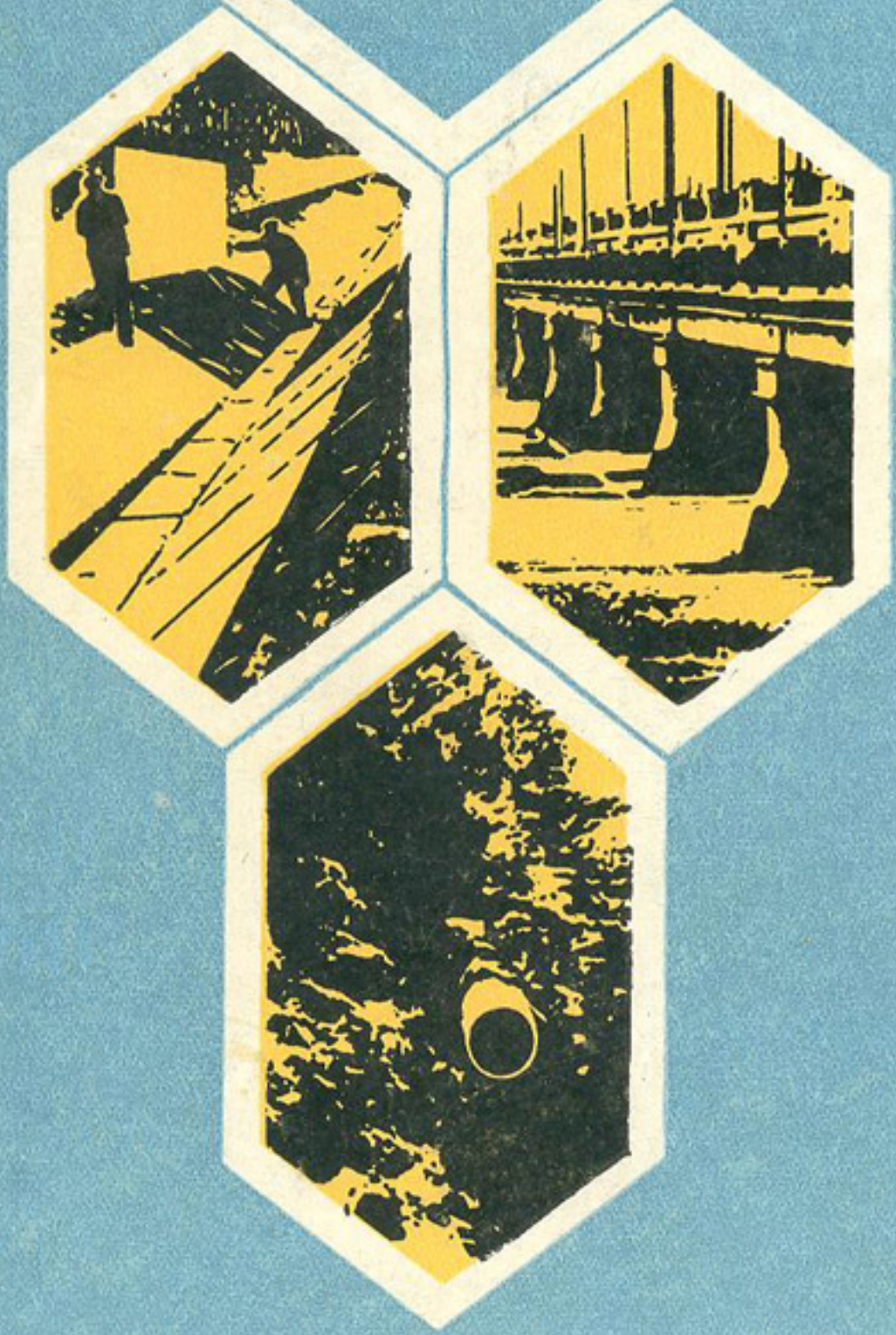
ТС-43

И. М. ЕЛШИН

...ИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ИРРИГАЦИОННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ



ТС-43
Ё78

И. М. ЕЛШИН

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ИРРИГАЦИОННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Глубокоуважаемому
Виктору Абрамовичу —
— в знак благодарности
за помощь по созданию
этой книги
7/I·75

МОСКВА «КОЛОС» 1974

6С7.5
Е 55
УДК 631.67 : 626.82.002.3 : 678.5

Елшин И. М.

Е 55 Полимерные материалы в ирригационном строительстве. М., «Колос», 1974.

192 с. с ил.

В книге обобщен опыт применения полимерных материалов при строительстве ирригационных систем и сооружений.

Рассмотрены совершенно новые пути использования полимеров — для облицовки каналов, герметизации швов в сооружениях и гидроизоляции их, а также в качестве самостоятельных конструкций.

Дан технико-экономический анализ применения полимеров в ирригационном строительстве.

В книге раздел «Полимерные трубы для закрытых оросительных систем и дренажа в зоне орошения» написан Э. К. Обрезковым.

Е $\frac{40305-305}{035(01)-74}$ 42—74 6С7.5

© Издательство «Колос», 1974

ВВЕДЕНИЕ

Широкое развитие мелиорации земель в нашей стране стало одной из важнейших народнохозяйственных задач.

За годы девятой пятилетки предусматривается ввести в эксплуатацию 8 млн. га мелиорированных земель. Для решения этой задачи необходимо в первую очередь значительно ускорить темпы строительства и ввода мелиорированных земель, повысить эффективность капиталовложений.

Технический прогресс в строительстве невозможен без новых технических решений, совершенной механизации, широкого использования новых эффективных строительных материалов, среди которых в первую очередь следует назвать полимерные материалы.

Исследования последних лет, опыт применения и внедрения в практику ирригационного строительства полимерных материалов развеяли еще недавно бытующее представление о низкой надежности и долговечности полимерных материалов, а также бесперспективности их для сложных условий эксплуатации ирригационных сооружений.

В настоящее время в разных областях мелиоративного строительства, особенно в строительстве закрытых осушительных систем и систем сельскохозяйственного водоснабжения, полимерные материалы нашли широкое распространение. Так, к концу 1967 г. пластмассовым дренажем было осушено 4 тыс. га, к началу 1971 г. — уже 43 тыс. га. Однако при довольно высокой стоимости полимерных дренажных труб применение их эффективно лишь в районах с неблагоприятными для строительства гончарного дренажа гидрогеологическими условиями, а также там, где производство гончарных дренажных труб слабо развито или отсутствует.

Механизация устройства пластмассового дренажа позволила значительно повысить производительность труда (на 25—60%) при одновременном снижении затрат ручного труда в 2,5—4 раза (ЛатНИИГиМ).

Опыты по использованию полимерных труб для строительства коллекторно-дренажной сети на орошаемых землях Голодной степи, на юге Украины и в других районах страны указывают на перспективность такого решения. Особый интерес представляет бестран-

шейный способ укладки труб в сложных гидрогеологических условиях.

Применение полимерных материалов также экономически эффективно при строительстве закрытых оросительных систем, они успешно используются и для поверхностного полива. К началу 1971 г. длина гибких капроновых шлангов, применяемых в Голодной степи, составила 1600 км. Срок их службы определен в 5—6 лет, а стоимость — в 3,4 руб/м.

Значительное место в общем объеме полимеров, применяемых в мелиорации, занимают пленочные материалы.

Полимерные пленки, использование которых начато в Голодной степи с 1958 г., получили повсеместное распространение при устройстве чеков на рисовых полях и противофильтрационных экранов и облицовок на каналах и водоемах, гидроизоляции сооружений, а также при защите берегов рек и каналов от размыва и т. д.

Доказана эффективность безвлажностного ухода за монолитным бетоном с использованием для устранения его пересушивания полимерных пленкообразующих покрытий.

Безвлажностный уход за монолитным бетоном нашел преимущественное распространение в южных районах страны.

Многочисленные исследования показали низкую эффективность герметизации швов противофильтрационных облицовок традиционными битумными и другими материалами. В связи с этим многие специалисты указывают на необходимость проведения исследований по использованию для этой цели полимерных материалов и битумно-полимерных мастик.

При ремонте и восстановлении бетонных и железобетонных сооружений в последние годы все более широкое применение находят композиции на основе полимерных вяжущих.

Использование полимерных бетонов при устройстве износостойких облицовок сооружений на горных реках также показало высокую эффективность. Признание получили и противокавитационные полимерные покрытия бетонных сооружений, работающих в условиях высоких скоростей воды.

Для ремонта и омоноличивания конструкций из железобетона, а также устройства облицовок повышенной износостойкости и кавитационной стойкости перспективны также бетоны и растворы на сложном цементно-полимерном вяжущем. Этому материалу принадлежит большое будущее, имея в виду применение его вместо обычного бетона и раствора для конструкций, где могут быть эффективно реализованы специфические свойства полимерцемента.

В связи с расширением индустриальных методов строительства полимерные листы находят все большее применение для инвентарных опалубок при возведении монолитных сооружений.

Развитие исследований конструкционных полимеров привело к созданию надувных плотин, использованию стеклопластиковых затворов на перегораживающих сооружениях и т. д.

В настоящее время уже немыслимо современное поливное оборудование без элементов и деталей из пластмасс.

Весьма перспективно применение полимеров в качестве малых добавок к цементным бетонам с целью улучшения их свойств для закрепления слабых грунтов в основании сооружений и откосов земляных плотин и для улучшения водно-физических свойств почв при орошении и осушении и т. д.

Примеры использования полимеров в мелиорации можно было бы продолжить. Однако существуют объективные причины, препятствующие их применению в том объеме, который можно было бы обосновать техническими соображениями.

Дефицитность, а для некоторых полимерных материалов и изделий высокая стоимость пока ограничивают возможности их использования, что вызывает необходимость тщательного изучения технических и экономических сторон применения полимерных материалов в мелиорации.

ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА НА КАНАЛАХ И ВОДОЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНТЕТИЧЕСКИХ ПЛЕНОК

Повышение эффективности существующих оросительных систем неразрывно связано с выполнением мероприятий по снижению потерь воды из каналов на фильтрацию.

В последние годы при решении этой задачи все большее распространение находят новые строительные материалы, используемые как самостоятельно, так и в сочетании с традиционными, недефицитными и менее дорогими материалами.

Отечественная и зарубежная практика применения полимерных материалов для противофильтрационных целей на оросительных системах сравнительно невелика и, главное, непродолжительна. Начало исследований в этой области относится к середине 40-х годов.

Широкое распространение в мировой практике для противофильтрационных целей нашли полимерные пленки. Наибольший опыт имеется в использовании пленочных экранов для оросительных каналов и водоемов, главным образом, когда пленка защищена слоем грунта.

На Украине, в Средней Азии, Поволжье и других районах Советского Союза широко применяются бетоно-пленочные облицовки. В этом случае вместо грунтовой засыпки поверх пленки укладывают сборные железобетонные плиты или монолитный бетон.

Характеристика пленочных материалов. До настоящего времени нет четкого разграничения между полимерной пленкой и листом. За рубежом многие исследователи склонны считать пленкой изделия толщиной до 0,25 мм, при большей толщине изделие относится к листовым материалам (Гисаку, 1971).

Наибольшее распространение в мелиорации получили пленки из полиэтилена и поливинилхлорида, в меньшей степени — из полипропилена и бутилового каучука.

Полиэтилен — продукт полимеризации газа этилена. Из-за способности полиэтилена при нагревании размягчаться, а при охлаждении затвердевать его относят к группе термопластичных полимеров.

Существует два основных способа производства полиэтилена: при высоком давлении (35—40 кгс/см²) и температуре 125—150°С и низком давлении (1—5 кгс/см²) и температуре до 60°С (Воробьев, 1965).

Полиэтилен низкого давления, или полиэтилен высокой плотности, характеризуется большой прочностью, плотностью, жесткостью и повышенной теплостойкостью. Полиэтилен высокого давления, или полиэтилен низкой плотности, более мягок и эластичен. В промышленности строительных материалов, в том числе для производства пленок, используется полиэтилен низкой плотности.

При обычной температуре полиэтилен состоит примерно на 75% из кристаллической фазы и на 25% из аморфной.

Полиэтилен представляет собой твердый белый роговидный продукт плотностью 0,92—0,96 г/см³. Он резко меняет свойства в зависимости от температуры.

С повышением температуры снижается кристалличность, плотность и прочность полиэтилена. Водопоглощение его не превышает 0,04%. Высокая морозостойкость объясняется низкой температурой стеклования аморфной фазы и составляет минус 70°С. Полиэтилен отличается хорошей химической стойкостью, однако склонен к окислению и старению. Введение стабилизаторов резко снижает указанные процессы.

Добавление в полиэтилен 2% сажи увеличивает срок его службы в атмосферных условиях в 30 раз (Воробьев, Андрианов, 1971). Температура размягчения полиэтилена 80—115°С, температура сварки 120—200°С.

Предел прочности полиэтилена низкой плотности при растяжении 120—160 кгс/см², предел текучести при растяжении — 90—100 кгс/см², относительное удлинение при разрыве — 150—600%.

Изготовляют пленки из полиэтилена низкой плотности экструзией с раздувкой. При этом полиэтиленовую массу выдавливают через головку экструдера в виде трубы и при выходе ее из головки раздувают воздухом определенного давления до приобретения пленкой заданной толщины.

Полипропилен — продукт полимеризации газа пропилена в растворителях при давлении 10—40 кгс/см² и температуре 70°С (Воробьев, Андрианов, 1971). Он имеет сходные с полиэтиленом свойства, однако более

жесткий и может работать при более высоких температурах (120—140°С). Пролипропилен склонен к старению, и даже введение стабилизаторов не увеличивает его атмосфероустойчивости до показателей стабилизированного полиэтилена.

Пленки из пропилена, изготовляемые, как и полиэтиленовые, в строительстве пока находят ограниченное применение (Воробьев, 1965; Воробьев, Андрианов, 1971).

Поливинилхлорид — один из наиболее распространенных термопластичных полимеров. Получается полимеризацией газа винилхлорида (хлористый винил). В свою очередь, винилхлорид получают из ацетилена при присоединении хлористого водорода, реакция эта идет в пределах 160—220°С (Воробьев, Андрианов, 1971). Выпускается он в виде белого аморфного порошка. Пленки изготавливаются главным образом экструзией с введением при этом стабилизатора (газовая сажа) и пластификатора.

Наряду с ценными свойствами поливинилхлорида — повышенной прочностью, устойчивостью к действию кислот, щелочей, масел, возможностью склеиваться — он обладает существенными недостатками — сравнительно малой устойчивостью к действию тепла и света, хладотекучестью и др. Температурный предел эксплуатации поливинилхлорида 60—65°С.

Пластификация полимера дибутилфталатом приводит к улучшению его пластических свойств, особенно в охлажденном состоянии, а также повышает морозостойкость (Воробьев, Андрианов, 1971).

Основные показатели поливинилхлоридных пленок следующие: плотность — 1,2—1,5 г/см³; предел прочности при растяжении — 100—350 кгс/см²; относительное удлинение при разрыве — 150—500%; водопоглощение — 0,1—0,5%; термостойкость — 65—95°С; морозостойкость — минус 45°С; температура сварки — 160—180°С.

Стабилизированные сажей поливинилхлоридные пленки применяются в мелиоративном строительстве наряду с полиэтиленовыми, но по эксплуатационным показателям уступают им.

Бутиловый каучук (бутилкаучук) — продукт низкотемпературной совместной полимеризации изобутилена с небольшим количеством изопрена. Это один из

основных видов синтетического каучука (Воробьев, Андрианов, 1971). Изобутилен — газ, получаемый из побочных продуктов крекинга нефти. В результате полимеризации изобутилена получают каучукоподобный эластичный материал. Получение бутилкаучука ввиду высокой экзотермической реакции производится в реакторе с охлаждением до минус 90°С. Бутилкаучук обладает высокой химической стойкостью, морозостойкостью, водостойкостью и атмосфероустойчивостью. Листы пленки из бутилкаучука могут длительное время находиться под открытым небом, не требуя устройства защитных покрытий. Они легко склеиваются и свариваются.

Опыт применения полиэтиленовых и поливинилхлоридных пленок в мелиоративном строительстве далее будет описан довольно подробно, поэтому здесь остановимся коротко на зарубежном опыте применения бутилкаучуковых материалов.

Бутилкаучук был получен в США фирмой «Эссо» в 1937 г. Облицовку из листового бутилкаучука впервые применили в 1948 г. на каналах штата Юта. Через 15 лет ее сняли. Облицовка была в хорошем состоянии, что позволило прогнозировать срок службы экрана из бутилкаучука до 40 лет. В 1961 г. листами толщиной 0,75 мм на системах Алтус и Тикумкари (США) покрыты участки каналов длиной 150 и 350 м; размеры листов в плане равны соответственно 100×67,5 и 61,5×10,5 м (Противофильтрационная одежда ирригационных каналов, 1965). Покрытия из бутилкаучука сохраняют свои свойства в диапазоне температур от минус 40 до 100°С. Предел прочности бутилкаучука при растяжении равен 70 кгс/см², удлинение при разрыве достигает 500%. Покрытие не повреждается корнями растений и грызунами. Фирма «Эссо» с 1963 г. производит бутилкаучук в объеме 2400 т в год.

В Англии четыре фирмы также освоили производство этого материала. Уже несколько водохранилищ облицовано бутилкаучуком. Самое большое из них имеет емкость 38,6 тыс. м³, площадь 131×79 м, глубину до 10 м. Толщина бутилкаучука в нижней части водохранилища 1,14 мм, в верхней — 0,76 мм.

Недостатком бутилкаучуковых экранов является значительная масса и высокая стоимость, однако считается, что, хотя экран из бутилкаучука в 4 раза до-

роже поливинилхлоридной пленки, срок службы его в 10 раз больше.

Противофильтрационные устройства из пленочных экранов. В СССР широкие исследования по применению пленок для борьбы с потерями воды из каналов и водоемов на фильтрацию были проведены в 1958—1964 гг. в Голодной степи В. В. Пославским, В. В. Сокольской и В. Э. Новиковским. В порядке широкого производственного эксперимента там было построено 37 км каналов с пленочными экранами (Сокольская, 1971; Пославский, Гиршкан, Новиковский, Сокольская, 1963). А в 1964—1965 гг. аналогичные исследования выполнены на Украине А. Р. Гвенетадзе и В. А. Власенко при участии автора книги (1966).

Большая работа по экранированию водоемов в 1961—1964 гг. проведена в Армянской ССР (Карамян, 1964).

Исследования по применению пленок для экранирования каналов и водоемов начиная с 50-х годов проводятся также и за рубежом.

В США полиэтиленовые и поливинилхлоридные пленки применяются в виде временного экрана, который укладывают по ложу канала перед пуском воды и убирают по окончании поливов. Часто экраны защищают слоем грунта.

В Калифорнии (США) для поверхностных экранов используются пленки толщиной 0,1 мм, срок службы их два-три сезона; применяются также пленки толщиной 0,025—0,040 мм, служащие в поверхностном экране лишь один сезон. Для погребенных экранов обычно используют пленку толщиной 0,15—0,20 мм (Пославский, Гиршкан, Новиковский, Сокольская, 1963; Противофильтрационная одежда ирригационных каналов, 1965).

В Италии пленки нашли широкое распространение при устройстве противофильтрационных экранов на водоемах.

Устройство пленочных экранов на каналах и водоемах практикуется также в Новой Зеландии, Японии, Марокко, Венгрии, Румынии, Чехословакии, Болгарии, Индии, Австралии и других странах.

При строительстве оросительных каналов обычно применяют траншейную, периметрическую или поверхностную схему устройства пленочных экранов.

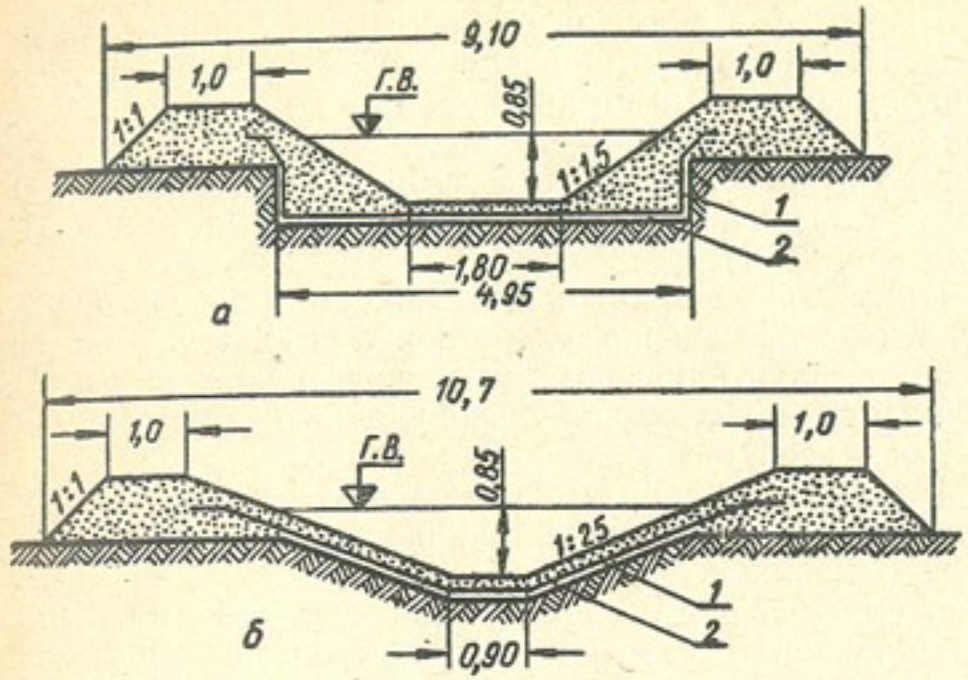


Рис. 1. Схемы устройства пленочного экрана с грунтовым защитным слоем для канала с $Q=1$ м³/с:

а — траншейная; *б* — периметрическая; *1* — пленка; *2* — защитный слой.

При траншейной схеме по оси будущего канала разрабатывают траншею, дно и стенки которой выстилают пленкой, затем траншею засыпают, грунт уплотняют и вырезают канал проектного сечения (рис. 1, *а*).

При периметрической схеме канал разрабатывают с пологими откосами ($m=2$—3), затем по дну и откосам выстилают пленку и насыпают защитный слой грунта толщиной 0,2—0,3 м (рис. 1, *б*).

При этой схеме выполняется большой объем земляных работ, кроме того, из-за пологих откосов приходится занимать несколько большие площади полезных земель, что не всегда оправдывается, ибо защитный слой грунта, уложенный поверх пленки по откосу, практически уплотнению не поддается и устойчивость его недостаточна.

При поверхностной схеме канал разрабатывают с откосами обычной крутизны, принятой для земляных каналов. Затем русло его выстилают пленкой. Чтобы пленка не всплывала и не сносилась водой, через каждые 20 м по периметру канала укладывают железобетонные балочки.

В совхозах Голодной степи с 1958 г. под руководством ВНИИГиМ по траншейной схеме построено 20 км каналов, по периметрической — 3,5 км и поверхностной — 13,6 км. Каналы траншейной схемы имеют пропускную способность 0,25 м³/с, периметрической — 1,0—2,5 м³/с и поверхностной схемы — 1,5—4,5 м³/с (Сокольская, 1971).

Опыт Голодной степи показал, что пленочные экраны, уложенные по поверхностной схеме, только за один сезон эксплуатации получили значительные повреждения. Поэтому их можно рекомендовать лишь как временное мероприятие.

В Голодной степи в опытах испытывали сначала нестабилизированные полиэтиленовую и поливинилхлоридную пленки толщиной от 0,15 до 0,3 мм, а в последующем только стабилизированные сажей (2%) пленки толщиной 0,2 мм. Стоимость строительства каналов с пленочными экранами при расходах воды от 0,25 до 2,5 м³/с составила 0,9—1,14 руб/м².

В 1964 г. под техническим руководством УкрНИИГиМ в Крыму (совхоз «Таврический») построен канал Х-5 протяженностью 600 м с пропускной способностью 0,18 м³/с. Для экрана использовали стабилизированную полиэтиленовую пленку толщиной 0,2 мм. Здесь впервые была проведена засыпка экрана грейдер-элеватором с последующим разравниванием грунта бульдозером. Схема оказалась удачной (рис. 2).

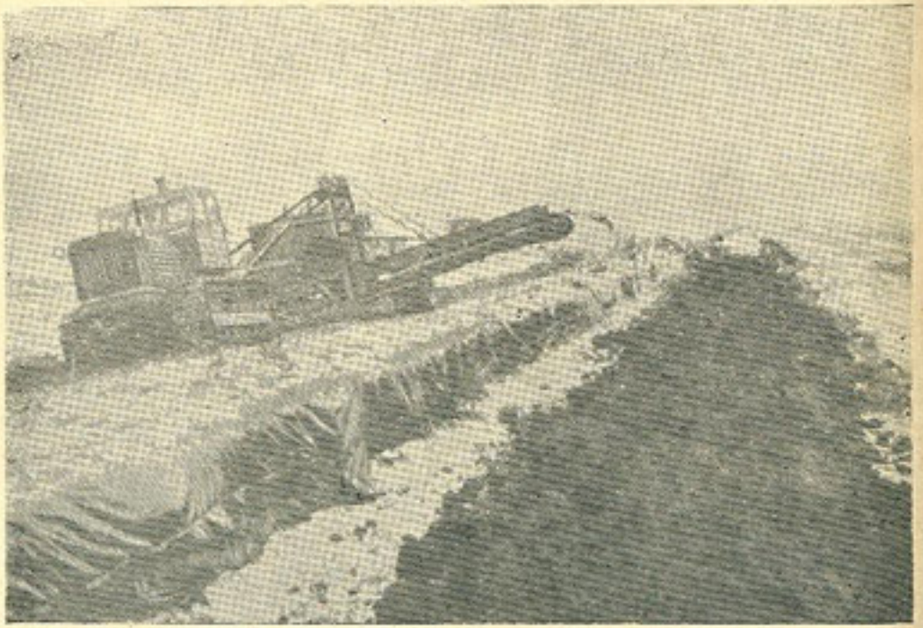


Рис. 2. Засыпка пленочного экрана грейдер-элеватором.

При строительстве каналов с пленочными экранами на Украине применяли траншейную схему.

В последние годы строительство распределительных и хозяйственных каналов с пленочным экраном и защитным грунтовым слоем в СССР не проводится. Это объясняется ограниченными возможностями механизации трудоемких операций в период строительства, а также тем, что при пленочных экранах усложняются условия эксплуатации. Кроме того, многие недостатки, присущие земляным каналам, при этом сохраняются (повышенная шероховатость, возможность зарастания сорной растительностью, оползание откосов и т. д.). В большей степени все это относится к периодически действующим каналам.

Устройство грунто-пленочных покрытий считается эффективным для крупных магистральных каналов. Они нашли применение на Каховском и Каракумском каналах.

Как отмечалось, строительство водоемов с пленочными экранами получило широкое распространение во многих странах. В настоящее время этот вид противофильтрационного устройства совершенно справедливо находит применение не только в мелиоративном строительстве, но и в промышленной гидротехнике. Здесь полезно используется также высокая химическая стойкость полиэтиленовых пленок.

Особый интерес представляет устройство пленочного экрана в Тортгульском водохранилище (Киргизская ССР) емкостью до 75 млн. м³. Практике строительства еще не известны столь большие работы с пленкой по экранированию водоемов. В чаше водохранилища на значительной площади залегают рыхлообломочные сильнофильтрующие грунты с коэффициентом фильтрации, местами достигающим 47 м/сут. Расчеты показали, что при отсутствии специальных противофильтрационных мероприятий потери воды из водохранилища могли бы составить около 50% зарегулированного стока.

Сравнение различных вариантов противофильтрационного устройства, проведенное Гипроводхозом, по-

зволило выявить наиболее экономичный — экран из полиэтиленовой пленки толщиной 0,3 мм. Общая площадь экранирования составила 6,57 млн. м².

В процессе работ выяснилось, что пленку толщиной 0,3 мм можно заменить пленкой толщиной 0,2 мм. Это дало значительный экономический эффект.

На строительстве Тортгульского водохранилища впервые был испытан прибор ЭСК-1, позволяющий определить место и размеры повреждения пленки под грунтовой засыпкой. Обследования сохранности пленки показали, что повреждения находятся в основном в местах въездов механизмов на незащищенную пленку. После выполнения ремонтных работ постоянное наблюдение за уровнем грунтовых вод в наблюдательных скважинах показало отсутствие фильтрации воды через экран.

Опыт применения пленочных материалов в каналах и водоемах послужил основанием для разработки предложений по устройству экранов из пленки на земляных плотинах. Впервые такие работы выполнены в Киргизской ССР на Карасуйской плотине, а затем на верховой строительной перемычке Токтогульской ГЭС (Кричевский, Рельтов, 1971). Плотина на р. Кара-Су с напором 5,5 м построена в 1965 г. Тело плотины длиной по гребню около 260 м возведено из гравийно-песчаной смеси.

Пленочный экран плотины площадью 3000 м² полностью возведен за 21 день. Наблюдения по пьезометрическим створам показали, что фильтрация через тело плотины практически отсутствует.

В 1966 г. сооружена верховая строительная перемычка Токтогульской ГЭС. Часть перемычки с напором 8 м выполнена из каменной наброски с экраном из нестабилизированной пленки толщиной 0,1 и 0,2 мм.

Полностью экран площадью 7 тыс. м² возведен в течение месяца. Наблюдения показали отсутствие признаков фильтрации через перемычку.

Стоимость сооружения пленочного экрана на плотине Кара-Су оказалась в 2 раза ниже стоимости экрана из суглинка, а устройство экрана на перемычке Токтогульской ГЭС дало экономию около 100 тыс. руб. (Кричевский, Рельтов, 1971).

Применение пленочных материалов в противофильтрационных устройствах каналов, водоемов и плотин

связывается со сроком их службы, сохранностью экранов в процессе эксплуатации.

Поскольку до настоящего времени не разработана методика ускоренных испытаний старения пленки применительно к условиям работы их в указанных сооружениях, особый интерес представляют фактические сведения об изменении свойств пленок с течением времени в условиях эксплуатации. В этом отношении интересны исследования В. В. Сокольской (ВНИИГиМ), позволяющие прогнозировать поведение пленочных материалов в течение длительного времени эксплуатации.

Для установления изменения свойств пленок во времени, а также в зависимости от почвенно-климатических условий проведения эксперимента, В. В. Сокольской был поставлен опыт по закладке пленочных образцов в шурфы глубиной до 1 м в Московской области, Голодной степи и Каракумах. Через определенные промежутки времени проводились испытания прочности и деформативности образцов, извлеченных из шурфов, и таких же материалов, взятых из экранов каналов (Сокольская, 1971).

На рисунках 3 и 4 показаны результаты 8- и 9-летних исследований тонких (0,085—0,15 мм) нестабилизированных и 5-летних исследований толстых (0,2 мм) стабилизированных и нестабилизированных пленок для условий Голодной степи.

Наиболее чувствителен к структурным изменениям пленок показатель относительного удлинения при разрыве. Известный интерес представляет также изменение предела прочности пленки при растяжении.

Сопоставление результатов испытаний пленок в различных климатических зонах показало, что преобладающее влияние на изменение свойств пленок во времени оказывают температурные перепады, главным образом высокие положительные температуры. Поэтому худшие результаты испытаний пленочных материалов получены в условиях Каракумов, лучшие — в Московской области.

Светоэкранирующие свойства, а также повышенную стойкость от окислительной и термической деструкции пленкам придает канальная газовая сажа, вводимая в количестве до 2%. Дополнительной защитой служат грунтовый слой или бетонные покрытия, также предохраняющие материал от механических повреждений.

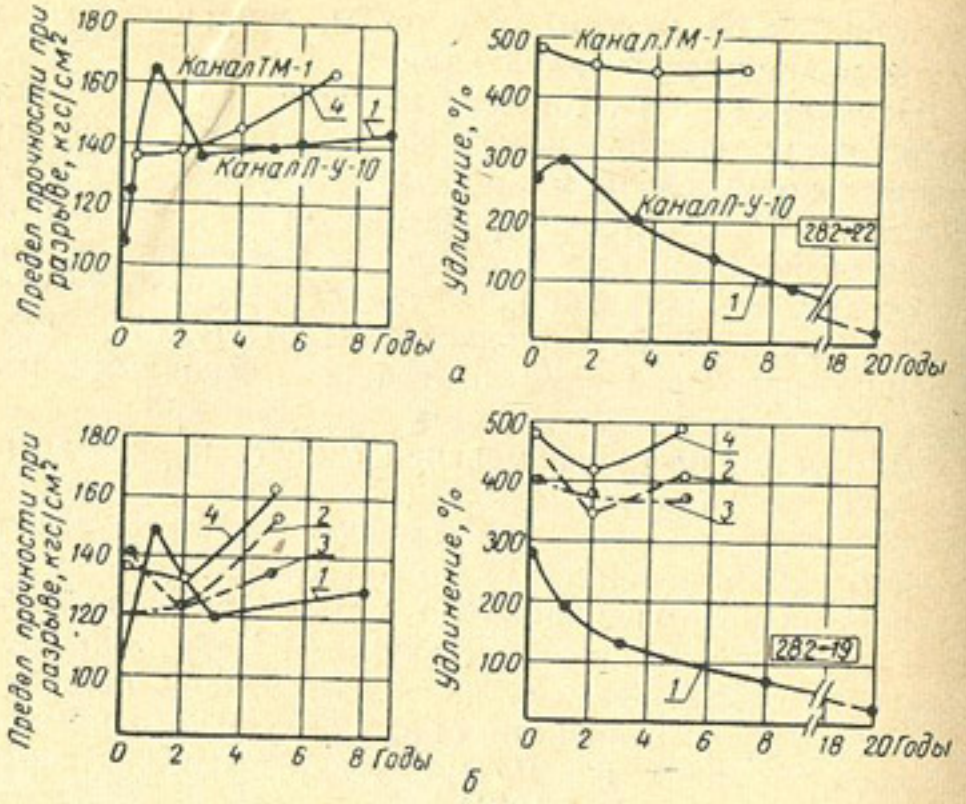


Рис. 3. Изменение свойств полиэтиленовых пленок с течением времени:

а — для Голодной степи; *б* — для Каракумов; *1* — нестабилизированные, толщиной 0,085 мм; *2, 3, 4* — стабилизированные, толщиной 0,2—0,3 мм.

Наблюдения за фильтрацией, выполненные ВНИИГиМ в Голодной степи на каналах с пленочными экранами после 1, 2, 3 и 8 лет эксплуатации, показали отсутствие фильтрационных потерь; после 4, 8 и 10 лет эксплуатации были обнаружены лишь единичные случаи повреждения экранов сорной растительностью. Повреждений пленок грызунами не наблюдалось (Сокольская, 1971). Аналогичные результаты получены при обследовании каналов с пленочными экранами на Украине. Сохранность пленок после десяти лет эксплуатации констатирует Бюро мелиораций США (Противофильтрационная одежда ирригационных каналов, 1965).

Автором совместно с В. А. Власенко и В. Шандлом (Венгрия) выполнены испытания нестабилизированной поливинилхлоридной пленки толщиной 0,1 мм, пролежавшей в опытном канале Сарвашской опытной станции Венгрии под слоем грунта 30 см около десяти лет. При этом пленка сохранила высокую деформативность (260%) и прочность (180 кгс/см²).

Таким образом, по данным В. В. Сокольской, сохранность пленочных экранов из нестабилизированных полиэтиленовых и поливинилхлоридных пленок толщиной 0,085—0,15 мм для центральных и северных районов страны составляет не менее 20 лет, а для южных районов — 15—20 лет. Срок службы более толстых, порядка 0,2 мм, стабилизированных пленок в центральных районах не менее 35—40 лет, а в южных — не менее 25—30 лет.

Бетоно-пленочные облицовки оросительных каналов. Выбор того или иного типа противофильтрационных устройств на каналах определяется многими обстоятельствами. Основными из них являются размеры капиталовложений на осуществление противофильтрационных устройств и ожидаемый эффект по снижению по-

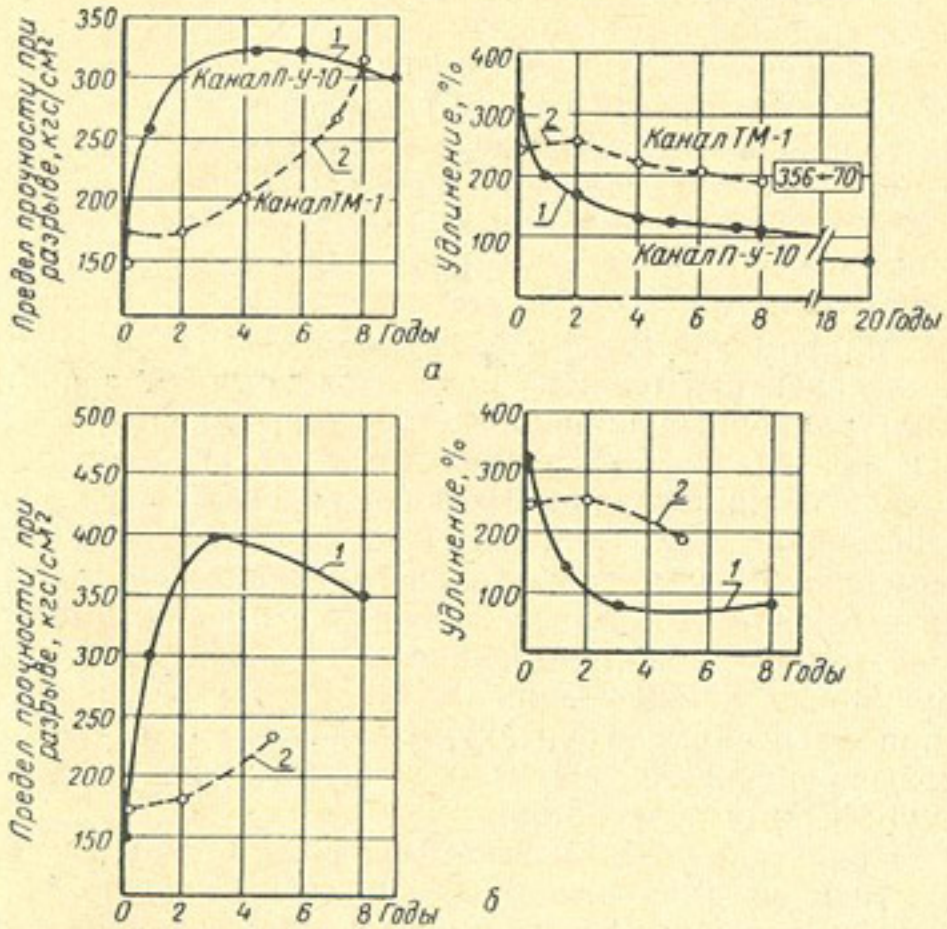


Рис. 4. Изменение свойств поливинилхлоридных пленок с течением времени:

а — для Голодной степи; *б* — для Каракумов; *1* — нестабилизированные, толщиной 0,15 мм; *2* — стабилизированные, толщиной 0,2—0,3 мм.

терь воды на фильтрацию, а также эксплуатационные затраты.

При этом считается, что облицовки каналов из сборного железобетона или монолитного бетона достаточно надежны и долговечны.

Однако натурные исследования фильтрационных свойств таких облицовок показывают, что в ряде случаев, в основном из-за расстройства швов, противофильтрационные свойства их со временем резко снижаются, сводя к минимуму эффективность капиталовложений на их устройство.

Так, по данным В. А. Олехновича, фильтрационные потери воды через монолитный бетон облицовок оросительных каналов толщиной 12 см составляют в среднем 15—30 л/сут с 1 м² смоченной поверхности, а через облицовку в целом за счет потерь через швы, герметизированные различными битумными мастиками, потери достигают 30—50 л/сут. Для сборных железобетонных облицовок потери воды через плиты облицовки толщиной 8 см составляют в среднем 5—7 л/сут, а в целом по облицованным каналам при наличии швов низкого качества — 100 л/сут и более. Таким образом, основные потери на фильтрацию в бетонированных каналах происходят через швы облицовки.

Автором совместно с А. Р. Гвенетадзе (УкрНИИГиМ) исследован как один из вариантов устройства противофильтрационных облицовок каналов, главным образом при просадочных и пучинистых грунтах,— бетоно-пленочная облицовка, представляющая собой двухслойную конструкцию. Для нижнего слоя здесь применяется полимерная пленка, для верхнего — покрытие из монолитного бетона. Сплошной экран из пленки, выстилающий русло канала, выполняет противофильтрационные функции, а также защищает бетон от агрессивных вод (при засоленных грунтах). Слой бетона служит для предохранения пленки от механических повреждений и атмосферных воздействий.

При устройстве бетоно-пленочных облицовок с покрытием из монолитного бетона очень важно установить предельную крутизну откоса, при которой отсутствует сползание свежеуложенного бетона по пленке.

С этой целью в УкрНИИГиМ была изготовлена модель откоса, позволяющая менять его крутизну от 1 : 1 до 1 : 2,5, в опытах также варьировались составы бетонной смеси, ее удобоукладываемость и водо-цементное отношение.

Результаты опытов показали, что только жесткие бетонные смеси под действием вибрации не оползают на откосах крутизной 1 : 1,5.

Естественно, что приведенные цифры не могут быть рассмотрены на все возможные случаи, поскольку это связано со свойствами заполнителей и цемента, временем укладки смеси после ее изготовления, толщиной облицовки и т. д.

Последующие наблюдения в производственных условиях, дополнившие результаты модельных исследований, послужили основой для рекомендации устройства под монолитное бетонное покрытие по пленке откосов крутизной не более 1 : 2.

Впервые работы по устройству облицовки каналов с совмещенным покрытием из полиэтиленовой пленки и монолитного бетона в условиях производства были выполнены в 1966 г. на канале 3-Р-4 Татарбунарской оросительной системы (Одесская область). Общая длина канала с бетоно-пленочной облицовкой составила 1 км, толщина покрытия из песчаного бетона колебалась в пределах 5—7 см.

Канал 3-Р-4 рассчитан на пропуск 250 л/с воды; ширина его по дну 40 см, глубина 50 см, крутизна откосов 1 : 1,5; опытный участок проходит в дамбе.

Работы по устройству бетоно-пленочной облицовки выполняли в такой последовательности.

По руслу канала укладывали полиэтиленовую стабилизированную пленку толщиной 0,2 мм, шириной 2,5 м. Благодаря достаточной ширине пленки продольные швы на ней не делались, а поперечные швы через каждые 100—150 м устраивались путем скручивания концов соединяемых полотнищ в валик. Затем поверх пленки в поперечном направлении по дну и откосам укладывали деревянные бруски сечением 4×3 см, такие же бруски укладывали в продольном направлении на линии пересечения откоса с дном. Таким образом на дне и откосе образовывались клетки длиной по 3 м.

Установка брусков облегчила бетонирование канала и обеспечила проектную толщину слоя облицовки, кроме того, бруски удерживали пленку при ветре (рис. 5).

