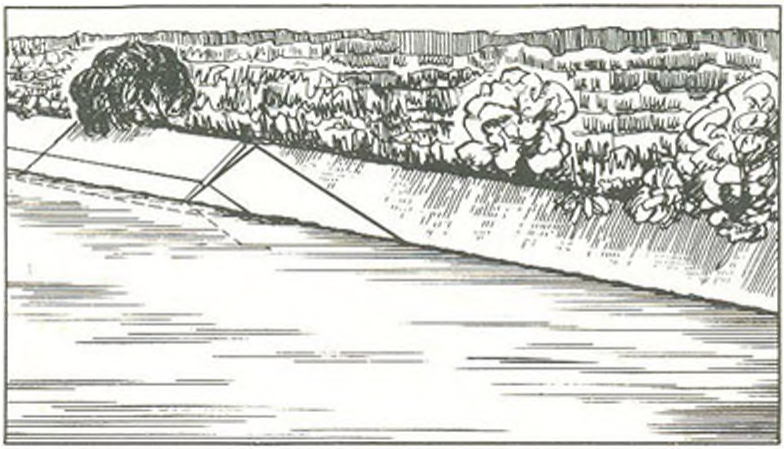


Рис. 44. Сползание плит НПК с полиэтиленовым экраном из-за попадания ливневой воды

Повысить эффективность облицовки и КПД канала можно за счет сокращения начального периода эксплуатации канала при малых глубинах, скорректировав графики водопользования оросительных систем.

В эксплуатационный период недопустимо быстрое, "мгновенное" снижение уровня воды в канале способно вызвать выпор плит облицовки избыточным давлением на их тыловую часть на участках, где не предусмотрены дренажные устройства. Правилами эксплуатации рекомендуется снижать уровень воды в канале со скоростью не более 25...30 см/сут.

Для предупреждения нарушения целостности облицовки недопустимо попадание ливневых вод под плиты облицовки (рис. 44) и необходима организация инженерного отвода ливневых и талых вод. Для этого на бровке канала предусматривают устройство заплечиков, а при прохождении канала в выемке вдоль трассы канала прокладывают нагорные канавы.

Одна из мер по повышению противофильтрационной эффективности облицовок – естественная кольматация трещин и разрушенных швов мелкими наносами и илом, что в 5...10 раз снижает потери через них.

При проектировании оросительных каналов с противофильтрационными облицовками следует учитывать следующие соображения.

Применение противофильтрационных облицовок нецелесообразно на малопроницаемых глинистых грунтах основания с коэффициентами

фильтрации $10^{-6}...10^{-7}$ см/с и менее. В этих условиях существующие типы облицовок малоэффективны.

Использование облицовок при высоком стоянии бытовых грунтовых вод и близком залегании водоупора в большинстве случаев нецелесообразно. Эффективность облицовок при подпертой фильтрации практически приближается к нулю. Поэтому применение облицовок в подобных условиях требует обоснования в каждом конкретном случае.

Иногда рационально совместное применение противофильтрационной облицовки и приканального дренажа, которое позволяет, с одной стороны, предотвратить потери на фильтрацию, а с другой — предупредить подъем уровня грунтовых вод и подтопление приканальной территории.

Для обеспечения ожидаемой эффективности и надежности противофильтрационных облицовок при проектировании и строительстве оросительных каналов следует руководствоваться требованиями к их качеству с учетом конструкции облицовки, гидрогеологических условий трассы и требуемого КПД канала, а также специальными методическими указаниями и инструкциями.

Мероприятия по повышению эффективности и эксплуатационной надежности защитных покрытий (конструктивных, технологических, ремонтных и эксплуатационных) должны основываться на технико-экономических расчетах. При этом учитывают все затраты, ущерб и доходы от экономии водных ресурсов, повышения долговечности защитных покрытий.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

Аверьянов С. Ф. Фильтрация из каналов и ее влияние на режим грунтовых вод. М.: Колос, 1982. 233 с.

Акопов В. А. Опыт строительства канала с полиэтиленовым экраном // Гидротехника и мелиорация. 1969. № 4. С. 35...39.