В готовые клетки из брусков укладывали вручную растворную смесь, которую подвозили с бетонного уз-

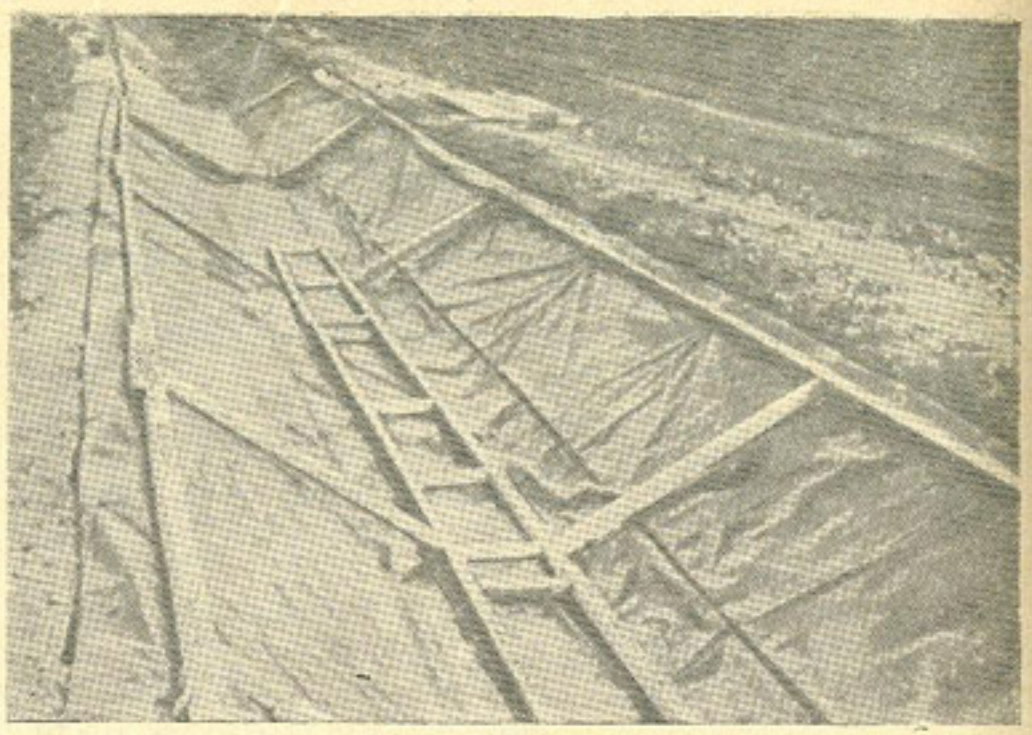


Рис. 5. Устройство бетоно-пленочной облицовки с покрытием из монолитного бетона (канал 3-Р-4 Татарбунарской системы Одесской области).

ла на автосамосвалах и затем уплотняли площадочными вибраторами.

После бетонирования бруски сразу же убирали, кроме части поперечных, которые были оставлены через 6 м для образования температурно-усадочных швов, полость которых заделывали цементным раствором, а поверхность облицовки заглаживали мастерками.

Через 30—40 мин на свежеуложенный бетон наносили набрызгиванием этиноловое покрытие с целью предотвращения испарения воды из облицовки.

Температурно-усадочные швы на следующий день заделывали цементным раствором. Образовавшиеся через некоторое время усадочные трещины полностью компенсировали последующие температурные деформации облицовки. Для облицовки готовили песчаный бетон марки 150, состава 1 : 3 (по массе) и осадкой конуса 2—3 см. Растворная смесь имела хорошую связность, оползание ее на откосах не наблюдалось.

Через месяц после устройства облицовки проводили ее прозвучивание с помощью ультразвукового прибора

УКБ-1. При этом было установлено, что скорость распространения ультразвука вдоль откоса и поперек его примерно одинакова. Это указывает на отсутствие в облицовке скрытых трещин, которые можно было бы ожидать вследствие оползания смеси после ее укладки. В целом качество покрытия было достаточно хорошим.

Сметная стоимость монолитной бетонной облицовки толщиной 8 см, первоначально запроектированной для канала 3-Р-4, составила 3,85 руб/м², а стоимость совмещенной облицовки толщиной 6 см — 2,74 руб/м².

Осмотр канала после семи лет эксплуатации показал хорошее состояние бетоно-пленочного покрытия. При открытии контрольных шурфов под облицовкой и отборе проб установлено, что цвет и эластичность пленки, находившейся под бетоном, не изменились, в отдельных местах обнаружены порезы и проколы пленки, через которые фильтрует вода.

В 1968 г. производственные исследования по устройству бетоно-пленочных облицовок с покрытием из монолитного бетона были проведены на канале 1-Р-6 Татарбунарской оросительной системы (рис. 6).

Опытный канал был разделен на три участка. На I участке плотность грунта в основании дамбы составила 1,6 г/см³, на II — 1,5 г/см³ и на III — 1,7 г/см³.

На протяжении 70 м каждого участка выполнено бетоно-пленочное покрытие и для сравнения на протяжении 30 м сделана обычная облицовка из монолитного бетона без пленки.

Устройство бетоно-пленочной облицовки осуществлялось в такой последовательности.

По руслу канала раскладывали полиэтиленовую стабилизированную пленку толщиной 0,2 мм и шириной 2,3 м. Затем в поперечном направлении по дну и откосам через каждые 6 м на нее укладывали деревянные бруски сечением 4×8 см, такие же бруски укладывали и в продольном направлении по откосам и по дну.

Бетонную смесь, которую подвозили автосамосвалами, укладывали и уплотняли вручную. При крутизне откоса 1 : 1,5 и толщине облицовки 8 см сползание бетонной смеси при укладке ее на пленку не наблюдалось.

После уплотнения и отделки бетона бруски убирали, а деформационные швы, устраиваемые через 6 м,

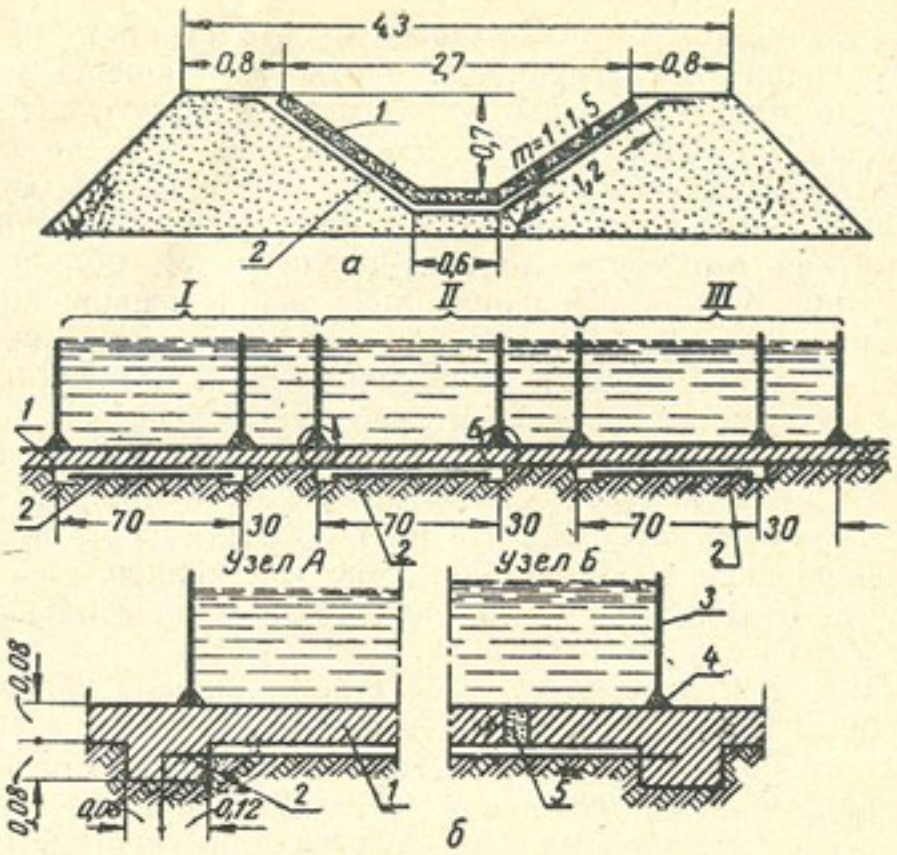


Рис. 6. Схема канала 1-Р-6 Татарбунарской системы с пленочным экраном и монолитным бетонным покрытием:

а — сечение канала; *б* — схема устройства отсеков при фильтрационных измерениях; *1* — монолитный бетон; *2* — пленка; *3* — щит; *4* — раствор; *5* — цементный раствор (размеры в м).

оставляли открытыми. На следующий день их заделывали цементным раствором.

Для измерения деформаций швов на плитах облицовки были установлены бронзовые маяки, с помощью которых периодически проводились замеры ширины шва с точностью до 0,01 мм. При этом установлено, что деформации бетона по пленке происходят в значительно большей степени, чем бетона, уложенного на грунт. Естественно, что напряжения в бетоне, возникающие при изменении его температуры, в первом случае меньше, чем во втором, что позволяет увеличить расстояние между швами и уменьшить их число.

Фильтрационные измерения методом закрытых отсеков, выполненные А. Р. Гвенетадзе и П. А. Сухоруковым (см. рис. 6), через год после устройства облицовки показали, что применение бетоно-пленочной об-

лицовки для каналов, проходящих в тяжелых лессовидных суглинках, целесообразно при уплотнении грунта основания до 1,6 г/см³, а возможно и до 1,7 г/см³, с учетом последующего разуплотнения, поскольку канал проходит в дамбе. В этом случае потери на фильтрацию в каналах с пленкой значительно ниже, чем в каналах с обычной бетонной облицовкой. По данным В. А. Олехновича, фильтрационные потери на канале ЛКХ-1 (Кабардино-Балкарская АССР) с облицовкой из монолитного бетона и пленки, выполненной пленкобетоноукладчиком, составляют 6,2—7,1 л/сут, на том же канале с бетонной облицовкой без пленки — 15,4 и вообще без облицовки — 1470 л/сут с 1 м² смоченной поверхности канала.

В последующие годы бетоно-пленочные облицовки с покрытием из монолитного бетона нашли широкое распространение на межхозяйственных каналах Татарбунарской оросительной системы, при реконструкции Магистрального Северо-Крымского канала, при строительстве Азовского, Красногвардейского и других каналов в Крыму, а также на Магистральном Каршинском канале.

Однако широкое применение монолитного бетона при создании указанных облицовок может считаться перспективным только при полной механизации работ по раскладке пленки и устройству бетонного покрытия.

С этой целью отделом механизации УкрНИИГиМ (А. И. Харин, Г. М. Куделя) при участии автора и А. Р. Гвенетадзе предложен специальный укладчик бетоно-пленочной облицовки (авторское свидетельство № 261990) для каналов глубиной до 1,2 м.

Укладчик представляет собой скользящую виброформу, оснащенную специальными механизмами для размещения катушек с пленкой, размотки и сварки полотнищ пленки, расположенных на откосе канала и на дне. При движении укладчика пленка разматывается с катушек, сваривается и покрывается слоем бетонной смеси, поступающей из бункера. Бетонная смесь уплотняется и заглаживается специальными секциями укладчика. Нарезка швов осуществляется виброножом.

Первый образец пленкобетоноукладчика испытан на Татарбунарской оросительной системе в 1969—1970 гг. На его основе создана более совершенная схема пленкобетоноукладчика, которым в 1971—1972 гг. выполне-

ны бетоно-пленочные облицовки на хозяйственных каналах Прохладненской системы (Кабардино-Балкарская АССР).

Одновременно с исследованиями и развитием производственного применения бетоно-пленочных облицовок с покрытием из монолитного бетона сначала в Голодной степи (Духовный, 1968), а затем и на Украине и в других районах страны широкое распространение получили бетоно-пленочные облицовки с покрытием из сборных железобетонных плит.

Остановимся на некоторых общих вопросах устройства облицовок указанной конструкции.

При устройстве пленочных экранов в бетоно-пленочных облицовках, основываясь на опыте строительства каналов с пленочным экраном и грунтовым покрытием, преимущественное распространение получили стабилизированные полиэтиленовые пленки толщиной 0,15—0,2 мм. Пока применение пленок ограничивалось каналами и водоемами небольшой глубины, выбор толщины пленки определялся возможностями сохранения целостности экрана на всех этапах строительства. При переходе к строительству крупных каналов, водоемов и плотин появилась необходимость в обосновании толщины пленки с учетом действующего на нее напора и характера грунтов в основании.

Как показали экспериментальные исследования А. А. Миронова, при определении зависимости между толщиной пленки и напором, приводящим к разрушению пленки, можно воспользоваться формулой для расчета гибких мембран:

$$S=0{,}0275Hr\sqrt{\frac{E}{\sigma^3}},$$

где S — толщина пленки, см;
H — напор воды, м;
r — радиус мембраны, см;
E — модуль упругости пленки, кгс/см²;
σ — предел прочности пленки, кгс/см², в качестве σ здесь принимается предел текучести пленки.

И. Е. Кричевский предложил проводить расчет толщины пленок (полиэтиленовых) с учетом температуры окружающей среды и ползучести полиэтилена.

Расчет толщины экрана заключается в установлении расчетной температуры экрана, нахождении значений

предела прочности при растяжении и модуля упругости пленки для расчетной температуры с учетом ползучести полиэтилена *.

Толщина противофильтрационного полиэтиленового экрана может быть определена по формуле

$$S=0{,}075H\gamma d_{ср}^{0,4}\sqrt{\frac{E_i}{\sigma_i^3}},$$

где S — толщина противофильтрационного экрана, мм;
H — напор воды, м;
γ — плотность воды, г/см³;
$d_{ср}$ — средний диаметр пор грунта подстилающего слоя, мм;
E_i — расчетное значение предела прочности полиэтилена, кгс/см²;
σ_i — расчетное значение предела прочности полиэтилена при растяжении, кгс/см².

Толщина пленочного экрана, как видно из формулы, должна быть тем больше, чем выше напор воды, крупность частиц подстилающего грунта и ниже прочность пленки.

Предел прочности пленки при разрыве, в свою очередь, оказывается тем ниже, чем выше температура окружающей среды.

В наиболее неблагоприятных условиях (высокая температура среды, крупнозернистый грунт в основании экрана и т. д.) при глубине каналов до 10—15 м толщина пленки из условия прочности должна быть в пределах 0,15—0,20 мм. Опыт строительства каналов с пленочными экранами под защитным слоем из грунта или бетона указывает на трудность сохранения целостности экрана в процессе работ, если его толщина менее 0,2 мм.

Таким образом, обычно принимаемая толщина пленки 0,2 мм при устройстве бетоно-пленочных облицовок оросительных каналов является достаточной как по условию прочности, так и по условиям производства работ.

Выпуск полиэтиленовых стабилизированных пленок, предназначенных для противофильтрационных устройств, производится заводами по ГОСТ 10354—63

* Временные технические указания по проектированию, строительству и эксплуатации полиэтиленовых противофильтрационных устройств плотин из местных материалов (ВСН 003—66 МЭ и Э СССР), Л., «Энергия», 1967.

шириной не менее 2,5 м, в рулонах длиной по 120—150 м.

Подготовка полотнища для экрана заключается в сваривании пленочных полос по продольному краю.

На крупных каналах с многорядной облицовкой сборными плитами либо при большой длине откоса с монолитной облицовкой во избежание разрыва сварных швов при натяжении пленки в момент укладки плит швы желательно располагать поперек оси канала.

Размеры полотнищ по ширине определяются размерами периметра канала, причем при определении числа полос учитывается запас на образование швов, заделку экрана в грунт и предотвращение чрезмерного натяжения экрана при укладке.

Длину полотнища обычно принимают на 5—6% больше длины экранируемого участка канала.

Учитывая, что все операции по устройству пленочного экрана выполняются вручную, полотнище должно весить 50—60 кг, но не более 100 кг.

Расход пленки на 1 м² облицовки зависит от ее толщины. Ориентировочно 1 м² пленки толщиной 0,2 мм весит 0,19—0,20 кг.

Склеивание полиэтиленовых пленок — весьма трудная операция. Для соединения пленочных полос практически используется только сварка.

Из различных способов сварки наиболее распространенным является контактно-тепловой.

Нагрев пленки толщиной до 0,2 мм достигается при одностороннем контакте с лентами сопротивления, по которым пропускается электрический ток, или нагревателем, в котором заключена электрическая спираль. При большей толщине пленок (до 0,5—0,6 мм) применяется двусторонний контактный нагрев.

В стационарных условиях для получения полотнищ шириной до 15 м и любой длины обычно применяют сварочные машины СПК-М, оснащенные двумя сменными сварочными головками. Сварка полиэтиленовых и поливинилхлоридных пленок толщиной от 0,05 до 0,4 мм осуществляется горячим воздухом или инфракрасным излучением со скоростью 0,6—5 м/мин.

Стабилизированные сажей полиэтиленовые пленки толщиной 0,2 мм следует сваривать инфракрасным излучением со скоростью 2,5—3,5 м/мин, при этом прочность сварного шва составляет 85% прочности пленки.

Чистота поверхности и сухость пленки — обязательные условия при сварке. Пленки с сильно окисленной поверхностью (обычно после долгого выдерживания на воздухе) также не поддаются сварке.

Для соединения полотнищ между собой, а также ремонта экрана непосредственно на месте его укладки применяются импульсные клещи (при толщине пленки до 0,3 мм), обеспечивающие двусторонний контактный нагрев материала, или сварочный пистолет ПСП-5 (при толщине пленки до 0,2 мм), с помощью которого нагревается поверхность пленки за счет тепла расплавленной присадки.

При небольших объемах сварочных работ можно использовать бытовой электрический утюг с терморегулятором *. Сварка проводится при толщине пленок от 60 до 300 мкм и температуре 100—300°С.

При отсутствии источника электроэнергии для небольших каналов поперечный шов может выполняться, как исключение, путем скручивания пленки в валик с пригрузкой грунтом.

После изготовления полотнищ их доставляют к месту работы в количестве, необходимом для укладки в одну смену.

Особое внимание следует обращать на тщательность подготовки основания под пленку. Планировка основания выполняется непосредственно перед укладкой пленки экскаватором-профилировщиком или вручную. При наложении трехметровой рейки на поверхность основания зазор между рейкой и поверхностью грунта не должен превышать 2 см при укладке сборных плит и не более 5 см — при укладке монолитного бетона.

При скальных, гравелистых или галечниковых грунтах поверхность дна и откосов выравнивают и насыпают подготовку из слоя грунта толщиной не менее 10 см. В качестве подстилающего слоя применяются супеси или пески.

Полотнища расстилают по всему периметру канала, а края пленки заводят на обочину, где пригружают мешками с грунтом и т. п.

---

* Рекомендации по применению противофильтрационных экранов из полимерных пленок на оросительных каналах и водоемах. Гипроводхоз, М., 1967.

На небольших каналах допускается закрепление пленки в верхней части откоса деревянными колышками или стальными шпильками через 2—2,5 м.

Ликвидация прорывов и дефектов сварки проводится путем наклеивания пластыря из полиэтиленовой липкой ленты (СТУ-30-14384—65) или заплаты с помощью холодной резинобитумной мастики.

Для устройства верхнего защитного слоя облицовки выбирают железобетонные плиты минимально допускаемой по условиям прочности и долговечности толщины, с размером, обеспечивающим удобство их транспортировки и укладки.

При изготовлении плит особое внимание следует обращать на придание им гладкой поверхности. В противном случае возможно повреждение пленки неровностями плит.

Укладка сборных плит должна следовать сразу же за укладкой пленки, что, как показывает опыт, в большей степени гарантирует ее сохранность и проектное положение полотнищ.

Монтаж сборных плит проводят с обочины канала автокранами. Плиты укладывают сначала по дну канала, а затем по откосам (рис. 7).

Донные плиты укладывают в горизонтальном положении, а откосные — в вертикальном или наклонном параллельно откосу. Осуществляется это при помощи специальных стропов.

Для предохранения экрана от повреждений в процессе монтажа плит под их ребро укладывают полоски шириной 20 см из плотной бумаги, картона, пергамина или иного недорогого материала. Установка инвентарной доски с упором, на которую опускается откосная плита, с последующим ее удалением после укладки плиты повышает сохранность экрана.

После завершения монтажа плит к их торцам в верхней части откоса подсыпают грунт или укладывают монолитный бетон.

При устройстве бетоно-пленочных облицовок в теплое время года рекомендуется делать сплошь жесткие швы шириной 5—10 см. Заделывают их монолитным бетоном с обязательным уплотнением вибрированием или трамбованием. При устройстве облицовок в холодное время года устраиваются деформационные швы, которые заполняют упругим материалом (пороизол,

Рис. 7. Устройство бетоно-пленочной облицовки с покрытием из сборных преднапряженных плит НПК:
вверху — распределительный канал Северо-Крымской системы; *внизу* — канал Р-1 Каховской системы.

гернит и т. д.). В весенне-летний период указанный материал в шве заменяют цементным бетоном.

В последние годы бетоно-пленочные облицовки с покрытием из сборных плит получили широкое распространение при строительстве каналов в Голодной степи, в Поволжье, на Каршинском магистральном канале, на крупных распределителях Каховской оросительной системы, а также на магистральных каналах и каналах меньшего порядка Северо-Крымской и Рогачекской оросительных систем. Для указанных облицовок применяли плиты различной конструкции.

В Голодной степи по пленке первоначально укладывали ребристые прокатные плиты размерами 3,2×3,2 м и 3,2×4,1 м, а затем перешли к укладке плоских плит размерами в основном 3,2×3,2 м и толщиной 6,5÷7,0 см.

На Украине преимущественное применение для бетоно-пленочных облицовок нашли преднапряженные плиты НПК размерами 6,2×2,0×0,06 м; 6,2×1,5×0,06 м и 6,2×1,0×0,06 м (рис. 7). Применение этих плит представляется наиболее эффективным.

В некоторых случаях используют комбинированные облицовки: дно выполняют из монолитного бетона, а по откосам укладывают сборные плиты.

В Англии известен опыт применения небольших неармированных бетонных плит — шестигранных по откосу и прямоугольных по дну (рис. 8).

Бетоно-пленочные облицовки с покрытием из сборных плит, как правило, обладают высокой противофильтрационной эффективностью. По данным Р. М. Горбачева (Средазгипроводхлопок), фильтрационные потери в каналах с пленочным экраном и сборными плитами в условиях Голодной степи составляют 7—8 л/сут с 1 м² смоченной поверхности; в то же время потери в каналах, облицованных сборными плитами без пленки с герметизацией швов битумными мастиками, достигают 195 л/сут и при облицовке монолитным бетоном — 30—100 л/сут с 1 м² облицовки.

Аналогичные цифры получены В. А. Олехновичем на каналах с монолитным бетонным покрытием по пленке на Украине и в Кабардино-Балкарской АССР.

Технико-экономические расчеты (для условий Крыма) также подтверждают преимущество бетоно-пленочных облицовок по сравнению с обычными (табл. 1).

Таблица 1

Технико-экономические показатели бетоно-пленочной облицовки

Показатели	Обычная облицовка		Бетоно-пленочная облицовка	
	монолитный бетон толщиной 15 см	сборные железобетонные плиты НПК толщиной 6 см	монолитный бетон толщиной 15 см	сборные железобетонные плиты НПК толщиной 6 см
Строительная стоимость, руб. на 100 м²	453	692	475	660
Расходы на текущий ремонт швов, руб. на 100 м²	31	58	—	—
Всего	484	750	475	660

В 1970—1972 гг. УкрНИИГиМ (В. А. Власенко и А. И. Левченко) проведено обследование состояния полиэтиленовой стабилизированной пленки в бетоно-пленочной облицовке на каналах Крымской и Одесской

Рис. 8. Бетоно-пленочная облицовка с покрытием из неармированных бетонных плит (Англия).

областей после 4—6 лет эксплуатации. Обследование показало, что пленка сохранила первоначальный цвет и хорошую эластичность, прилегание плит к основанию по дну и откосам, как правило, происходит по всей плоскости как через пленку, так и через слой принесенного водой мелкодисперсного грунта и ила, которым заполнены просветы между плитой и пленкой. Не обнаружено прорастания растительности в швах плит, а также повреждений пленки землероями. Отдельные небольшие проколы в пленке объясняются наличием острых зерен гипса, ракушечника, плотных глин, которые повреждают пленку при сдвигании ее по откосу в момент укладки плит.

Физико-механические свойства пленки, извлеченной из-под облицовки, а также находящейся на поверхности грунта, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Свойства полиэтиленовых стабилизированных пленок, находившихся в эксплуатации

Условия эксплуатации	Срок службы	Напряжение при разрыве, кгс/см²	Относительное удлинение, %
Закрытое помещение (контроль)	6 лет	105	566
Под слоем грунта 40 см	6 лет	103	493
Под бетонной плитой толщиной 8 см	6 лет	99	256
Под плитой НПК толщиной 6 см	4 года	116	389
На поверхности грунта	3 месяца	131	450
То же	4 года	32	11

Основное свойство пленки — деформативность — сохраняется в течение эксплуатации при нахождении ее под слоем бетона или грунта. Незащищенная пленка резко снижает способность деформироваться, что указывает на быстрое ее старение.

Эти данные вполне согласуются с результатами исследований ВНИИГиМ (В. В. Сокольская).

Бетоно-пленочные облицовки, несмотря на имеющиеся достоинства, еще требуют усовершенствования как в конструктивном, так и в технологическом отношении. Для защитного покрытия по пленке следует использовать более легкие и менее дорогие конструкции,

такие, как тонкие армированные цементные плиты, опыт применения которых в ирригационном строительстве имеется как в СССР, так и за рубежом. Исследования САНИИРИ и Узглавводстроя показали, что облицовка листовым бронеизолом (гибкая битумная облицовка, армированная стеклотканью) эффективна даже в просадочных грунтах, к тому же она дешева и легкозаменяема (Хамраев, Алимов, 1968).

Дальнейшее развитие применения бетоно-пленочных облицовок будет сдерживаться дефицитом пленочных материалов. Наиболее эффективной областью их использования следует признать районы, где грунты, слагающие русло каналов, склонны к большим деформациям пучения или просадок, а также сильно засоленные, вызывающие коррозию бетона. Перспективным также является устройство бетоно-пленочных облицовок в каналах с использованием пленкобетоноукладчиков. Пленочные материалы найдут применение при устройстве грунто-пленочных покрытий крупных каналов, различных водоемов, деформационных швов в монолитных облицовках каналов, где невозможно использовать бетоноукладчики, а также при ремонтных и восстановительных работах.

Другие случаи применения пленочных материалов в водном хозяйстве. Область применения пленочных материалов не ограничивается водным хозяйством.

Интересен опыт применения пленочных материалов на противопаводковых сооружениях Венгрии. В период больших паводков на Дунае, Тисе и других реках хозяйству страны наносится большой ущерб.

Для защиты городов и сел, а также посевных площадей от затопления паводковыми водами в пойме рек построены земляные дамбы обвалования. В связи с тем, что устройство капитальных каменных креплений дамб дорого и сложно, а использование биологических средств укрепления дамб часто бывает недостаточно надежно, с 1965 г. в Венгрии сначала в опытном порядке, а затем в широких масштабах стали применяться покрытия из полимерных пленок.

Для этой цели рулоны полиэтиленовой пленки толщиной 0,2 мм укладывают на верхнем основании дамбы в предпаводковый период. Когда появляется необходимость, рулон раскатывают вниз по откосу дамбы со стороны реки. Верхний конец пленки зажимается

мешками с песком, а нижний иногда также пригружается.

Поперечные швы в пленочном экране не устраивают, при стыковании полотнищ конец пленки одного рулона перекрывается пленкой другого.

Специалисты Венгрии считают, что описанный вид противопаводкового мероприятия очень экономичный. Однако устройство его целесообразно лишь на равнинных участках рек, где отсутствует движение донных наносов, которые могут прорвать пленку.

Поверхностные пленочные экраны могли бы найти применение и в условиях СССР при экстренных случаях защиты песчаных берегов рек от размыва, например на Амударье.

В мировой практике, и в частности в СССР, имеется опыт строительства различного рода резервуаров и бассейнов из монолитного и сборного железобетона. Однако для обеспечения практически полной водонепроницаемости конструкции они защищаются специальной гидроизоляцией (многослойные битумные покрытия, торкретные цементные штукатурки, эпоксидные мастики и т. д.). Решение указанного вопроса усложняется при хранении в резервуарах агрессивных жидкостей.

В научно-исследовательском институте водного хозяйства (Венгрия) Л. Силади разработана конструкция пленочного противофильтрационного устройства для железобетонных водонапорных башен. Она представляет собой мешок из полимерной пленки, закладываемый внутрь железобетонного резервуара.

Экран готовится из двух слоев полиэтиленовой стабилизированной пленки толщиной 0,2 мм.

Сварка полотнищ в резервуаре проводится аппаратом, работающим по принципу утюга, иногда используется сварочный ручной аппарат Leister X-2 (Швейцария), с помощью которого приваривается пленочная накладка на шов горячим воздухом. Сварка полотнищ между собой осуществляется внахлестку или впритык с накладкой из той же пленки шириной 40 мм.

Для небольших резервуаров пленку заранее сваривают в виде мешка или двух половинок мешка.

При небольших порывах и проколах пленки места повреждений заклеивают клеящей полиэтиленовой пленкой, при крупных порывах поврежденный участок

вырезают и вместо него приваривают заплату из этой же пленки.

В верхней части резервуара выше уровня воды в бетон резервуара заделывают уголковые консоли. Несколько отступя от стенки резервуара, по всему периметру на консолях укладывают пластмассовую трубу, к которой подвешен полиэтиленовый мешок (рис. 9).

После спуска воды из водонапорной башни изредка пленочный экран моют щетками, после чего смывают водой из шланга.

За последние три года экраны устроены более чем в 20 водонапорных башнях различной емкости. Самый большой резервуар вмещает 2 тыс. м³ воды (диаметр башни 32 м, высота 11 м).

Стоимость пленочного покрытия, отнесенная к 1 м² поверхности резервуара, при стоимости 1 м² пленки толщиной 0,2 мм 4 форинта составляет 40 форинтов, а стоимость торкретной штукатурки — 60 форинтов.

Опыт устройства противофильтрационных экранов на водонапорных башнях может быть распространен и на другие резервуары закрытого типа, особенно с агрессивной для бетона жидкостью, так как полиэтилен обладает высокой химической стойкостью.

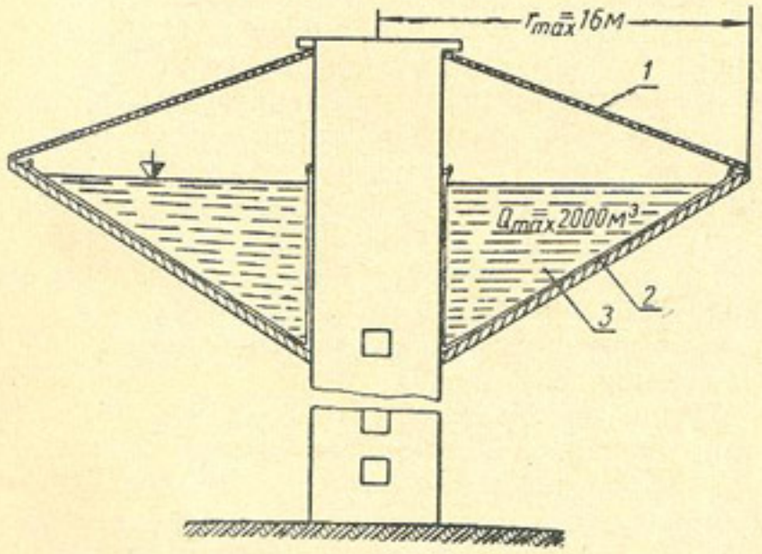


Рис. 9. Пленочное покрытие резервуара водонапорной башни (в Венгрии):

1 — кровля; *2* — два слоя полиэтиленовой пленки толщиной 0,2 мм; *3* — железобетонный резервуар.

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ ШВОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОЛИМЕРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Швы, их назначение и существующие конструктивные решения. При строительстве современных оросительных систем широкое распространение получили монолитные и сборные облицовки каналов из бетона и железобетона; для каналов с небольшой пропускной способностью применяются сборные железобетонные лотки.

В последние годы развивается строительство закрытых или комбинированных оросительных систем с использованием для них асбестоцементных, металлических и железобетонных труб.

Как указывалось, в сборных и монолитных бетонных и железобетонных облицовках каналов потери воды на фильтрацию происходят главным образом через швы, часто они сводят до минимума эффект от устройства дорогих и трудоемких облицовок из бетона и железобетона. Поэтому вопросам конструирования швов и их герметизации уделяется большое внимание. Оба эти вопроса неразрывны, и в этой связи они рассматриваются дальше.

В общем случае швы в облицовках каналов устраивают во избежание появления в них чрезмерных напряжений (от деформаций при усадке бетона, температурных изменений внешней среды и неравномерной осадки основания), которые приводят к образованию трещин и в конечном итоге к ухудшению противофильтрационных свойств и долговечности облицовок.

Швы в сооружениях могут быть разделены на деформационные и жесткие.

К деформационным швам предъявляются в основном следующие требования:

форма шва и его размеры должны обеспечивать беспрепятственное расширение и сжатие элементов облицовки под воздействием усадки и температурных изменений;

конструкция шва не должна препятствовать некоторым вертикальным перемещениям соседних элементов облицовки в случае неодинаковой деформации грунтов основания;

быть водонепроницаемыми;

быть простыми по конструкции, недорогими и удобными для ремонта (Шварц, 1967);

обладать необходимой долговечностью.

Жесткие швы устраивают в случае необходимости укрупнения мелких элементов в более крупные, при сборке строительных конструкций, например при установке опор железобетонных лотков в стаканы фундаментов и т. д. К этой же категории швов относятся строительные швы, образующиеся, например, по той причине, что бетонирование вдоль канала (а на больших каналах и поперек) не может быть непрерывным. Жесткие швы не обеспечивают возможности расширения и сжатия облицовки под воздействием усадки и температурных изменений, но должны быть водонепроницаемыми и не менее прочными, чем омоноличиваемые ими конструкции.

Швы омоноличивания обычно устраивают с выпусками арматуры из омоноличиваемых элементов или при помощи специальных закладных деталей. Заделка швов проводится безусадочными или расширяющимися цементами, эффективно в этом случае и торкретирование. При особо ответственных конструкциях швы заделывают эпоксидными композициями.

Существует три основных типа деформационных швов: усадочные, температурные и осадочные.

Температурные и усадочные швы обычно объединяют в один температурно-усадочный шов. В ряде случаев они же выполняют функции и осадочных швов. Для устранения фильтрации воды через швы используют различные конструкции и способы их герметизации. Раньше при строительстве облицовок из монолитного бетона применяли сложную и дорогую конструкцию температурно-усадочных швов с металлическими прокладками, иногда из цветных металлов. В дальнейшем, по мере накопления опыта, конструкция швов постепенно упрощалась.

Для уплотнения швов используются также доски. Разбухая в воде, они обеспечивают хорошее заполнение шва и, будучи упругими, позволяют облицовке изменять длину под воздействием температурных изменений и усадки.

Однако в периодически действующих оросительных каналах, а также в каналах с постоянным заполнением

в зоне переменного уровня воды доски быстро загнивают, а ремонт такого шва затруднителен.

Наиболее простым и достаточно надежным является шов, образованный в виде зазора между двумя раздельно бетонируемыми картами монолитной облицовки или соседними плитами сборной облицовки. Зазор заполняется водонепроницаемым материалом.

Так как ширина карты бетонирования обычно превышает требуемое расстояние между швами, в свежеуложенном бетоне дополнительно нарезают зазоры в виде канавок на $^2/_3$ или $^3/_4$ толщины облицовки и заполняют герметиком—«ложные швы». Они выполняют функции усадочных и температурных швов (при бетонировании в теплое время года).

Ложные швы — это единственные из всех известных типов швов, которые легко могут быть выполнены механизированным способом. Кроме того, стоимость устройства таких швов невысокая. При бетонировании с пропусками, то есть через секцию, их нарезают в местах стыка после заполнения бетоном пропущенных секций. Другие типы швов требуют значительных затрат ручного труда.

Для заполнения различных швов широко применяют битумные составы. Они создают в зазоре сжимающийся слой, который должен обеспечить возможность расширения и сжатия бетона и хорошо заполнить пространство зазора. Однако опыт эксплуатации швов, герметизируемых битумными мастиками, как правило, указывает на низкую надежность и долговечность их в условиях эксплуатации оросительных систем.

В последние годы ведутся поиски других решений по герметизации швов.

Применение шпонки в швах монолитной облицовки (рис. 10, *а*), имеющей на концах шарообразные утолщения, обеспечивает хорошую водонепроницаемость шва. Такая шпонка с пустотелым утолщением в центре облегчает ее деформирование при осадке основания и усадке бетона.

Известен резиновый уплотнитель другой конструкции (рис. 10, *б*), который после 20 лет эксплуатации остался водонепроницаемым, а резиновый шнур за это время не потерял эластичности (Чехословакия, р. Ваг). Предполагают, что срок службы этого уплотнения не менее 100 лет.

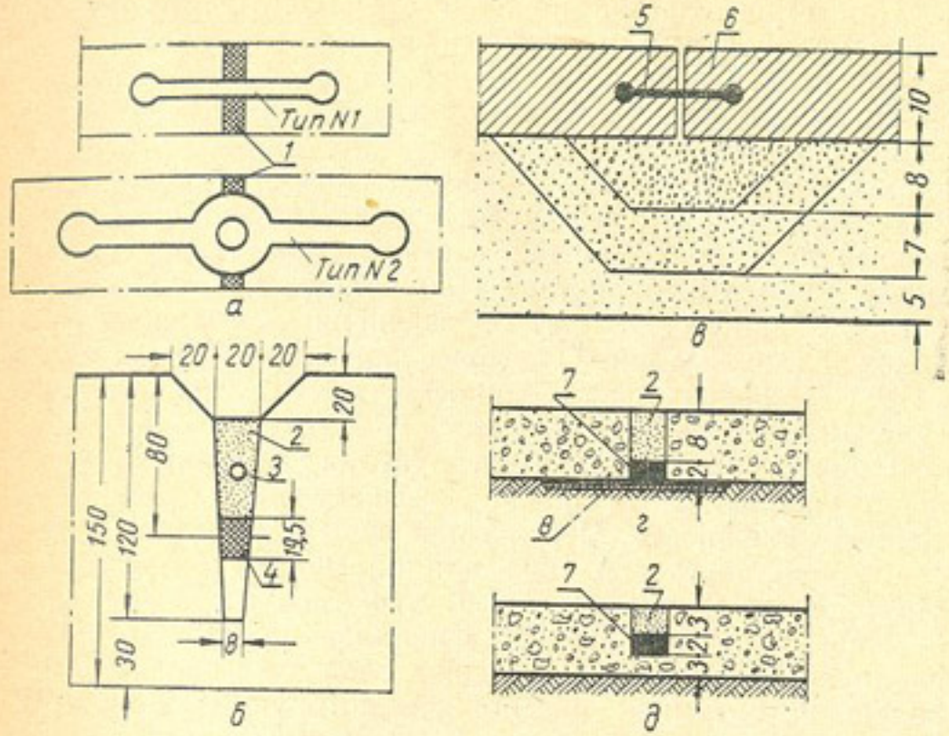


Рис. 10. Типы уплотнения швов в облицовках из монолитного бетона:

а — резиновая шпонка с пустотелым уплотнением; *б* — уплотнение шва резиновым шнуром; *в* — уплотнение швов в облицовке канала Северский Донец—Донбасс; *г* — сквозной шов с уплотнением битумной мастикой; *д* — «ложный шов»; *1* — асфальт; *2* — цементное заполнение 1 : 6; *3* — стальной стержень диаметром 6 мм; *4* — резиновый шнур; *5* — резиновая шпонка; *6* — железобетонная монолитная плита; *7* — битумная мастика; *8* — мешковина.

Гидропроект на основе обобщения отечественного и зарубежного опыта, а также специальных исследований предложил новую конструкцию шва с резиновым уплотнением. Она применима для монолитной и сборной облицовки канала Северский Донец — Донбасс *.

Температурно-усадочные швы указанной конструкции (рис. 10, *в*), устраиваемые в монолитной облицовке, в большинстве случаев оказались достаточно надежными, однако они все же дороги и весьма сложны в исполнении. В отечественной практике строительства ирригационных каналов их применяют лишь в особых случаях.

* Канал Северский Донец — Донбасс, сборная железобетонная облицовка откосов и дна канала. ОБК Гидропроекта, М., 1967.

При строительстве каналов с монолитными бетонными облицовками предпочтение обычно отдается более простой и дешевой конструкции швов с заполнением битумом или битумными мастиками; при этом устраивается сквозной шов шириной 3—4 см, под который предварительно подстилают полоску мешковины шириной 20 см, пропитанную битумом. В шов заливают расплавленный битум или мастику слоем 2 см, а сверху укладывают цементный раствор (рис. 10, *г*); часто в монолитной облицовке делают бороздки на $^2/_3$ толщины облицовки (ложные швы), которые заливают битумом слоем 2 см, поверх него наносят цементный раствор (рис. 10, *д*).

Опыт строительства и эксплуатации описанных температурно-усадочных швов указывает на их недостаточную надежность. Через такие швы в результате отслаивания, растрескивания или оплывания битума часто происходят значительные утечки воды.

Иногда при строительстве каналов применяют трехслойную облицовку. Средний слой ее представлен сплошной битумной прослойкой, которую укладывают между двумя слоями бетона (Шварц, 1967).

В последнее время предлагается также вариант трехслойной облицовки с промежуточным гидроизоляционным слоем из синтетической пленки. Такое решение представляется недостаточно надежным. Результаты опытов с трехслойной облицовкой, выполненных в Крыму, указывают на возможность повреждений пленки при сдвижке ее по бетонному основанию, особенно когда из него выступают зерна щебня. Неудачным оказался опыт строительства таких облицовок на Каршинском магистральном канале.

Опыт использования различных материалов для герметизации швов и испытание всевозможных конструкций швов в облицовках каналов из монолитного бетона указывает на необходимость продолжения исследований по разработке более эффективных вариантов.

Еще более сложно решение вопроса герметизации швов в сборных железобетонных облицовках каналов. В практике строительства для их уплотнения в качестве герметизирующих материалов используется главным образом битум.

На канале Северский Донец — Донбасс в 1955—1956 гг. в облицовке из сборных железобетонных плит

была применена конструкция шва, герметизация которого достигалась наклейкой на смежные плиты листовой резины шириной 15 см и толщиной 2 мм и укладкой поверх нее защитного слоя из цементно-песчаного раствора, армированного металлической сеткой. В местах пересечения поперечных и продольных швов облицовки стыкуемые полосы резиновой шпонки перекрывались резиновой накладкой размером 350×150×2 мм.

При осмотре облицовки канала в 1958 г. оказалось, что до 30% резиновых полос не приклеилось к бетону. В результате этого фильтрационные потери на участках со сборной облицовкой достигали 35 л/с на 1 км (ориентировочно 180 л/сут с 1 м²), что говорит об их ненадежности (Слипченко, Рутковский, 1964).

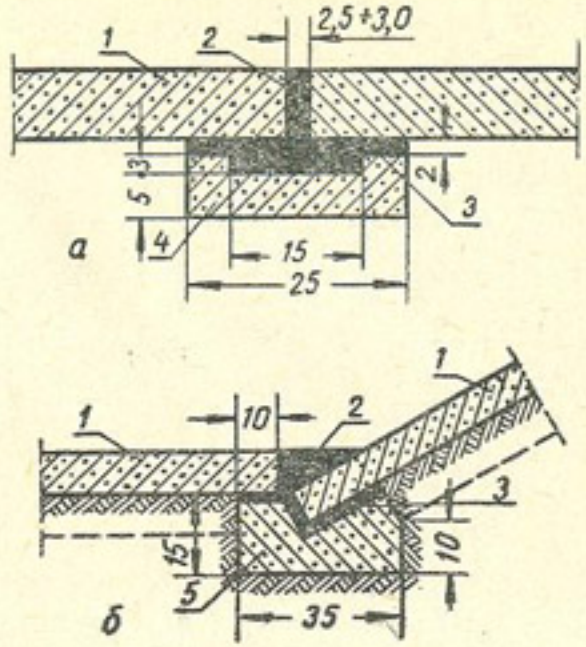


Рис. 11. Конструкции швов в сборной железобетонной облицовке (по предложению ВОДГЕО):

а — поперечные швы; *б* — продольные швы; *1* — железобетонные плиты; *2* — битумная мастика; *3* — битумный мат; *4* — железобетонная подкладка; *5* — железобетонный упорный брус.

Согласно «Рекомендациям по проектированию и устройству противофильтрационных бетонных облицовок каналов водоснабжения и ирригационных систем», составленных институтом ВОДГЕО, для устройства деформационных швов в противофильтрационных железобетонных облицовках каналов рекомендуются конструкции швов, приведенные на рисунке 11.

Практика показала, что поперечные швы, герметизированные указанным способом, с точки зрения противофильтрационных свойств недостаточно надежны. Продольные швы, по-видимому, более надежны, однако устройство их трудоемко и довольно дорого.

Каналы из сборных железобетонных лотков в СССР получили широкое распространение, особенно в Средней Азии, на Украине и Закавказье.

Варианты герметизации швов в каналах из безраструбных лотков, имеющих наибольшее применение, следующие:

1) уплотнение шва пеньковым жгутом, пропитанным битумом, осуществляется путем закладки жгута в полость стыка лотков с последующей заливкой горячим битумом. Иногда сверху его затирают цементным раствором.

Устройство шва указанной конструкции наиболее трудоемко, и стоимость его довольно высокая. Кроме того, такие швы совершенно ненадежны в эксплуатации, и в последние годы их почти не применяют;

2) уплотнение шва пороизолом выполняют по схеме *а* (рис. 12, *а*). Жгуты пороизола круглого, треугольного или прямоугольного сечения укладывают на седло и обжимают лотками. За счет его обжатия и обеспечивается герметизация шва.

Пороизол — дешевый пористый материал, основу которого составляет резиновая крошка, полученная из старых автомобильных покрышек. Средняя плотность — 400—650 кг/м³, относительное удлинение при разрыве — до 120%; предел прочности — до 8 кгс/см², водопоглощение в сжатом (на 50% толщины) состоянии — 1%, остаточная деформация при сжатии на 50%, через 24 часа — менее 5%; диапазон эксплуатационных температур — от минус 40°С до 80°С.

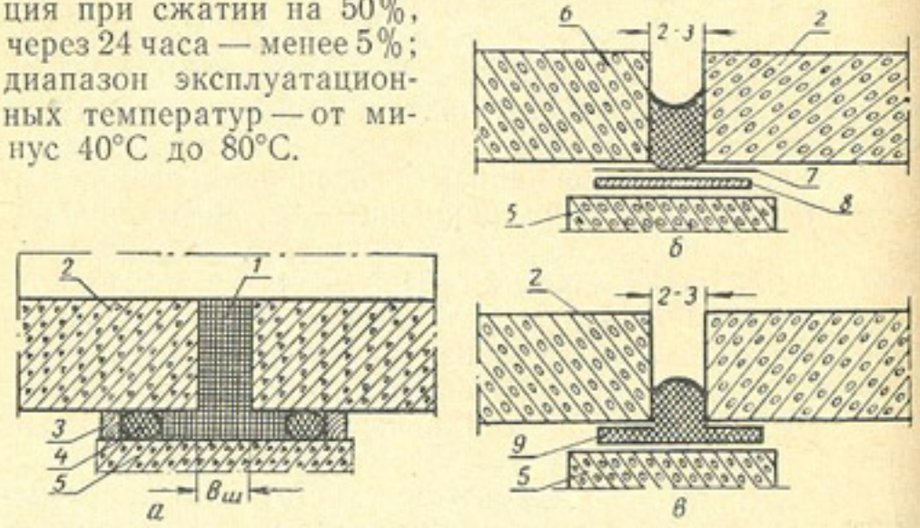


Рис. 12. Уплотнение швов в безраструбных лотках пороизолом, изолом или битумно-шлаковатной прокладкой:

а — герметизация пороизолом; *б* — конструкция «изоловый замок»; *в* — герметизация битумно-шлаковатной прокладкой; *1* — мастика; *2* — лоток; *3* — ограничительная подкладка; *4* — пороизол; *5* — седло; *6* — мастика изол; *7* — рулонный изол; *8* — технический войлок; *9* — шлаковата с битумом.

Исследования пороизола Чимкентского шиноремонтного завода, выполненные К. А. Васьковичем в ЦСЛ «Голодностепстрой» (1966 г.), показали, что после четырех лет эксплуатации прочность его на разрыв практически не изменилась. Извлеченный из швов пороизол эластичен, хотя первоначальная форма восстанавливается лишь частично; неглубокие трещины на жгутах обнаружены только на внешних участках, подверженных солнечному облучению.

Для того чтобы сохранить упругие свойства пороизола, обеспечив его обжатие в шве не более чем на 50%, в Крыму и в некоторых других районах страны на седла лотков укладывают прокладки-ограничители из антисептированной древесины или другого материала.

Главная причина недостаточной плотности швов в лотковых каналах — несовпадение между собой параболических поверхностей в раструбной части лотков, а также седел и внешней пристыковой части безраструбных лотков. Объясняется это недостаточной жесткостью и точностью изготовления оснастки для лотков, а также быстрым ее деформированием в процессе заводской эксплуатации. В этом случае, особенно при наличии ограничительных прокладок, возможно недостаточное обжатие пороизола или недопустимое его расплющивание. Герметичность шва здесь может быть достигнута только при дополнительной его заделке мастикой. Герметизация швов в лотковых каналах с применением пороизола в последние годы нашла распространение во всех районах мелиоративного строительства Советского Союза;

3) конструкция шва «изоловый замок», предложенная ГрузНИИГиМ (М. Р. Разумовская и др.), выполняется по схеме *б* (рис. 12, *б*). На седла укладывают полосы шлаковаты или просмоленного технического войлока, полосу рулонного изола, а на бетон в полости шва наносят грунтовку холодным изоловым раствором (Х-П-2) и затем шов заполняют горячей мастикой изол.

Конструкция шва с уплотнением изоловой мастикой нашла применение в Грузии. По данным ГрузНИИГиМ, опыт эксплуатации в течение 3—4 лет дал положительные результаты;

4) уплотнение шва из битумно-шлаковатных прокладок (Шлаен, 1966), предложенных Л. Н. Дубининым и

названных им «минезолом», проводится путем укладки на седло полосы прокладки (схема *в*, рис. 12, *в*), которая в результате обжатия частично выдавливается в шов. Технология устройства этого шва наиболее простая, однако изготовление прокладок трудоемко.

Конструкция шва использовалась при строительстве лотковых систем в Средней Азии и Крыму. В настоящее время она применяется лишь при отсутствии пороизола;

5) уплотнение шва полимерными мастичными герметиками проводится в соответствии со схемой *а* (см. рис. 21). Для уменьшения расхода мастики и улучшения условий ее работы под слой мастики толщиной 0,5—1,0 см укладывают упругую прокладку (пороизол, гернит и др.).

Указанная конструкция шва очень простая, однако отсутствие дешевых полимерных мастик пока сдерживает повсеместное ее применение на практике.

Швы в раструбных лотках герметизируются по аналогии с приведенными способами, поэтому описание их конструкции здесь не приводится.

Общие сведения о полимерных мастичных герметиках. В последние годы в СССР и за рубежом при решении вопроса герметизации швов в сборных сооружениях различного назначения все больший интерес проявляется к холодным полимерным мастикам. И это не случайно: конструкция шва, герметизированного мастиками, предельно простая; работы по герметизации технологически не связываются с монтажом сборных облицовок каналов, а выполнение их не требует больших затрат труда; шов легко освидетельствуется и ремонтируется в процессе эксплуатации.

Герметизирующие мастики (Применение герметиков в капитальном строительстве, 1967) с точки зрения их основы, то есть связующего полимера, можно подразделить на следующие виды: полиизобутиленовые, полисульфидные (тиоколовые), бутилкаучуковые, полиуретановые и кремнийорганические (силиконовые).

В СССР при заделке швов в промышленно-гражданских сооружениях нашла применение нетвердеющая полиизобутиленовая мастика УМС-50; положительные результаты получены при использовании для этой же цели тиоколовых мастик У-30М, ГС-1 и др., а также бутилкаучуковых мастик ЦПЛ.

В последние годы освоено производство и таких разновидностей тиоколовых мастик, как КБ-0,5; КМ-0,5; АМ-0,5; «Гидром» и др. (табл. 3). Казанским филиалом Всесоюзного научно-исследовательского института синтетического каучука (ВНИИСК) разработаны также однокомпонентные тиоколовые мастики.

Таблица 3

Составы некоторых тиоколовых мастик и отверждающих паст

Материал	Содержание компонентов в массовых частях						
	тиокол	ЭД-5	полиэфир	перекись марганца	бихромат натрия	дибутилфталат	дифенилгуанидин
Мастика КМ-0,5	100	5	3	—	—	—	—
» КБ-0,5	100	5	3	—	—	—	—
» АМ-0,5	100	5	5	—	—	—	—
Паста № 30	—	—	—	100	—	50	10
» Б-1	—	—	—	—	100	—	—

Продолжение

Материал	Содержание компонентов в массовых частях					Рекомендуемое количество отвердителя, от массы мастики	
						паста	
	каолин	сажа	вода	титанбелила	аэросил	Б-1	№ 30
Мастика КМ-0,5	10	10	—	—	—	—	18 - 21
» КБ-0,5	25	15	—	—	—	10—14	—
» АМ-0,5	—	—	—	20	2	—	17—28
Паста № 30	100	—	110	—	—	—	—
» Б-1	140	—	50	—	—	—	—

Тиоколовые герметики широкое распространение получили в США, Англии, Франции и других странах (Применение герметиков в капитальном строительстве СССР, 1967).

Метод промышленного синтеза отечественных жидких тиоколов разработан во ВНИИСК.

В изделиях и покрытиях жидкий тиокол используют подобно другим эластомерам главным образом в вулканизированном виде. В качестве вулканизующих агентов применяют преимущественно неорганические перекисные

соединения, но реакция вулканизации может также протекать и с другими веществами, например с парохиноксимом, некоторыми полиаминами, альдегидными, фенольными, полиэфирными и эпоксидными смолами. В тонких пленках тиоколовые составы вулканизуются кислородом воздуха, для чего в них вводят растворимые соли органических кислот (сиккативы) кобальта, свинца, марганца или других металлов переменной валентности.

В СССР тиоколовые составы приготовляют с применением тонкодисперсной перекиси марганца, которая вулканизует жидкий тиокол медленнее, чем перекись свинца, но в отличие от последней не является токсичной. Несколько худшие результаты получаются при использовании менее дефицитного бихромата натрия.

Вулканизующие агенты можно применять не обязательно в виде пасты, но и в виде сухого порошка, например смеси двуокиси свинца и стеарата алюминия. Конечно, твердый порошок труднее диспергировать и равномерно распределять в жидком тиоколе, чем пасту, однако при употреблении порошков можно не опасаться усадки, которая происходит вследствие испарения пластификатора, обычно входящего в состав вулканизующих паст.

Эпоксидные смолы в присутствии алифатических или ароматических аминов вступают во взаимодействие с жидким тиоколом, образуя твердые или упругоэластичные продукты, в зависимости от соотношения смолы и каучука.

Эпоксидно-тиоколовые композиции обладают рядом ценных эксплуатационных свойств, высокой маслобензостойкостью, медленным старением и др. Благодаря этому применение их для герметизации и защиты от коррозии непрерывно расширяется. Такие композиции, как правило, не оказывают корродирующего действия на металлы в отличие от жидких тиоколов, в особенности если последние в процессе производства недостаточно отмыты от примесей.

В ряде случаев приходится вводить в тиоколовые смеси некоторые пластификаторы. Однако при этом снижается механическая прочность тиоколовых резин и существенно ухудшается адгезия. Наиболее употребительным является дибутилфталат, количество которого обычно не превышает 20 массовых частей на 100 массовых частей жидкого тиокола. В качестве промышленных растворителей применяют метилэтилкетон, циклогексанон или толуол.

Тиоколовые мастики в целом характеризуются высокой стойкостью к старению в атмосферных условиях, а также под воздействием кислорода и ультрафиолетовых лучей. Проведенные в США испытания на атмосферостойкость в течение 10 лет показали высокую устойчивость этого полимера. По некоторым данным, тиоколовые резины и покрытия могут служить в обычных условиях до 25 лет.

Тепловое старение этих материалов при 100°С становится заметным уже через трое суток, но физико-механические показатели за этот период заметно не ухудшаются (Зайцев, Васильев, Папаригопуло, 1968).

По данным ВНИИСК, вулканизация тиоколовых герметиков У-30М и УТ-31 может протекать при температурах ниже нуля, что очень важно для производства строительных работ в зимнее время. Естественно, что скорость вулканизации при низких температурах резко снижается.

С 1968 г. сначала в лабораторных, а затем и производственных условиях проводятся исследования бутилкаучуковых мастик холодного отверждения. Разработаны они (ЦПЛ-2) Центральной проблемной лабораторией Киевского завода химикатов и предложены для внедрения в мелиоративное строительство Укргипроводхозом.

Двухкомпонентные бутилкаучуковые мастики готовят путем смешивания двух вязких паст в соотношении 1 : 1. Укладывают мастику на воздушно-сухой бетон, на который предварительно нанесена грунтовка жидким раствором того же герметика в бензине марки БР-1.

Мастика обладает неплохими прочностными и деформативными свойствами, однако большая усадка в период вулканизации существенно препятствует ее применению в мелиоративном строительстве.

Во ВНИИНСМ в последнее время ведутся исследования по получению полиуретановых герметиков для строительных целей. Применение опытных образцов герметиков в стыках крупнопанельных зданий подтвердило перспективность этих материалов, имеющих хорошую адгезию к бетону.

По мнению зарубежных специалистов, эластичные полиуретановые герметики имеют ряд преимуществ перед тиоколовыми. Они лучше противостоят хладотекучести и могут быть получены с низким модулем упругости без применения пластификаторов, действие которых, как известно, недолговечно (Применение герметиков в капитальном строительстве СССР, 1967).

Высокая стоимость полиуретановых герметиков и ограниченность сырья пока препятствуют их широкому распространению.

Кремнийорганические каучуки, часто называемые силиконовыми или полисилоксановыми, отличаются необычно высокой по сравнению с другими каучуками теплостойкостью, достигающей 300°С. Кремнийорганические каучуки в отличие от других выдерживают продолжительное воздействие озона, обладают хорошей морозостойкостью — до минус 60°С.

Каучуки этого типа, а также многие резины и покрытия на их основе обладают гидрофобными свойствами.

Присущая вулканизованным кремнийорганическим герметикам отличная атмосферостойкость и долговечность привлекли внимание строителей к новым уплотнительным материалам. Однако эти, пожалуй, самые долговечные герметики, одновременно являются и самыми дорогими, и поэтому эффективность их применения в строительстве пока оправдывается в исключительных случаях.

В последние годы во Франции получили распространение силиконовые мастики «Родорсил», выпускаемые химическим концерном «Рон-Пуленк». Лучшие показатели имеют мастики марок ЗВ и 10552, применяемые для герметизации швов в промышленно-гражданских и гидротехнических сооружениях.

Мастики характеризуются высокой химической стойкостью, а также водо- и атмосферостойчивостью.

Силиконовые мастики фирмы «Рон-Пуленк» являются однокомпонентными, и отверждение их происходит за счет влаги воздуха без добавления катализатора. Мастики хорошо склеиваются со стеклом, керамикой, сталью и алюминием. Перед укладкой мастики на бетон и другие материалы необходимо нанести специальную эпоксидную грунтовку, выпускаемую фирмой «Рон-Пуленк».

В последнее время освоен выпуск однокомпонентных грунтовок 10073 для мастики ЗВ и 10072 для мастик 4С.

Мастику наносят в шов на подоснову, после чего шов расшивают или мастику выравнивают шпателем.

Продолжительность вулканизации мастик зависит от толщины слоя, относительной влажности и температуры воздуха. Так, для мастики 1050ЗВ при толщине слоя 6 мм, температуре воздуха 25°С и его относительной влажности 25% вулканизация мастики продолжается около 100 ч; при 50%-ной влажности — 80 ч и 100%-ной влажности — 45 ч.

В Англии под маркой Seelastik-731 выпускают стойкий силиконовый герметик белого цвета, вулканизующийся в течение 24 часов. Относительное удлинение герметика до 25%, стойкость к температурам в пределах от минус 65°С до 200°С. Герметик имеет хорошую адгезию к стеклу, металлу и пластмассам (Применение герметиков в капитальном строительстве СССР, 1967).

Требования к герметизирующим мастикам и методика их испытаний. Герметизирующие полимерные мастики — это сравнительно новая разновидность материалов, обладающих несомненными достоинствами по сравнению с традиционными герметиками на основе битума и т. п.

Однако в СССР, как и в других странах мира, отсутствуют унифицированные требования к этим материалам и методика их испытания, что в значительной степени затрудняет возможность оценки качества мастик.

Герметизирующие материалы в швах ирригационных конструкций (сборные бетонные и железобетонные облицовки каналов, железобетонные лотки и т. д.), как правило, находятся в очень тяжелых условиях, характеризующихся частой сменой увлажнения и высыхания, облучением солнечными лучами, замораживанием и оттаиванием и т. д. По существующей в гидротехнике классификации, можно считать, что герметики в швах ирригационных конструкций работают в «зоне переменного уровня воды».

Эти условия для полимерных материалов значительно более тяжелые, чем в швах жилых или промышленных зданий, а также в элементах гидротехнических со-

оружений, постоянно или длительный период времени находящихся под водой.

При разработке требований к герметизирующим мастикам для швов ирригационных сооружений учтено то обстоятельство, что мастики в швах в результате температурных деформаций конструкций подвергаются растяжению и обжатию, сменяющимся в относительно короткие промежутки времени.

Наблюдения за герметизирующими материалами в течение нескольких лет показали, что выдерживание их в напряженном состоянии, даже при нагрузках значительно ниже разрушающих, может вызвать в герметике необратимые деформации или привести через сравнительно короткое время к разрушению.

При разработке требований к твердеющим мастичным герметикам, выполненных в УкрНИИГиМ автором книги и А. Р. Гвенетадзе,* в числе других принято положение о способности герметиков длительно сопротивляться внешним воздействиям в напряженном состоянии. При этом за основные показатели мастик приняты деформативность (относительное удлинение при разрыве) и прочность связки мастики с бетоном.

Мастичные герметики, предназначенные для герметизации швов в ирригационных сооружениях, должны удовлетворять следующим требованиям:

предел прочности при растяжении (на отрыв от бетона) — не менее 2 кгс/см²;

относительное удлинение при растяжении — не менее 100%;

морозостойкость, то есть сохранение указанных первых двух свойств после попеременного замораживания (минус 18°С) и оттаивания в воде (20°С), — не менее 300 циклов;

водостойкость, то есть сохранение указанных первых двух свойств после выдерживания в воде при 18°С в течение 30 суток;

сохранение указанных первых двух свойств после десяти циклов выдерживания мастики в растянутом (относительное удлинение 50%) состоянии по режиму: 2 ч в морозильной камере при минус 30°С, 2 ч в воде

---

* Технические требования и методика испытаний на герметизирующие материалы для водохозяйственного строительства. НТС, Минводхоз СССР, 1970.

при 20°С, затем 2 ч в шкафу при 70°С и далее 2 ч в воде при 20°С;

жизнеспособность мастики — не менее 2 ч от момента введения отвердителя, а для однокомпонентных мастик — после извлечения из герметичной тары, где она хранится;

хорошие технологические качества: консистенция, обеспечивающая удобство нанесения мастики в швы различной конфигурации как вручную, так и при помощи различных механизмов, а также хорошее удерживание в вертикальном шве без оплывания.

Приведенные технические требования к твердеющим мастичным полимерным герметикам — это первая попытка их создания. Поскольку опыт работы с мастичными герметиками еще очень ограничен, есть основания полагать, что по мере получения новых данных исследований отдельные положения технических требований потребуют корректировки.

Большие трудности встречаются при разработке унифицированной методики испытания твердеющих полимерных мастик.

Без преувеличения можно сказать, что часто результаты испытаний одних и тех же мастик, выполненные разными специалистами, из-за различий в методах испытаний настолько отличаются, что исключается возможность сравнения их между собой.

Мастичные материалы очень чувствительны к изменениям размеров образцов, скорости их загружения и т. д. Так, при снижении скорости растяжения образцов мастик ГС-1 с 30 до 5 мм/мин предел прочности при растяжении уменьшается с 16,6 до 10 кгс/см², а при скорости нагружения 0,03 мм/мин (что близко к скорости температурных деформаций в течение суток) предел прочности падает до 3,1 кгс/см². В то же время относительное удлинение при разрыве с изменением скорости приложения нагрузки от 0,03 до 30 мм/мин увеличивается незначительно — примерно с 70 до 90% (рис. 13).

Аналогичные результаты получены и при испытании образцов, изготовленных на мастике У-30М.

По данным фирмы «Рон-Пуленк» (Франция), для образцов силиконовой мастики толщиной 2 мм предел прочности при растяжении равен 25 кгс/см², 4 мм — 15 и толщиной 8 мм — 7 кгс/см².

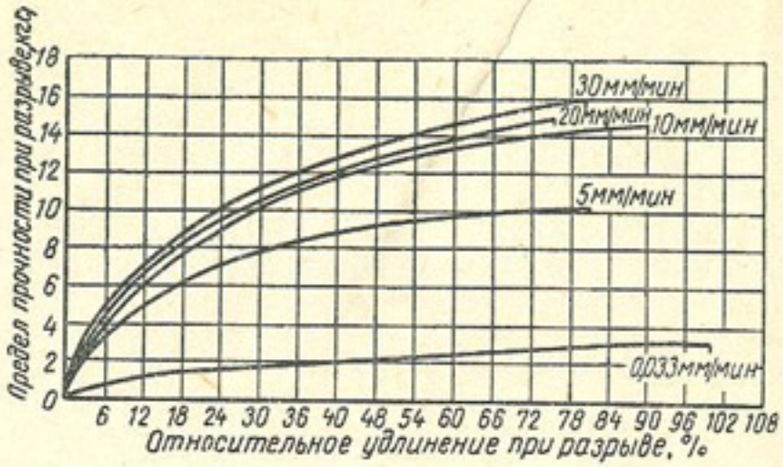


Рис. 13. Влияние скорости нагружения образцов на результаты определения прочности и деформативности мастики ГС-1.

Таким образом, при использовании для опытов неодинаковых по размеру образцов, которые деформируются при испытаниях с различной скоростью, исключается возможность сравнения этих результатов.

ВНИИНСМ предложена методика испытаний герметиков применительно к работе их в швах крупнопанельных зданий (Пфлаумер, Светова и др., 1967).

Отличительные положительные стороны этой методики состоят в том, что применяемые для испытания образцы по размеру и форме близки к натурным; кроме того, ускорение деструкции герметика в процессе испытаний образцов, подвергаемых циклическому воздействию положительных и отрицательных температур, достигается выдерживанием их в напряженном состоянии, что также приближает условия испытаний к условиям работы герметика в швах.

Однако следует отметить, что за основной критерий по этой методике при оценке качества герметиков принят предел прочности при разрыве, в то время как более показательной является способность мастики упруго деформироваться. Именно этот показатель определяет способность мастики в швах многократно изменять размеры, следуя за температурными деформациями стыкуемых элементов.

При разработке новой методики была поставлена задача: условия испытаний еще более приблизить к условиям работы мастики в швах ирригационных сооружений, а также по возможности выявить способность мастик длительно противостоять внешним воздействиям в недеформированном и напряженном состоянии.

Первый вариант такой методики разработан в УкрНИИГиМ автором книги и А. Р. Гвенетадзе. Основные испытания по ней сводятся к следующему:

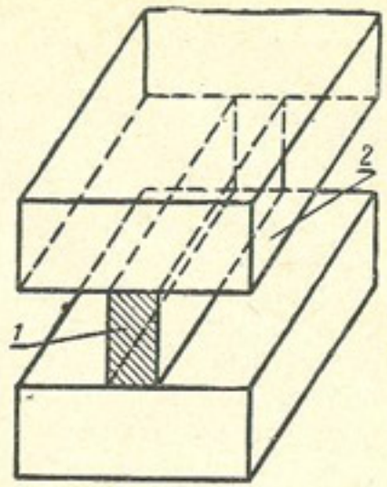


Рис. 14. Образец для определения деформативности и прочности мастик:
1 — мастичный брусок сечением 10×20×50 мм; *2* — бетонная плитка 50×50×20 мм.

1) прочность связи мастики с бетоном, прочность самой мастики, а также ее деформативность в момент разрыва определяются путем растяжения двух цементных плиток размером 50×50×20 мм, соединенных между собой мастичным бруском сечением 50×10 мм, при ширине шва между плитками 20 мм (рис. 14). Растяжение образцов проводится со скоростью 10 мм/мин. Таким образом испытывают образцы воздушного и водного выдерживания, а также образцы, подвергнутые 300 циклам попеременного замораживания и оттаивания;

2) прочность связи мастики с бетоном, а также прочность самой мастики, подвергнутой температурным воздействиям в напряженном состоянии, определяется на образцах, растянутых (на 50%) по п. 1 с фиксацией этого состояния и последующего циклического замораживания и нагревания по режиму: замораживание при 30°С в течение 2 ч, оттаивание в воде при 20°С в течение 2 ч, затем двухчасовое выдерживание в шкафу при 70°С и в течение 2 ч в воде при 20°С.

После выдерживания образцов при заданном числе циклов они подвергаются испытанию на растяжение по п. 1 с определением предела прочности и деформативности мастики при разрыве.

Некоторые специалисты одно время предлагали обязательным испытание атмосфероустойчивости ма-

стики на «Аппарате погоды» ИП-1-3. Однако этот вид воздействия аналогичен простому выдерживанию образцов в воде, то есть отрицательное действие ультрафиолетового облучения и температуры в указанных пределах на результатах испытаний практически не сказывается. В связи с этим трудоемкие и длительные испытания на «Аппарате погоды» в методику не включены.

Полное испытание свойств полимерных герметиков по описанной методике длится 3—3,5 месяца. Естественно, что такие длительные испытания не могут выполняться ни заводами-изготовителями, ни строительными организациями.

В связи с этим необходима разработка экспресс-метода испытаний мастик, который воспроизводил бы результаты испытаний мастик по обычной методике, но в более сжатые сроки.

Разработка экспресс-метода связана с большими трудностями; достаточно сказать, что для таких всесторонне изученных материалов, как бетон, ускоренные испытания морозостойкости еще не созданы.

Несомненный интерес представляет первая попытка в этом направлении, предпринятая ВНИИНСМ (О. Э. Пфлаумер). При испытании по этой методике готовится девять образцов, по форме таких же, как на рисунке 14, но с размерами мастичного бруска 12×12×50 мм. Три из них растягиваются на 100%, фиксируются в таком положении и затем помещаются в воду на сутки. Другие три образца растягиваются на 150% и выдерживаются в напряженном состоянии на воздухе трое суток. Остальные три образца выдерживаются в ненапряженном состоянии на воздухе при 18—20°С, они приняты за эталон. Мастика считается пригодной, если образцы, выдержанные в напряженном состоянии в воде и на воздухе, самопроизвольно не разорвались.

Описанная методика может использоваться только для отбраковки материала, но не для установления его показателей по прочности и ни в коей мере для установления морозостойкости мастик.

Исследования свойств мастик в напряженном состоянии при различных температурно-влажностных условиях с целью разработки экспресс-метода их испытаний ведутся З. С. Вознюк под руководством автора.

Новые полимерные мастики для мелиоративного строительства. В последние годы накоплены значительные данные по результатам испытания полимерных мастичных материалов отечественного и зарубежного производства. Во ВНИИНСМ проведены испытания полиизобутиленовых, тиоколовых и силиконовых мастик отечественного и зарубежного производства (Пфлаумер, Светова и др., 1967).

Прочность силиконовых мастик, как правило, выше тиоколовых и значительно выше полиизобутиленовых. Деформативность некоторых тиоколовых мастик отечественного и зарубежного производства выше, чем силиконовых, у других ниже (табл. 4).

Таблица 4

Результаты испытания мастик отечественного и зарубежного производства

Шифр мастики	Страна—изготовитель мастики	Напряжение, кгс/см²		Относительное удлинение при разрыве, %
		максимальное при растяжении	при разрыве	
Т-1	СССР	—	15,0	50
Т-2	»	—	7,0	150
Т-3	»	8,0	—	360
Т-4	»	1,4	—	140
Т-5	Франция, фирма «Безон»	0,85	—	480
Т-6		1,1	—	520
Т-7	Англия, фирма «Экспендайт»	—	1,7	240
С-1	Франция	—	9,8	330
С-2	Франция, фирма «Рон-Пуленк»	—	8,8	270
С-3	То же	—	8,8	230
С-4	» »	—	8,9	240
П-1	СССР, УМС-50	0,12	—	120
П-2		0,10	—	105

Примечания. 1. Т — тиоколовые мастики, С — силиконовые, П — полиизобутиленовые. 2. В графе «Напряжение» приведены максимальные напряжения, не всегда соответствующие напряжению при разрыве.

Лучшей водостойкостью обладают силиконовые мастики, несколько худшей тиоколовые и наименьшая водостойкость у полиизобутиленовых мастик.

Воздействие трех циклов попеременного растяжения и выдерживания образцов при минус 30°С с последую-

щим обжатием при нормальной температуре показало сильное понижение прочностных характеристик тиоколовых мастик отечественного и зарубежного изготовления с одновременным увеличением их деформативности. В то же время указанные характеристики силиконовых и полиизобутиленовых мастик изменились мало (Пфлаумер, Светова, 1967).

Согласно методике испытания полимерных мастик для водохозяйственного строительства,* в УкрНИИГиМ выполнены лабораторные исследования физико-механических характеристик тиоколовых мастик марок ГС-1, У-30М, ПА, СМ-0,5, КБ-0,5, АМ-0,5, КМ-0,5; Гидром-1, бутилкаучуковой мастики ЦПЛ-2, отечественных силиконовых — У-1-18, эластосил и французской — ЗВ (фирма «Рон-Пуленк»).

Результаты опытов показали, что тиоколовые мастики почти всех марок при выдерживании в помещении обладают хорошей деформативностью и прочностью (табл. 5). По этим признакам они значительно превосходят нормативные показатели.

Практически неизменность указанных свойств мастик установлена при выдерживании на воздухе мастик ГС-1 и У-30М до одного года.

Однако после выдерживания образцов в течение месяца в воде прочность связи мастики с бетоном резко снижается, особенно для мастик ПА и Гидром-1. Еще в большей степени ухудшается деформативность мастик. Очень чувствительными к выдерживанию в воде оказались мастики У-30М; ПА и Гидром-1. Для многих полимерных мастик, в том числе тиоколовых, дальнейшее после месячного срока выдерживание в воде на их адгезионной прочности и особенно деформативности сказывается незначительно (табл. 6).

Отрицательные результаты, полученные при более ранних исследованиях водостойкости мастики ГС-1 (Хасин, 1969), могут быть объяснены худшим качеством мастики, выпускаемой в то время. Не исключено, что это связано и с неоднородностью свойств мастик, выпускаемых различными заводами.

После 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания высокие деформативность и прочность на-

* Технические требования и методика испытаний на герметизирующие материалы для водохозяйственного строительства. НТС, Минводхоз СССР, 1970.

Таблица 5

Результаты испытаний мастичных герметиков

Показатели	Технические требования	Мастики														
		тиоколовые										бутилкаучуковая	силиконовые			
		ГС-1	У-30М	ПА	СМ-0,5	КБ-0,5	Гидром-1	КМ-0,5	АМ-0,5	ЦПЛ-2	У-1-18	эластосил	ЗВ
Относительное удлинение при растяжении (выдерживание на воздухе 30 суток)	Не менее 100%	78	28	262	687	237	381	380	127	220	82	245	365
Предел прочности при растяжении (выдерживание на воздухе 30 суток)	Не менее 2 кгс/см²	7,1	3,2	4,5	3,9	5,8	2,3	2,6	4,5	3,6	2,6	6,4	11,6
Водостойкость (30 суток в воде)													
Относительное удлинение при растяжении	Не менее 100%	38	10	23	75	125	40	45	117	42	12	Отслонилась от бетона через 3—4 суток	330

Продолжение

Показатели	Технические требования	Мастики																					
		тиоколовые												бутилкаучуковая	силиконовые								
		ГС-1	У-30М		ПА	СМ-0,5	КБ-0,5	Гидром-1	КМ-0,5	АМ-0,5				ЦПЛ-2	У-1-18				ЗВ				
Предел прочности при растяжении	Не менее 2 кгс/см²	5,6	2,8		0,58	1,3	3,3	0,2	2,0	1,7				1,5	0,5				10,9				
Морозостойкость (300 циклов замораживания и оттаивания)	Не менее 100%	31	Отслоилась от бетона через 150 циклов	То же	22	65	92	200* / 115	67	130				35	100 / 15		Отслоилась от бетона через 3 4 суток		190	Отслоилась от бетона через 150 циклов	То же		
Относительное удлинение при растяжении																							
Предел прочности при растяжении	Не менее 2 кгс/см²	2,2			0,3	0,2	3,6	200 / 0,2	3,3	2,1				3,0	100 / 0,8				7,1				

* Мастика отслоилась от бетона после 250 циклов (в числителе — число циклов).

Таблица 6

Прочность (кгс/см² в числителе) **и деформативность** (% в знаменателе) **мастики ГС-1 и У-30М после выдерживания в воде**

Мастика	Время выдерживания, сут					
	7	30	120	150	210	360
ГС-1	6 / 47	5,6 / 38	3,8 / —	4,5 / 47	3,5 / 46	5,5 / 58
У-30М	2,9 / 19	2,8 / 10	3,2 / —	2,8 / 33	2,7 / 27	1,4 / 24

блюдаются только у мастики АМ-0,5 и КБ-0,5. Это наиболее суровый вид испытаний для тиоколовых мастик.

Для районов, где требование к морозостойкости можно было бы снизить, представляют интерес данные по морозостойкости мастики после 100 и 200 циклов замораживания. Кроме КБ-0,5, хорошие показатели имеют также мастики ПА (табл. 7). Характерно, что для ряда тиоколовых мастик после 100 циклов дальнейшее замораживание мало сказывается на их свойствах.

Таблица 7

Результаты испытания на морозостойкость различных мастик

Мастика	Относительное удлинение, %			Предел прочности при растяжении, кгс/см²		
	число циклов					
	100	200	300	100	200	300
ГС-1	23	—	31	1,8	—	2,2
У-30М	13	Отслоилась через 150 циклов	—	2,0	—	—
ПА	40	57	22	1,2	1,2	0,3
СМ-0,5	—	—	65	—	—	0,2
КБ-0,5	102	110	92	3,4	3,5	3,6
Гидром-1	125	115	Отслоилась	0,5	0,2	—
АМ-0,5	65	142	130	4,9	1,4	2,1
КМ-0,5	22	—	67	1,2	—	3,3
ЦПЛ-2	35	32	35	1,0	3,1	3,0
ЗВ	275	270	190	9,4	9,6	7,1

Описанным испытаниям подвергались образцы мастик из промышленных партий, выпускаемых заводами. Этим объясняется некоторое несоответствие с результатами испытаний заводских опытных образцов мастик по другим данным (Лукинский, 1971).

Испытание бутилкаучуковой мастики холодного отверждения ЦПЛ-2 показало хорошую деформативность и прочность при выдерживании ее на воздухе и худшие показатели при выдерживании в воде, а также при испытании после 300 циклов замораживания и оттаивания. Эти мастики обладают большой усадкой (65—70 мм/м), что в производственных условиях часто приводит к отрыву мастики от бетона в период ее вулканизации. Недостаток их — необходимость грунтовки бетона с предварительным хорошим просушиванием.

Тиоколовые мастики не требуют нанесения грунтовочного слоя и менее чувствительны к повышенной влажности основания. Линейная усадка их в период вулканизации не превышает 2—4 мм/м.

П. Д. Реутин (1971) установил возможность укладки тиоколовых мастик на влажный бетон и даже под водой, а также при отрицательных (до минус 10°С) температурах. Е. Н. Смирнов (1971) отмечает стабильность тиоколовых мастик после их выдерживания при температурах от минус 40 до 50°С. Все это выгодно отличает их от других мастик. Учитывая сырьевые возможности и стоимостные показатели бутилкаучуковых мастик, им, как и тиоколовым, также принадлежит будущее.

Хорошие показатели получены при испытании однокомпонентной силиконовой мастики ЗВ французской фирмы «Рон-Пуленк». Однако эти мастики требуют нанесения грунтовочного слоя на достаточно просушенный бетон. Кроме того, этот вид мастик довольно дорог. Неводостойки и неморозостойки силиконовые мастики У-1-18 и эластосил.

Как указывалось, при разработке технических требований и методики испытаний мастик для водохозяйственного строительства первоначально предполагалось назначить определенные требования к атмосфероустойчивости мастик, устанавливаемых в процессе их испытания в «Аппарате погоды» ИП-1-3. Считалось, что мастики могут оказаться чувствительными к ультрафиолетовому облучению.

Таблица 8

Результаты испытаний атмосферостойкости тиоколовых мастик ГС-1 и У-30М

Условия выдерживания образцов	Предел прочности при отрыве от бетона, кгс/см²						Предел прочности при разрыве, кгс/см²						Относительное удлинение при разрыве, %					
	Эталон	40	75	140	250	270	Эталон	40	75	140	250	270	Эталон	40	75	140	250	270
Мастика ГС-1																		
Циклично: 8 ч в ИП-1-3; 16 ч в воде	7,1	6,6	6,7	4,8	5,5		12,7	12,8	12,5	12,7	12,7		119	149	191	145	145	
Мастика У-30М																		
Циклично: 8 ч в ИП-1-3; 16 ч в воде	4,4	3,5	2,8	3,5	2,7		15,9	14,1	18,1	18,4	18,6		93	76	92	81	80	

Примечание. В числителе указано число циклов испытаний.

Для этого мастики ГС-1 и У-30М подвергали испытаниям в ИП-1-3, где образцы постоянно облучались ртутно-кварцевыми лампами ПРК-2М при температуре воздуха 50—55°С. Кроме этого, в течение трех минут они поливались водой, а затем 17 мин высушивались. Смена периодов увлажнения и высушивания проводилась автоматически за все время работы аппарата.

В процессе определения атмосфероустойчивости мастик образцы 8 ч находились в аппарате ИП-1-3, затем 16 ч в воде комнатной температуры.

Длительное ультрафиолетовое облучение тиоколовых мастик при повышенной температуре с последующим выдерживанием в воде снижает адгезионную прочность как для ГС-1, так и для У-30М практически в тех же пределах, что и месячное их выдерживание в воде, то есть отрицательное действие ультрафиолетового облучения и повышенной температуры при нахождении мастик в ненапряженном состоянии не проявляется.

Это подтверждается также испытаниями когезионной прочности и относительного удлинения мастики при растяжении (табл. 8).

Результаты этих опытов позволили отказаться от весьма длительных испытаний твердеющих полимерных мастик на атмосфероустойчивость в аппарате ИП-1-3.

Следует предъявить более жесткие требования к продукции заводов, выпускающих полимерные мастики для водохозяйственного строительства. Если в тиоколовых и бутилкаучуковых мастиках, предназначенных для различного типа зданий, содержатся большие резервы — возможность снижать их прочность и деформативность, то в мастиках, предназначенных для сооружений на водохозяйственных объектах, их нет. Значительные колебания в качестве мастик, выпускаемых разными заводами или в различных партиях одного и того же завода, как это установлено выборочными определениями (табл. 9), недопустимы. Необходимо установить специальные требования к однородности мастик.

В связи со слабой изученностью полимерных герметиков большое значение имеет производственное опробование мастичных герметиков.

Исследование тиоколовых мастик ГС-1 и У-30М УкрНИИГиМ проводится с лета 1968 г. на канале ХР-351 (Крым, колхоз «Страна Советов»).

Таблица 9

Свойства мастик, полученных из различных партий заводов-изготовителей

Показатели	Мастичный герметик								
	КБ-0,5 Пермского завода	КБ-0,5 Казанского завода		КМ-0,5 Казанского завода			ЦПЛ-2 Киевского завода		
		партия							
		1	2	1	2	3	1	2	3
Относительное удлинение при растяжении (хранение на воздухе), %	687	237	70	117	82	215	232	545	120
Предел прочности при растяжении (хранение на воздухе), кгс/см²	3,9	5,8	5,1	2,4	9,5	7,1	2,2	1,5	4,6
Относительное удлинение после водного хранения, %	105	125	10	32	15	17	118	42	35
Предел прочности после водного хранения, кгс/см²	1,7	3,3	1,0	1,6	0,4	1,0	2,2	1,4	2,8
Относительное удлинение после 300 циклов замораживания и оттаивания, %	200 циклов / 195	92	Отслоилась от бетона через 300 циклов	100 циклов / 22	15	20	Отслоилась от бетона при 300 циклах	35	39
Предел прочности при растяжении после 300 циклов замораживания и оттаивания, %	200 циклов / 2,1	3,6	То же	100 / 1,2	0,3	0,6	То же	3,0	2,5

В безраструбных параболических лотках глубиной 60 см и длиной 8 м швы шириной 2 см уплотняли снизу пороизолом, а поверх него слоем 1—1,5 см наносили мастику. При этом 22 шва были заделаны мастикой ГС-1 и 33 шва — мастикой У-30М. Расход ее в среднем на 1 м составлял 0,4 л.

Образование трещин в некоторых мастичных швах началось уже в первый месяц после ее укладки. Осенью 1968 г. трещины в швах после промывки и сушки были заделаны той же мастикой.