Алимов А. Г. Эффективность и надежность облицовок оросительных каналов //Гидротехника и мелиорация. 1982. № 4. С. 31...35.

Алимов А. Г., Гольденберг Э. И., Иванов В. М. Натурные исследования противофильтрационных одежд оросительных каналов //Гидротехника и мелиорация. 1977. № 8. С. 33...38.

Алтунин В. С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. М.: Колос. 1979. 255 с.

Аронин Е. С. Грунтополеночный экран Куйбышевского обводнительно-оросительного канала //Труды Союзводпроекта. 1981. № 55. С. 125...133.

Ачкасов Г. П., Иванов Е. С. Технология и организация ремонта мелиоративных гидротехнических сооружений. М.: Колос, 1984. 174 с.

Байчоров Ю. У., Косиченко Ю. М., Сергеев Б. И. Применение пленочных противофильтрационных экранов для ремонтных работ Большого Ставропольского канала //Гидротехническое строительство. 1981. № 6. С. 40...43.

Варваров В. В., Богатов Е. А. Опыт строительства грунтополеночных экранов на Каховской оросительной системе //Гидротехника и мелиорация. 1977. № 7. С. 27...30.

Гвенетадзе А. Р., Резник В. Б., Левченко А. И. Рациональная конструкция противофильтрационной облицовки для пучинистых и просадочных оснований: (Вопросы строительства и эксплуатации мелиоративных систем). Киев. 1979. С. 24...28.

Глебов В. Д., Лысенко В. П., Белышев А. И. О долговечности полиэтиленовых устройств грунтовых гидротехнических сооружений //Изв. ВНИИГиМ им. Б. Е. Веденеева. 1979. Т. 128. С. 37.

Горбачев Р. М. Натурные определения фильтрации из каналов, экранированных бетонополеночной облицовкой //Труды Средазгипроводхлопка: Ташкент. 1974. Вып. 5. С. 108...113.

Горбачев Р. М. О качестве противофильтрационной облицовки Каршинского магистрального канала //Труды ТИИИМСХ. 1974. Вып. 65. С. 254...260.

Готлиб Я. Л., Донченко Р. В., Пехович А. И., Соколов И. Н. Лед в водохранилищах и нижних бьефах ГЭС. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 199 с.

Григорчук Я. Л., Кононов Н. В., Целинко Н. И. Потери воды, эффективность грунтополеночных покрытий и КПД Главного Каховского магистрального канала //Экспресс-информация ЦБНТИ МВХ СССР. Сер. 5. Вып. 5. 1980.

Елшин Н. И. Полимерные материалы в ирригационном строительстве. М.: Колос, 1974. 192 с.

Жданов Ю. К. Асфальтобетонные крепления откосов гидротехнических сооружений. Л.: Энергия, 1985.

Кононов И. В. Расчет качества облицовок по КПД канала и уровню грунтовых вод //Гидротехника и мелиорация. 1978. № 7. С. 27...31.

Ломизе Г. М. Фильтрация в трещиноватых породах. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1951. 127 с.

Методы фильтрационных расчетов гидромелиоративных систем /С. В. Васильев, Н. Н. Веригин, Б. А. Глейзер и др. М.: Колос, 1970. 440 с.

Миронов А. А., Панасенко Г. А., Аронин Е. С. Применение противофильтрационного пленочного экрана на Куйбышевском обводнительно-ороси-

тельном канале: (Опыт применения полимерных материалов в мелиорации и водном хозяйстве). М.: Колос, 1974. 279 с.

Мирцхулава Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. М.: Колос, 1974. 279 с.

Наместников С. К., Якобчук О. П., Фомин В. С. Облицовка оросительных каналов асфальтополимербетонными тюфяками //Монтажные работы в строительстве. № 6. 1985. С. 12...14.

Недрига В. П. О водопроницаемости противофильтрационных пленочных экранов искусственных водоемов //Тр. ВНИИВОДГЕО. М.: 1976. Вып. 52. С. 22...26.

Огурцов И. М., Шлаен А. Г., Юдович В. М. Строительство бетонопленочных облицовок в сложных инженерно-геологических условиях //Гидротехника и мелиорация. 1979. № 5. С. 17...20.