Учитывая большое расстояние между швами и незначительную ширину швов, условия работы герметика, имея в виду деформации в швах в результате температурных смещений лотков и их неравномерной осадки, оказались тяжелыми. Уже в первый месяц после укладки мастики в некоторых швах появились трещины. Несмотря на ремонт швов, выполненный теми же мастиками, в отдельных швах вновь появились трещины. В ряде швов, герметизированных мастикой ГС-1, разрывалась не мастика, а отрывались куски бетона от лотка, что подтверждает высокую адгезионную прочность ГС-1 и недостаточную для данных условий эластичность герметика. Через год эксплуатации из 22 швов, герметизированных ГС-1, дефектными оказались 3 шва. Из 33 швов, герметизированных мастикой У-30М, 31 шов требовал ремонта, разрыв мастики в этом случае происходил, как правило, по контакту мастики с бетоном.

Аналогичные опыты были поставлены на лотковом канале Х-84 Татарбунарской оросительной системы (Одесская область). Здесь летом 1968 г., как и в предыдущем случае, 30 швов поверх пороизола были заделаны мастикой ГС-1 и 32 шва — мастикой У-30М. Однако лотки были короче (6 м), а ширина швов составляла 3—4 см.

При обследовании после двух и трех лет эксплуатации установлено, что мастика У-30М отслоилась от бетона в 50% швов, в то время как мастика ГС-1 сохранилась в 85% швов.

Весной 1968 г. на канале 1-Р-6 Татарбунарской оросительной системы в опытном порядке была выполнена герметизация швов теми же мастиками в сборной железобетонной облицовке канала.

Швы (ширина 4 см) между плитами размером

6×0,6×0,06 м на дне канала и плитами на откосах размером 6×1,2×0,06 м первоначально уплотняли пороизолом или мешковиной с таким расчетом, чтобы толщина мастичного слоя, укладываемого сверху, составляла 1—1,5 см.

Осмотр после пяти лет эксплуатации показал полную сохранность швов, герметизированных как мастикой ГС-1, так и У-30М. Объясняется это тем, что в данном случае мастика работала в более легких условиях, чем в лотках (из-за большей ширины швов и меньших размеров железобетонных плит).

Широкие производственные испытания проходят тиоколовые, а также бутилкаучуковая мастика с осени 1970 г. на Черноморской ветке Северо-Крымского канала.

Канал по дну облицован монолитным бетоном толщиной 15 см. По откосам длинной стороной перпендикулярно оси канала уложены преднапряженные железобетонные плиты размером 4,85×1,5×0,06 м. Поперечные швы в облицовке откосов герметизированы тиоколовой мастикой КМ-0,5 Казанского завода СК.

Мастичные швы выполнялись шириной 3 см и толщиной 1 см. Для получения необходимой толщины мастичного шва между плитами в шов засыпали песок, а поверх него укладывали полосы картона. В некоторых швах подготовка под мастику выполнена из тощего цементно-песчаного раствора без простилки картоном.

Таким способом было герметизировано 200 откосных швов общей протяженностью около 1000 м. Расход мастики на 1 м шва составил 0,5 кг.

Осмотр зимой 1973 г. показал хорошую сохранность мастики в швах, за исключением двух швов между откосными плитами, где бетон был плохо очищен от грязи.

В 1972 г. на канале РЧ-3 Красногвардейской ветки Северо-Крымского канала проведена герметизация швов тиоколовыми мастиками КМ-0,5 и КБ-0,5 с использованием установки УМПГ-2, разработанной Укроргводстроем (Н. К. Захарченко). Канал РЧ-3 проходит в выемке, облицовка его выполнена преднапряженными плитами НПК размером 6,0×1,5×0,06 и 6×1,0×0,06 м. Ширина поперечных швов проектом установлена в 3 см, в действительности она составила 4—5 см, ширина продольных швов по проекту и в исполнении — 3 см.

5 Заказ № 5755

Установка УМПГ-2* (рис. 15) предназначена для приготовления холодной полимерной мастики высокой вязкости, наполнения труб готовой смесью и укладки герметика в стыке сборной облицовки.

Базовой машиной УМПГ-2 является самоходное шасси Т-16, которое обеспечивает мобильность и независимость установки от источника энергии.

Установка УМПГ-2 состоит из самоходного шасси *1*, к продольным лонжеронам которого крепится рама *9*. На раме смонтированы смесительная камера *10*, приводной стакан *6* и два гидроцилиндра *8*.

Привод установки осуществляется от вала отбора мощности самоходного шасси через редуктор *12* и цепную передачу *11*, через приводной стакан *6* на центральный вал. К этому валу в смесительной камере крепится смешивающий орган, а также помещен поршень, связанный с механизмом включения *7*. К картеру заднего моста шасси крепится рама *4*, на которой смонтирован компрессор *5* и ресивер *2*. Привод компрессора осуществляется от коленчатого вала двигателя шасси через клиноременную передачу *3*. В комплект установки входит запорная арматура, шланги для подачи сжатого воздуха и восемь туб емкостью 5 л каждая.

Работы по герметизации стыков проводились в такой последовательности.

После тщательной очистки шва и торцов плит от грязи, жировых пятен и т. п. он частично заполнялся жестким цементным раствором состава 1 : 5 и затем, когда раствор отвердевал, на него наносилась водная суспензия жидкого мыла с тальком, предложенная отделом стройматериалов УкрНИИГиМ в качестве противоадгезионного слоя.

Для предохранения торцовых поверхностей плит от загрязнения цементным раствором и противоадгезионной смазкой в период этих работ к ребрам плит прикладывали легкие инвентарные уголки из тонкой жести.

Приготовление мастики проводилось путем последовательной загрузки тиоколовой и вулканизующей паст

* Инструкция по уходу и эксплуатации установки УМПГ-2 для приготовления и укладки герметика ЦПЛ. «Укроргводстрой» Минводхоза УССР, Киев, 1971.

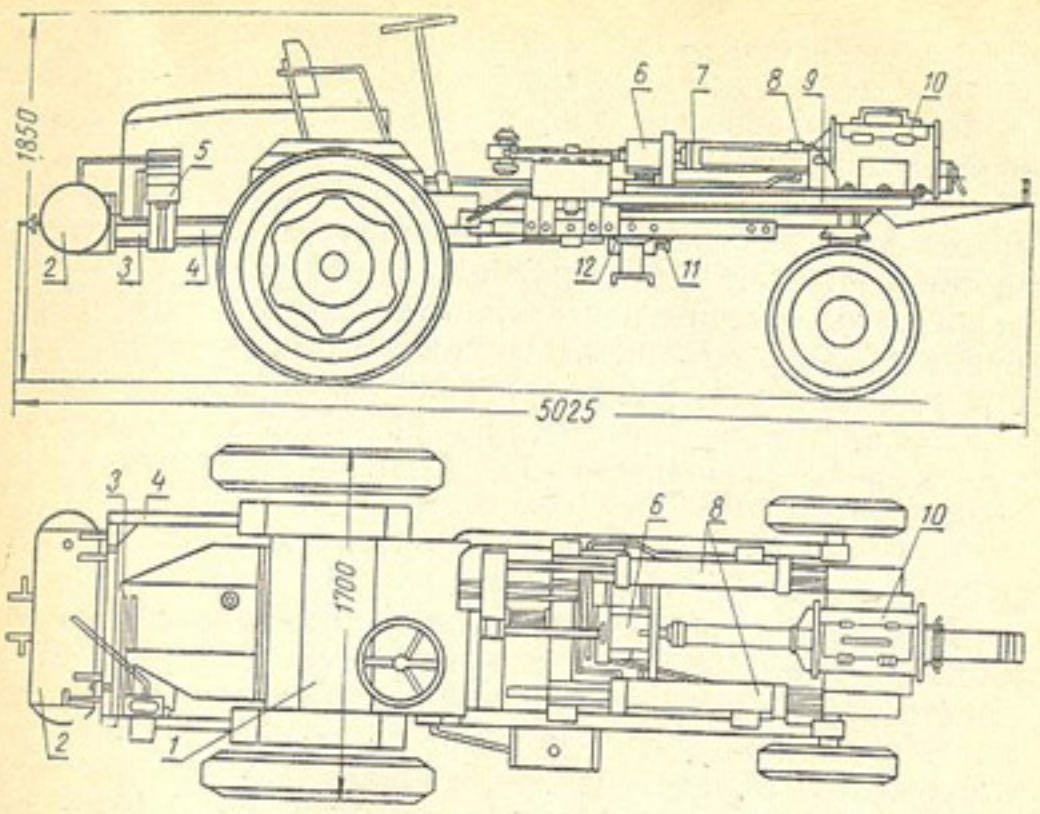


Рис. 15. Установка УМПГ-2 для герметизации швов мастиками:
1 — самоходное шасси; *2* — ресивер; *3* — клиноременная передача; *4* — рама; *5* — компрессор; *6* — приводной стакан; *7* — механизм включения; *8* — два гидроцилиндра; *9* — рама; *10* — смесительная камера; *11* — цепная передача; *12* — редуктор.

в смесительную камеру установки УМПГ-2 и последующего в ней перемешивания до полного растворения крупинок отвердителя № 30 (при изготовлении мастики КМ-0,5) или пока не исчезнут в смеси желтые прожилки и пятна отвердителя Б-1 (при изготовлении мастики КБ-0,5). Приготовление тиоколовых мастик обычно длится не более 2,5—3 мин. Далее открывается разгрузочный люк смесительной камеры, в его пазы вставляется туба и поворотом закрепляется. Включением движения поршня вперед туба загружается; заполнение тубы контролируется сигнализатором, установленным с тыльной ее стороны. После наполнения тубы движение поршня прекращается, туба поворотом выводится из пазов разгрузочного люка и переносится к месту укладки. Таким же образом наполняется следующая туба.

Укладка герметика в стыке осуществлялась путем подключения тубы к компрессору установки через воз-

душные шланги и выдавливанием мастики из тубы сжатым воздухом под давлением 4—5 кгс/см².

Разравнивание мастики в шве выполнялось деревянным шпателем.

Там же проводилась отработка механизации по изготовлению мастик в малых количествах. Для этого применялась электродрель, на рабочем органе которой закреплены смесительные лопатки. Для перемешивания в банке с мастикой вырубали крышку, добавляли отверждающую пасту и опускали вращающийся рабочий орган. Движением дрели вверх и вниз добивались тщательного смешивания обеих паст до однородного состояния.

Внесение пасты в швы и ее разравнивание проводилось вручную.

Для осуществления этих работ необходима передвижная электростанция с трансформатором на 36 В и электродрель ИЭ-1015. При наличии компрессора с рабочим давлением до 5 кгс/см² мастику можно заливать в тубы и в последующем укладывать описанным выше способом. Все указанное оборудование размещают на прицепе к трактору. Такую передвижную установку можно использовать при ремонтных работах, выполняемых эксплуатационными организациями.

При ширине швов 3 см расход мастики с учетом потерь составляет 0,4 кг/м. В этом случае при стоимости мастики 3,8 руб/кг устройство 1 м шва (с учетом всех работ и материалов) обходится в 2 руб.

На канале РЧ-3 в Крыму и Р-1 Каховской оросительной системы в опытном порядке проведена герметизация швов путем приклеивания к торцам смежных плит полос из тиоколовой мастики КМ-0,5. Полосы готовили заблаговременно шириной 10 см и толщиной 0,2 см. Приклеивание полос к торцам плит проводилось той же мастикой, сверху полоса защищалась цементным раствором состава 1 : 5.

Расход мастики в указанном случае составил 0,3—0,35 кг на 1 м шва, ориентировочная стоимость при использовании КМ-0,5—1,6—1,7 руб/м. Устройство такого шва при явных его достоинствах в ряде случаев затруднено из-за выпусков арматуры и при наличии в торцах плит монтажных петель.

В 1970 г. на Черноморской ветке Северо-Крымского канала Укргипроводхозом были также проведены опытные работы по заделке швов бутилкаучуковой мастикой ЦПЛ-2.

Мастика укладывалась поверх пороизола. Всего было герметизировано 83 шва общей длиной 402 м.

Осмотр, проведенный через несколько месяцев, показал, что в большинстве швов наблюдаются отслоения или трещины в основном по плоскостям контакта мастики с бетоном.

Неудача опыта объясняется главным образом большими деформациями усадки, характерными для бутилкаучуковых мастик.

Хорошие результаты лабораторных исследований силиконовой мастики ЗВ фирмы «Рон-Пуленк» (см. табл. 5) подтверждены производственными опытами, выполненными на Украине, в Узбекистане и Грузии в период с 1966 по 1971 г. (Васькович, 1967; Гринюк, 1968; Елшин, Мощанский, Олехнович, Берман, 1969).

Имеются сведения (Елшин, 1969) об успешном применении во Франции силиконовой мастики ЗВ фирмы «Рон-Пуленк» при строительстве в 1964 г. плотины Эгюзон (департамент Эндр), ремонте плотины Жиротт (Альпы) в 1963 г., при опытных работах на плотине Камбон (департамент Изер) в 1967 г.

Перед укладкой мастики на указанных сооружениях швы и трещины с напорной стороны бетонных плотин разделывались специальной машиной в виде треугольной щели глубиной и шириной 3 см. Затем щель очищали от пыли щеткой и вручную наносили грунтовку. Укладку мастики в шов проводили за 2 раза с 20-минутным перерывом.

Таким образом, применение тиоколовых мастик для герметизации швов в сборной железобетонной облицовке каналов является оправданным. Из числа испытанных лучшими мастиками считаются АМ-0,5, КБ-0,5 и КМ-0,5. Для определенных конкретных условий не исключается возможность применения и других разновидностей мастичных герметиков этого типа.

Для герметизации швов в облицовках каналов, очевидно, найдут применение и бутилкаучуковые мастики холодного отверждения. Необходимо продолжить исследования этих мастик с целью значительного снижения усадки и определения рациональных случаев их применения, в частности для конструкций «оклеечных швов».

Перспективными также считаются разработанные лабораторией гидроизоляции ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева битумно-полимерные мастики БИТЭП. Область их применения определится после завершения производственных испытаний на Украине, в Молдавии и в Средней Азии.

В настоящее время стоимость полиизобутиленовых мастик составляет 0,2—0,3 руб/кг, тиоколовых — 3,5—4,0, бутилкаучуковых — 1,7—2,6 и силиконовых — 6—8 руб/кг.

При расходовании 0,4—0,6 кг мастики на 1 м шва стоимость тиоколовой мастики для герметизации шва составляет 1,7—2,5 руб. Это пока дорого, если иметь в виду, что стоимость устройства 1 м шва, герметизированного битумной мастикой, с затратами на рабочую силу равняется 0,7—0,75 руб. Однако, как показали обследования на Украине, битумный шов восстанавливается в среднем через 2—3 года, то есть затраты на его устройство за десятилетний срок составляют 2,8—3,0 руб. Можно считать, что затраты на ремонтные работы при устройстве, например, тиоколового шва за десятилетний период будут незначительными. В этом случае при существенном снижении трудовых затрат герметизация швов тиоколовыми мастиками уже при нынешней их стоимости может считаться рациональной.

Битумно-полимерные мастики. Применение битумов и мастик на их основе в условиях резкого изменения температур не может обеспечить надлежащей трещиностойкости и деформативной способности покрытий и конструкций. Однако полимеры еще дороги и дефицитны, поэтому большой интерес представляют битумно-полимерные композиции, в известных пределах сочетающие технологические и экономические преимущества обычных асфальтов с эластичностью и трещиностойкостью полимеров (Попченко, 1971).

Во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева исследования битумно-полимерных композиций начаты еще в 1948 г. с совмещения битумов с резиновой крошкой и высокомолекулярным полиизобутиленом П-200.

В последние годы проводятся широкие исследования применения добавок латекса, отходов химической промышленности (пиролизные смолы КОРС), синтетического каучука (дивинилстирольный, дивинилнитрильный, карбоксилатный, бутиловый, дивинилхлоридный, этиленпропиленовый, хлорсульфированный и наиритный), а также низкомолекулярного полиэтилена.

Испытания физико-механических свойств битумно-полимерных композиций показали, что полимерные добавки в большинстве случаев не снижают водонепроницаемости, водостойкости и химической стойкости нефтяных битумов, но резко изменяют их структурно-механические свойства, повышая теплостойкость, а при пониженных температурах деформативность и трещиностойкость.

С. Н. Попченко делит полимерные добавки на пластифицирующие и структурирующие. Пластифицирующие добавки разжижают дисперсную среду битума, не изменяя его коллоидной структуры (это каучуковые растворы полиизобутилена, полидиены и КОРС). Примерно также действуют неотвержденные эпоксидные смолы, мономер ФА и др. Все они, повышая морозостойкость битумов, снижают их тепло- и водостойкость, поэтому из этой группы в качестве пластификатора рекомендуется только КОРС.

Большинство каучуков, резины, коагулюмы, полиэтилен и другие полимеры являются структурирующими добавками. Они создают самостоятельную цепочечную или сетчатую структуру, пронизывающую дисперсную среду коллоидного комплекса битума и связывающую его коагуляционную структуру.

Такая структура образуется уже при добавке 2—6% каучука к битуму, в корне изменяя его структурно-механические свойства. Так, при добавке дивинилстирольного латекса СКС-30, дивинилметакрилового латекса СКД-1, этиленпропиленового и бутилкаучука, а также низкомолекулярного полиэтилена и наирита резко повышается теплостойкость битума БН-IV при одновременном повышении адгезии к бетону и снижении температуры хрупкости.

Изучение структурно-механических свойств битумно-полимерных композиций при оптимальных температурах показывает, что замена битумов полимерно-битумными материалами позволяет в десятки раз снизить расчетные напряжения в герметике (Попченко, 1971).

Во ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева изучено введение добавки низкомолекулярного полиэтилена, этиленпро-

пиленового каучука и бутилкаучука марки А (Кисина, Стабников, 1971).

При введении каучука увеличивается температура размягчения и теплостойкость, устраняется оплывание материала на наклонной плоскости при 60°С.

Таблица 10

Вариант состава с добавкой	Температура, °С		Прочность сцепления с бетоном, кгс/см²
	размягчения	хрупкости	
Битум БН-IV и СКЭП (15%)	142	Минус 34,5	6,1
Композиция с бутилкаучуком (15%)	126	Минус 25	2,3
Полиэтилено-битумные композиции (БН-IV с 10% полиэтилена низкомолекулярного)	88	Минус 7	0,8
Битум БН-IV	78,5	5	1,5

Максимальная тепло- и морозостойкость получена у состава со СКЭП (этиленпропиленовый каучук) и с добавкой бутилкаучука, при этом также наблюдали самую низкую температуру хрупкости (табл. 10). Дальнейшее увеличение добавок не улучшает свойства, а лишь увеличивает стоимость материала (Кисина, Стабников, 1971).

Композиция с этиленпропиленовым каучуком (мастика БИТЭП) обладает высокой водостойкостью. За пять месяцев выдерживания ее в воде водопоглощение составило 2,3%, причем оно стабилизируется во времени.

Наибольшее водопоглощение у бутилкаучуковой композиции. После выдерживания в везерометре 350 ч лучшие показатели у БИТЭП, но они все же хуже, чем у тиоколовых мастик.

Повышение адгезии битумно-полимерных мастик — весьма важная задача. Введение 0,05% фторированного амина увеличило прочность сцепления с бетоном до 7 кгс/см².

Если вводить добавку СКЭП не в мастику, а в разжиженный битум, применяемый для грунтовки в количестве 0,05%, то адгезия увеличивается вдвое по сравнению с грунтовкой из битума.

Для изготовления мастики БИТЭП рекомендуется введение 15% СКЭП (Технические указания по устройству гидроизоляции фундаментов мастикой БИТЭП, 1971).

С завода поступает отвальцованная масса битума и каучука в заданном соотношении. На стройке ее вместе с обезвоженным битумом загружают в битумоварочный котел, подогревают до 180—200°С и перемешивают в течение 30 мин.

Такой мастикой в 1970 г. проведена герметизация 90 м деформационных швов в железобетонной облицовке Рыбницкой оросительной системы. В 1971—1972 гг. опыты по применению БИТЭП поставлены на Украине.

Институтом ВНИИЗеммаш разработана конструкция заливщика швов для герметизации стыков в бетонных покрытиях дорог, аэродромов и каналов битумно-полимерными герметиками.

Недостаток исследованных материалов состоит в том, что приготовляют и применяют их только в горячем состоянии.

С. Н. Попченко (1971) считает, что использование вулканизующих и поверхностно-активных добавок, реакционноспособных разбавителей позволит создать «холодные» полимерно-битумные герметики и асфальтополимербетоны.

Границы их применения в этом случае будут значительно расширены.

Уплотнение швов облицовок каналов полимерными пленками. Трудности, связанные с разработкой конструкции и изысканием материалов для герметизации швов в сборных облицовках оросительных каналов и железобетонных лотках, в такой же степени распространяются и на облицовки из монолитного бетона.

Как отмечалось, в 1955 г. на строительстве канала Северский Донец—Донбасс применялись резиновые шпонки, которые не получили дальнейшего распространения из-за сложности выполнения, высокой стоимости и недостаточной стойкости резины в зонах переменного горизонта воды и надводной.

Идея эта была возрождена в УкрНИИГиМ (Елшин, Гвенетадзе, 1968) и осуществлена в 1967 г. на опытных участках Белогорской (Крым), а затем Татарбунарской (Одесская область) оросительных системах,

где для уплотнения швов использовали полиэтиленовую стабилизированную пленку толщиной 0,2 мм.

Производственным испытаниям предшествовали лабораторные опыты, которые показали, что при заделке полиэтиленовой пленки в монолитный бетон за счет усадочных деформаций в нем происходит хорошее защемление пленки. При этом достаточно высокое состояние обжатия сохраняется после длительного попеременного увлажнения и высушивания, а также замораживания и оттаивания конструкции соединения. Опыты также показали, что фильтрация вдоль пленки, заделанной в бетон, находится почти в тех же пределах, что и в монолитном бетоне без пленки.

Широкое производственное испытание пленочной шпонки продолжено в 1968 г. на канале Х-71 Татарбунарской оросительной системы, где вместо битумного шва обычной конструкции применили уплотнение пленкой.

Работы выполняли в такой последовательности: за 20—30 мин до бетонирования всей секции облицовки на участке шириной 30—40 см поперек оси канала укладывали слой бетона, равный половине толщины облицовки, с прокладкой доски толщиной 4 см (по ширине шва). После извлечения досок в шов укладывали полосу пленки шириной 30 см.

Затем вновь устанавливали доску и слой бетона, прикрывающий пленку, доводили до проектной толщины. Для исключения образования строительного шва в облицовке к этому времени завершалось бетонирование секций с обеих сторон шва. В это же время убирали доски. В последующем при толщине облицовки более 10 см доску вообще не извлекали (см. рис. 19).

Для устранения механических повреждений пленки в процессе эксплуатации, а также обеспечения нормальных гидравлических условий работы канала на следующий день открытый шов заполнялся шлаковатой толщиной 2 см*. Вслед за этим шов заделывался цементным раствором состава 1:3 заподлицо с поверхностью облицовки.

Через некоторое время в цементном растворе из-за усадки бетона в смежных плитах образовывались трещины, которые в данном случае, будучи безопасными с точки зрения фильтрационных потерь, компенсировали температурные деформации в процессе эксплуатации облицовки.

* В последующем от мягкой прокладки повсеместно отказались, так как повреждения пленки при деформации швов не наблюдались.

Технология шва такой конструкции довольно проста. На устройство 1 м шва затрачивается до 5—10 мин при его стоимости около 22 коп/м.

Фильтрационные измерения методом изолированных водных отсеков, выполненные на шести пленочных швах через три месяца после их устройства, показали полное отсутствие фильтрации воды через швы.

Аналогичное определение фильтрации проводилось в 1969—1971 гг., которое также подтвердило надежность швов указанной конструкции при условии тщательного их выполнения.

Пленочная шпонка с 1968 г. широко применяется Крымканалстроем (проект Укргипроводхоза) на отдельных участках Магистрального Северо-Крымского канала и на Красногвардейской и Азовской ветках, а в последующем и на Каршинской оросительной системе.

Этот тип уплотнения шва имеет существенный недостаток: он выполняется вручную. Учитывая очень низкую стоимость пленочной шпонки, что пока выгодно отличает эту конструкцию от других вариантов герметизации шва полимерными мастиками, следует изучить возможность механизации работ.

Пленочная шпонка во всех случаях может оказаться более предпочтительной, чем другие конструкции швов, при сильно деформируемых грунтах основания.

В УкрНИИГиМ также рассмотрен вариант герметизации пленкой швов в сборной железобетонной (бетонной) облицовке каналов.

При этом опробовано два способа герметизации швов. В первом случае весь процесс изготовления деформационного шва заключается в ряде последовательно выполненных операций, которые могут быть разбиты на две стадии.

Первая стадия — это изготовление железобетонных плит на заводах железобетонных изделий. В процессе производства плит, кроме обычных операций, добавляется операция заделки пленки в торцы плиты.

Вторая стадия — это укладка плит в ложе канала, где и проводится герметизация швов. При этом высту-

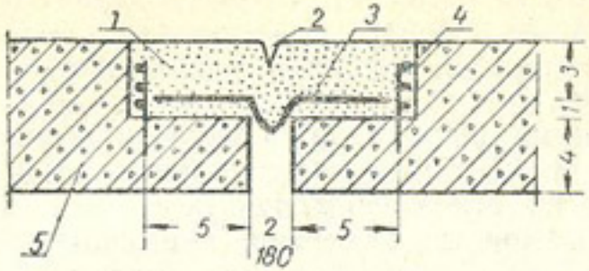


Рис. 16. Пленочная шпонка облицовки из сборных плит:

1 — цементный раствор; *2* — паз; *3* — полиэтиленовая пленка; *4* — арматура; *5* — сборная плита.

пающие из торцов смежных плит полосы пленок сваривают между собой переносным сварочным аппаратом. Затем сваренные полосы пленки прячут в шов и последний заделывают цементным раствором.

При втором способе процесс изготовления деформационного шва заключается в укладке пленки в четверти плит с последующим заполнением шва расширяющимся раствором (рис. 16).

Оба способа устройства пленочного шва в сборной облицовке испытаны на одном из объектов строительства Крымканалстроя (Крым, совхоз «Роздольненский»).

Особое внимание в процессе работ следует обращать на сохранность пленочных полос в процессе изготовления плит на заводе при их транспортировке и монтаже, а также на чистоту пленки, иначе условия для сварки осложняются.

Герметизация шва при втором способе выполняется очень просто, однако несколько сложнее процесс изготовления плит в заводских условиях.

Какой из указанных способов устройства пленочной шпонки окажется предпочтительнее, покажет будущее. По мнению автора книги, первый способ более простой, но менее надежный.

О. А. Лукинский (1971) предлагает в заводских условиях заделывать в железобетонные плиты не полиэтиленовую пленку, а стеклотиокол. Он представляет собой стеклоткань СТС-4 толщиной 0,25 мм, покрытую с обеих сторон тиоколовой мастикой. Для склеивания между собой стеклотиоколовой ткани при образовании

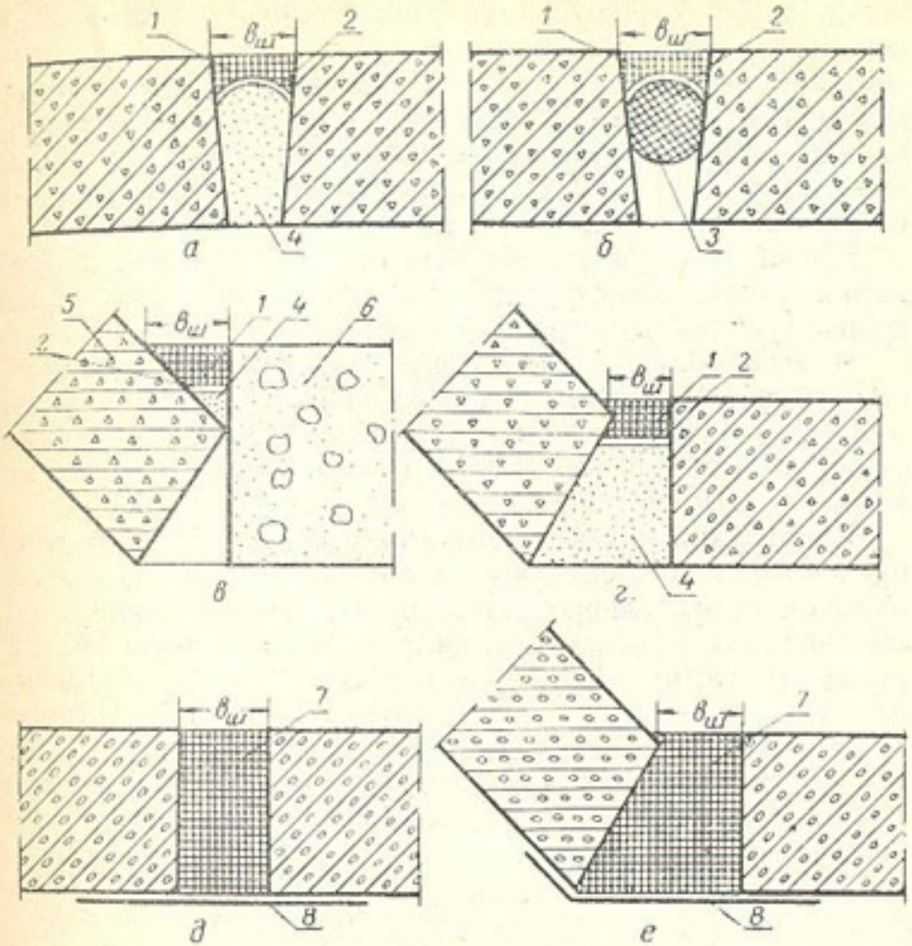


Рис. 17. Конструкции швов в сборных и монолитных бетонных и железобетонных облицовках каналов:

а и *б* — герметизация шва полимерной мастикой соответственно по пороизоловой прокладке и цементному раствору; *в* — герметизация шва примыкания откосной плиты к донной полимерной мастикой; *г* — герметизация шва полимерной мастикой по цементному раствору (сборная облицовка); *д* — герметизация шва битумно-полимерной мастикой; *е* — герметизация шва примыкания откосной плиты к донной битумно-полимерной мастикой; *1* — полимерная мастика; *2* — противоадгезионный слой; *3* — пороизол; *4* — цементный раствор; *5* — сборная плита; *6* — монолитный бетон; *7* — битумно-полимерная мастика; *8* — подкладка с противоадгезионным слоем.

шва рекомендуется мастика ПА-0,5. Кроме того, О. А. Лукинский (1971) предлагает вместо пленки применять жесткий профилированный полиэтилен.

Новые конструктивные решения швов при применении герметиков на полимерной основе. В связи с невысокой эффективностью традиционных герметизирующих материалов в последние годы начато и в дальнейшем будет все более расширяться использование в ир-

ригационном строительстве герметиков на полимерной основе.

Наиболее перспективными для этой цели являются мастичные герметики, главным образом твердеющие прокладки типа пороизол, а также битумно-полимерные материалы, характеризующиеся низкой стоимостью и широкими сырьевыми возможностями.

Применение указанных герметиков потребовало создания новых конструкций или изменения некоторых существующих конструкций швов.

В этой большой работе приняли участие специалисты УкрНИИГиМа, Союзводпроекта, Минводхоза УССР, Укргипроводхоза, ГрузНИИГиМа, а также строительных организаций — Голодностепстроя, Крымканалстроя и др.

Конструкции деформационных швов разработаны применительно к следующим вариантам устройства облицовок оросительных каналов и лотковых линий: облицовка дна и откосов канала сборными железобетонными плитами; облицовка откосов канала сборными плитами, дна канала — монолитным бетоном; облицовка дна и откосов канала монолитным бетоном; раструбные железобетонные лотки, опирающиеся на стойки-опоры; безраструбные железобетонные лотки, опирающиеся на седла.

В качестве герметиков для описываемых ниже конструкций швов применяются полимерные и битумно-полимерные мастики, пленки, пороизоловые прокладки и профилированный полиэтилен.

Швы должны обеспечить деформацию плит и лотков в допустимых пределах, при которых исключается возможность возникновения опасных напряжений в бетоне и фильтрация воды через швы.

С учетом сказанного ширину деформационного шва при его заполнении мастичным герметиком рекомендуется определять по формуле

$$b_{ш} = \frac{\Delta l_{р} \cdot 100}{k\varepsilon},$$

где $\Delta l_{р}$ — расчетная деформация шва:

$$\Delta l_{р} = m\Delta l_{об},$$

m — коэффициент, учитывающий допускаемую величину смещения стыкуемых элементов вследствие сдвига одной плиты (лотка) относительно другой при деформации основания (просадка, пучение). В общем случае m может быть принят равным 1,2;

$\Delta l_{об}$ — общая абсолютная деформация:

$$\Delta l_{об} = \Delta l_{у} + \Delta l_{t},$$

$\Delta l_{у}$ — абсолютная деформация бетона от усадки:

$$\Delta l_{у} = \varepsilon_{у} L,$$

$\varepsilon_{у}$ — деформация усадки бетона, отнесенная к единице длины элементов;

L — расстояние между швами;

Δl_{t} — абсолютная температурная деформация;

$$\Delta l_{t} = \alpha (t_{max} - t_{min}),$$

α — коэффициент температурного расширения бетона;

t_{max} — максимальная температура бетона, наблюдаемая в период герметизации швов;

t_{min} — минимальная температура воздуха в зимнее время, наблюдавшаяся в районе строительства;

k — коэффициент, учитывающий снижение деформативности герметика в результате внешних воздействий и длительного напряжения. Например, для тиоколовых мастик его следует принимать равным 0,25;

ε — относительное удлинение герметика при растяжении, %;

$k\varepsilon$ — долговременная допускаемая деформация герметика при растяжении.

В отечественной и зарубежной практике при определении ширины шва деформативность герметика часто не учитывают и расчет проводят по формуле:

$$b_{ш} = \frac{\Delta l_{р}}{k}.$$

Подобное решение может привести или к нарушению целостности шва в процессе эксплуатации, или к неоправданному перерасходу герметизирующего материала.

Во всех случаях ширину шва следует назначать не менее 20 мм, а толщина мастичного герметика в шве не должна превышать половины его ширины.

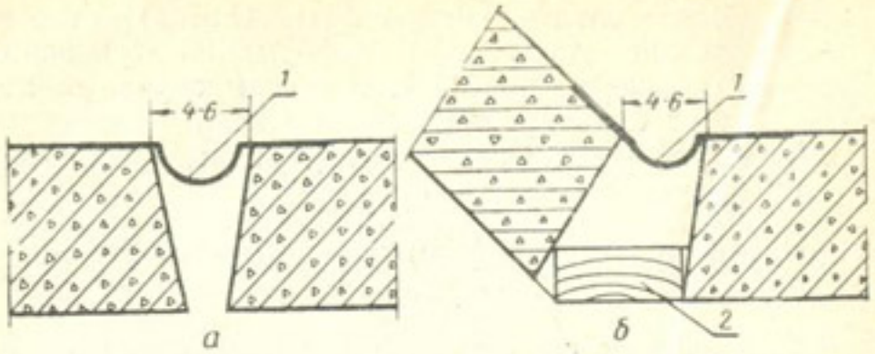


Рис. 18. Конструкции швов в сборных облицовках каналов:

а — герметизация шва армогерметиком; *б* — герметизация шва примыкания откосной плиты к донной армогерметиком; *1* — армогерметик слоем 0,5 см; *2* — монтажная деревянная подкладка (размеры в см).

На рисунках 18—21 приведены типы конструкций деформационных швов в облицовках каналов и лотках, которые уже нашли применение или рекомендуются для внедрения в производство. На рисунках 22—23 приведены конструкции швов, которые представляются перспективными.

Одно из важнейших условий высокого качества герметизации швов — тщательная подготовка бетонных поверхностей перед укладкой герметизирующих материалов.

Так, перед укладкой полимерных и битумно-полимерных мастик необходимо очистить бетон от наплывов раствора и удалить пыль волосяными или мочальными щетками с последующей очисткой воздухом. Жировые пятна с участков, на которые наносится мастика, удаляют тампоном, смоченным ацетоном или бензином.

Чтобы обеспечить сцепление мастичного герметика только с гранями облицовочных плит и исключить сцепление с основанием, применяют противоадгезионный слой.

В ряде случаев он играет решающую роль в обеспечении нормальной работы герметика в шве. На практике часто недоучитывают это обстоятельство, при этом игнорируется тот факт, что деформативность материала подосновы значительно ниже, чем у мастики. В этом случае при температурных деформациях элементов облицовки или лотков из-за прочного сцепления мастики с подосновой возможности деформирования мастики резко снижаются, что приводит к отрыву ее от плит облицовки или лотков при значительно меньших деформациях, чем в случае, когда мастика отделена от подосновы специальным противоадгезионным слоем.

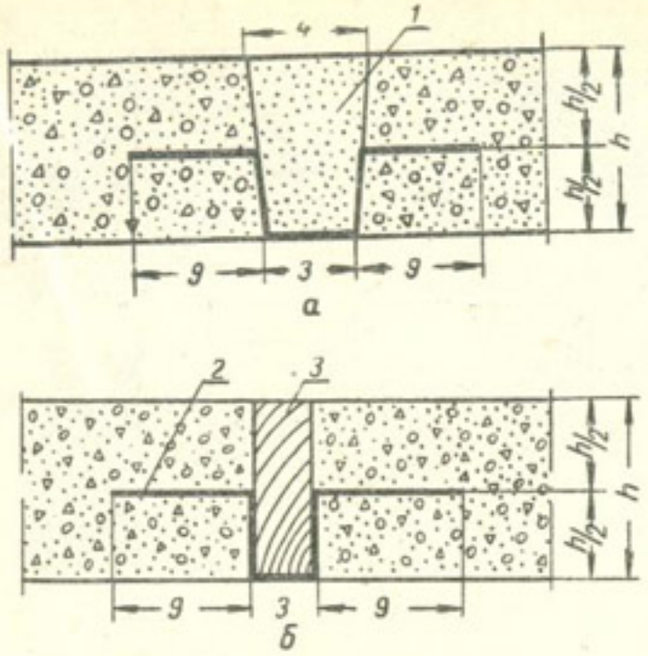


Рис. 19. Пленочная шпонка в облицовке канала из монолитного бетона толщиной менее 10 см (*а*) и более 10 см (*б*):

1 — цементный раствор; *2* — полиэтиленовая пленка; *3* — антисептированная доска (размеры в см).

Модельные исследования деформативности шва показали, что при подоснове из пороизола (рис. 17, *а*) деформация шва к моменту отрыва тиоколовой мастики от бетона составляла 50—55%, при подоснове из цементного раствора (рис. 17, *б*) — 60—70%. При нанесении противоадгезионного слоя деформативность шва составила 280—300%.

Полимерный мастичный герметик во всех случаях укладывают на подоснову из другого материала (пороизол, цементный раствор и т. д.). Толщина слоя мастики колеблется от 6 до 8 мм.

По данным исследователей США и Канады, толщина мастичного слоя не должна быть более половины

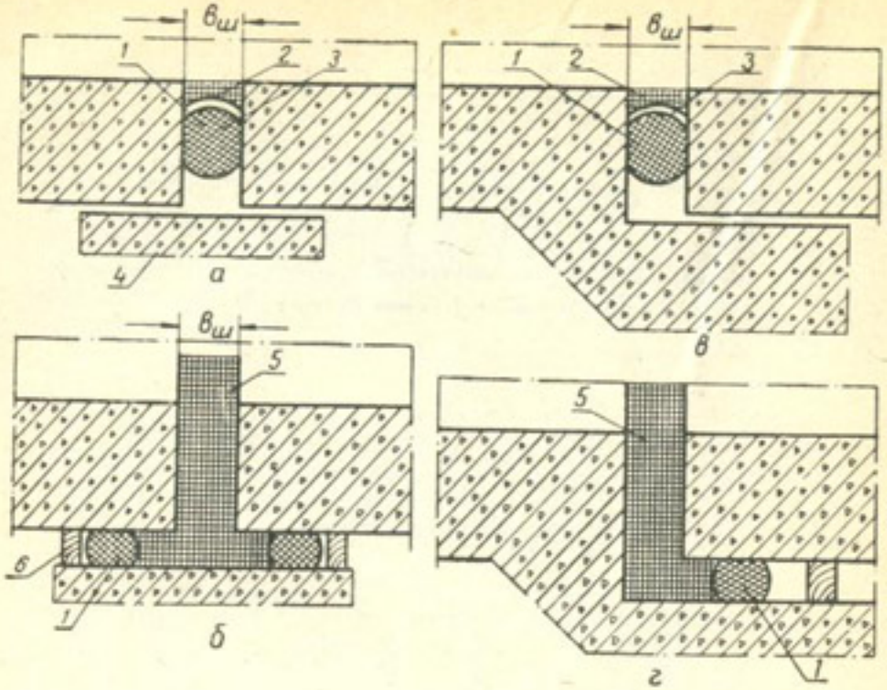


Рис. 20. Конструкции швов в лотковых каналах:

а и *в* — герметизация шва полимерной мастикой по пороизоловой прокладке; *б* и *г* — герметизация шва битумно-полимерной мастикой; *1* — пороизол; *2* — полимерная мастика; *3* — противоадгезионный слой; *4* — седло; *5* — битумно-полимерная мастика; *6* — ограничительная подкладка.

его ширины. Чем толще слой мастики, тем бóльшие напряжения возникают в шве*.

Приведенные на рисунке 17 конструкции швов могут устраиваться в сборных и монолитных бетонных (железобетонных) облицовках каналов. Они также применимы для сборных плит со скосами и без скосов граней плит.

Герметизация швов по схемам, приведенным на рисунке 18, осуществляется армогерметиком, представляющим собой неорганическую ткань, пропитанную соответствующей мастикой. Приклеивание ткани к бетону выполняется тем же материалом, которым пропитана армирующая ткань.

Уплотнение швов армогерметиком (конструкция разработана НИС Гидропроекта совместно с Гипроводхозом) рекомендуется при ремонтно-восстановительных работах.

* Герметизирующие материалы для заделки стыков (Канада, США). Экспресс-информация, серия V, вып. 14. ЦИНИС Госстроя СССР. М., 1971.

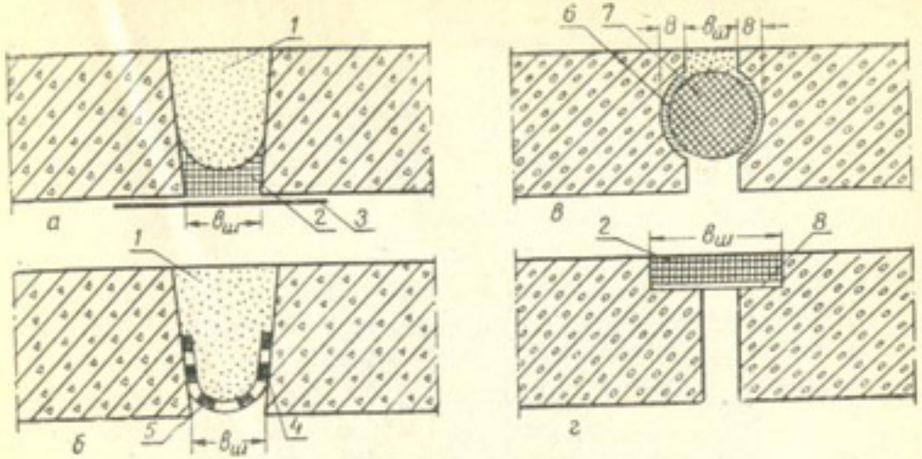


Рис. 21. Экспериментальные конструкции швов в сборных облицовках:

герметизация шва полимерной мастикой (*а*) и приклейкой эластичной мембраны (*б*) с защитным покрытием из цементного раствора; герметизация шва пороизоловой прокладкой (*в*) и битумно-полимерной мастикой (*г*); *1* — цементный раствор; *2* — битумно-полимерная мастика; *3* — подкладка из рулонного материала с противоадгезионным слоем; *4* — клей из герметика; *5* — эластичная полоска из герметика; *6* — пороизол; *7* — изоловая мастика; *8* — противоадгезионный слой.

Устройство шпонки из полиэтиленовой пленки толщиной 0,2—0,4 мм (рис. 19) привлекает весьма низкой стоимостью, однако ее осуществление возможно лишь при бетонировании каналов вручную, что существенно ограничит их применение в будущем.

Конструкция швов в безраструбных и раструбных лотках приведена на рисунке 20 и особого пояснения не требует.

Приведенные на рисунке 21 конструкции швов, разработанные в УкрНИИГиМ, проходят производственные испытания. Укладка мастичного герметика под защитный слой из цементного раствора обеспечивает ему благоприятные условия работы. В конструкции шва (см. рис. 21, *б*) имеется то дополнительное преимущество, что герметик выполнен с компенсатором, обеспечивающим возможность деформаций шва без нарушения его герметичности.

Для изготовления эластичной полоски (мембраны) рекомендуется твердеющая тиоколовая или бутилкаучуковая мастика. Приклеивание мембран к торцам

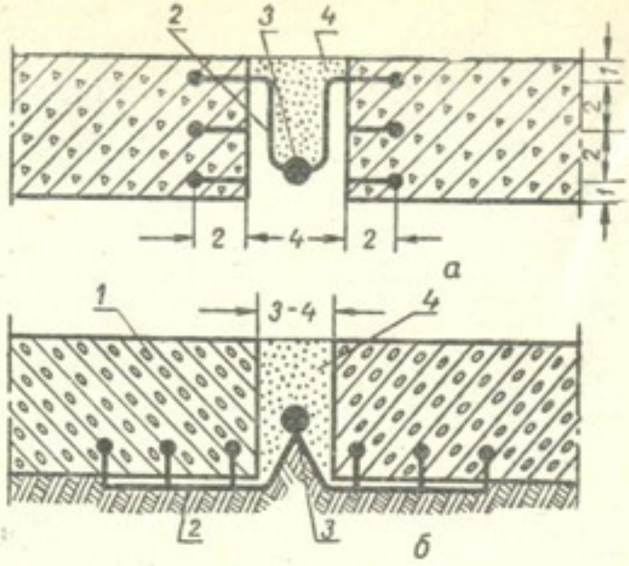


Рис. 22. Шпонка из профилированного полиэтилена в сборной (*а*) и монолитной (*б*) облицовке каналов:

1 — монолитный бетон; *2* — профилированный полиэтилен; *3* — сварной шов; *4* — цементный раствор (размеры в см).

плит выполняется тем же материалом, из которого изготовлена мембрана.

Заслуживает внимания конструкция шва, предложенная Минводхозом УССР (рис. 21, *в*). Для герметизации его применяется пороизоловая прокладка. Усложнения с изготовлением плит на заводе и внесением пороизола в шов здесь компенсируются низкой стоимостью герметика.

Герметизация шва пороизоловой прокладкой может быть рекомендована для продольных откосных швов в облицовках каналов.

По-видимому, оправдывается (предложение Укргипроводхоза) усложнение в изготовлении плит, связанное с устройством четверти, что приводит к более простой конструкции шва (рис. 21, *г*).

Весьма перспективно устройство шпонки из профилированного полиэтилена (рис. 22), разработанной специалистами Минводхоза УССР (В. Н. Ткач, В. Н. Надольский).

УкрНИИГиМ предложил профилированный полиэтилен для герметизации швов в монолитной бетонной облицовке (рис. 22, *б*).

ПОЛИМЕРБЕТОНЫ В ИРРИГАЦИОННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Наиболее распространенными материалами в современном строительстве являются бетон и железобетон. Достоинства этих материалов хорошо известны.

В то же время цементные бетоны обладают рядом недостатков: они недостаточно упруги, плохо сопротивляются растягивающим напряжениям, не стойки ко многим химическим реагентам, обладают невысокой кавитационной стойкостью, износостойкостью и т. д. Это ограничивает, а иногда и препятствует их использованию в строительстве.

Несмотря на применение новых видов цементов, введение различных добавок, пропитку бетона и т. п., в ряде случаев все же приходится его защищать специальными облицовками или покрытиями. В последние годы все большее распространение находят полимербетоны, а в некоторых случаях — полимерцементные бетоны. Полимербетоны изготавливаются на основе полимерных вяжущих, полимерцементные бетоны — на основе двух вяжущих: цементного и полимерного.

Виды и основные свойства полимербетонов. Полимербетоны — это разновидность специальных бетонов, вяжущим в которых служат полимерные смолы, а заполнителями — неорганические материалы.

Идея использования в строительстве полимербетонов не нова, однако применение их до настоящего времени ограничено из-за недостаточной изученности полимербетонов, а также высокой их стоимости и дефицитности некоторых эффективных полимерных вяжущих, например эпоксидных смол и др.

Из синтетических смол, нашедших применение в мировой практике для полимербетонов, следует назвать термореактивные смолы, в первую очередь эпоксидные, фурановые, полиэфирные, фенолоформальдегидные и другие, в значительно меньшей степени применяются термопластичные смолы — кумароно-инденовые, перхлорвиниловые и др. [Елшин, 1967; Елшин (и др.), 1969; Скупин, 1967; Соломатов, 1967].

Отверждение полимербетонов на основе термореактивных смол осуществляется при обычной температуре, а иногда с подогревом и, как правило, при введении отвердителей.

Полимербетоны обладают повышенной прочностью при растяжении и изгибе, многие из них отличаются хорошей морозостойкостью, износоустойчивостью, непроницаемостью для жидкостей и газов, а также высокой химической стойкостью. В то же время для полимербетонов на основе большинства перечисленных смол характерна повышенная деформативность, невысокая термостойкость и в ряде случаев ограниченная водостойкость.

Составляющие полимербетона и его структура. Полимербетон — это многокомпонентный материал, вяжущим в котором являются полимерные смолы с добавками отвердителя, пластификатора и т. д. Заполнителями для полимербетона служат щебень из прочных горных пород, а также песок. В качестве наполнителей применяют каменную муку, сажу, цемент и др.

В отечественной и зарубежной практике исследований и применения полимербетонов в строительстве наиболее полные сведения имеются о полимербетонах, изготовленных на основе эпоксидных, полиэфирных, фурановых и феноло-формальдегидных смол.

Эпоксидные смолы — полимерные вещества линейного строения, содержащие эпоксигруппу. В отечественной практике их получают в результате поликонденсации эпихлоргидрина с диоксидифенилпропаном (Воробьев, Андрианов, 1971).

Для полимербетонов лучше всего подходят жидкие эпоксидные смолы ЭД-5, ЭД-6, Э-40 и др. (Соломатов, 1967).

Превращение эпоксидных смол в нерастворимое высокомолекулярное соединение сетчатой структуры протекает под действием катализаторов ионного типа.

Для холодного отверждения эпоксидных смол в практических условиях обычно используют полиэтиленполиамин (10—12% от массы смолы), гексаметилендиамин, а также кубовый остаток последнего (15—20%).

Отвердители аминного типа довольно токсичны, поэтому в последнее время в качестве отвердителей применяют такие высокомолекулярные вещества, как полиамиды, тиоколы, полиэфиры и др.

Для улучшения деформативной способности эпоксидных полимеров вводятся пластификаторы. В отечественной практике в качестве пластификатора обычно используется дибутилфталат (15—20% от массы смолы). Пластификаторами, совмещающими функции отвердителей, служат низкомолекулярные тиоколы и полиамиды. Первые вводятся в количестве 20—80% (к массе смолы), вторые — 30—100%.

Отличительными особенностями эпоксидных композиций по сравнению с другими смолами, применяемыми для полимербетонов, являются высокая статическая и динамическая прочность, стойкость к истиранию, низкая усадка, хорошая химическая стойкость и водостойкость, прекрасная клеящая способность.

Полиэфирные смолы получают путем поликонденсации двухосновных кислот и многоатомных спиртов. Насыщенные полиэфиры при отверждении требуют повышенных температур и давления, поэтому для полимербетонов они не применяются.

Из многочисленных полиэфирных смол в качестве вяжущих для полимербетонов, а также клеев используются ненасыщенные полиэфиры (Скупин, 1967; Соломатов, 1967).

Ненасыщенные полиэфирные смолы получают конденсацией ненасыщенных (малеиновая, кумароновая и др.) и насыщенных (фталевая, изофталевая) кислот с многоатомными спиртами.

В качестве вяжущих для полимербетонов рекомендуются ненасыщенные полиэфиры отечественного производства: полиэфирмалеинаты ПН-1 и в меньшей степени ПН-3, полиэфиракрилаты — МГФ-9 и ТГМФ-11.

Преимущественное распространение при отверждении полиэфиров нашли перекиси бензоила, циклогексанона, метилэтилкетона и

другие, применяемые в виде 50—65% пасты в дибутилфталате или диметилфталате.

Отвердевшие полиэфирные компаунды обладают высокой прочностью и твердостью, стойкостью к растворам кислых и нейтральных солей, а также полярных растворителей (Саталкин, Солнцева, Попова, 1971).

Недостатком полиэфирных смол является невысокая их химическая стойкость, особенно при действии щелочей, значительная усадка и деформативность, а также горючесть.

Фурановые смолы относятся к большой группе соединений, в молекулярной структуре которых присутствует гетероциклический радикал («фурановое кольцо). К фурановым смолам обычно относят продукты конденсации фурфурола и фурфурилового спирта с фенолами и кетонами.

Стоимость фурановых смол на мировом рынке очень низкая по сравнению с другими смолами.

В последние годы широкое распространение в СССР и за рубежом (Румыния, Болгария) получили фурфуролкетоновые смолы, в частности мономер ФА, получаемый при взаимодействии фурфурола и ацетона в щелочной среде

Мономер ФА при нормальной температуре — жидкость желтовато-коричневого цвета с температурой кипения 160—240°С, нерастворимая в воде, но растворимая в кетонах, сложных эфирах и т. д. (Воробьев, Андрианов, 1971).

Характеристика мономера ФА

Плотность	не менее 1,082 г/см³
Кислотность (в пересчете на H_2SO_4)	не более 0,1%
Растворимость в ацетоне .	полная
Вязкость по Освальду при 20°С	не более 30 сП
Влажность по Дину и Старку	не более 2,5%
Время желатинизации при 170—180°С в присутствии 3%-ной бензолсульфокислоты	30—110 с

Отверждение мономера ФА происходит в присутствии катализаторов, способствующих раскрытию двойных связей в молекулах мономера. Для ионной полимеризации характерна малая энергия активации, поэтому она может протекать без подогрева, что очень важно с точки зрения упрощения строительных работ.

Отвердителем мономера ФА являются сульфокислоты, например бензолсульфокислота, кислота серная концентрированная, фосфорная кислота и др. Лучшие показатели получаются при использовании в качестве отвердителя бензолсульфокислоты (БСК).

Процесс образования из мономера ФА твердой термостойкой смолы может происходить при повышенной и нормальной температуре.

Повышенные дозы катализатора позволяют отверждать мономер ФА при температуре окружающей среды около 0°С. Правда, качество полимера при этом ухудшается.

Оптимальное количество бензолсульфокислоты составляет 20—30% от массы ФА. Отвердитель вводится в полимербетоны в виде расплава с температурой 55—60°С или в виде раствора в ацетоне

(Елшин, 1967). Высокая прочность и износостойкость полимера ФА, универсальная химическая стойкость, а также термо- и морозостойкость способствовали широкому распространению ФА.

Фенолоформальдегидные смолы получают поликонденсацией фенолов с формальдегидами (Воробьев, Андрианов, 1971).

Несмотря на доступность фенолоформальдегидных смол, опыт использования их в качестве вяжущих для полимербетонов относительно невелик. В противокоррозийной технике широко известны лишь замазки холодного отверждения — арзамит, асплит, хабенит, хавег и др.

Для полимербетонов применяют заполнители, изготовленные из различных горных пород, обладающих высокой прочностью.

Обязательным требованием к заполнителям для полимербетонов на фурановых и фенолоформальдегидных смолах является их длительная стойкость в кислой среде, имея в виду присутствие в полимербетоне избытка кислого отвердителя.

Использование заполнителей, имеющих щелочную реакцию (известняки, доломиты, цемент, асбест и др.), недопустимо, так как в этом случае либо твердение вообще не происходит, либо полимербетоны получаются чрезвычайно низкой прочности (Соломатов, 1967).

Петрографические и рентгеноструктурные исследования (Елшин, Слободяник, Резник, 1971) показали, что такие породообразующие минералы, как кальцит и хлорит, разрушаются в полимербетоне в результате реакции бензолсульфокислоты с этими минералами. Поэтому полимербетоны на заполнителях из пород с высоким содержанием указанных минералов обладают невысокими показателями.

Для полимербетонов на полиэфирных и эпоксидных смолах реакция заполнителя не имеет решающего значения. Круг материалов, пригодных для совмещения с этими смолами, весьма широк и включает, кроме кислотостойких горных пород, также цементы, карбонатные породы, асбест, сажу, тальк, бариты, порошки термопластов и др.

Таблица 11

Прочность полимербетона на различных заполнителях
(хранение в воздушно-сухой среде)

Заполнитель	Количество мономера ФА, % от массы заполнителя	Количество бензолсульфокислоты, % от массы мономера ФА	Предел прочности при сжатии, кгс/см² в возрасте			
			7 дней	28 дней	3 месяцев	6 месяцев
Андезитовая мука	25	30	1095	1169	1145	1363
Графитовая мука	45	30	412	—	473	—
Кварцевый песок	15	25	332	342	301	298

Результаты сравнительных испытаний прочности полимербетонов на мономере ФА, изготовленных на андезитовом (месторождение Бакуриани), графитовом и кварцевом заполнителях (табл. 11), указывают на бесспорное преимущество андезитовых заполнителей.

В связи с этим Н. Н. Остер-Волков и автор книги предложили использовать в качестве высококачественных заполнителей для полимербетонов бакурианские андезиты (Елшин, 1967).

Однако по минералогическому составу андезиты различных месторождений неодинаковы. Так, андезиты Родванского месторождения (табл. 12) значительно хуже бакурианских андезитов, нашедших широкое применение для полимербетона, и андезитов месторождения Анипемза, использованных для устройства облицовки Яккабагского водного узла. Таким образом, говорить об андезите однозначно нельзя.

Таблица 12

Кислотостойкость заполнителей и прочностные показатели полимербетона на этих заполнителях

Заполнитель	Прочность заполнителя при сжатии, кгс/см²	Кислотостойкость заполнителей по ГОСТ 473—64	Кислотостойкость по БСК, %	Прочность полимербетона, кгс/см²	
				при сжатии	при изгибе
Гранит Соколовского месторождения	2120	95,2	92,3	858	158
Гранит Емельяновского месторождения	1780	96,4	—	721	152
Гранит Коростышевского месторождения	1925	95,7	—	715	150
Габбро	1870	96,6	92,6	762	157
Андезит Родванского месторождения	2145	92,4	85,8	500	116
Кварц	—	97,4	98,8	680	120
Диабаз	887	70,0	79,3	232	97
Диоритовый порфирит	678	76,4	80,4	152	54
Перлит	620	98,4	96,3	480	110
Лабрадорит	2280	98,1	93,5	874	178
Базальт	—	90,0	89,4	—	87

С целью обоснования выбора заполнителей для полимербетона на мономере ФА и расширения диапазона их применения автором книги совместно с И. И. Слободяник изучена возможность использования для этой цели горных пород Украины.

В качестве заполнителей для полимербетона применяли граниты Емельяновского, Соколовского, Коростышевского месторождений, лабрадорит и габбро Головинского месторождения, андезит Родванского месторождения, перлит Береговского месторождения, диоритовый порфирит Курцовского месторождения и диабаз Лозовского месторождения. За эталон был принят полимербетон на Днепровском кварцевом песке.

Для всех перечисленных заполнителей были определены прочностные характеристики и химическая стойкость по ГОСТ 473—64.

В таблице 12 приведена кислотостойкость пород, использованных в исследованиях. Такие породы, как граниты, габбро, перлит и кварцевый песок, достаточно кислотостойки, андезит менее кислотостойкая порода, что касается диоритового порфирита, диабаза и базальта, то они имеют низкую кислотостойкость.

Кислотостойкость является одним из критериев пригодности пород для применения в качестве заполнителей в полимербетонах. Высокие прочностные показатели отмечены у полимербетона на кислотостойких заполнителях: граните, габбро, лабрадорите. Значительно ниже прочность у полимербетона на андезите, чрезвычайно низкие прочностные показатели у полимербетона на диоритовом порфирите, диабазе и базальте. Несмотря на высокую кислотостойкость заполнителя, относительно низкая прочность у полимербетона на перлите и кварцевом песке.

Низкая кислотостойкость заполнителя приводит к резкому снижению прочности полимербетона, однако высокая кислотостойкость заполнителя не гарантирует высокую прочность полимербетона, она является только обязательным условием при выборе заполнителей.

Для объяснения полученных результатов выполнены петрографические исследования заполнителей (табл. 13) и полимербетонов на них.

Изучение шлифов полимербетона показало, что полимер в полимербетоне, изготовленном на кислотостойких заполнителях, прочно сцепляется с зернами заполнителя, проникая во все неровности его поверхности. Поры в полимербетоне замкнутые, равномерно распределенные по объему. Это предопределяет его низкую проницаемость. Число пор в прозрачных шлифах полимербетона составляет 2—4%.

В шлифах в ряде случаев наблюдается коррозионная пленка на контакте заполнитель — вяжущее, причем в одних случаях (полимербетон на граните, габбро, лабрадорите) она наблюдается редко, в других (полимербетон на андезите) чаще, и, наконец, в полимербетоне на диоритовом порфирите, диабазе и базальте пленка встречается часто. В полимербетоне, изготовленном на кварцевом песке и перлите, коррозионная пленка вообще отсутствует.

Результаты петрографических исследований позволили разделить полученный полимербетон на три группы.

К первой группе относятся образцы, изготовленные на кварцевом песке и перлите. Для них характерно адгезионное разрушение. Контакт вяжущего с заполнителем резкий и четкий, не разрушающийся при изготовлении шлифов. Линия разрушения проходит изредка по полимеру, в основном по контакту. Иногда вокруг таких зерен сохраняется тонкая (1—2 мкм) оболочка вяжущего вещества.

Ко второй группе относятся образцы, изготовленные на граните всех изученных месторождений, лабрадорите и габбро. Заполнители в данном случае представлены полнокристаллическими породами, свежими, практически без признаков кальцитизации и пелитизации. Для полимербетона этой группы характерно когезионное разрушение образцов, в основном по полимеру, изредка по заполнителю. Коррозионная пленка наблюдается только на зернах биотита и отдельных зернах кальцита, изредка встречающихся в породах. Зерна биотита и кальцита нередко полностью пропитываются полимером. Полимербетон на таких заполнителях отличается прочным

Таблица 13

Минералогический состав исследованных пород

Порода	Минералы, %									
	полевой шпат		плагиоклаз	кварц	роговая обманка	биотит (мусковит)	кальцит и хлорит	рудные минералы	прочие
	пироксен	кальциевый полевой шпат							
Граниты	—	15—45	10—25	25—40	0,5—3	5	1	—	1—2
Габбро	32	2	60	1	—	2	—	3	—
Лабрадорит	4	—	85	—	—	1	—	10	—
Андезит (Родванское месторождение)	—	—	47	Вулканическое стекло 50	—	—	3	—	—
Диоритовый порфирит	7	—	66	3	—	1	23	—	—
Диабаз	1	—	91	1	—	1	6	—	—
Базальт	15	—	85	—	—	—	—	Единичные зерна	—
Перлит	—	—	3	Вулканическое стекло 96	—	—	—	1	—
Кварцевый песок	—	—	—	100	—	—	—	—	—

сцеплением заполнителя с полимером, высокой проницаемостью полимера в неровности поверхности зерна заполнителя, в трещины и плоскости спайности.

К третьей группе относится полимербетон, изготовленный на андезите, диоритовом порфирите, диабазе и базальте. Заполнители этой группы являются породами порфировидной структуры, видоизмененные, пелитизированные, хлоритизированные и кальцитизированные (в большей степени это относится к диоритовому порфириту и в меньшей степени к андезиту). Для образцов этой группы характерно когезионное разрушение, чаще по полимеру, реже по заполнителю, наличие коррозионной пленки в контактной зоне. В отдельных случаях, в основном на зернах вулканического стекла, встречается разрушение по контакту.

При изготовлении шлифов из полимербетона на диоритовом порфирите и диабазе наблюдается выкрашивание зерен заполнителя из шлифа. Это говорит о невысоком сцеплении отдельных зерен заполнителя с полимером. В шлифах наблюдается пропитка полимером зерен заполнителя, особенно мелких, зерна размером меньше 0,05 мм в шлифе не просматриваются. Многие зерна, особенно кальцита и слюдоподобных минералов, имеют резко корродированные края.

От всех рассмотренных шлифов резко отличаются образцы, изготовленные на диоритовом порфирите. Полимер в этих образцах непрозрачен или слабопрозрачен. Вероятно, из-за низкой кислотостойкости заполнителя произошла реакция между отвердителем (бензолсульфокислотой) и некислотостойкими включениями заполнителя, в связи с этим произошло неполное отверждение вяжущего.

Таким образом, петрографические исследования показали, что невысокая прочность полимербетона на кварцевом песке и перлите объясняется низкой адгезией в системе заполнитель — полимер.

При применении остальных, использованных в исследованиях заполнителей когезионный характер разрушения образцов позволяет говорить о высокой адгезии в системе.

При одинаковой кислотостойкости различных пород и высокой их прочности полимербетоны на этих породах по прочности могут сильно отличаться друг от друга. Свойства полиминеральных пород, в свою очередь, определяются минералогическим составом.

Основной породообразующий минерал большинства описанных пород — полевой шпат (см. табл. 13). В базальте его содержится 100%, в диабазе — 92%, в граните — 25—60% и в перлите — 3%.

По химическому составу породы представляют собой алюмосиликаты K, Na и Ca, обладающие ярко выраженной спайностью по двум направлениям. Содержание кварца в породах варьирует в широких пределах. В Днепровском песке его содержится около 100%, в гранитах — 25—40%, а в габбро, лабрадорите и диабазе его почти нет. Наличие гидратных оболочек на поверхности зерен кварца делает его химически инертным. Наряду с кристаллическим кварцем в виде основной части стекловидных горных пород встречается аморфный SiO_2 (вулканическое стекло). От кристаллического SiO_2 он отличается большей реакционной способностью, при дроблении дает раковистый излом. Содержание вулканического стекла в перлите достигает 96%, в андезите — 50%. Высокое содержание аморфного SiO_2 также в базальтах, липаритах и т. д.

В рассматриваемом случае минералы из группы амфиболов (роговая обманка, актинолит, тремолит и др.) встречаются только в гранитах, обычно они входят в состав диоритов, андезитов, габбро, лабрадоритов и других пород в количестве от единичных зерен до 30%.

Минералы из группы пироксенов (энстатит, сподумен, диопсид и др.) являются составной частью габбро, лабрадорита, порфирита и диабаза.

В небольших количествах во многих породах (граниты, габбро, лабрадорит и др.) встречаются слюды, которые снижают их прочность и стойкость.

В состав ряда горных пород входят также рудные минералы — магнетит, ильменит и др.

В зависимости от возраста пород и степени их видоизмененности по полевым шпатам развиваются прожилки или вкрапления кальцитов, хлоритов и т. д., отрицательно сказывающиеся на прочностных характеристиках фуранового полимербетона.

В качестве углеродсодержащих заполнителей в полимербетоне изучен также уголь и графит. Уголь — рядовой длиннопламенный с содержанием серы 3—5% из Донецкого угольного бассейна. Графит — минерал, представляющий одну из аллотропных форм углерода.

Исследования, выполненные автором книги совместно с И. И. Слободяник, проводились по следующей методике.

Для минеральных заполнителей по ГОСТ 473—64 определена кислотостойкость в H_2SO_4 (табл. 14), а для некоторых — кислотостойкость в 20%-ном растворе бензолсульфокислоты. Одновременно для отдельных минералов определено количество бензолсульфокислоты, вступившей с ними в реакцию.

Способность мономера ФА смачивать минералы устанавливали по методике А. И. Лысихиной. При этом определение набухания порошка минерала проводилось в полярной (вода) и неполярной (мономер ФА) средах. Коэффициент гидрофильности подсчитывали как отношение объема навески порошка минерала после выдерживания в воде к объему той же навески после выдерживания в мономере ФА.

Адгезию отвердевшего ФА к минералам определяли по методу СоюздорНИИ. Он заключается в следующем: на кусочек минерала около 1 см в поперечнике наносили мономер ФА с отвердителем, отверждали в тех же условиях, что и полимербетоны, а затем погружали в стакан с водой и кипятили в течение часа. Сохранность пленки характеризовала адгезионные свойства минерала.

Адсорбционную способность различных минералов по отношению к ФА определяли следующим путем: навеску минерального порошка помещали в ацетоновый раствор ФА различной концентрации. Отбор проб раствора для установления изменения его концентрации проводили через 1, 7, 15 и 30 суток. Адсорбционная способность минералов характеризовалась разностью концентраций растворов до и после поглощения ФА адсорбентом.

Прочностные показатели полимерраствора определяли на балочках размером 4×4×16 см, приготовленных по рецептуре — 79% песка, 17% ФА и 4% бензолсульфокислоты. На аналогичных образцах устанавливали водостойкость и морозостойкость (циклическое замораживание при минус 18—20°С с последующим оттаиванием в воде при 18—20°С).

Таблица 14

Результаты химических и физико-механических испытаний минералов и полимеррастворов на них

Минералы	Минералы: кислотостойкость по ГОСТ 473—64, %	Минералы: кислотостойкость по бензолсульфокислоте, %	Минералы: кислотостойкость прореагировало с бензолсульфокислотой, %	Минералы: смачиваемость (коэффициент гидрофильности), см³/см³	Минералы: адгезия (сохранение пленки после кипячения), %	Минералы: адсорбция ФА минералом из 2%- и 5%-ного раствора ФА, г/г·10⁵	Полимеррастворы: полнота полимеризации, %	Полимеррастворы: предел прочности при изгибе, кгс/см²	Полимеррастворы: коэффициенты: водостойкости после трех месяцев	Полимеррастворы: коэффициенты: морозостойкости после 200 циклов
Полевые шпаты										
Альбит	92,2	—	—	1,08	85	7,6/—	99,4	220	0,33	0,38
Олигоклаз	—	—	—		60	7,8/—	91,8	202	—	—
Лабрадор	93,0	—	—		85	7,3/10,8	93,9	182	—	—
Микроклин	—	—	—		85	8,0/—	96,9	216	—	—
Пироксены										
Энстатит	—	—	—	1,03	90	—	89,2	242	—	—
Сподумен	87,2	—	—		100	9,7/—	94,3	233	—	—
Диопсид	—	—	21,3		90	9,1/12,0	56,4	78	Распался после 50 циклов	
Геденбергит	—	96,4	8,8		—	9,6/—	63,8	62	То же	

Продолжение

Минералы	Минералы: кислотостойкость по ГОСТ 473—64, %	Минералы: кислотостойкость по бензолсульфокислоте, %	Минералы: кислотостойкость прореагировало с бензолсульфокислотой, %	Минералы: смачиваемость (коэффициент гидрофильности), см³/см³	Минералы: адгезия (сохранение пленки после кипячения), %	Минералы: адсорбция ФА минералом из 2%- и 5%-ного раствора ФА, г/г·10⁵	Полимеррастворы: полнота полимеризации, %	Полимеррастворы: предел прочности при изгибе, кгс/см²	Полимеррастворы: коэффициенты: водостойкости после трех месяцев	Полимеррастворы: коэффициенты: морозостойкости после 200 циклов
Амфиболы										
Роговая обманка	94,9	—	—	1,02	95	10,1/1,6	95,6	278	—	—
Актинолит	—	—	—		90	10,4/—	—	260	—	—
Тремолит	—	—	—		55	—	46,5	108	Распался после 50 циклов	
Соединения железа										
Магнетит	—	92,2	6,8	1,0	95	13,2/16,6	98,6	261	0,30	0,37
Ильменит	—	—	—		95	13,2/—	99,2	260	—	—
Прочие										
Флюорит	—	—	—	—	75	—	—	127	—	—
Кварц	99,4	98,5	—	1,12	15	2,9/2,4	99,8	159	0,47	
Вулканическое стекло	98,4	97,3	3,7	1,14	0	2,3/—	96,1	—	0,63	0,41
Уголь	—	95,6	3,7	0,94	—	15,0/—	—	265	—	—
Графит	—	98,2	1,0	0,86	—	15,0/24,1	93,4	273	0,64	0,78

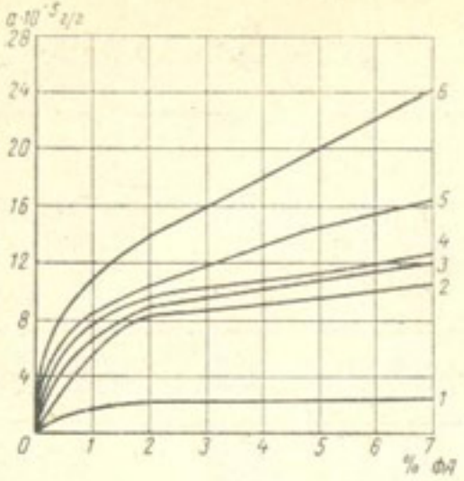


Рис. 23. Адсорбция мономера ФА из ацетонового раствора минералами:

1 — кварц; *2* — лабрадор; *3* — диопсид; *4* — роговая обманка; *5* — магнетит; *6* — графит.

Кислотостойкость большинства минералов высокая. Много неотвердевшего ФА обнаружено в образцах с наполнителем из диопсида, геденбергита и тремолита, где БСК вступила в реакцию с некислотостойкими составляющими минералов.

Хорошее смачивание зерен заполнителей мономером ФА способствует более полному контакту вяжущего с заполнителем, однако это не всегда коррелирует с высокими адгезионными характеристиками системы полимер—заполнитель. Если коэффициент гидрофильности не выше 1,1, то смачивание удовлетворительно (по А. И. Лысихиной). Лучше других мономером ФА смачиваются уголь и графит, а также соединения железа и амфиболы, хуже всех — кварц и вулканическое стекло. Аналогичная картина наблюдается при рассмотрении результатов определения адгезии в системе минерал—полимер и особенно данных об адсорбционной способности минералов.

Известно, что многие важные свойства многокомпонентных материалов непосредственно связаны с характером взаимодействия вяжущего и заполнителей. В этом случае понимается весь комплекс процессов, происходящих на границе раздела фаз: физическая адсорбция поверхностью частиц заполнителя слоя вяжущего, хемосорбционные процессы — на границе раздела полимер — заполнитель, диффузия полимера в трещины и раковины последнего.

При физической адсорбции происходит межмолекулярное взаимодействие, приводящее к образованию на поверхности заполнителей ориентированных слоев полимера толщиной во много молекул, не вступающих в химическое взаимодействие. При хемосорбции адсорбированный полимер подвергается химическим изменениям. При хемосорбции, затрагивающей лишь молекулярный слой полимера, практически имеется и физическая адсорбция, охватывающая ряд последующих слоев *.

Лангмюр установил, что при хемосорбционных процессах величина адсорбции при постоянном увеличении концентрации раствора стремится к бесконечности. В описываемых опытах предел адсорбции для всех минералов (рис. 23) не был достигнут. При этом графит — наиболее адсорбционно активный минерал. Следует полагать, что при применении в качестве заполнителей угля и графита на разделе фаз имеют место хемосорбционные процессы. При контактировании ФА с кварцем и вулканическим стеклом наблюдается только физическая адсорбция. Применение для заполнителей полевых шпатов, амфиболов и пироксенов приводит на границе фаз к образованию связей более высокого порядка, чем чисто физические. Но в связи с тем, что с повышением концентрации раствора ФА наблюдается затухание интенсивности адсорбции, процессы здесь не могут рассматриваться и как хемосорбционные. Очевидно, наряду с физической адсорбцией здесь имеется и внутримолекулярное (хемосорбционное) взаимодействие.

Высокая адгезия в системе минерал — заполнитель, а также адсорбция минералом ФА проявляется и в повышенной прочности полимербетона на этих минералах, особенно на графите, угле, амфиболах, за исключением некислотостойкого тремолита, и соединениях железа. Наиболее высокая водостойкость и морозостойкость у полимербетона на графитовых заполнителях.

Таким образом, для полимербетонов на мономере ФА следует рекомендовать заполнители из горных пород, содержащих амфиболы, в частности роговую обманку и актинолит; пироксены, рудные минералы — магнетит и ильменит.

Не следует применять породы даже с небольшим количеством кальцита и хлорита, нежелательны также слюды, особенно биотит.

Полимербетоны на различных заполнителях и сами заполнители подвергали рентгеноструктурному анализу на установке УРС-50ИМ с медным излучателем.

Сравнение рентгенограмм исходных материалов с рентгенограммами полимербетона на указанных заполнителях показало следующее: линии, характерные для основных породообразующих минералов (кварцев, полевых шпатов, пироксенов), на рентгенограммах полимербетона полностью повторяются. Линии кальцита и хлорита, имеющиеся на рентгенограммах исходных заполнителей, на рентгенограммах полимербетона отсутствуют. Интенсивность максимумов, характерных для биотита, на рентгенограммах полимербетона значительно снижается по сравнению с рентгенограммой заполнителей.

Повторение линий, характерных для кварцев, полевых шпатов, пироксенов, не исключает возможности их взаимодействия с полимером. Дело в том, что их количество в заполнителе велико и даже если на границе раздела наблюдается взаимодействие, остаток этих минералов всегда превышает разрешающую способность аппарата, и поэтому они фиксируются рентгенограммой.

Таким образом, кальцит и другие OH^--содержащие минералы (хлорит, биотит и др.) в полимербетоне на мономере ФА разрушаются.

Учитывая кислый характер отвердителя, можно предположить, что разрушение этих минералов происходит за счет взаимодействия их с бензолсульфокислотой.

Отрицательная сторона этого явления заключается не только в разрушении структуры минерального заполнителя, но и в том, что бензолсульфокислота, предназначенная для отверждения мономера ФА, в зоне контакта с заполнителем расходуется на реакцию с ним, вследствие чего возможно неполное отверждение мономера.

Этим и объясняется тот факт, что полимербетон, изготовленный на разных породах, имеет разную прочность, несмотря на когезионный (по полимерной прослойке) характер разрушения полимербетона.

* А. С. Колбановская. Сцепление битумной пленки с минеральным порошком.— В сб.: «Исследования гидро- и термоизоляционных материалов и конструкций». М., Госстройиздат, 1965.

Таблица 15

Прочностные показатели полимербетонов на различных вяжущих

Смолы	Характеристика полимербетона	Предел прочности (в кгс/см²) при			Авторы
		сжатии	растяжении при изгибе	осевом растяжении	
Фурановые	ФА — 15% от массы заполнителя, БСК — 25% от ФА	826	174	79	Н. Война и др. (1969)
	Смолы — 25%, песка — 75%	830	166	—	Л. Скупин (1957)
	Пластраствор на ФА	800	160	75	В. И. Соломатов (1967)
	ФА — 12%, БСК — 3,6% Заполнители — гравий и кварцевый песок	766	299	110	И. М. Елшин (1967)
	Полимербетон с 50% графитового микронаполнителя	1235	374	156	И. М. Елшин, И. И. Слободяник, В. Б. Резник.
Полиэфирные	—	800	—	—	Х. Полле (1969)
	Смола с добавкой 10% стирола, песок+асбест	835	212	—	И. Хохамович (1969)
Эпоксидные	Смолы 20% + 80% песка, отверждение перекисью бензоила	742	239	—	К. Гамский (1969)
	Смолы — 13%, песка — 87%	875	—	110	Р. Лермит (1969)
	Полимеррастворна ПН-1	1250	400	140	В. И. Соломатов (1967)
	То же, графитовый наполнитель	800	375	140	Н. А. Мощанский (1968)
	—	1200	—	—	Х. Полле (1969)
	—	—	239	—	Д. Подгорский (1969)
	Смола: песок — 1 : 4; отвердитель — дибутилфталат+диэтиламин	660	146	74	Н. Война и др. (1969)
	Смолы — 17%, этилендиамина — 7% и дибутилфталата — 15%	782	264	—	И. Ионеску и др. (1969)
	Смолы — 67%, амина — 33%, заполнитель — песок	667	410	—	К. Гамский (1969)
	Вяжущее — 13%, песка — 87%	1200	—	170	Р. Лермит (1969)
	Смолы — 25%, песка — 75%	800	295	165	Л. Скупин (1967)
	Полимеррастворна смоле с добавкой 40% дибутилфталата	500	—	—	В. И. Соломатов (1967)

Таким образом, можно утверждать, что физико-механические свойства полимербетона существенно зависят от кристаллохимической природы заполнителя.

Заполнители полимербетона на мономере ФА рекомендуется готовить из крупнокристаллических горных пород — гранита, габбро, лабрадоритов и пироксенитов.

Свойства полимербетонов. Прочность их определяется содержанием вяжущего и отвердителей, режимом твердения полимербетона, химико-минералогической характеристикой заполнителей и др.

Расход смолы в полимербетоне, к которому предъявляются требования по плотности и прочности, определяется пустотностью заполнителей и их крупностью. Чем больше пустотность заполнителя и мельче песчаная его часть, тем больше будет расход вяжущей части и отвердителя. При недостатке вяжущей части межзерновая пустотность не будет ею заполнена, что отрицательно скажется на прочности и плотности полимербетона. При избытке вяжущей части с увеличением межзерновых прослоек полимера прочность полимербетона или падает, или же ее рост непропорционален увеличению расхода вяжущего. Следовательно, в каждом конкретном случае существует оптимальное содержание вяжущего, при котором полимербетон при прочих равных условиях обладает наивысшей прочностью.

С большим вниманием следует относиться к назначению дозировок отвердителя.

При отверждении «на холоду» после укладки полимербетона его выдерживают до начала эксплуатации в течение нескольких суток для приобретения заданной прочности, химической стойкости и т. д.

Тепловой прогрев позволяет ускорить срок ввода полимербетона в эксплуатацию (уже через несколько часов после укладки).

Оба способа отверждения полимербетона применяют в производственных условиях. Для индустриального заводского изготовления полимербетонных изделий, несомненно, перспективно горячее отверждение. При использовании монолитного полимербетона применяют отверждение **«на холоду»**.

Результаты прочностных испытаний полимербетонов, по данным различных исследователей, приведены в таблице 15.

Несмотря на пестроту этих данных, все же можно констатировать высокую прочность полимербетонов при осевом растяжении и изгибе. Отношение прочности полимербетонов на растяжение к прочности их на сжатие значительно выше, чем в обычных цементных бетонах. Это весьма важное свойство полимербетонов.

Одним из существенных вопросов применения полимербетонов в водохозяйственном строительстве является их *водостойкость, морозостойкость и водонепроницаемость*. Не случайно именно этим вопросам многие отечественные и зарубежные исследователи уделяют особое внимание [Елшин (и др.), 1969; Мощанский, 1962; Скупин, 1967; Соломатов, 1967].

Вода, как это установлено для полимербетонов на мономере ФА, может оказаться более опасной, чем некоторые кислые и щелочные среды (Елшин, 1967).

Ненаполненный полимер ФА является недостаточно водостойким и морозостойким материалом. Уже через 7—10 ч после его погружения в воду появляются видимые трещины, углубляющиеся в дальнейшем.

Вероятно, это связано с набуханием полимера в наружной зоне, а также с постепенным растворением остающегося не связанным с полимером катализатора твердения — бензолсульфокислоты.

Введение микронаполнителя (удельная поверхность 2000—5000 см²/г) приводит к повышению водостойкости (табл. 16). Высоконаполненные композиции являются значительно более водо- и морозостойкими.

Введение в их состав графитового микронаполнителя (до 5%) заметно повышает водо- и морозостойкость полимербетона.

Большой эффект наблюдается от введения в состав полимербетона углеродсодержащих заполнителей, особенно в тонкодисперсном состоянии (графит, уголь, сажа)*.

Таблица 16

Водо- и морозостойкость полимеррастворных образцов **

Составляющие полимербетона	Коэффициент водостойкости при изгибе после пребывания в воде		Коэффициент морозостойкости при изгибе после	
	1 месяц	6 месяцев	100 циклов	200 циклов
Полимер ФА без наполнителя	0,20	—	0,15	—
Полимер ФА с 15% микронаполнителя из графита	0,34	—	—	—
То же, с кварцевым микронаполнителем	0,20	—	—	—
Полимеррастворна кварцевом песке (состав 1 : 6)	0,50	0,51	0,64	0,56
То же, с 5% микронаполнителя из графита	0,80	0,62	0,86	0,74
Полимеррастворна гранитном песке (состав 1 : 6)	0,70	0,58	0,74	0,68
То же, с 5% микронаполнителя из графита	0,83	0,72	0,85	0,71
То же, с 35% микронаполнителя из золы	0,87	0,78	—	—

Это указывает на возможность химического связывания углеродсодержащих наполнителей с ФА за счет реакции по двойным связям, имеющимся в ФА.

Эффект введения углеродсодержащих наполнителей наблюдался в опытах Н. А. Мощанского, В. И. Соломатова и др.

Длительными испытаниями достоверно установлено, что снижение водостойкости полимербетона на ФА со временем стабилизиру-

---

* К. А. Печковская. Сажа как усилитель каучука. М., «Химия», 1968.

** Коэффициенты водо- и морозостойкости полимербетона заметно выше при испытании его на сжатие — до 0,85—0,90.

ется, что вполне согласуется с имеющимся опытом работы полимербетона на ФА в гидросооружениях более 12 лет.

Практически полностью водостойкими являются композиции на основе эпоксидных смол (Мощанский и др., 1968).

Ранними исследованиями автора книги при участии В. В. Ивасенко установлено, что поскольку морозостойкость материалов обычно проверяется при 150—200 циклах замораживания и оттаивания, то в этих пределах о морозостойкости полимербетона на ФА можно судить по результатам испытания его на водостойкость; это освобождает от трудоемких испытаний на циклическое замораживание.

Большинство исследователей отмечают хорошую морозостойкость эпоксидных полимербетонов.