Олейник А. Я. Фильтрационные расчеты вертикального дренажа. Киев: Наукова думка, 1978. 202 с.

Олехнович В. А. О качестве бетонных облицовок каналов в Украинской ССР //Гидротехника и мелиорация. 1970. № 1. С. 32..39.

Олехнович В. А., Ермаков В. И., Пузанов А. Ф. Исследование фильтрационных потерь на каналах Ингулецкой оросительной системы (Водное хозяйство): Сб. науч. тр. Киев, 1964. Вып. 3. С. 111...121.

Орлов Б. В. Основные направления развития и совершенствования гидротехнических сооружений и каналов мелиоративных систем //Тр. Союзводпроекта. М.: 1981. № 54. С. 2...34.

Пленочные противофильтрационные устройства гидротехнических сооружений /В. Д. Глебов, И. Е. Кричевский, В. П. Лысенко и др. М.: Энергия, 1976. 207 с.

Полад-заде П. А., Гришенко И. С., Чаталбашев П. П. Опыт строительства крупных каналов. М.: Колос, 1982. 208 с.

Попченко С. И., Касаткин Ю. И., Борисов Г. В. Асфальтобетонные облицовки и экраны гидротехнических сооружений. Л.: Энергия, 1970. 172 с.

Противофильтрационная одежда ирригационных каналов /Под ред. С. Ф. Оффенгейдена. М.: Колос, 1965. 213 с.

Пустыльников Я. А. О расчете фильтрационных потерь из экранированных каналов: (Гидравлика и гидротехника): Сб. науч. тр. Киев, 1979. Вып. 8. С. 108...115.

Синяков В. К., Науман К. Г., Павлов Л. С. и др. Строительство монолитных бетонных облицовок каналов //Гидротехника и мелиорация. 1980. № 6. С. 14...18.

Сокольская В. В. Полимерные пленочные материалы в водном хозяйстве. М.: Россельхозиздат, 1972. 72 с.

Стабников Н. В. Асфальтополимербетонные облицовки северных гидротехнических сооружений. Л.: Стройиздат, 1980. 176 с.

Хлебников С. Г., Разумовская М. Р. Потери воды на фильтрацию через трещины в бетонной одежде канала //Тр. ГрузНИИГиМ. Тбилиси, 1963. Вып. 22. С. 375...380.

Чередниченко И. Ф., Сумцова Л. Г., Меженская Н. Г. Технически возможная степень повышения КПД оросительной системы при различных одеждах каналов: (Экономное использование водных ресурсов и меры их сохранности). Новочеркасск, 1981. С. 33...36.

Шайтан В. С. Крепления земляных откосов гидротехнических сооружений /Тр. ВНИИВОДГЕО. М.: Стройиздат, 1974. 351 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3
Проектирование защитных покрытий оросительных каналов 4
Факторы, определяющие необходимость устройства защитных покрытий 4
Материалы и конструктивные элементы для защитных покрытий 13
Нагрузки и воздействия на покрытия 22
Конструкции противофильтрационных и берегоукрепительных покрытий оросительных каналов 26
Бетонные и железобетонные монолитные покрытия 26
Сборные железобетонные покрытия 33
Асфальтобетонные покрытия 34
Покрытия и экраны с применением полимерных пленок 41
Берегоукрепительные защитные покрытия 54
Герметизация стыков облицовок 61
Технология строительства противофильтрационных и берегоукрепительных покрытий оросительных каналов 73
Технология строительства бетонных и железобетонных покрытий 73
Технология строительства асфальтобетонных покрытий 79
Технология строительства экранов с применением полимерных пленок . 93
Технология строительства берегоукрепительных защитных покрытий . . 103
Способы контроля качества строительства защитных покрытий 104
Эффективность и эксплуатационная надежность защитных покрытий оросительных каналов 108
Дефекты и нарушения защитных покрытий 108
Фильтрация из облицованных каналов 111
Расчет водопроницаемости защитных покрытий 118
Определение фильтрационных потерь из облицованных каналов и расчет их КПД 131
Оценка надежности и противофильтрационной эффективности защитных покрытий 139
Пути повышения эффективности и эксплуатационной надежности защитных покрытий 152
Указатель литературы 158