Высокая структурная плотность полимербетонов предопределяет и хорошие их показатели по водонепроницаемости, измеряемой, как правило, десятками принятых (кгс/см²) единиц водяного давления.

Важнейшим свойством полимербетонов является их *деформативность*. Многие синтетические смолы и полимербетоны на их основе в отличие от бетонов на неорганических вяжущих обладают повышенной усадкой, ползучестью, чувствительностью к температурным перепадам, а также более низким модулем упругости. Все это служит основанием для того, чтобы с осторожностью относиться к применению полимербетонов в качестве конструктивных материалов, особенно в условиях повышенных температур.

Величина усадки полимербетонов значительно ниже, чем смолы, и зависит главным образом от содержания заполнителя.

Однако, как отмечают П. И. Зубов и В. В. Патуроев, увеличение наполнителя приводит к снижению усадки, тем самым вызывая рост внутренних напряжений в полимербетоне. Объясняется это тем, что при активных наполнителях, являющихся центром структурообразования полимера, вокруг частиц наполнителя образуются упорядоченные надмолекулярные структуры большой жесткости, имеющие высокие адгезионные связи с поверхностью наполнителей. По данным В. В. Патуроева, внутренние напряжения от усадки в полимербетоне могут достигать 30—35 кгс/см².

Бетоны на мономере ФА, эпоксидных и полиэфирных смолах испытывают сильную усадку в течение первых суток твердения. По данным С. С. Давыдова, А. М. Иванова и Н. А. Мощанского, линейная усадка фурановых полимербетонов доходит до 1 мм/м, практически прекращаясь через 6—7 сут при отверждении в нормальных условиях и через 1—2 сут при прогреве. В полимеррастворах на полиэфирной смоле ПН-1 усадочные деформации к десятидневному возрасту (когда дальнейший ее рост прекращается) достигают 4 мм/м (Логинов, Каликовская, Миронов, Качнев, 1964). Усадка в полимербетонах на эпоксидных смолах близка к усадке обычного цементного бетона [Елшин (и др.), 1969], что является несомненным достоинством эпоксидных смол.

У полимербетонов на большинстве используемых для него смол модуль упругости $M_{упр}$ ниже, чем у цементных бетонов. Однако в связи с пластичностью смолистых вяжущих удлинение при разрушении во много раз выше, чем у обычного бетона, что, несомненно, замедляет трещинообразование полимербетона.

Повышенная ползучесть полимербетонов в известной степени ограничивает их применение в несущих конструкциях.

Ползучесть полимербетонов в большой степени объясняется их составом. Наибольшей ползучестью обладает чистая смола, затем тощий полимербетон с небольшим содержанием вяжущего (Скупин, 1967).

Ползучесть полимербетона на фурановых смолах детально изучена и описана А. М. Ивановым *.

Изучая напряженное состояние полимербетонов на эпоксидных, полиэфирных, фурановых и фенолоформальдегидных смолах, Р. Бареш и Н. Навротил (Чехословакия) пришли к заключению, что при длительном загружении конструкций из полимербетона это загружение не должно быть более 30—40% их кратковременной прочности [Елшин (и др.), 1969].

Смолы, применяемые для изготовления полимербетонов, имеют значительно более высокий коэффициент температурного расширения, чем традиционные вяжущие, а также минеральные заполнители и армирующая сталь. Значение этого показателя очень важно для правильного подбора составляющих полимербетона и для оценки его термической стойкости (Соломатов, 1967).

Коэффициент температурного расширения стали составляет $(10—12)\cdot10^{-6}$1/°C, у твердых термореактивных смол он достигает $(50\div100)\cdot10^{-6}$1/°C, то есть в 5—10 раз выше, чем у стали и обычного бетона.

Введение заполнителей понижает температурные деформации полимербетона до величин, допускающих его упрочнение стальной арматурой. Однако из главных достоинств полимербетона, определивших области его применения, — повышенная химическая стойкость (табл. 17).

Таблица 17

Ориентировочная оценка химической стойкости полимербетонов (по 10-балльной шкале) (Скупин, 1967)

Материалы	Сопротивление полимербетона действию					
	кислот	окислителей	щелочей	солей	растворителей	масел и нефтепродуктов
Полимербетоны на вяжущих:						
фенольных	9—10	3—4	5—7	10	7	8
фурановых	10	2	9	10	8	8
полиэфирных	8—9	6—7	3—4	8—10	4—5	7—9
эпоксидных	9	3	8	10	6—7	9
Бетон на портландцементе	1	1	9	5	5—7	5—6

Высокими показателями химической стойкости обладают фенолоформальдегидные и в большей степени фурановые смолы.

Химическая стойкость полимербетона зависит от плотности. Плотный бетон может разрушаться лишь с поверхности.

---

* Сталеполимербетонные строительные конструкции. Под ред. С. С. Давыдова и А. М. Иванова. М., Стройиздат, 1972.

Термостойкость полимербетона ориентировочно может быть охарактеризована следующими цифрами: на фенольных смолах — 120—180°С; на фурановых — 150—200°С; на полиэфирных — 100—140°С и на эпоксидных смолах 100—150°С.

Важным качеством полимербетона является высокая *износостойкость*.

Истираемость полиэфирного полимербетона равна 0,03—0,04 г/см², полимербетона на мономере ФА — 0,18 г/см² и на эпоксидных смолах — 0,001 г/см² (Воскресенский, Соколова, 1964). По данным автора книги и В. Б. Резника, сопротивление истиранию полимербетонов на мономере ФА и на кварцевых заполнителях в 2—5 раз выше, чем цементного бетона, а на гранитных заполнителях — в 20—25 раз.

Как будет показано ниже, кавитационная стойкость полимербетонов в десятки и даже сотни раз выше, чем у цементных бетонов. Это в первую очередь относится к эпоксидным, а затем к фурановым полимербетонам.

Ударная прочность полимербетона на мономере ФА, гранитном песке и щебне в 7—10 раз выше, чем у цементного бетона. Полимербетон на эпоксидных смолах имеет ударную прочность, в 5—10 раз более высокую, чем обычный цементный бетон (Почанский, Сачко, 1968).

Полимербетон может быть армирован, причем прочность защемления стальной арматуры в полимербетоне на мономере ФА достигает 60 кгс/см², на полиэфирной смоле ПН-1 — 70 кгс/см², известно о хорошей адгезии к металлу эпоксидного полимербетона.

Из-за высокой плотности полимербетона нет особых оснований опасаться коррозии арматуры в нем в случае применения кислых катализаторов. Для примера можно указать на длительные наблюдения автора книги за состоянием арматуры в полимербетонной облицовке плотин Беш-Алышского и Сары-Курганского гидроузлов. В течение 11—12 лет эксплуатации каких-либо признаков коррозии арматуры в полимербетоне на мономере ФА не обнаружено.

Опыт применения износоустойчивых и противокавитационных облицовок из полимербетонов. Применение полимербетонов в водохозяйственном строительстве еще ограничено. В последние годы в нашей стране и за рубежом все большее распространение находят гидроизоляционные, антикоррозийные и износоустойчивые облицовки, штукатурки и разные виды покрытий полов, труб и т. п. из полимербетона или полимерраствора.

Важная задача использования полимербетонного покрытия — обеспечение связи его с основанием, а также длительной работы покрытия в условиях попеременного или постоянного смачивания водой, замораживания и оттаивания и т. д.

Сцепление полимербетонного покрытия на основе фенольных и фурановых смол с основанием из бетона или металла представляет определенные трудности из-за кислой реакции этих композиций и требует укладки

грунтовочного слоя (Соломатов, 1967) или устройства специальных анкеров в основании (Елшин, 1967).

Полиэфирные и эпоксидные облицовки, наоборот, обладают высокой адгезией к металлическим и бетонным поверхностям; прочность сцепления облицовок с бетоном превышает разрывную прочность самого бетона.

Как указывалось, полимербетон на мономере ФА отличается высокой химической стойкостью, плотностью, прочностью и весьма хорошей износостойкостью. Это и предопределило его успешное применение.

Износоустойчивые облицовки. Впервые в практике отечественного и зарубежного опыта полимербетон применен в качестве износоустойчивых облицовок гидротехнических сооружений на горных реках (Елшин, Остер-Волков, 1960).

Обычно при строительстве водозаборных сооружений, расположенных на горных участках рек, решается сложная задача защиты этих сооружений от движущихся с водой донных наносов.

Цементные бетоны, как правило, не могут противостоять действию наносов, и сооружения в этих случаях защищают облицовками из отбеленного чугуна, стали, гранита и т. п. Такие облицовки дороги и трудоемки в изготовлении.

Автор книги и Н. Н. Остер-Волков предложили использовать более экономичные облицовки из полимербетона на мономере ФА для защиты элементов горных водозаборных сооружений.

Первые производственные эксперименты по использованию полимербетона для защиты сооружений от донных наносов были выполнены в 1959—1960 гг. на плотинах Верхне-Чирчикского водного узла, плотине Пальман и Ассакинском сбросе, расположенных на горных реках в Узбекской ССР, а также в 1960 г. в условиях кавитационной эрозии на гасителях водосливной плотины и донных водосбросах Волжской ГЭС им. В. И. Ленина.

На Беш-Алышском гидроузле (Узбекская ССР) в 1961 г. впервые в практике гидротехнического строительства из полимербетона выполнен целиком элемент плотины. Он нашел здесь применение в качестве износоустойчивой облицовки водослива вместо запроектированной облицовки из литого базальтового камня.

Работы на плотине выполнены под руководством автора книги и Х. У. Мухаммедова.

Водосливная часть плотины на общей площади 300 м² покрыта полимербетоном толщиной 8—15 см (Елшин, 1967).

В связи с плохим сцеплением полимербетона с цементным бетоном была сделана сплошная анкеровка облицовки стальной щетиной диаметром 16 мм из расчета пять стержней на 1 м² поверхности. На водосливе, кроме этого, уложена арматурная сетка 40×40 см из прутьев периодического профиля диаметром 12 мм. Уплотнение полимербетонной смеси при устройстве облицовки проводилось площадочными вибраторами.

Спустя десять дней после завершения работ через плотину были пропущены паводковые воды, содержащие донные наносы из песка с небольшим содержанием мелкого гравия.

В последующие годы при кратковременных пропусках через плотину паводковых вод проходили в основном песчаные наносы, содержащие гравий крупностью до 120 мм.

Весной 1966 г. в результате прорыва горного озера через плотину Беш-Алышского гидроузла в течение длительного времени пропускался поток с расходом воды, значительно превосходящим катастрофический. Узлу был нанесен серьезный ущерб, щиты и другие металлические детали были согнуты или вырваны водой, в то время как полимербетонная облицовка полностью сохранилась.

Осмотр плотины весной 1973 г. показал, что после двенадцатилетней эксплуатации полимербетонная облицовка находится в удовлетворительном состоянии.

Замена облицовки из базальтовых плит на полимербетон позволила снизить проектную стоимость с 48 до 30 руб. на 1 м², кроме того, работы были значительно упрощены и облегчены.

В 1972 г. полимербетон был применен на плотине Сары-Курган, расположенной на предгорном участке р. Сох в Узбекской ССР. Пожалуй, трудно назвать в Средней Азии плотину, работающую в столь тяжелых наносных условиях.

Плотина имеет шесть отверстий и рассчитана на пропуск 360 м³ воды. Паводковые расходы р. Сох обычно составляют 200 м³/с, при этом поток, скорости которого на водосливе достигают 8—9 м/с, несет большое количество донных наносов средней крупности 70 мм, размеры отдельных камней достигают 300 мм и более.

Горизонтальная и наклонная части водослива плотины первоначально были облицованы крупным булыжным камнем на цементном растворе. В первые же годы эксплуатации обнаружилась непригодность такой облицовки. Неудачным также оказался эксперимент с укладкой сталебетона и дерева. Тогда водослив стали закрывать металлом из листов котельной стали, швеллера, рельсов и т. п. Многолетние наблюдения показали, что сталь подвергается здесь ежегодному истиранию на 1,5—2 мм.

По мере истирания стальной облицовки, покрывавшей почти весь водослив, работы по смене отдельных элементов становились все более сложными. Встал вопрос о полной замене облицовки на такую же стальную или применении нового облицовочного материала.

По предложению автора книги было принято решение об устройстве сплошного покрытия из полимербетона в первом и втором пролетах плотины. Работа была выполнена с 15 по 22 апреля 1962 г. (Елшин, 1967).

Для удобства работ и уменьшения усадочных трещин в полимербетоне поверхность была разбита на семь продольных полос шириной 1,5—2 м. Укладка полимербетона велась в опалубке, высота которой соответствовала толщине укладываемого слоя полимербетона (12—20 см).

Полимербетон готовился на дробленом гравии фракции 5—20 мм и андезитовой муке Бакурианского завода.

Смесь приготовляли в двух бетономешалках свободного падения емкостью 250 л.

Пуск воды был начат через две недели после окончания работ, и полимербетон сразу попал под активное воздействие наносов.

Паводки 1962 и 1963 гг. не принесли заметных повреждений полимербетону, при этом общее истирание составляло 0,5—2 см.

Исключение составил участок в нижней части водослива, где на площади около 13 м² полимербетон был разрушен до основания, арматура порвана и концы ее стерты (рис. 24). По заключению комиссии, причина состояла в недостаточной толщине полимербетона на

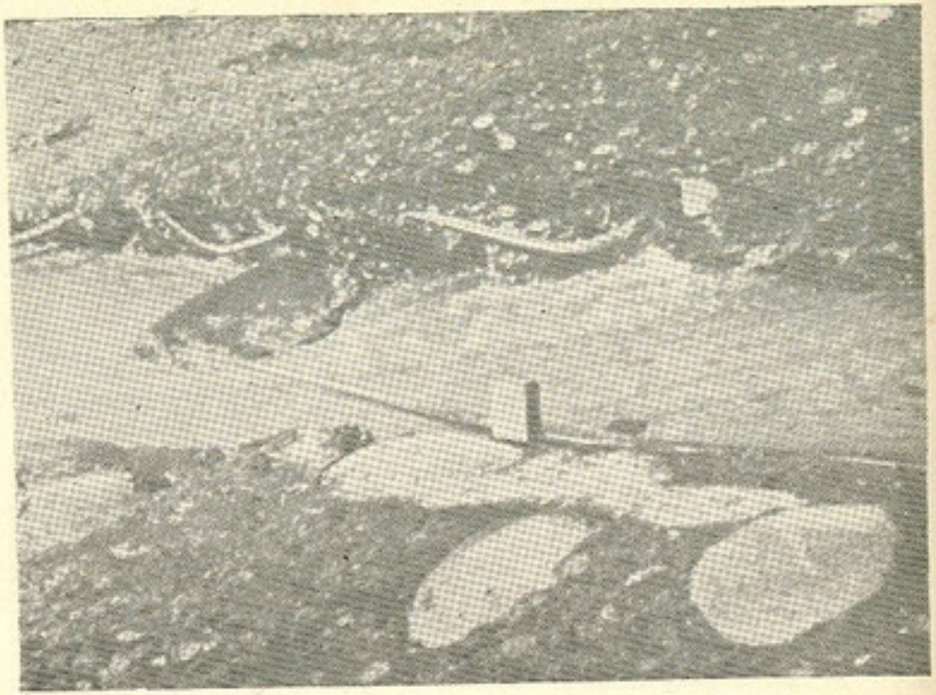


Рис. 24. Характер истирания арматуры в каверне полимербетонной облицовки.

этом участке (7—7,5 см), а главное в том, что оставшиеся под полимербетоном стальные листы неплотно прилегали к основанию, создавая при динамическом воздействии потока вибрацию в облицовке.

Из-за отсутствия материалов для полимербетона каверна перед паводком 1966 г. была закрыта стальными листами толщиной 12 мм.

Ремонтные работы потребовали расширить каверну. В последующие годы, по мере частичного истирания облицовки, укладка стальных листов продолжалась.

При осмотре облицовки весной 1973 г. отмечено, что после 11 лет эксплуатации в чрезвычайно тяжелых условиях полимербетонное покрытие сохранилось на 90 м² из 220 м² облицованной площади. Толщина полимербетона в наименее истертых участках составляла 13—15 см, в наиболее изношенных — 7—8 см. Характерно, что булыжные камни, втопленные в бетон, и зерна крупного заполнителя истерлись заподлицо с растворной частью полимербетона.

Признаков старения полимербетона не обнаружено.

Применение полимербетона на плотине Сары-Курган не только снизило трудоемкость работ по устройству облицовки, но и уменьшило ее стоимость. При цене мономера ФА 550 руб. за 1 т стоимость материалов на 1 м² облицовки из бутополимербетона составила около 15 руб., в то время как стоимость стальной облицовки достигала 40—50 руб.

В последующие годы полимербетон на мономере ФА применялся в качестве износоустойчивого материала на ряде гидротехнических сооружений в Средней Азии: Гиссарской плотине на р. Дюшамбедарья; Арысь-Туркестанском водном узле на участке Караспан и на Яккабагском гидроузле на р. Яккабагдарья.

На Караспанской плотине водосливная часть всех семи пролетов и стенок быков (устоев) облицована полимербетоном толщиной 15 см на общей площади 575 м² (рис. 25).

После десяти лет эксплуатации полимербетон хорошо сохранился, отмечено лишь небольшое, характерное для полимербетона равномерное истирание растворной части и заполнителя.

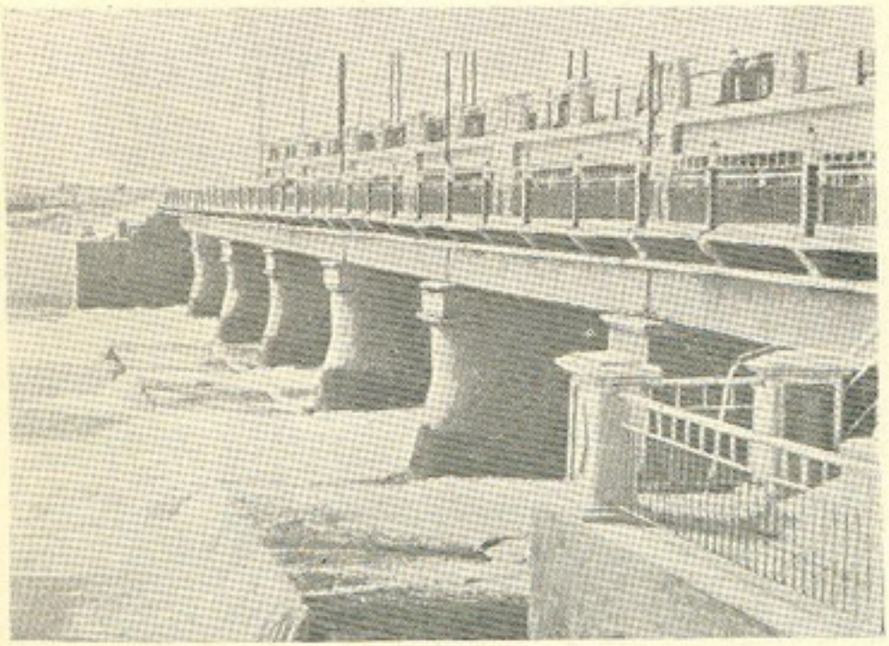


Рис. 25. Плотина Арысь-Туркестанского водного узла, облицованная полимербетоном.

Однако не везде опыт применения полимербетона на мономере ФА оказался удачным. Так, на плотине Ак-Бура (Киргизская ССР) облицовка, выполненная в 1964 г., сразу же после пуска воды начала размываться. Разрушение полимербетона объясняется низким качеством проведения работ, в частности применением недостаточно хорошо просушенной андезитовой муки. Автор книги не раз наблюдал в лабораториях и производственных условиях, когда плохая сушка заполнителей (обычно андезитовой муки) препятствовала отверждению полимербетона. Во всех случаях следует обращать особое внимание на высококачественную сушку заполнителей.

Представляют интерес также работы по устройству полимербетонной облицовки Яккабагской плотины. Полимербетон на этом гидроузле уложен на площади более 1000 м².

Плотина, построенная на предгорном участке Яккабагдарья, состоит из пяти пролетов, два из них работают в наиболее жестком наносном режиме. В сентябре 1969 г. были осуществлены работы по устройству полимербетонной облицовки во втором пролете, а осенью 1970 г. в первом пролете и промывной галерее (Елшин, Слободяник, Резник, 1972).

Для полимербетона в качестве крупного заполнителя использовался гравий Сары-Ассийского карьера, который является наиболее кислотостойким из числа заполнителей, разрабатываемых в местных карьерах; в качестве мелкого заполнителя применялась андезитовая мука месторождения Анипемза (Армянская ССР).

Основанием для полимербетонной облицовки служил цементный бетон марки 200, в котором предварительно устанавливали стальные анкера для закрепления арматурной сетки. Вслед за этим тщательно промывали бетонное основание струей воды, затем подсушивали его и непосредственно перед началом укладки полимербетона очищали сжатым воздухом.

Учитывая, что полимербетон на мономере ФА отличается значительными усадочными деформациями, боковые грани ранее забетонированных плит промазывали солидолом, что позволило разграничить облицовку на отдельные карты площадью не более 5 м² и тем самым уменьшить вероятность появления усадочных трещин в облицовке.

Полимербетонную смесь приготовляли в бетономешалках свободного падения емкостью по 250 л. Готовую смесь выгружали в бадьи и автокраном подавали к месту укладки.

Уложенная в опалубку полимербетонная смесь на горизонтальных участках уплотнялась при помощи площадочных вибраторов, на наклонных — при помощи глубинных.

Приготовление и укладка монолитного полимербетона при значительном объеме работ выявили ряд технологических трудностей, отрицательно сказавшихся на качестве и себестоимости облицовки.

Начиная с лета 1970 г. через плотину пропускались паводковые воды, содержащие песчано-галечниковые наносы с отдельными камнями до 20—30 см в поперечнике. К концу 1972 г. наносы, отлагающиеся в нижнем бьефе плотины, уже лежали слоем толщиной в несколько метров. Обследования состояния полимербетонной облицовки не выявили каких-либо повреждений от действия наносов.

Стоимость 1 м² полимербетонной облицовки Яккабагского гидроузла составила 38 руб., что в 2—2,5 раза ниже стоимости устройства традиционных износоустойчивых облицовок из отбеленного чугуна и гранита.

Для определения прочности полимербетона в облицовке применен склерометрический метод контроля прочности при помощи прибора ударного действия.

Использование склерометрического метода испытания прочности бетона связано с тем, что выбуривание кернов или выпиливание кубиков для испытаний из полимербетона в полевых условиях сопряжено со значительными трудностями, так как прочность при сжатии этого материала может достигать 1200 кгс/см².

Для проведения исследований предварительно были составлены картограммы пролетов с разбивкой полимербетонных площадей на условные квадраты (рис. 26), соответствующие участкам, из которых отбирали пробы полимербетона (размером 10×10×10 см) в процессе устройства облицовки в 1969—1970 гг. (Елшин, 1972).

Указанные контрольные кубы хранились в условиях, аналогичных натурным, и соответствовали возрасту облицовки. В лаборатории был проведен отстрел контрольных кубов на пяти гранях по три точки на каждой

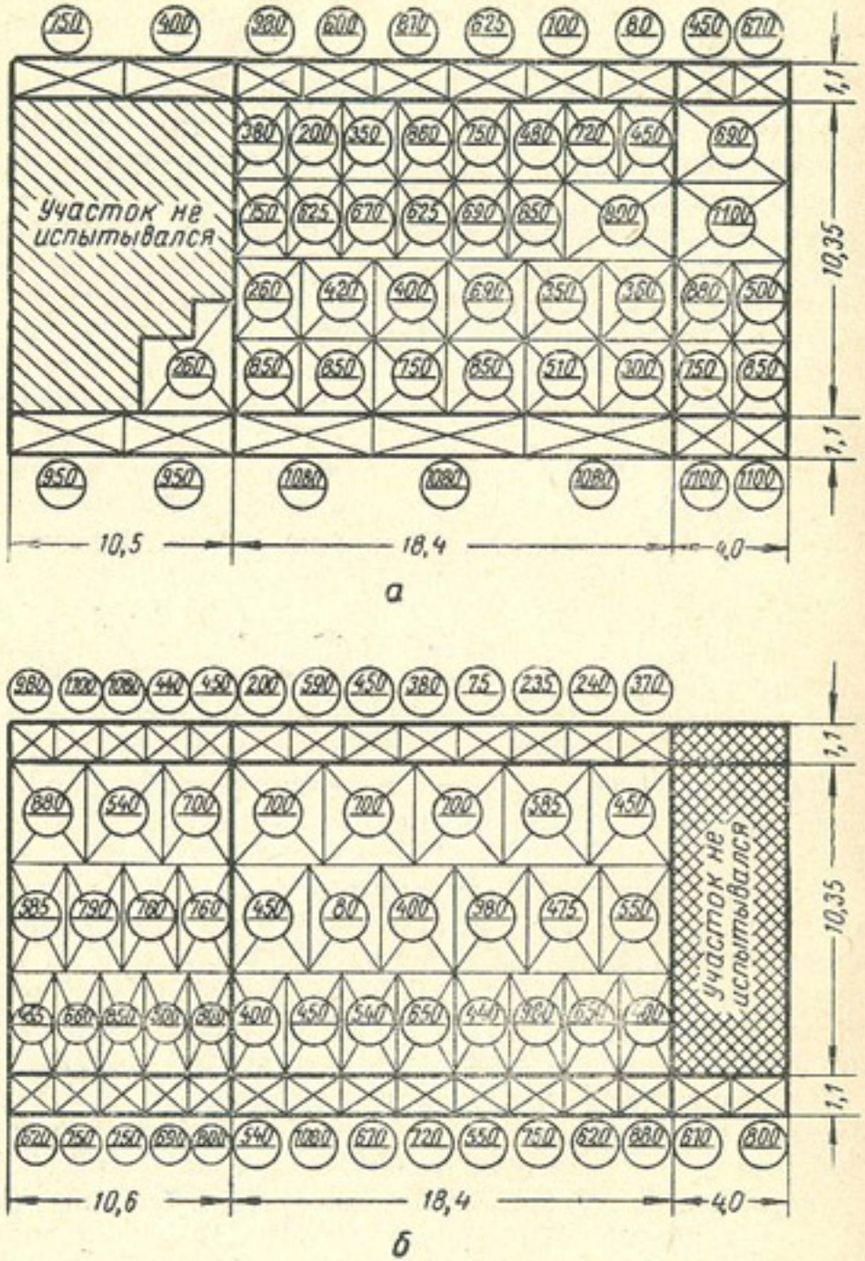


Рис. 26. Результаты испытаний полимербетонной облицовки пролетов 1 и 2 Яккабагского гидроузла:

а — пролет № 1, сооруженный в сентябре—октябре 1970 г.; *б* — пролет № 2, сооруженный в сентябре—октябре 1969 г. (в кружках показана прочность при сжатии в данном квадрате).

и определена их прочность при сжатии раздавливанием на прессе. По результатам неразрушающих и механических испытаний вычислены координаты точек эмпирической линии регрессии для построения тарировочной кривой на корреляционном поле опытных точек. В полевых условиях, согласно составленным картограммам, проводили отстрел полимербетонной облицовки, выполненной в 1969 и 1970 гг., результаты испытаний заносили в таблицы.

Характерно, что в квадратах (рис. 26, *б*), в которых полимербетон укладывали в период повышенной влажности воздуха и резкого снижения температуры окружающей среды осенью 1969 г., прочность его оказалась низкой. Это подтвердилось испытанием контрольных образцов-кубов, отобранных в процессе устройства облицовки в этих квадратах, и результатами испытаний склерометрическим методом.

Внедрение в практику водохозяйственного строительства износоустойчивых облицовок из полимербетона на мономере ФА, выполненное на ряде сооружений в Средней Азии, показало их эффективность и целесообразность замены традиционных облицовок на полимербетонные.

Однако имеется ряд существенных трудностей в технологии приготовления и укладки монолитной облицовки из полимербетона, что поставило на повестку дня вопрос о разработке конструкций, технологии изготовления и монтажа сборных полимербетонных облицовок.

В общем случае полимербетонные облицовки могут быть монолитными, сборно-монолитными и сборными*.

По конструктивным соображениям наиболее удачной считается сборно-монолитная облицовка, надежность и долговечность которой должна быть обеспечена при длительном существовании гидродинамических и абразивных воздействий.

Расчет сборно-монолитной конструкции износоустойчивой облицовки из армополимербетона заключается в обосновании размеров плит и их армирования

* Руководство по производству работ при устройстве износоустойчивых облицовок ирригационных сооружений из пластобетона на мономере ФА. Центральное нормативно-исследовательское бюро, М., 1970.

из условия износостойкости, трещиностойкости и прочности.

Расчетом на износ устанавливается толщина полимербетонной плиты. Изнашивающее действие потока воды с наносами определяется зерновым составом и крупностью наносов, их количеством, петрографическим составом, а также скоростью и характером передвижения. Характерным случаем является износ облицовки от действия истирания и удара в результате пропуска через сооружение потока воды с наносами.

Износ облицовки может быть рассчитан по эмпирической формуле, предложенной В. Я. Горенбейном *,

$$h = A\,\mathrm{Fr}^* K_1 K_2, \qquad (1)$$

где h — глубина износа за один год эксплуатации сооружения, м;
A — коэффициент пропорциональности, равный 10^{-6};
Fr^* — число Берстоу, получаемое по формуле,

$$\mathrm{Fr}^* = \frac{v}{\sqrt{gH}}, \qquad (2)$$

где v — средняя скорость потока для рассматриваемого участка сооружения, м/с;
H — глубина потока, м;
g — ускорение свободного падения, м/с^2.

Параметр K_1 характеризует физические характеристики наносов и прочностные характеристики бетона:

$$K_1 = \frac{R_н^2 \gamma_н}{\gamma_б R_б R_{к.з} D_{к.з}}, \qquad (3)$$

где $R_н$ — прочность зерен наносов, кгс/см^2;
$\gamma_н$ — насыпная плотность наносов, кг/м^3;
$\gamma_б$ — средняя плотность бетона, кг/м^3;
$R_б$ — прочность бетона при сжатии, кгс/см^2;
$R_{к.з}$ — прочность крупного заполнителя при сжатии, кгс/см^2;
$D_{к.з}$ — предельные размеры зерен крупного заполнителя, м.

* Методические рекомендации по технологии изготовления бетона, подверженного воздействию кавитаций, и износостойких облицовок гидротехнических сооружений. П—58—72. Л., «Энергия», 1972,

Параметр K_2 характеризует крупность и количество наносов:

$$K_2 = \frac{Q(A_1 d_н + A_2 d_в)\mu}{F_н}, \qquad (4)$$

где A_1 и A_2 — насыщенность потока соответственно донными и взвешенными наносами, %;
Q — годовой сток воды, м^3;
$d_н$ и $d_в$ — средний диаметр соответственно донных и взвешенных наносов, м;
μ — коэффициент трения скольжения мокрого песка и камней по бетону, равный 0,5;
$F_н$ — площадь износа на единицу длины сооружения, м^2.

Формула (1) получена для цементных бетонов. При использовании бетонов других видов вводится дополнительно коэффициент K, равный для сталебетона 0,85, полимербетона на ЭД-5 или ЭД-6—0,62, для торкретбетона и растворов марок 400—500 — 2,2÷2,5.

Рекомендации об использовании формулы (1) для расчета износа облицовок из гранита, стали и т. д. неправомочны, поскольку нельзя выявить соответствующие значения для подсчета K_1 по формуле (3). Кроме того, в этом случае исключается возможность учета характеристик наносов. Неверно также введение в расчеты общего годового стока воды, поскольку движение наносов, в основном донных, происходит, как правило, только в короткий паводковый период.

Представляется также сомнительной целесообразность введения в расчеты данных по взвешенным наносам, которые, как показывает практика эксплуатации, не только не истирают, но даже и кольматируют бетон.

Автором книги пересмотрена формула (1) и предложен расчет износа облицовки применительно к полимербетону на мономере ФА. При этом значения K_1 остались неизменными, а значения K_2 предложено определять из выражения:

$$K_2 = \frac{Q \cdot A_0 \cdot d \cdot \mu}{F_н}, \qquad (5)$$

где Q — сток воды за период движения донных наносов, м^3/год;

Λ_0 — насыщение потока донными наносами (безразмерная величина);

d — средний диаметр донных наносов, м.

С учетом указанных уточнений, проведено определение коэффициента К для условий работы облицовки из полимербетона на мономере ФА на Сары-Курганском, Беш-Алышском и Яккабагском гидроузлах. При этом установлено, что K меняется в пределах 0,54—0,58 и с достаточно высокой точностью может быть принят равным 0,56. Тогда формула (1) расчета величины износа примет вид:

$$h = A\Gamma r^* K K_1 K_2. \qquad (6)$$

При проектировании сборных полимербетонных облицовок, работающих при динамическом воздействии потока воды с донными наносами, особое внимание следует обращать на надежность стыкования сборных плит между собой и их анкеровки к основанию.

Автором книги совместно с В. Б. Резником разработана конструкция двухслойной бетоно-полимербетонной плиты.

Такая плита, предназначенная для износоустойчивой облицовки гидросооружений, состоит из двух слоев: нижнего — цементно-бетонного толщиной 8—10 см и верхнего — полимербетонного толщиной, устанавливаемой расчетом, но не менее 10 см.

Бетонная плита шире полимербетонной на 75 мм с каждой стороны. По ее углам установлены закладные детали — стальные пластины. По обеим продольным сторонам по середине выступающей части бетонной плиты устроены пазы размерами 75—150 мм для образования вертикальной шпонки.

Бетонная плита армируется пространственным каркасом или двумя рядами сеток.

В нижней части полимербетонной плиты укладывается один слой арматурной сетки.

Двухслойные бетоно-полимербетонные облицовки монтируются по бетонному основанию на цементном растворе.

После того как будут смонтированы все или несколько плит, закладные детали по углам бетонных плит свариваются между собой, после чего в пазы по контуру полимербетонного слоя укладываются арматурные каркасы, которые привариваются к закладным

деталям по углам плит и анкерам, проходящим из основания облицовки через полости в бетонной части плиты.

Заключительная операция — омоноличивание полимербетоном всех горизонтальных и вертикальных пазов, в результате чего армополимербетон оказывается надежно соединенным с бетонным основанием.

Монтаж плит в зависимости от их размеров проводится автомобильным или гусеничным краном.

Изготовление сборных бетоно-полимербетонных облицовок может быть выполнено раздельным или совмещенным способом.

В первом случае сначала изготовляют бетонную плиту по обычной технологии, после чего ее наращивают полимербетонным слоем с последующим отверждением полимербетона в естественных условиях.

Раздельное формование практически может быть осуществлено на приобъектном полигоне. Однако для заводских условий он неприемлем из-за длительности приготовления плит, особенно в холодное время года.

При совмещенном способе формования, так же как и при раздельном, в инвентарной опалубке формуется бетонная плита, на поверхность ее, не ожидая схватывания бетона, пистолетом-распылителем наносится два слоя быстротвердеющего, химически стойкого пленкообразующего покрытия.

После образования непроницаемой пленки, что происходит в течение 20—30 мин, на бетонной плите формуется полимербетонный слой. Затем двухслойная плита подвергается термообработке горячим воздухом или электропрогревом. При этом следует применять обычный для цементного бетона «мягкий режим» термообработки с температурой изотермического прогрева 70—80°С.

В 1972—1973 гг. впервые в отечественной и зарубежной практике сборная бетоно-полимербетонная облицовка применена на Гавасайской плотине (Наманганская область Узбекской ССР). Размеры бетоно-полимербетонной плиты вследствие очень тяжелых наносных условий р. Гавасай приняты равными 1,0×2,0×0,16 м.

В качестве заполнителей для полимербетона применены щебень и песок, полученные дроблением крупной гальки из плотных песчаников и гранита. Для по-

вышения структурной плотности и водостойкости полимербетона использована андезитовая мука Бакурианского завода и канальная сажа. Расход компонентов на 1 м³ полимербетона составил:

щебень фракции 5—10 мм . . .	558 кг	(24%)
» » 10—20 » . . .	558 »	(24%)
песок » 0,14—5 » . .	463 »	(20%)
андезитовая мука	417 »	(17,5%)
канальная сажа	10 »	(0,5%)
мономер ФА	250,6 »	(11%)
бензолсульфокислота	75,3 кг	(3%)
	2332 кг	

Бетоно-полимербетонные плиты изготовляли на открытом полигоне при раздельном формовании плит. Образцы после хранения в естественных условиях показали предел прочности при сжатии: в возрасте 2 сут — 750—800 кгс/см², в возрасте 180 сут — 800—900 кгс/см².

Хотя стоимость сборной облицовки оказалась несколько выше монолитной, технология ее устройства была несравненно проще, однородность и качество плит значительно выше, чем при монолитной облицовке.

Ориентировочная стоимость устройства различных типов износоустойчивых облицовок составляет (в руб/м²): гранитные плиты — 120, чугунные (отбеленные) плиты — 82, стальные плиты — 50, монолитная полимербетонная — 38, сборная бетонополимербетонная — 45.

Противокавитационные покрытия. Кавитация представляет собой процесс нарушения сплошности быстродвижущегося потока жидкости с образованием пузырей, заполненных парами жидкости и газами. Она возникает там, где происходит местное понижение давления, обычно ниже давления насыщенных паров.

При поверхностной кавитации возникновение и захлопывание пузырей происходит при наличии на поверхности обтекаемого тела выступов, впадин и т. п. В этом случае на поверхности материала происходит местный отрыв потока жидкости с образованием кавитационных каверн. Захлопывание пузырьков происходит вблизи материала, вызывая при этом специфическое разрушение его — кавитационную эрозию (Миличенко, 1971).

Кавитационные разрушения материалов гидросооружений наблюдаются при скоростях потока более 25—30 м/с, однако известны случаи разрушения сооружений при скоростях потока 14—20 м/с.

Интенсивность эрозии резко возрастает с увеличением скорости потока, так как связь эрозии и скорости потока для стадии кавитации, соответствующей максимальной эрозии, выражается зависимостью с показателем степени 4 (Кавешников, 1971).

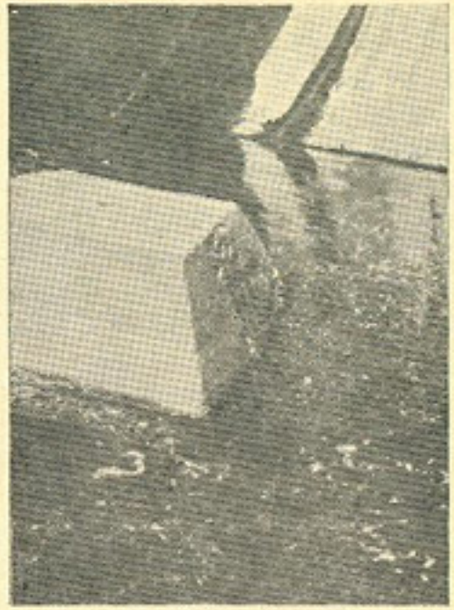


Рис. 27. Кавитационное разрушение на шашке-гасителе водосливной плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина.

Кавитационные повреждения наблюдались на плотинах Бонневиль, Грэнд-Кули, Чиф-Джозеф и др. (США), а также в СССР на Волжской ГЭС им. В. И. Ленина (рис. 27), Бухтарминской и Братской ГЭС и на Супхунской ГЭС в КНДР (Иноземцев, 1969; Покровский, 1968).

Для защиты бетонных конструкций гидросооружений от кавитации применяют специально подобранные цементные бетоны с повышенной износоустойчивостью. Однако и этот материал не способен длительно работать в потоках, характеризующихся сильными кавитационными воздействиями.

Что касается металлических облицовок, то устройство их связано со сложностью крепления, высокой стоимостью, а также с частыми отрывами облицовок. Поэтому это решение также не всегда эффективно.

Следует ожидать, что полимерные материалы займут доминирующее положение при защите гидротехнических сооружений от кавитации.

Рядом организаций страны (ВНИИГ, МИСИ, НИС Гидропроекта и др.) проведены широкие лабораторные и производственные испытания различных полимерных материалов в качестве кавитационного покрытия.

К числу полимерных материалов с повышенной по сравнению с обычным бетоном кавитационной стойкостью относятся фторопласт, полиэтилен низкого давления, эпоксидные смолы, синтетические каучуки и т. д. Из названных материалов наиболее перспективными, по мнению большинства исследователей, являются полимербетоны (полимеррастворы) на чистых эпоксидных или модифицированных эпоксидных смолах, а также фурановых (Греков, Лангин, 1968; Елшин, 1962; Покровский, 1968; Язев, 1968).

Опыты Н. С. Покровского показали, что покрытия на основе эпоксидных смол ЭД-6 и Э-40 достаточно износостойки. Только после 100 ч пребывания в камере Вентури при скорости воды 58 м/с на образцах проявились признаки эрозии. В этих же условиях бетон марки 300—400 начинает разрушаться через 3—5 ч, а износоустойчивый бетон — через 7—8 ч.

Введение в состав эпоксидных покрытий до 75% кварцевого порошка не ухудшает их кавитационной стойкости; тиокол значительно увеличивает кавитационную стойкость покрытия, но ухудшает его сцепление с бетоном.

А. В. Саталкиным с сотрудниками (1971) в ЛИИЖТ проведены сравнительные испытания кавитационной стойкости составов на основе композиций из смол ПДИ-ЗА и ЭА (эпоксидно-анилиновая), разработанных С. П. Пыщевой.

Испытания проводились на бетонных образцах, покрытых ненаполненной композицией толщиной 0,5—2,5 мм и наполненной цементом толщиной слоя 1—3 мм. В обоих случаях в кавитационной камере Вентури создавалась скорость течения воды 30 м/с.

Испытания показали, что ненаполненное покрытие на основе смол ПДИ-ЗА и ЭА превосходит по кавитационной стойкости эпоксидное покрытие в 20—30 раз. Стойкость указанной композиции, наполненной цементом, в 100 раз выше кавитационной стойкости эпоксидного покрытия.

В 1965 г. в донной галерее плотины Красноярской ГЭС было сделано несколько опытных полимеррастворных покрытий, для которых применялись смолы ЭД-6 и ЭД-5, дибутилфталат, толуол или ацетон, портландцемент, слюдяной или кварцевый порошки и полиэтиленполиамин. Несмотря на неблагоприятные условия работы (высокая влажность и низкая температура воздуха, кратковременная выдержка перед эксплуатацией), указанное покрытие успешно работало в течение $2^1/_2$ лет при скоростях потока в период паводка до 17 м/с.

Лучшие показатели кавитационной стойкости и адгезионной прочности дал эпоксидно-тиоколовый полимеррастворс электрокорундом в качестве наполнителя, близкие к нему результаты по кавитационной стойкости показал эпоксидно-тиоколовый полимеррастворбез наполнителя, но он обладал плохими адгезионными свойствами из-за высокого (по отношению к цементному бетону) коэффициента линейного расширения ($107 \cdot 10^{-6}$). Коэффициент линейного расширения эпоксидно-тиоколового полимеррастворас электрокорундом равен $26 \cdot 10^{-6}$.

Однако точка зрения о перспективности эпоксидных покрытий для защиты сооружений от кавитационной эрозии далеко не единодушна. Ряд специалистов МИСИ и НИС Гидропроекта указывают на быстрый отрыв эпоксидных покрытий от бетона в период их испытаний. На это же указывают некоторые американские исследователи (Иноземцев, 1969).

Таким образом, отдавая предпочтение полимерным покрытиям, в первую очередь полимеррастворам, есть основание полагать, что эпоксидные композиции окажутся далеко не единственными при разработке кавитационных покрытий. В частности, особого внимания заслуживают полимербетоны на фурановых смолах, которые значительно дешевле и менее дефицитны, чем эпоксидные.

В связи с этим автором книги совместно с В. Б. Резником выполнены исследования кавитационной стойкости фурановых полимербетонов в напорной гидротрубе конструкции НИС Гидропроекта (давление 8 кгс/см², скорость потока 36 м/с).

Результаты испытаний кавитационной стойкости полимербетонов (табл. 18) показывают, что ненаполненному полимеру присуща невысокая кавитационная стойкость, что связано с быстрым водонасыщением образцов в момент испытания и соответствующим ухудшением механических свойств полимера. Наполнение полимера графитовым порошком, несмотря на низкую кавитационную стойкость самого графита,

приводит к возрастанию стойкости полимера и тем в большей степени, чем выше наполнение. Сравнительно быстрое кавитационное разрушение наблюдается в полимербетоне на кварцевом и в меньшей степени на гранитном песке. Введение в полимербетон на кварцевом песке графитового микронаполнителя существенно повышает кавитационную стойкость системы, причем оптимальное количество наполнителя находится в пределах 5—10% от массы заполнителя. В этом случае кавитационная стойкость полимербетона и 20 раз выше стойкости цементного бетона марки «400».

Таблица 18

Кавитационная эрозия полимербетона на мономере ФА

Вид бетона и его состав	Кавитационная эрозия, см³/ч	Предел прочности, кгс/см²		
		при сжатии	при изгибе	при растяжении
Полимер ФА	0,88	960	236	100
ФА+35% графита	0,63	—	382	185
ФА+50% графита	0,38	1235	397	156
То же, после месячного выдерживания в воде	0,84	—	—	—
ФА+50% гранитного наполнителя	0,12	1130	369	164
ФА+кварцевый песок	1,63	609	126	61
То же,+1% графита	0,23	600	160	85
То же,+5% »	0,12	750	180	89
То же,+10% »	0,12	650	155	76
То же,+20% »	0,31	595	187	90
ФА+гранитный песок	0,65	—	—	—
Гранит Коростышевского месторождения	0,03	1730	—	—
Цементный бетон на гранитном песке	2,50	400	49	—

Предварительное выдерживание в течение месяца в воде приводит к снижению кавитационной стойкости полимербетона, значения которой в последующем стабилизируются.

В процессе исследований установлено, что меры, направленные на повышение износостойкости и ударной прочности полимербетонов, в полной мере могут быть распространены на случай проектирования фурановых полимербетонов повышенной стойкости к кавитации, что указывает на общность природы разрушения материала в процессе износа и кавитации.

В порядке производственного эксперимента под руководством автора книги в 1960 г. был выполнен ремонт полимербетоном на мономере ФА двух шашек-гасителей водосливной плотины Волжской ГЭС им. В. И. Ленина. При изготовлении полимербетона в качестве заполнителей применяли кварцевый речной песок и гранитный щебень. Несмотря на то, что полимербетоны на указанных заполнителях дают значительно худшие результаты, чем на заполнителях из андезита, гранита и других пород, обследования, проведенные в 1968 г. (Иноземцев, 1969), показали, что полимербетонная пломба на гасителе № 243 после восьми лет эксплуатации находится в удовлетворительном состоянии, значительного износа не наблюдается. На некоторых же гасителях, отремонтированных цементным бетоном, вновь появились большие кавитационные разрушения.

Применение фуранового полимербетона для противокавитационных облицовок в отличие от эпоксидного усложняется необходимостью анкеровки плит к основанию. Для решения вопроса о возможности склеивания фуранового полимербетона с цементным УкрНИИГиМ (Х. С. Абдужабаров и Р. М. Окопова) выполнены исследования фурано-эпоксидных композиций, давших вполне обнадеживающие результаты.

Для износоустойчивых и противокавитационных покрытий перспективны бетонополимеры, изготовляемые из цементных бетонов, пропитанных под вакуумом мономером с последующей его полимеризацией за счет радиационного облучения или прогрева. Бетонополимеры по физико-механическим свойствам приближаются к полимербетонам. Исследования этих материалов в СССР ведутся под руководством Ю. М. Баженова.

Ремонт бетонных и железобетонных конструкций с применением полимерных материалов. Ремонт и восстановление бетонных и железобетонных конструкций, когда требуется придать им первоначальную монолитность и прочность, в известной степени напоминает задачу по омоноличиванию стыков, воспринимающих силовые воздействия главным образом в сборных конструкциях.

Поиск оптимальных решений по ремонту бетонных и железобетонных конструкций, а также омоноличиванию стыков привел в последнее время к использованию

водостойких клеев, основой которых являются синтетические смолы.

Для склеивания бетона с бетоном можно применять поливинилацетатную эмульсию, синтетические латексы и синтетические клеи на основе ненасыщенных полиэфирных, эпоксидных и полиуретановых смол (Микульский, Игонин, 1965).

Однако только на основе эпоксидных или модифицированных эпоксидных смол клеи показали себя достаточно надежными в условиях работы гидротехнических сооружений. Их можно применять для омоноличивания и ремонта бетонных сооружений и улучшения сцепления свежеуложенного бетона со старым.

В практике используется большое число клеевых мастик холодного отверждения на эпоксидной основе.

Клеи для соединения бетона на базе смол ЭД-5 и ЭД-6, пластифицированных дибутилфталатом, испытывались неоднократно. Добавка дибутилфталата составляет обычно 20—100% от массы смолы. Отвердителем клеевой смеси служит полиэтиленполиамин (10—15%) или гексаметилендиамин. Для наполнения используется портландцемент или молотый песок в количестве до 200—300%. В некоторых случаях добавляют растворитель, однако его присутствие в смеси нежелательно. Прочность соединения бетонных элементов эпоксидными составами даже после 500 циклов замораживания и оттаивания выше разрывной прочности самого бетона.

Широкое распространение получают клеи на эпоксидно-тиоколовых и эпоксидно-полиамидных вяжущих. Используется также клей на основе эпоксидно-полиэфирных компаундов (табл. 19).

Для ремонтных работ Одесским институтом морского флота рекомендуются полимеррастворы, приведенные в таблице 20.

Широкое применение ремонтных композиций в мелиоративном строительстве в настоящее время связано с изысканием менее дефицитных и дорогих вяжущих, чем чисто эпоксидные смолы. Кроме того, эти вяжущие должны обладать хорошей клеящей способностью в условиях высокой влажности бетона и окружающей среды, что вызвано необходимостью выполнения ремонтных работ на эксплуатируемых сооружениях поздней осенью или ранней весной, когда в оросительных системах отсутствует вода.

Таблица 19

Составы некоторых эпоксидных клеев, в массовых частях
(Соломатов, 1967)

Составляющие	Клеи		
	ЭПЦ-1	ЭПЦ-2	К-153
Эпоксидная смола ЭД-5	100	100	100
Полиэфир МГФ-9	20—30	—	10
Полиэфир ТГМ-3	—	20—30	—
Тиокол НВ	—	—	20
Гексаметилендиамин (кубовый остаток) или полиэтиленполиамин)	25 10	25 10	29 15
Портландцемент или вибромолотый кварцевый песок	100—400	100—400	100—400

Таблица 20

Составы полимеррастворов на эпоксидной смоле

Компонент	Содержание компонентов, в массовых частях от массы эпоксидной смолы	
	вариант I	вариант II
Эпоксидная смола	100	100
Каменноугольный лак	100	—
Лак этиноль	—	300
Дибутилфталат, жидкий тиокол и др.	20	20
Цемент	100—150	200—300
Полиэтиленполиамин	10	10

Для этого автором книги совместно с Р. М. Окоповой и И. И. Слободяник предложена разработанная в Ферганском отделе НИИПМ (Ю. М. Маматов и Х. С. Абдужабаров) фурано-эпоксидная смола ФАЭД-15 с поверхностно-активной добавкой (0,5% от массы ФАЭД). ФАЭД-15 — продукт совмещения мономера ФА с эпоксидными смолами ЭД-5 или ЭД-6 в соотношении 18% смолы и 82% мономера. Эта смола вдвое дешевле чисто эпоксидных.

Смола ФАЭД-15 обладает хорошими физико-механическими свойствами, она более технологична, чем другие аналогичные компаунды на основе фурано-эпоксидных смол. Отверждение этой смолы происходит без подогрева. Жизнеспособность ее 40—60 мин.

Наполнителем для ремонтных композиций рекомендуется андезитовая мука или цемент. Лучшие резуль-

таты получены на образцах с гранитной мукой (300% от массы ФАЭД). В качестве отвердителя применяется полиэтиленполиамин (20—25% от массы ФАЭД).

Исследования прочности склеивания указанной композицией цементных образцов-полувосьмерок, выдержанных на воздухе или предварительно насыщенных водой (табл. 21), указывают на сохранение хорошей прочности склеивания сухих и водонасыщенных образцов при выдерживании их после склеивания на воздухе или в воде. Если к бетону предъявляется требование по морозостойкости, то ремонтные работы должны проводиться после предварительной просушки бетона.

Таблица 21

Результаты испытаний полимеррастворов на основе смолы ФАЭД-15

Условия опыта	Предел прочности при разрыве, кгс/см²					
	возраст образцов, сут				циклы замораживания	
	7	14	29	90	100	200
Воздушно-сухие образцы, склеенные на воздухе и в последующем выдерживаемые в воздушно-сухих условиях	>40,0	>40,0	>45,0	>57,0	13,4	6,0
Воздушно-сухие образцы, склеенные на воздухе и выдерживаемые постоянно в воде после 5 сут предварительного выдерживания в воздушно-сухих условиях	20,0	18,3	21,8	29,6	—	—
Водонасыщенные образцы, склеенные на воздухе и в последующем выдерживаемые в воздушно-сухих условиях	14,2	16,0	16,8	22,4	—	—
Водонасыщенные образцы, склеенные на воздухе и выдерживаемые в воде после 5 сут предварительного выдерживания на воздухе	10,2	12,1	19,0	27,9	15,0	6,0

Примечание. Знак > указывает на разрыв образцов вне шва склеивания.

Исследования автора книги, выполненные в Венгерском научно-исследовательском институте водного хозяйства совместно с В. Шандлом и К. Варга, позволили установить возможность применения эпоксидных смол венгерского производства типа ЕВ-4 при ремонтных работах в условиях высокой влажности и под водой.

Ремонтные композиции на основе ЕВ-4 могут применяться при понижении температуры окружающей среды до 0° С. Отверждение их происходит без подогрева.

Рекомендуется следующий состав раствора, используемый при обычной температуре (в массовых частях): эпоксидная смола ЕВ-4—100, полиамино-амидный отвердитель—30, кварцевый песок—130, тиксотропная добавка (аэросил) —2,6.

Когда температура воздуха близка к 0° С, в указанный раствор в качестве ускорителя отверждения вводится 3 масовые части фенола.

Результаты исследований водо- и морозостойкости этих композиций позволяют сделать следующие выводы:

клеящие композиции на эпоксидных смолах типа ЕВ-4 пригодны для ремонта и омоноличивания железобетонных конструкций, находящихся в сухом и водонасыщенном состоянии.

Производство работ с указанными композициями возможно при обычной и пониженной температурах (до 0° С);

исследованные композиции пригодны для ремонта железобетонных конструкций, находящихся под водой при температуре воды до 0° С. Эти композиции не могут считаться надежными при последующей работе конструкции в условиях многократного замораживания и оттаивания.

Для снижения температурных напряжений при эксплуатации клеевых соединений необходимо вводить в клей наполнители. Так, введение в смолу 300% кварцевого песка снижает коэффициент ее линейного расширения до $20 \cdot 10^{-6}$ °С$^{-1}$. При склеивании бетонов, имеющих коэффициент линейного расширения в среднем $12{,}6 \cdot 10^{-6}$ °С$^{-1}$, необходимо для выравнивания коэффициентов линейного расширения ввести в эпоксидный клей, например, около 8 масовых частей кварцевого песка на 1 массовую часть эпоксидной смолы (Микульский, Игонин, 1965).

Недоучет указанного обстоятельства при ремонте железобетонных лотков на некоторых оросительных системах привел к разрушению отремонтированных участков, обычно по телу бетона, происходящего в результате значительных температурных перепадов.

Описанные композиции на основе ФАЭД-15 весной 1972 г. были применены на Украине для ремонта трещин и других дефектов бетона в монолитной облицовке каналов. Композиции были нанесены на очищенный, но влажный бетон. Всего было отремонтировано более 50 плит с общей протяженностью трещин 0,5 км.

Осмотр в конце 1972 г. показал полную сохранность отремонтированных участков. В то же время примененная в аналогичных условиях композиция на смоле ЭД-6 отслоилась главным образом на уровне переменного горизонта воды и выше него.

Имеются примеры практического применения эпоксидных клеев в СССР и за рубежом для исправления дефектов в железобетонных трубопроводах, а также для облицовки поверхностей бетона на водосливных плотинах.

Существует мнение, что трещины шириной менее 0,3 мм обычно не приводят к образованию коррозии арматуры; однако в напорных конструкциях они вызывают фильтрацию воды, что недопустимо. Трещины шириной более 0,3 мм приводят к коррозии арматуры и в любом случае должны быть ликвидированы.

В общем случае при ремонте трещин шириной до 0,3 мм вдоль нее делается прорезь треугольной формы со стороной 3—5 мм, затем из нее удаляют куски бетона и пыли, грунтуют жидкой смолой и заполняют полимерраствором.

Трещины шириной 0,3—5 мм рекомендуется заделывать жидкой смолой инъектированием. При этом перед заполнением трещин смолой вдоль нее прорезается выемка формой в виде треугольника, сторона которой в 3—7 раз больше ширины трещины. После расчистки и обеспыливания через трубки диаметром 6 мм проводят инъектирование. При длине выемки более 60 мм и глубине более 2 см такие трубки устанавливают через 20—50 см. Заполнение проводят сжатым воздухом от компрессора.

Возможен и такой вариант, когда после грунтовки трещины заделывают полимерраствором. В этом случае

работы упрощаются, но надежность ремонта снижается.

При ширине трещины более 5 мм сначала укладывают цементный раствор, а трещины, появившиеся при эксплуатации между бетоном и цементным раствором, впоследствии заделывают по описанному способу. В практических условиях такой ремонт не всегда оказывается надежным. Лучше всю выемку заполнить полимерраствором или полимербетоном.

Обращая особое внимание на подготовку старого бетона перед укладкой полимеррастворов, некоторые специалисты рекомендуют после расчистки трещин смачивать их 50%-ным раствором соляной кислоты из расчета 1 л раствора на 1 м^2 поверхности бетона. Затем проводится промывка водой и очистка трещины щеткой.

Для заделки «активных» трещин рекомендуются мастичные герметики или полимеррастворы на эпоксидном вяжущем, модифицированном тиоколом.

Вертикальные трещины предварительно оклеивают, например стеклотканью, а затем через пластмассовые трубки с воронками заливают раствор.

В ответственных случаях предпочтение следует отдавать армированным покрытиям, например стеклоткани вместо гидроизоляционных покрытий на основе битума. Исследования таких покрытий проводятся в СССР и за рубежом [Елшин (и др.), 1969].

Полимерцементный бетон. Этот бетон представляет собой разновидность специального бетона, образованного цементным вяжущим, органическим полимером и минеральным заполнителем.

Вопрос о названии цементного бетона с добавками полимера спорный. Так, А. В. Саталкин (1971) считает что поскольку в этом бетоне основным вяжущим материалом является цемент, правильнее его называть цементно-полимерным. Разделяя точку зрения, А. В. Саталкина, все же сохраним при дальнейшем изложении термин «полимерцементный бетон», так как он узаконен во многих нормативных документах, в частности СНиП.

При использовании в качестве заполнителя только песка получают полимерцементные растворы, а при введении в их состав крупного заполнителя (щебня или гравия) — полимерцементные бетоны.

Составляющие полимерцементных бетонов. Полимерцементные бетоны имеют ряд характерных для бетонов свойств. Однако по сравнению с обычными цементными бетонами они в зависимости от вида полимерной добавки могут обладать теми или иными улучшенными свойствами, в частности повышенной прочностью на растяжение и изгиб, высокой водонепроницаемостью, трещиностойкостью, износостойкостью, повышенным сцеплением со многими строительными материалами и в ряде случаев лучшей устойчивостью к агрессивным реагентам.

9 Заказ № 6755

Полимерцементы с некоторыми видами полимерных добавок характеризуются пониженной прочностью, водостойкостью и повышенной ползучестью.

В мировой практике для полимерцементных бетонов наиболее широко применяются водные дисперсии полимеров — эмульсии и латексы (продукты эмульсионной полимеризации и сополимеризации различных мономеров: винилацетата, винилхлорида, стирола, винилиденхлорида и др.).

В СССР наиболее полно изучены и нашли применение для полимерцементных бетонов латексы — натуральный и синтетический (дивинилстирольный — СКС-50, СКС-65ГП; дивинилнитрильный СКН-40; карбоксилатный — СКД-1; дивинилвинилиденхлоридный — ДВХБ-70); поливинилацетатная эмульсия; эмульсия битумов и асфальтов; смеси поливинилацетата и пека. В качестве водорастворимых коллоидов в последние годы используют поливиниловый и фуриловый спирты, эпоксидные водорастворимые смолы типа ДЭГ-1 и ТЭГ-1, полиамидную смолу № 89 и мочевино-формальдегидную смолу МФ-17 [Антонова, Саввина, Лейрих, 1964; Елшин (и др.), 1969; Саталкин, Солнцева, Попова, 1966 и 1971; Черкинский, 1960].

Свойства полимерцементных бетонов. При введении полимера в бетоны часто преследуется цель повышения его *прочности* главным образом при изгибе и растяжении.

Прочностные показатели полимерцементных бетонов зависят от вида и свойств полимера, свойств цементного вяжущего, вида и количества минерального заполнителя, соотношения в смеси полимерного и цементного вяжущего, вида стабилизатора и ускорителя схватывания (если их введение вызывается необходимостью), от условий приготовления и твердения изделий из полимерцементного бетона и т. д. (Черкинский, 1960).

Одна из самых распространенных и относительно недорогих добавок — поливинилацетатная эмульсия (ПВА).

Большинство исследователей считают, что оптимальная добавка ПВА в полимерцементные бетоны составляет 20% от массы цемента. При этом обеспечиваются максимальные прочностные показатели бетонов при испытании их на изгиб, растяжение и сжатие.

Полимерцементные бетоны с добавкой ПВА при выдерживании их на воздухе обладают значительно более высокой прочностью на изгиб и растяжение, чем обычные бетоны, однако прочность на сжатие у них заметно ниже.

Многие исследователи считают, что полимерцементные бетоны с добавкой ПВА при выдерживании в воде резко снижают прочность на сжатие и растяжение. По данным Ю. С. Черкинского (1960), снижение прочности в воде носит временный характер и после высушивания бетон вновь приобретает почти первоначальную прочность.

В отличие от ПВА сополимеры винилацетата обладают значительно лучшей водостойкостью [Елшин (и др.), 1969; Скупин, 1967; Черкинский, 1960].

Из синтетических латексов в настоящее время наиболее широкое применение для полимерцементных бетонов в СССР и за рубежом находят латексы синтетического каучука.

Отечественная промышленность выпускает дивинилстирольные латексы СКС-30, СКС-50, СКС-65 и СКС-65ГП, в которых отношение дивинила к стиролу составляет 70 : 30; 50 : 50; 35 : 65. С увеличением содержания стирола повышается прочность и твердость полимера и снижается его эластичность.

По сравнению с обычными бетонами латексцементные бетоны имеют повышенную прочность при изгибе и растяжении.

Хорошие данные по водостойкости и другим показателям получены в опытах французского ученого Р. Лермита при исследовании свойств полимерцементных бетонов с добавками акрилового полимера [Елшин (и др.), 1969]. Эти опыты интересны еще и тем, что результаты их приведены в сопоставлении с полимерцементными бетонами, полученными с добавками ПВА и бутадиенстирола.

Указанные добавки использовались в виде эмульсий с содержанием полимера 40—55%. Полимерцементное отношение было принято равным 0,1. Результаты испытаний образцов 90-дневного возраста, хранившихся в воде и на воздухе, показали, что в сухом воздухе сопротивление на растяжение в 4 раза больше у образцов с добавкой ПВА по сравнению с контролем (без полимера). Наоборот, помещение в воду обусловливает почти то же сопротивление на растяжение и сильно уменьшает у образцов с добавкой ПВА сопротивление на сжатие по сравнению с бетоном без добавки. Это уменьшение слабее у образцов с добавкой бутадиенстирола и несущественно у образцов с добавкой акрилового полимера (табл. 22).

Таблица 22

Результаты прочностных испытаний образцов полимерцементного бетона (по данным Р. Лермита)

Условия хранения	Вид испытания	Прочность, кгс/см²			Контроль (без полимера)
		ПВА	бутадиен-стирол	акрил	
Вода	Сжатие	126	228	240	254
	Растяжение	23	27	28	26
Сухой воздух	Сжатие	244	216	359	194
	Растяжение	60	53	45	16

Особый интерес представляют исследования по применению в качестве добавок в полимерцементные бетоны эпоксидных, фуриловых, полиамидных и других водорастворимых смол.

Большой эффект от введения малых добавок полиамидных и эпоксидных смол в цементные бетоны получен советскими учеными А. В. Саталкиным, В. А. Солнцевой и О. С. Поповой (1971). Ими выполнены опыты с полимербетонами с использованием водорастворимых эпоксидных смол ДЭГ-1, ТЭГ-1 и полиамидной смолы № 89.

Эти смолы, имея полярную группу OH^-, характеризуются хорошей адгезией к различным материалам, включая новообразования цементного камня, а также к кварцу, граниту и др.

Смола № 89 отверждается в щелочной среде, образуя прочные полимерные цепи. Введение ее в бетон не требует отвердителя.

Смолы ДЭГ-1 и ТЭГ-1 вводятся в воду затворения с отвердителем. Отверждение в щелочной среде происходит интенсивнее и цепи полимера обладают большой эластичностью.

Опыты, выполненные на высокоалюминатном пластифицированном портландцементе с оптимальным содержанием водорастворим-

мых смол в количестве 2% от массы цемента, показали, что твердение полимербетонов с добавками водорастворимых смол наблюдается в водной среде и на воздухе, причем в первом случае прочность полимербетона выше прочности обычного бетона, также твердевшего в воде.

Бетоны с добавками водорастворимых смол обладают хорошей водостойкостью. Так, если коэффициент размягчения для бетона без добавок равен 0,86, то для того же бетона с добавкой смолы ДЭГ-1 он равен 0,91, а для бетона с добавкой смолы № 89 — 1,02 (Саталкин, Солнцева, Попова, 1971).

По данным французских ученых Р. Лези и А. Пайе, выдерживание полимерцементных образцов с добавками водорастворимых эпоксидных смол до $1^1/_2$ лет в воде указывает на их высокую водостойкость [Елшин (и др.), 1969].

Введение в бетоны смолы МФ-17 значительно (до 15—20%) снижает прочность бетона при сжатии и не влияет на прочность бетона при растяжении.

Для бетонов с добавками фурилового спирта и солянокислого анилина характерно замедление роста прочности в первые дни с последующим увеличением интенсивности твердения в поздние сроки. В связи с этим марочная прочность такого бетона установлена не в 28, а в 45 дней.

Введение в бетоны латексов или эмульсий полимеров уменьшает открытую пористость бетона, что приводит к увеличению его *морозостойкости.*

По данным Л. Скупина (1967), полимерные растворы обладают повышенной морозостойкостью в основном из-за меньшего водопоглощения, высокой прочности на растяжение и значительной предельной растяжимостью.

Повышенная морозостойкость полимербетонов с добавками водорастворимых эпоксидных и полиамидных смол установлена А. В. Саталкиным (1971) и другими учеными [Елшин (и др.), 1969].

По данным В. Г. Батракова (1968), морозостойкость бетона заметно повышается при введении в его состав 0,1% гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости ГКЖ-94. После 300 циклов замораживания и оттаивания в бетонах с добавкой ГКЖ-94 снижение прочности не наблюдалось, в то время как на образцах без добавок оно составило 8%.

Отличительная особенность большинства полимерцементных бетонов — их высокая *водонепроницаемость* и низкое *водопоглощение.*

Вопрос о *химической стойкости* полимерцементных бетонов в различных агрессивных средах исследован недостаточно.

Наряду с описанием полимерцементных бетонов, обладающих высокой коррозионной стойкостью, есть сведения о том, что преимущества их с точки зрения химической стойкости по сравнению с обычным бетоном не столь уж велики.

Ю. С. Черкинским установлена повышенная стойкость растворов с добавкой ПВА (П/Ц-0,2) в морской воде, концентрированных и разбавленных щелочных (Черкинский, 1960).

Хорошая химическая стойкость отмечена у полимеррастворов с хлоропреновыми и тиоколовыми латексами, а также с сополимером винилхлорида с винилиденхлоридом (саран — латекс). Указанные материалы успешно применяются для покрытия палуб морских судов с целью защиты их от морской воды.

Повышенная химическая стойкость полимерцементных бетонов объясняется как хорошей стойкостью самих полимеров, так и тем, что в результате набухания полимера под действием агрессивных жидкостей происходит заполнение полимером пор и капилляров в бетоне, что препятствует проникновению этих жидкостей в глубь него. Создание указанных условий возможно при достаточно высоком содержании полимера в бетоне.

По данным многих исследователей, сопротивление истиранию и удару у полимерцементных бетонов выше, чем у обычных бетонов.

Особенно высокой *износостойкостью* характеризуются полимерцементные бетоны с добавками синтетических латексов и поливинилацетатной эмульсии.

По данным Л. М. Зголич и Р. Мустафаева, введение 15% латекса СКС-65ГП увеличивает ударную прочность бетонов в 2—2,5 раза.

Повышенные *адгезионные свойства* полимерцементных композиций — одно из основных достоинств этого материала — отмечают многие исследователи [Елшин (и др.), 1969; Саталкин, Солнцева, Попова, 1966; Черкинский, 1960].

Высокой клеящей способностью обладают полимерцементные растворы с добавками ПВА и особенно дивинилстирольного латекса. В последнем случае адгезионные свойства растворов с полимерной добавкой в несколько раз выше, чем у растворов без добавок.

Введение в состав цементного раствора 10% акриловой смолы втрое повышает адгезионную прочность при хранении образцов на воздухе и вдвое — при хранении во влажной среде.

Исследованию *деформативных свойств* полимерцементных бетонов уделяется большое внимание, так как эти важные показатели материалов в итоге определяют рациональные границы их применения в строительных конструкциях.

Объемные деформации бетонов (усадка, набухание) связаны с условиями его твердения и эксплуатации. Для полимерцементных бетонов размеры объемных деформаций определяются не только усадкой или набуханием цементного камня, но и полимерного связующего. Таким образом, объемные изменения полимерцементного бетона происходят по более сложным законам, а размеры их, как показали исследования ученых, в случае применения эмульсий и латексов значительно существеннее, чем в цементных бетонах.

Опасность повышенной усадки многих полимерцементных бетонов в известной степени снижается значительно большей их растяжимостью.

По данным Р. Лермита (табл. 23), наибольшая усадка у бетонов с ПВА, бетоны с акриловой и бутадиенстирольной добавкой имеют меньшую усадку, чем обычные бетоны. Минимальная набухаемость характерна для бетонов с акриловой смолой.

Определение трещиностойкости указанных в таблице 23 материалов показало, что после выдерживания образцов в воздушно-сухих условиях они растрескивались через несколько недель после изготовления. На образцах с добавкой ПВА появилась сетка очень тонких трещин, а на образцах с добавкой акриловой смолы и бутадиенстирола трещины вообще не появились.

По данным О. С. Поповой (1971), использование для полимерцементных бетонов водорастворимых эпоксидных смол ДЭГ-1;

Таблица 23

Линейные деформации (мкм на 1 м) растворных образцов после шестимесячного выдерживания в различных условиях

Условия выдерживания образцов	Вид полимерной добавки			Контроль
	ПВА	бутадиен-стирол	акрил	
Вода	+380	+450	+105	+140
Воздух	−2140	−385	−385	−490
Максимальные колебания	2520	835	490	630

Примечания. 1. Все полимеррастворы готовились с 10% полимерной добавки. 2. Знак «+» означает набухание, знак «—» усадка.

ТЭГ-17 и особенно полиамидной смолы № 89 приводит к заметному снижению усадки и набухания бетона.

Для бетонов с добавками латексов и эмульсий ползучесть, как правило, в несколько раз выше, чем в цементных бетонах.

Ползучесть бетонов с добавками водорастворимых смол ТЭГ-17, ДЭГ-1 и № 89 в 1,5—2 раза меньше деформации обычных бетонов.

Опыт и перспективы применения полимерцементных бетонов в водохозяйственном строительстве. Полимерцементные композиции находят еще довольно ограниченное применение в строительстве, особенно в водохозяйственном, где практическое использование полимерцементных композиций пока носит экспериментальный характер.

Повышенные износостойкость, адгезионная прочность, трещиностойкость, а в ряде случаев и химическая стойкость полимерцементных композиций предопределили успешное их применение для покрытия полов в зданиях различного назначения.

В последние годы за рубежом полимерцементные бетоны все чаще применяются при ремонте дорожных покрытий и при строительстве новых дорог.

В Скандинавских странах и в ФРГ проведены работы по восстановлению бетонных покрытий шоссейных дорог полимерцементными материалами. После трех лет эксплуатации указанные покрытия имели удовлетворительное состояние.

При ремонте бетонной автострады в ГДР успешно применялись полимерцементные составы, которые наносились торкретированием.

В США для ремонта и устройства дорожных покрытий используют эмульсии сополимера винилхлорида с винилиденхлоридом (сарана), а также латексы синтетических каучуков. Двухлетняя эксплуатация таких покрытий не вызвала их разрушения.

В последние годы Английской цементной торговой компанией широко рекламируется новый материал — эстеркрит. Он представляет собой полимерцементную композицию, состоящую из раствора полиэфирной смолы в стироле, в которой распределен особый вид портландцемента.

Схватывание свежеприготовленной смеси продолжается в течение часа, а после 24 ч эстеркрит набирает прочность бетона возраста 28 дней. Эстеркрит приготавливается механизированным путем; выпускается он как однокомпонентная система, к которой затем добавляется вода и наполнитель (кварцевый песок). Эстеркрит не чувствителен к действию воды, большинства кислот и может наноситься на влажный бетон через несколько часов после его укладки.

Р. Лермит [Елшин (и др.), 1969], Л. Скупин (1967) и другие исследователи указывают на возможность использования полимерцементных бетонов при устройстве рабочих швов в бетонных и железобетонных конструкциях.

Так, латексцементы были применены для гидроизоляции подземных сооружений, в частности метрополитена, резервуаров для хранения воды, плавательных бассейнов и др.

В водном хозяйстве СССР полимерцементный бетон нашел применение при устройстве блочного фильтра трубчатых колодцев водоснабжения (разработаны в УкрНИИГиМ В. М. Спириной), который представляет собой полый цилиндр со стенками из пористого полимерцементного бетона с добавками СКС-65 ГП.

В данном случае добавка полимера к цементу, кроме улучшения некоторых свойств бетона, позволяет получить гладкую поверхность поровых ходов, а отсюда более высокую водопропускную способность блочного фильтра.

В связи с высокой адгезией полимерцементных бетонов к обычным бетонам они весьма перспективны для заделки трещин и восстановления поврежденных участков в бетонных и железобетонных облицовках каналов,

лотках и других сооружениях вместо более дорогих эпоксидных композиций.

С расширением сборности ирригационного строительства вопрос укрупнения сборных элементов путем омоноличивания стыков, например при устройстве облицовок каналов, становится важной проблемой. В этом отношении полимерцементные растворы могут оказаться незаменимыми.

Пока еще ограниченные сведения позволяют предположить, что полимерцементные бетоны заменяют обычные бетоны там, где от материала требуется повышенная износостойкость, например при устройстве облицовок гидросооружений на горных реках. Полимерцементные бетоны окажутся предпочтительнее обычных бетонов при устройстве облицовок сооружений, подвергающихся кавитационной эрозии.

Полимерцементы найдут применение при устройстве покрытий или облицовок напорных граней плотин, резервуаров для хранения воды или других жидкостей, бассейнов и тому подобных сооружений, где от материала требуется высокая непроницаемость.

Наряду с расширением масштабов применения полимерцементных композиций, изыскания новых разновидностей полимерных добавок и получения достоверных данных о долговечности этих материалов в различных условиях эксплуатации, границы применения полимерцементных бетонов будут расширяться и можно ожидать, что цементные бетоны будущего будут немыслимы без полимерной составляющей.

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ПО БЕТОНУ НА ОСНОВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ СМОЛ

Антикоррозийные покрытия по бетону и железобетону. Конструкции из цементного бетона и железобетона, нашедшие широкое применение в гидротехническом строительстве, в ряде случаев требуют устройства специальных защитных покрытий или облицовок для предотвращения быстрого их разрушения при воздействии агрессивной среды. Подобные случаи возможны при пропуске через сооружения сточных вод, используемых в последующем для орошения, при агрессивных грунтовых водах и т. д.

Еще недавно для защиты бетона от агрессивных воздействий применяли в основном такие традиционные материалы, как битумы или дегти. Эти покрытия дешевы и доступны, однако они малопрочны, весьма деформативны (хладотекучи), не стойки даже при слабом нагреве, мало стойки в щелочах и не поддаются окраске.

В последние годы при защите строительных конструкций от коррозии все большее применение находят различные полимерные материалы, характеризующиеся высокой стойкостью в агрессивных средах. Сравнение стойкости традиционных защитных материалов и новых (полимерных) говорит в пользу последних (табл. 24).

По данным Н. А. Мощанского (1969), защитные покрытия по бетону делятся на: лакокрасочные — легкие, толщиной 0,1—1 мм; мастичные усиленные, толщиной 1—10 мм, в том числе армированные; тяжелые футеровки, толщиной 20—400 мм и более, обычно с использованием кислотостойкой керамики.

При устройстве лакокрасочных покрытий используют эпоксидные и фенолоформальдегидные смолы, акрилаты, виниловые соединения и др.

Мастичные покрытия и футеровки устраиваются главным образом на основе реактопластов.

Введение в смолы растворителя приводит к образованию в покрытии пор в связи с его испарением. Поэтому при устройстве покрытия оно обычно делается многослойным, что позволяет одним слоем перекрыть поры другого.

Иногда удается нанести покрытие без введения в его состав растворителя [Елшин (и др.), 1969].

Таблица 24

Сравнительная стойкость основных строительных материалов и пластиков при действии агрессивных сред (Мощанский, 1966)

Вид материала	Показатели стойкости в баллах (по пятибалльной системе)							
	физическая			химическая				
						к кислотам		
	к воде	к воздуху	к нагреву	к солям	к щелочам	слабым	не окисляющим	окисляющим
Традиционные								
Сталь (обычная)	4	2	4	3	4	2	1	1
Сталь нержавеющая	5	4	5	4	4	3	2	3
Бетон цементный	5	5	4	3	4	2	1	1
Бетон кислотоупорный	5	5	5	2	1	3	4	5
Древесина	4	4	3	4	3	4	3	2
Битум (асфальт)	4	3	1	4	3	4	4	3
Термопласты								
Полиэтилен	5	2	3	5	5	5	4	3
Фторопласт	5	4	4	5	5	5	5	5
Полистирол	4	2	2	5	5	5	3	2
Поливинилхлорид (винипласт)	5	4	2	5	4	5	4	3
Реактопласты								
Фенольные	4	3	4	5	2	5	5	3
Фурановые	4	3	4	5	4	5	4	3
Эпоксидные	5	3	3	5	4	5	4	3
Полиэфиры	3	3	3	5	2	4	3	2
Силиконы	3	3	5	3	3	3	2	1
Эластомеры								
Каучук (резина)	4	4	2	5	5	5	4	3
Нейлон	5	4	3	5	4	3	2	1

Среди полимеров, нашедших применение при устройстве покрытий, первое место принадлежит эпоксидным материалам.

На их основе могут быть получены наиболее прочные, плотные, универсально стойкие, мало усадочные, а также эластичные и армированные покрытия.

Исследования, выполненные Н. И. Вяземской (Ленинградский институт водного транспорта) и А. А. Игониным и Е. Н. Талденковой (НИС Гидропроекта), показывают, что применение аминофенольного отвердителя АФ-2 позволяет наносить на бетон эпоксидные покрытия в условиях высокой влажности и под водой. Введение в эпоксидные композиции фурилового спирта и этиленгликоля дает возможность применить их при морозах до 15—20°С.

Если к покрытиям по бетону предъявляются повышенные требования механической прочности и водостойкости, то для них рекомендуются также составы на основе эпоксидных смол ЭД-5, ЭД-6 и Э-40 с отвердителем ПЭПА (полиэтиленполиамин) или полиамидом ПО-300 с пластификатором ДБФ (дибутилфталат) и разбавителем ФГЭ (фенилглицидиловый эфир) (табл. 25).

Таблица 25

Составы и физико-механические свойства защитных покрытий [Солнцева (и др.), 1969]

Состав композиций в массовых частях	Число слоев покрытия	Сплошность покрытий по коэффициенту газопроницаемости	Адгезия покрытий к цементному раствору, кгс/см²	Трещиностойкость покрытий, мм
ЭД-5 (100%), ПЭПА (10%), ДБФ (20%)	3	Непроницаемо	13	0,15 - 0,2
ЭД-5 (100%), ПО-300 (50%)	3	0,0216	13	0,15
Э-40 (100%), ПО-300 (50%)	3	0,0360	10	0,2
ЭД-5 (100%), ПО-300 (85%), ФГЭ (25%)	1—2	0,0410	13	0,2 - 0,25
Без покрытия	—	1,1400	2—3	—

Повышенная атмосфероустойчивость наблюдается у композиций, отверждаемых полиамидами, по сравнению с композициями, отверждаемыми ПЭПА с пластифицированным ДБФ.

Указанное покрытие применялось на Горьковской ГЭС, на линии электропередачи Тюмень—Сургут и Кислогубской ПЭС для защиты бетонных и металлических конструкций. Эксплуатация в течение 3—5 лет подтвердила их надежность. Стоимость покрытий при нанесе-

нии их краскопультом составляет 1,23 руб/м², а вручную — 2 руб/м² (Сахаров, Мичко, 1971).

Для снижения стоимости эпоксидных покрытий применяется модификация их каменноугольной смолой (табл. 26).

Таблица 26

Составы покрытий (по массе) на эпоксидных смолах, модифицированных каменноугольной смолой

	Слой		
	грунтовочный	основной	покровный (светоотражающий)
Эпоксидная смола	100	100	100
Каменноугольная смола	100	100	100
Пластификатор	20	20	20
Ацетон	100	50	50
Полиэтиленполиамин	10	10	10
Алюминиевая пудра	—	—	20—30

Интересные исследования выполнены в Казанском инженерно-строительном институте и ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева по разработке эффективных эпоксидных покрытий в градирнях башенного типа. Для этой цели КазИСИ применялись эпоксидные смолы, модифицированные отходами производства фенола. Фенолы хорошо совмещаются с эпоксидными смолами, пластифицируя их и вступая в частичное химическое взаимодействие [Соколова (и др.), 1971].

После четырехлетнего успешного испытания в градирнях однослойных покрытий толщиной 2—3 мм выявлены следующие оптимальные составы (по массе): ЭД-6 — 50, фенольная смесь — 50, ацетон — 5, ПЭПА — 7, каменноугольная мука — 100.

Важным фактором, влияющим на стойкость и долговечность защитных покрытий, является подготовка бетонной поверхности. В первую очередь ее очищают от грязи, пыли и мусора, выравнивают и высушивают. Часто удаляют также рыхлый поверхностный слой из цементного камня до обнажения щебня при защите бетона в раннем возрасте. Это достигается пескоструйной очисткой или специальной насечкой и шлифовкой. Загрязненные жирами или минеральными маслами места, если они не удаляются механическим путем, вытравливают. Для этого на поверхность бетона наносят

раствор 8—10%-ной соляной кислоты на 1 ч, после чего разъеденную кислотой массу цементного камня тщательно отмывают водой и поверхность просушивают.

Важным моментом при нанесении защитных покрытий является механизация этих работ.

Ручной способ почти всегда применяется для защиты конструкций или сооружений со сложной формой поверхности или на небольших участках [Мощанский (и др.), 1968].

Нанесение покрытий механизированным путем осложняется тем, что составы после введения отвердителя имеют небольшую жизнеспособность. Остающиеся в шлангах и кранах остатки мастик необратимо отвердевают. Промывка всей сети — длительная операция, сопряженная с большим расходом относительно дорогих растворителей.

В НИИЖБ разработаны и испытаны два способа механизированного нанесения полимерных материалов на основе реактопластов с предварительным введением отвердителей в состав, а также отдельной подачей смолы и отвердителя.

Для нанесения полимерных материалов с введенным в их состав отвердителем пользуются обычными пистолетами-распылителями С-592, О-45, а также шпаклевочной удочкой. Давление воздуха составляет не менее 5 кгс/см², расход наносимого состава — около 2 м³/ч. Грунтовочные составы напыляют различными пистолетами-распылителями, употребляемыми при вязкости до 50 с по ВЗ-4.

Технология нанесения мастик по такому способу очень проста. Однако она имеет и существенные недостатки: применение большого числа летучих растворителей, частая промывка системы распыляющего устройства при большом расходе органического растворителя. Это значительно ограничивает применение подобной технологии.

Производительность в зависимости от вида распыляющего устройства колеблется от 60 до 100 м²/ч.

Для механизированного нанесения полимерных мастик и грунтовок с отдельной подачей смолы и отвердителя сконструирована пневматическая установка, в которой имеется распылительное устройство, шланги для мастики, воздуха и отвердителя, бачки для мастики и, отвердителя, компрессор.

Вся установка, кроме компрессора, смонтирована на легкоподвижной колесной платформе [Мощанский (и др.), 1968].

Трещиностойкие покрытия. Один из существенных показателей покрытий — их трещиностойкость. При разработке трещиностойких покрытий по бетону В. В. Шнейдерова (НИИЖБ) применяет преимущественно наирит, тиокол и хлорсульфированный полиэтилен. Пластифицированные покрытия на основе эпоксидно-тиоколовых составов исследовались в НИИЖБ, ЛИИЖТ, НИС Гидропроекта, ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева и в др.

Хорошие результаты получены при использовании в качестве трещиностойких покрытий композиций на основе смолы ЭД-5 (100%), отвержденной полиаминоимидазолиновой смолой И-5 (85%) с активным разбавителем фенилглицидиловым эфиром (25%). Введение И-5 значительно увеличивает эластичность покрытий при некотором снижении их прочности.

Как известно, в бетоне в процессе твердения часто образуются волосяные усадочные трещины. Появление их особенно нежелательно в таких бетонных и железобетонных конструкциях и сооружениях, как акведуки, туннели, бассейны и хранилища для воды, мосты, трубы и т. д.

Чтобы остановить этот процесс, применяли покрытия различного типа, но в основном на основе битумных материалов. В последнее время большой интерес проявлен к эпоксидным смолам (особенно модифицированным). Такие покрытия должны препятствовать образованию волосяных трещин или их раскрытию при температурных деформациях.

Практика применения различных покрытий в СССР и за рубежом показала, что они часто выходят из строя либо в результате образования трещин в покрытии, либо потери адгезии. В большинстве случаев это происходит из-за появления значительных трещин в бетонном основании, различия в коэффициентах линейного расширения и недостаточной эластичности самого покрытия.

Изучение напряженного состояния на границе покрытие — основание показало, что напряжения здесь возникают в двух направлениях — параллельно и перпендикулярно основанию. Усилия, параллельные основанию, могут вызвать образование трещин в покрытии, если превысят прочность самого материала.

Покрытия на основе эпоксидных смол отличаются хорошей адгезией к бетону, а образование трещин в бетоне ведет к образованию трещин в покрытии, при этом трещина в покрытии распространяется к поверхности, где усилия, параллельные основанию, выше, чем прочность самого материала на разрыв.

Усилия, перпендикулярные основанию, вызывают либо отслоение покрытия от основания, либо отрыв от поверхностного слоя основания. Само покрытие разрушается весьма редко, так как прочность покрытия обычно выше прочности на растяжение бетона основания.

Покрытия с высокими прочностными характеристиками (стеклопластики) более склонны к отслаиванию, чем к образованию трещин.

Покрытия на основе сильно наполненных смол имеют большую прочность на сжатие, но меньшую на растяжение и более склонны к образованию трещин.

Таким образом, покрытие с точки зрения трещиностойкости и адгезионной прочности можно получить из материалов с низкими модулями упругости. Имеются экспериментальные данные, подтверждающие это положение. Однако ряд примеров доказывает, что увеличение эластичности покрытий может привести к нежелательному снижению других его свойств (прочности, химической и абразивной стойкости и т. д.).

Ряд отечественных и зарубежных исследователей считают, что лучший вариант — комбинированное покрытие, в котором между верхним слоем и бетонным основанием находится промежуточный слой с низким модулем упругости.

Пленкообразующие покрытия при безвлажностном уходе за свежеуложенным бетоном. Монолитные бетонные облицовки каналов могут фильтровать не только по швам, но и через бетон. При этом потери на фильтрацию через бетон могут быть довольно существенны. Последнее обстоятельство непосредственно связано с качеством монолитного бетона.

Весьма важным фактором, определяющим прочность, противофильтрационные свойства монолитной бетонной облицовки и в конечном счете ее долговечность, является обеспечение ухода за свежеуложенным бетоном. О большой опасности пересушивания монолитного бето-

на, особенно в раннем возрасте, указывается в отечественной и зарубежной литературе (Дегтярь, Литвин, 1958; Кокорин, 1953; Ли, 1961, и др.).

Монолитные облицовки оросительных каналов вследствие небольшой толщины (8—12 см) и значительной поверхности с точки зрения возможности потерь воды на испарение находятся в крайне неблагоприятных условиях.

При пересушке бетона возможно образование трещин и поверхностное шелушение. Появление трещин может происходить за счет усадочных явлений, а также, как считают некоторые специалисты, и за счет напряжений, возникающих при температурном перепаде по толщине облицовки.

Снижение прочности бетона при его пересушивании может колебаться от 15 до 40%, при этом понижается также водонепроницаемость и морозостойкость бетона.

Постоянно поддерживать влажный режим твердения бетона путем полива или применения влагоудерживающих покровов (смачиваемый песок, увлажненная мешковина и другие способы) практически трудно, дорого и не всегда возможно из-за отсутствия воды (рис. 28).

Поиски надежных методов ухода за монолитным бетоном в условиях жаркого климата привели к мысли об использовании для этих целей различных пленкообразующих материалов, наносимых на бетон в начальный период его твердения.

Покрытие бетона пленкообразующими составами по сравнению с влажностным уходом имеет то преимущество, что исключается повреждение свежеуложенного бетона в момент его увлажнения, а работы по нанесению покрытия могут быть полностью механизированы.

В 1937—1938 гг. П. Д. Глебов и С. Я. Выгодский (1938) провели соответствующие исследования по защите свежеуложенного бетона битумными эмульсиями. Опыты показали, что двукратное покрытие бетона эмульсией обеспечивает нормальный прирост прочности бетона.

В 1955 г. при строительстве дороги Ростов—Орджоникидзе в качестве пленкообразующего покрытия был применен лак этиноль, который оказался весьма эффективным.

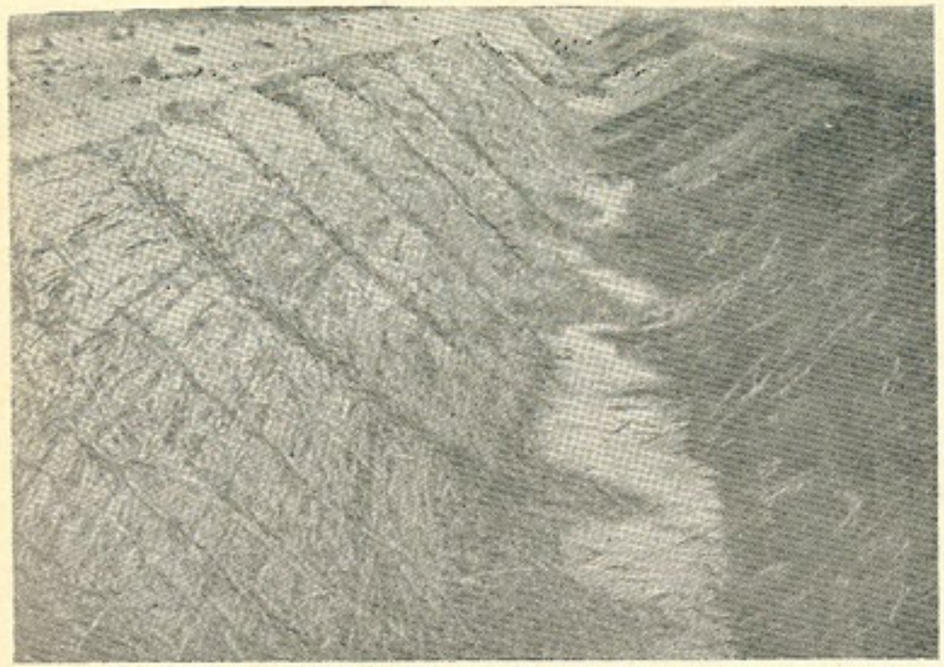


Рис. 28. Влажностный уход за бетоном с укрытием камышитовыми матами.

В середине 50-х годов было проведено производственное испытание лака этиноль на строительстве канала Северский Донец—Донбасс.

Значительный эффект от нанесения пленки из этинолового лака подтверждают опыты В. М. Москвина и И. А. Якуба (1963).

Высокий эффект применения в качестве пленкообразующих покрытий фуриловых лаков (типа ФЛ-1, Ф-10 и др.) получен в 1961 г. И. М. Елшиным и П. М. Мананниковым (1962). Они установили, что нанесение темных покрытий на тонкостенные конструкции способствует ускорению твердения бетона в жаркое время года.

Пленкообразующие материалы для ухода за бетоном находят широкое применение в США, Англии, Японии, Швеции, ГДР и других странах. В Чехословакии в последние годы при безвлажностном уходе за бетоном применяют напыляемые составы на основе кумароновой смолы, растворенной в сольвент-нафте с цветным индикатором. Кумароновый раствор набрызгивается на бетон обычным краскопультом (пистолетом-распылите-

лем) при давлении 1,5—2 кгс/см². Одним килограммом раствора можно покрыть бетонированный участок площадью около 7—9 м². Окрашивание напыляемого состава позволяет отличить обработанную поверхность от необработанной. Этот способ приемлем практически для всех видов свежеуложенного бетона.

Полиэтиленовые и полиамидные пленки для укрытия свежеуложенного бетона все шире используются при строительстве дорог в Чехословакии. Исследования, проведенные в Индии, подтвердили преимущества пленок по сравнению с водонепроницаемой упаковочной бумагой, битумизированной джутовой тканью, битумными эмульсиями, разжиженным битумом и т. д. Сохраняя в бетоне 95% влаги, пленка исключает необходимость увлажнения поверхности бетона. При этом прочность пленки допускает ее многократное использование (более 20 раз).

Некоторые исследователи считают, что применение темных покрытий по бетону в жаркие дни вызывает перегрев верхнего слоя бетона и за счет перепада температур по сечению бетона могут возникнуть опасные температурные напряжения и, как следствие, трещинообразование.

Чтобы предохранить бетонные покрытия от такого, как полагают, опасного перегрева, рекомендуется пленки осветлять. Так, в США защитные темные пленки покрывают белой краской, в Японии поверх темного покрытия рассыпают (0,8 кг/м²) каменный порошок известковых пород и т. д.

Результаты исследований по применению полимерных пленкообразующих покрытий. В качестве пленкообразующих полимерных материалов отечественного производства известно применение лаков этиноль, ФЛ-1, ФЛ-4, мономера ФА, ФАЭД-19, латекса СКС-65ГП, из числа традиционных — холодного раствора битума в бензине и др.

Лак этиноль — раствор полимеризованных производных ацетилена в ксилоле или ксилольной фракции, получающейся при прямой гонке нефтяных фракций. Выпускаемый на заводе лак этиноль готов к употреблению. При необходимости его разбавляют ксилолом или другим растворителем, с которым он хорошо совмещается (бензол, толуол, тетралин, декалин, дихлорэтан, скипидар и др.).

Лак можно наносить на металл, дерево, бетон и другие твердые поверхности с помощью кисти, а также наливом и пульверизацией. Вязкость лака (обычно равная по ВЗ-4 14—16 с) мало зависит от изменения температуры среды.

Лак, хранящийся в закрытой таре при нормальной температуре, не изменяет своих свойств в течение 2—3 лет. Этиноль способен пигментироваться. Сырье для получения лака недефицитно, а стоимость его низка.

Этинолевое покрытие характеризуется высокой стойкостью к кислотам и щелочам, однако его пленка обладает хрупкостью, слабой адгезией к гладким поверхностям, плохой светостойкостью и быстро стареет; растворитель (ксилол) имеет неприятный запах, сохраняющийся некоторое время после высыхания пленки.

Лак ФЛ-1 — термореактивная фурило-фенолоформальдегидная смола, темно-вишневого цвета, получается в результате взаимодействия фурилового спирта с фенолоформальдегидной смолой. ФЛ-1 обладает большой липкостью и хорошей адгезией к металлу, бетону, стеклу, хорошо связывая силикатные наполнители (цемент, песок).

Смола растворима в спирте, ацетоне, фуриловом спирте. На холоде ФЛ-1 отверждается в присутствии солянокислого анилина, контакта Петрова и др. (Петров, Фискина, 1959).

Лак ФЛ-4 — спирто-ацетоновый раствор продукта, полученного совместной конденсацией фурилового спирта, совмещенного с поливинилбутиралем и водорастворимой фенолоальдегидной смолой. Темно-вишневая прозрачная или слегка мутная жидкость. Отверждается, как и ФЛ-1. Лак ФЛ-4 стоек в щелочных и слабощелочных средах.

Мономер ФА — фурфурольно-ацетоновый мономер, образуется в результате взаимодействия фурфурола с ацетоном в щелочной среде. Согласно требованиям МРТУ-6-05-945—64 должен иметь следующие показатели: среднюю плотность при 20°С — 1,09—1,17 г/см³; скорость полимеризации с 3%-ной бензолсульфокислотой при 170—180°С — не более 90 с; содержание влаги — не более 2%; полную растворимость в ацетоне.

Отвердителем ФА являются бензолсульфокислота, кислота серная концентрированная, фосфорная и др.

Смола ФАЭД-19 — продукт совмещения фурфурольно-ацетонового мономера ФА с эпоксидной смолой марки ЭД-6 в массовом соотношении 9 : 1. Отверждается полиэтиленполиамином.

Растворим в ацетоне, бензоле, толуоле.

Латекс СКС—65ГП — дисперсная жидкость, полученная в процессе глубокой полимеризации смеси мономеров дивинила и стирола.

Кинетика и глубина гидратации цемента, определяющие скорость твердения и конечную прочность бетона, зависят в основном от температурного режима твердения и режима влажности.

При потере бетоном до 60% влаги от начального водосодержания наблюдается полная приостановка роста прочности, которая при дальнейшем увлажнении может снова нарастать. При значительном обезвоживании (пересушке) бетона, особенно в раннем возрасте, дальнейшее твердение при увлажнении, как правило, уже не может полностью восстановить всю потенциальную прочность бетона. Объясняется это резким развитием усадочных явлений внутри бетона и цементного камня с разрывом межзерновых контактов (Мощанский, 1951).

В опытах автора книги и В. А. Власенко для установления влияния режимов твердения на прочность бетона образцы в ранней стадии твердения подвергали нормальному влажностному уходу, сухому прогреву в термошкафу и естественному режиму твердения.

Для сухого прогрева образцы бетона помещали в термошкаф (в какой-то степени имитирующий жаркое сухое лето) через 15—20 ч после изготовления, затем в течение двух часов температуру поднимали до 50—55°С, при которой образцы выдерживали 4—5 ч и далее постепенно в течение 17 ч охлаждали до 18—20°С.

При таком режиме твердения образцы хранили в течение семи дней, после чего помещали их на воздушно-сухое хранение до момента испытания на прочность.

Образцы естественного хранения через сутки после изготовления помещали на улицу (период июнь—октябрь), где они находились под открытым небом до момента испытания.

Контрольные образцы постоянно находились в камере влажного хранения при температуре воздуха 18—20°С и относительной влажности 95%.

Таблица 27

Влияние режимов твердения на прочность бетона

Режим твердения	Водоцементное отношение (В/Ц)	Предел прочности при сжатии (кгс/см²), в возрасте			Предел прочности при изгибе (кгс/см²) в возрасте		
		7 сут	28 сут	90 сут	7 сут	28 сут	90 сут
Шкаф, воздушное	0,65	102	113	117	8,8	13,4	15,1
Естественное (период июль—октябрь)	0,65	80	134	159	—	—	—
Влажное	0,65	198	289	339	33,6	45,7	—
Шкаф, воздушное	0,46	209	217	230	9,8	22,7	23,6
Влажное хранение	0,46	295	450	460	—	56,9	68,5

Исследования показали (табл. 27), что в образцах, подвергнутых сразу же после изготовления сухому прогреву, в первый период активно развивались как процессы твердения, ускоряемые тепловой обработкой, так и процесс обезвоживания бетона, препятствующий нормальному его твердению. Уже через 6—7 дней дефицит в воде практически «замораживает» течение химических реакций и заметного прироста прочности бетона, если он находится в воздушно-сухой среде, не наблюдается.

Таблица 28

Зависимость прочности образцов на сжатие от количества испарившейся воды

Количество испарившейся воды, %	Уменьшение прочности на сжатие, %	
	после 28 сут твердения	после 90 сут твердения
10	15	15
20	20	20
30	35	45
40	45	55
60	50	75

При этом снижение прочности бетона (В/Ц=0,65) по сравнению с прочностью бетона, твердевшего во влажных условиях, составляет: в 28 дней — 60%, в 90 дней — 65%; для бетона с В/Ц=0,46: в 28 дней — 50% и в 90 дней — 50%.

По данным зарубежных исследователей (Скупин, 1967), прочность образцов на сжатие колеблется в зависимости от количества испарившейся воды в пределах, указанных в таблице 28.

Результаты прочностных испытаний образцов бетона, твердевших под открытым небом, очень сильно зависят от температурно-влажностных условий твердения образцов, особенно в раннем возрасте.

Прочностные испытания бетонных образцов, обработанных покрытиями на основе лака этиноль показали, что двухслойные покрытия как с добавкой алюминиевой пудры (2%), так и без нее для условий выдерживания в термошкафу обеспечивают нарастание прочности бетона вплоть до 180 дней.

Превышение прочности образцов, обработанных покрытиями, над прочностью аналогичных образцов без покрытия колеблется для возраста 28 дней в пределах 20—30%, 180 дней — 40—70%.

При естественных условиях твердения образцов (для г. Киева), происходящих в период сухого лета и сравнительно сухой осени, эффективность применения покрытия также довольно существенна.

В лабораторных исследованиях использовали также лаки ФЛ-1 и ФЛ-4. Их растворяли до нужной консистенции ацетоном и перед употреблением в них вводили катализатор твердения — солянокислый анилин. В опытах применялось лаковое покрытие следующего состава (по массе): ФЛ-1 — 1 часть, ацетон — 1 часть, солянокислый анилин — 0,02 части.

При исследовании бетонов, покрытых лаком ФЛ-1, применяли двухслойное покрытие чистым лаком и с алюминиевой пудрой в количестве 10%, при ФЛ-4 — одно- и двухслойное покрытие чистым лаком.

В лабораторных условиях также были испытаны бетоны, обработанные одно- и двухслойным покрытием на мономере ФА и смоле ФАЭД-19.

Превышение прочности при сжатии образцов, обработанных двухслойным покрытием на мономере ФА и смоле ФАЭД-19, над прочностью образцов без покрытия колеблется для 28-суточного возраста в пределах 20—35%, 180-суточного — 16—50%; при изгибе: для 28-суточного возраста в пределах 16—78%, 90-суточного — 70—92%.

Холодный раствор битума необходимой консистенции в описываемых опытах готовился из битума марки IV, предварительно разогретого до жидкого состояния при температуре 140—160°С. Далее в жидкий битум при перемешивании вводился бензин в соотношении 1 : 3. После остывания смесь переливали в сосуд с крышкой, где ее хранили до момента использования.

Дивинилстирольный латекс СКС-65ГП применялся без введения добавки.

Анализ результатов испытаний образцов, покрытых в один и два слоя латексом СКС-65ГП и раствором битума в два слоя, показывает, что превышение прочности образцов, обработанных латексом, над прочностью образцов, необработанных, почти не наблюдается; незначительное увеличение прочности характерно для образцов, покрытых раствором битума (табл. 28).

Для условий твердения в термошкафу, то есть при изменяющейся температуре от 20 до 50°С, лучшими в 90-суточном возрасте оказались покрытия на лаке этиноль, ФЛ-1 и ФЛ-4, ФАЭД-19, ФА, битуме и латексе.

Образцы бетона, покрытые различными пленкообразующими составами и твердевшие на открытом воздухе, сохраняют тенденцию роста прочности до 90 дней. Объясняется это тем, что пленкообразующие покрытия препятствовали интенсивному испарению влаги из бетона.

Иная картина наблюдается в аналогичных образцах, подвергнутых семидневному выдерживанию в термошкафу при 50—55°С и последующей выдержке в воздушно-сухих условиях.

В общем случае сравнительно высокая прочность здесь видна уже к семи дням. В дальнейшем, однако, нарастание прочности вплоть до 120 дней происходит замедленно или же не наблюдается вообще, вероятно, из-за потерь влаги через покрытие и особенностей цемента (алитовый).

Таким образом, учитывая результаты прочностных испытаний образцов естественного твердения и в термошкафу, предпочтение следует отдать лакам этиноль, ФЛ-1 и ФЛ-4, худшие показатели получены для покрытий на основе латекса и битума. ФА в процессе разбрызгивания довольно токсичен, а ФАЭД-19 дорог, поэтому они не могут быть рекомендованы для этой цели.

Рассмотрим также влияние условий твердения бетона на его усадку и водопроницаемость.

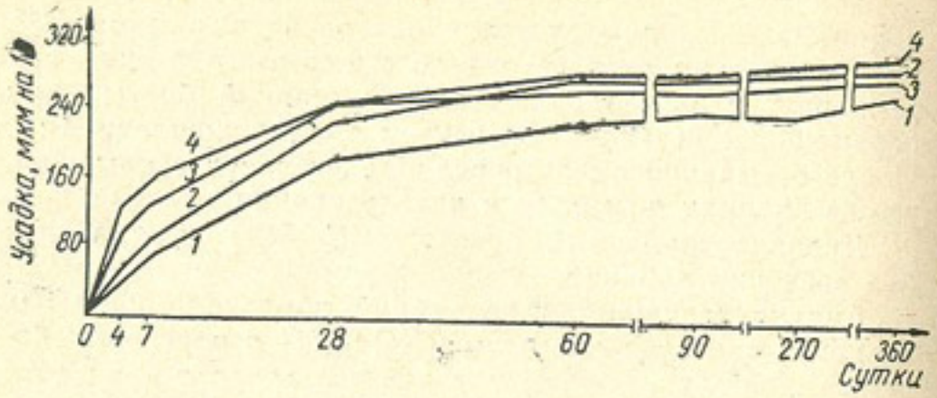


Рис. 29. Усадка бетона, обработанного различными пленкообразующими покрытиями:
1 — лак этиноль; *2* — лак ФЛ-1; *3* — латекс; *4* — без покрытия.

Основные факторы, определяющие структуру цементного камня,— минералогический состав и дисперсность цемента, водоцементное отношение, а также температурно-влажностные условия твердения цементного камня.

При отсутствии гигрометрического равновесия с воздухом влажный капиллярно-пористый бетон высыхает, уменьшая свой объем. Высыхание происходит по объему неравномерно, и в бетоне возникают усадочные напряжения.

Усадка в возрасте семи дней для непокрытых образцов составляет 55% годичной усадки, а для образцов, обработанных пленкообразующими покрытиями,— 15—33% (табл. 29, рис. 29).

Таблица 29

Усадка бетона в зависимости от вида покрытия, мкм на 1 м

Вид покрытия	Возраст бетона						
	4 сут	7 сут	28 сут	60 сут	90 сут	270 сут	1 год
Этиноль	40	68	185	236	248	245	272
ФЛ-1	58	90	236	284	286	292	300
Латекс СКС-65ГП	100	132	250	286	286	303	316
Непокрытые	126	161	250	272	272	280	290

Следовательно, пленкообразующие покрытия уменьшают усадку бетона, что немаловажно в раннем возрасте, когда бетон не приобрел достаточной прочности.

Опытами по определению водонепроницаемости бетонов установлена эффективность применения пленкообразующих покрытий. Особенно она значительна при использовании этиноля, худшие результаты получены при битумных и латексных (СКС-65ГП) покрытиях.

Один из важнейших вопросов безвлажностного ухода за бетоном — время нанесения пленкообразующего покрытия.

До недавнего времени считалось, что нанесение пленкообразующего покрытия должно выполняться после исчезновения с поверхности свежеуложенного бетона пленки воды и «побеления» бетона (Технические указания по уходу за свежеуложенным бетоном, 1970; Холланд, 1967). Практически оно наносилось лишь на следующий день после бетонирования. При этом в результате пересушивания бетона в той или иной степени деструктивные процессы приводили к образованию микро- и макротрещин на поверхности облицовки, что снижало ее эксплуатационные качества. Кроме того, работы по уходу за бетоном в этом случае разделялись с работами по бетонированию каналов, что вносило соответствующие производственные трудности и отражалось на стоимости ухода за бетоном.

П. Э. Францман впервые обнаружил образование вакуума в твердеющем бетоне в результате контракции. По данным Б. Г. Скрамтаева (1949), наибольшее разряжение достигается за первые 2—4 суток твердения и оно тем больше, чем больше тонкость помола цемента и чем выше его активность.

Впоследствии этот эффект был использован для повышения водонепроницаемости бетонов. Для этого на поверхность бетона после времени, соответствующего концу схватывания цемента, наливался раствор битума, этиноля, петролатума и других, который под действием вакуума впитывался в поверхностный слой бетона. Для обычных плотных бетонов глубина пропитки составляет 6—10 мм. Частичная пропитка бетона позволяет повысить его водонепроницаемость в 2—4 раза, значительно увеличить морозостойкость и коррозионную стойкость, улучшить его механические свойства. Так, пропитка лаком этиноль повышает прочность бетона на сжатие до 20—50%.

Однако время нанесения пленкообразующего покрытия не должно совпадать с моментом возникновения в

бетоне максимального вакуума, так как бетону к этому времени в результате пересушивания будет нанесен непоправимый ущерб.

Исследованиями, выполненными в УкрНИИГиМ автором книги и В. А. Власенко при участии В. В. Ивасенко, установлена возможность и целесообразность нанесения пленкообразующих покрытий немедленно вслед за бетонированием и отделкой бетона в облицовке. Это позволило улучшить качество облицовки и объединить в едином технологическом цикле процессы бетонирования и ухода за бетоном.

Покрытия наносили в различные сроки: сразу после изготовления, через 0,5 ч, 1,5 ч, 3 ч, 5 ч, 6 ч и через сутки. Установление эффективности покрытия в зависимости от вида и состава раствора выполнялось на образцах состава 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3 и 1 : 4.

Наиболее эффективными покрытиями оказались лаки этиноль и ФЛ-1, а оптимальным временем нанесения покрытия в большинстве случаев считался момент нанесения сразу же после изготовления образцов, но не позднее 1,5—2 ч (табл. 30).

Для подтверждения этого автором книги совместно с И. И. Слободяником и В. А. Власенко (1971) были проведены рентгеноструктурные и термографические исследования, позволившие установить фазовый состав цементно-песчаного бетона, твердевшего в различных температурно-влажностных условиях.

На рентгенограмме цементно-песчаного раствора (без покрытия), твердевшего в термошкафу при 50°С, легко обнаруживаются линии, характерные для $Ca(OH)_2$. Пики, характерные для гидратированных клинкерных минералов, наблюдаются с трудом. Это объясняется тем, что повышенная температура создает условия для испарения влаги и гидратация цемента прекращается в ранние сроки. К третьим суткам из-за недостатка влаги твердение бетона прекращается.

На рентгенограмме образцов, твердевших во влажных условиях, пики, характерные для гидросиликатов кальция, значительно интенсивнее. Кроме того, на этой рентгенограмме отсутствуют линии, характерные для эттрингита, и появляются пики, характерные для трехкальциевого гидросульфоалюмината кальция, который, как известно, образуется после трех суток отвердения.

Таблица 30

Влияние вида покрытия, времени нанесения и состава цементного раствора на прочность при изгибе образцов (с В/Ц=0,4), обработанных пленкообразующими покрытиями

Вид покрытия	Предел прочности при изгибе (кгс/см²) в возрасте 28 дней при нанесении покрытия через						Состав раствора
	0 ч	0,5 ч	1,5 ч	3 ч	5 ч	6 ч	1 сут	
ФЛ-1	106,3	106,5	103,9	104,9	107,0	84,7	86,8	1:1
Латекс СКС-65ГП	67,7	60,2	59,2	57,2	49,0	47,5	—	
Этиноль	72,4	65,6	69,3	67,5	67,4	65,0	65,6	
Битум	62,7	58,4	58,1	57,4	55,0	46,6	45,5	
Непокрытые				41,8				
ФЛ-1	80,1	80,6	80,5	79,4	75,3	70,0	48,8	1:2
Латекс СКС-65ГП	21,9	22,0	21,9	20,8	19,7	18,5	18,0	
Этиноль	37,0	40,0	36,5	36,0	30,8	26,3	27,4	
Непокрытые				16,5				
ФЛ-1	26,1	21,2	22,5	26,1	25,6	17,6	19,9	1:3
Латекс СКС-65ГП	13,1	13,6	15,5	15,1	12,8	11,2	13,8	
Этиноль	39,1	37,3	31,9	27,3	21,6	25,1	24,1	
Непокрытые				11,6				
ФЛ-1	27,6	25,6	22,8	20,3	17,7	17,4	12,0	1:4
Этиноль	47,8	47,0	44,3	39,0	34,9	20,4	13,0	
Латекс СКС-65ГП	20,7	20,1	20,7	18,8	14,1	13,6	12,9	
Непокрытые				12,3				

Сравнение рентгенограмм образцов, твердевших во влажных условиях и в условиях, близких к условиям твердения облицовки каналов, показало, что при твердении бетона при 50—55°С процессы гидратации цемента прекращаются уже на третьи сутки и в дальнейшем бетон практически не твердеет.

Рентгенограммы образцов, твердевших под пленкообразующими покрытиями, фиксируют большую интенсивность пиков, характерных для гидросиликатов. Отсутствие линий, характерных для эттрингита, и наличие линий, указывающих на присутствие трехкальциевого гидросульфоалюмината Са, говорит о том, что твердение не прекращается на третьи сутки, кроме того, повышенная температура среды создает в материале условия, близкие к режиму пропаривания.

Сравнение рентгенограмм образцов, твердевших под пленочными покрытиями, нанесенными на бетон в различные сроки, показывает, что наибольшая интенсивность пиков гидросиликатов кальция и гидрата окиси кальция зафиксирована на рентгенограмме бетона, пленкообразующее покрытие на которое нанесено сразу после укладки бетона.

Таким образом, рентгеноструктурный анализ подтвердил данные, полученные при прочностных испытаниях образцов, твердевших в различных температурно-влажностных условиях.

Результаты дифференциально-термического анализа, выполненного на пирометре Курнакова ФПК-64, согласуются с приведенными данными рентгеноструктурного анализа.

Опыт применения безвлажностного ухода за монолитным бетоном при строительстве оросительных каналов. С середины 60-х годов метод безвлажностного ухода за бетоном начал применяться при строительстве оросительных каналов с монолитной бетонной облицовкой. Однако эти работы выполнялись вручную, когда покрытие наносилось по уже достаточно отвердевшему бетону. Набрызгивающие устройства встречались чрезвычайно редко, ибо при разделении во времени процессов бетонирования и ухода за бетоном, как того требовали ТУ, механизация по уходу за бетоном не нашла широкого применения.

В последние годы, когда была доказана целесообразность нанесения пленкообразующих покрытий вслед

за бетонированием, появилась возможность объединить процессы бетонирования и ухода за бетоном в одну технологическую операцию, что создало реальные условия для механизации этих работ.

В период с 1967 по 1970 г. механизированное набрызгивание на свежеуложенный бетон пленкообразующих покрытий, главным образом лака этиноль, осуществлялось на Украине при строительстве Северо-Крымской, Белогорской, Татарбунарской и Каховской оросительных систем, а также трестом Янгиерводстрой в Голодной степи и Каршинстроем в Каршинской степи. В последние годы этот метод применялся во многих районах строительства оросительных каналов с монолитной бетонной облицовкой.

В практике строительства наибольшее распространение получил лак этиноль, а при его отсутствии — разжиженный битум.

Этиноль выпускается заводами в готовом для употребления виде. Растворитель применяют лишь при повышенной вязкости этиноля, затрудняющей его разбрызгивание. В этом случае лак доводится до нормальной консистенции введением растворителя в количестве не более 8% и сразу же используется.

Изготовление разжиженного битума осуществляется с предварительным разогревом его до температуры 100°С (при разжижении бензином) и 120°С (при разжижении керосином). Разжижитель вносят небольшими порциями при тщательном перемешивании. Этилированный бензин запрещен. Обычно применяется разжиженный битум при соотношении битума и разжижителя от 1 : 3 до 1 : 1,5. Приготовленный раствор заливается в железные бочки с нарезной пробкой, где и хранится.

Пленкообразующие материалы наносят на свежеуложенный бетон в два слоя. В исключительных случаях допускается однослойное покрытие. Качество бетона облицовки при этом несколько ухудшается.

Первый слой набрызгивается немедленно после укладки и отделки бетонной смеси, второй — после высыхания первого слоя «от пыли»*, происходящего в зависимости от температурно-влажностных условий производства работ (обычно через 20—30 мин).

---

* Образование в процессе высыхания тонкой поверхностной пленки, на которой не задерживаются пылевидные частицы.

Пленкообразующие материалы наносятся равномерным тонким слоем при общей толщине пленки 0,20—0,25 мм.

Ориентировочные нормы расхода материалов и время нанесения второго слоя (по первому) указаны в таблице 31.

Таблица 31

Нормы расхода материалов и сроки нанесения второго слоя пленкообразующего покрытия

Материал	Нормы расхода, г/м²		Время нанесения второго слоя после первого (мин) при температуре воздуха		
	на первый слой	на второй слой	0—15°С	15—25°С	более 25°С
Лак этиноль	200	130	40	30	20
Раствор лака ФЛ-1	300	170	60	50	30
Разжиженный битум	400	200	60	50	30

Защитные покрытия должны наноситься только механизированным набрызгиванием пленкообразующих материалов на поверхность бетона (рис. 30).

Для этой цели при бетонировании канала вручную рекомендуется покрасочный агрегат О-30 с пистолетом-распылителем О-45 или удочкой. Агрегат располагается на прицепе к трактору или автоприцепе, на котором также установлена передвижная электростанция типа ПЭС для питания электродвигателя компрессора, входящего в состав покрасочного агрегата.

При бетонировании канала бетоноукладчиком типа «скользящей формы» для нанесения пленкообразующих материалов также используется пистолет-распылитель или удочка, воздух к красконагнетательному бачку модели С-383 емкостью 25—50 л подается от пневмосистемы экскаватора, работающего в комплексе с бетоноукладчиком. Сжатый воздух от компрессора по шлангу под давлением 3—4 кгс/см² подается в редуктор, установленный на красконагнетательном бачке. Из редуктора часть воздуха под давлением 3—4 кгс/см² идет по шлангу к распылителю. Часть воздуха редуцируется в редукторе и, проходя в бачок под давлением 1,5—2 кгс/см², вытесняет пленкообразующий материал, который через фильтр по бензостойкому шлангу проходит к распылителю. Разбрызгивание пленкообразующего материала проводят таким образом, чтобы факел жидкости, исходящий из сопла пистолета (удочки), был по возможности перпендикулярен к плоскости облицовки.

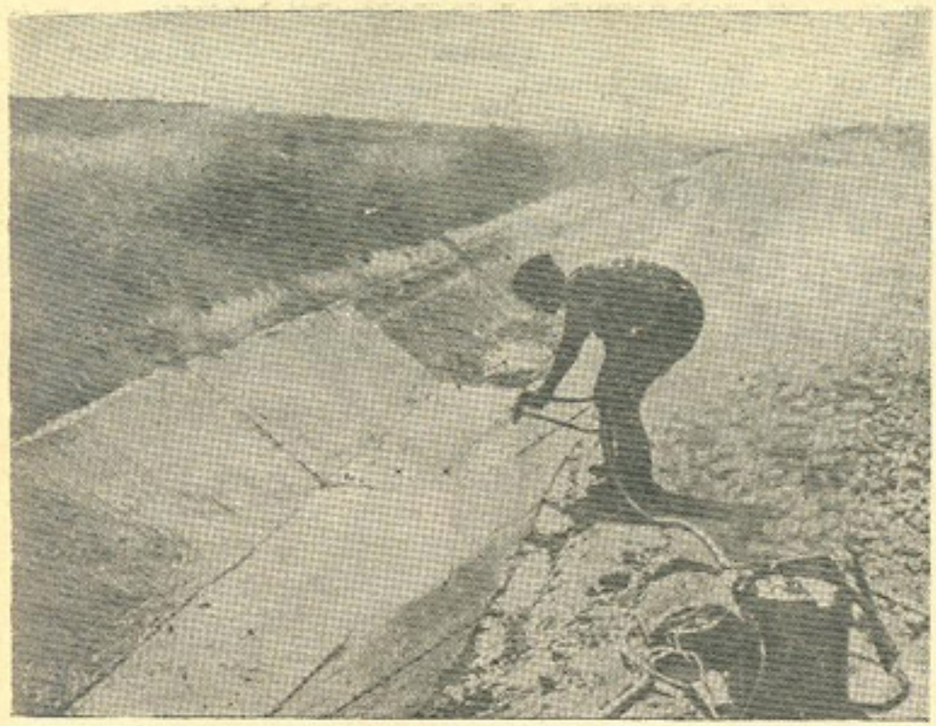


Рис. 30. Механизированное набрызгивание пленкообразующего покрытия.

Первый слой пленкообразующих материалов при технической производительности бетоноукладчика 60 м/ч наносится пистолетом-распылителем или удочкой со шлангом длиной 15 м, второй слой наносится другим пистолетом или удочкой со шлангом длиной 60 м.

После окончания работ пистолет-распылитель (удочка) и бачок тщательно промывают соответствующим для данного материала растворителем, а шланг, подводящий пленкообразующий материал, продувается под давлением 3—4 кгс/см² подключением к штуцеру сжатого воздуха на красконагнетательном бачке.

Общая стоимость ухода за бетоном, отнесенная к 1 м² облицовки каналов с учетом затрат на рабочую силу, материалы и амортизацию оборудования, составляет: при однослойном и двухслойном покрытиях на лаке этиноль соответственно 7 и 9 коп., при однослойном

и двухслойном покрытиях на лаке ФЛ-1 соответственно 29 и 49 коп., при однослойном и двухслойном покрытиях на основе разжиженного битума соответственно 8 и 10 коп.

В то же время стоимость влажностного ухода достигает 15—25 коп.

В практических условиях метод безвлажностного ухода дает лучший эффект, чем периодический полив бетона водой, даже с укрытием его матами или засыпкой песком.

ПОЛИМЕРНЫЕ ТРУБЫ ДЛЯ ЗАКРЫТЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И ДРЕНАЖА В ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ

В последние годы в водохозяйственном строительстве в числе других изделий из полимерных материалов широкое распространение получили трубы.

Благодаря их легкости сокращается стоимость работ и повышается производительность труда. Полимерные трубы устойчивы к коррозии, в связи с чем нет необходимости защищать их антикоррозийным покрытием. Обладая высокими диэлектрическими свойствами, полимерные трубы не подвергаются электрохимической коррозии и действию блуждающих токов.

Они характеризуются хорошей транспортабельностью, постоянством пропускной способности и небольшими потерями напора на шероховатость. Полимерные трубы удобны при проведении монтажных работ, так как легко режутся, склеиваются и свариваются.

Материалом для производства полимерных труб служит полиэтилен, поливинилхлорид, полипропилен, фторопласт и др. При строительстве трубопроводов закрытых оросительных систем в нашей стране наибольшее распространение получили полиэтиленовые трубы. Они обладают хорошей эластичностью, легко монтируются, способны выдерживать, не повреждаясь, большое число циклов замораживания и оттаивания. Трубы из полиэтилена высокой плотности диаметром до 40 мм и из полиэтилена низкой плотности диаметром до 63 мм могут изготавливаться в бухтах, благодаря чему число соединений при монтаже этих труб может быть сведено к минимуму.

Однако возрастание толщины стенок полиэтиленовых труб с увеличением их диаметра обусловливает возрастание массы труб и увеличение их стоимости.

К недостаткам полиэтиленовых труб относятся: уменьшение механической прочности материала вследствие развивающейся даже при 20°С ползучести; релаксационное разрушение, наблюдаемое чаще всего на криволинейных участках трубопровода и в элементах соединений; высокий коэффициент линейного расширения.

Полиэтиленовые трубы отечественной промышленностью изготавливаются из полиэтилена низкой плотности в соответствии с МРТУ 6-05-918—67 и из полиэти-

лена высокой плотности по МРТУ 6-05-917—67. Трубы из полиэтилена высокой и низкой плотности выпускаются четырех типов: легкого — с максимальным давлением 2,5 кгс/см², среднелегкого — 4; среднего — 6 и тяжелого — 10 кгс/см².

Трубы из полиэтилена высокой плотности в зависимости от наружного диаметра изготавливаются четырех типов: легкого и среднелегкого — от 16 до 315 мм, среднего — от 16 до 225 и тяжелого — от 16 до 160 мм.

Таблица 32

Сортамент труб из полиэтилена высокой плотности

Средний наружный диаметр, мм		Толщина стенки труб (мм) по типам							
		легкий		среднелегкий		средний		тяжелый	
номинальный	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение
10	+0,4	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4
12	+0,4	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4
16	+0,4	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4
20	+0,5	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4
25	+0,6	—	—	—	—	2,0	+0,4	2,3	+0,4
32	+0,7	—	—	—	—	2,0	+0,4	2,9	+0,5
40	+0,8	—	—	2,0	+0,4	2,3	+0,4	3,6	+0,6
50	+1,0	—	—	2,0	+0,4	2,8	+0,5	4,5	+0,6
63	+1,1	2,0	+0,4	2,5	+0,5	3,6	+0,6	5,7	+0,8
75	+1,3	2,0	+0,4	2,9	+0,5	4,3	+0,6	6,8	+0,9
90	+1,6	2,2	+0,4	3,5	+0,6	5,1	+0,7	8,2	+1,0
110	+1,8	2,7	+0,5	4,3	+0,6	6,2	+0,8	10,0	+1,2
125	+2,1	3,1	+0,5	4,8	+0,7	7,1	+0,9	11,4	+1,3
140	+2,3	3,5	+0,6	5,4	+0,7	7,9	+1,0	12,7	+1,5
160	+2,6	3,9	+0,6	6,2	+0,8	9,1	+1,1	14,6	+1,7
180	+2,7	4,4	+0,6	7,0	+0,9	10,2	+1,2	16,4	+1,8
200	+2,8	4,9	+0,7	7,7	+1,0	11,4	+1,3	18,2	+2,0
225	+2,9	5,5	+0,8	8,7	+1,1	12,8	+1,5	20,5	+2,2
250	+3,0	6,1	+0,8	9,7	+1,2	14,2	+1,6	22,8	+2,5
280	+3,1	6,9	+0,9	10,8	+1,3	15,9	+1,8	25,5	+2,8
315	+3,3	7,7	+1,0	12,2	+1,4	17,9	+2,0	—	—
355	+3,4	8,7	+1,1	13,7	+1,6	20,1	+2,2	—	—
400	+3,6	9,8	+1,2	15,4	+1,7	22,7	+2,5	—	—
450	+3,8	11,0	+1,3	17,3	+1,9	25,5	+2,8	—	—
500	+4,0	12,2	+1,4	19,3	+2,1	—	—	—	—
560	+4,2	13,7	+1,6	21,6	+2,4	—	—	—	—
630	+4,5	15,4	+1,7	24,3	+2,6	—	—	—	—

Трубы из полиэтилена низкой плотности в зависимости от наружного диаметра выпускаются также четырех типов: легкого и среднелегкого — от 10 до 160 мм, среднего и тяжелого — от 10 до 110 мм.

В 1973 г. утвержден ГОСТ 18599—73 на трубы напорные из полиэтилена, срок действия которого установлен с 1 января 1975 г., а на трубы диаметром более 315 мм — с 1 января 1976 г.

В соответствии с ГОСТ, напорные трубы из полиэтилена должны выпускаться легкого, среднелегкого, и тяжелого типов.

Сортамент труб из полиэтилена высокой плотности (по ГОСТ 18599—73) должен соответствовать приведенному в таблице 32, а из полиэтилена низкой плотности — в таблице 33.

Таблица 33

Сортамент труб из полиэтилена низкой плотности

Средний наружный диаметр, мм		Толщина стенки труб (мм) по типам							
		легкий		среднелегкий		средний		тяжелый	
номинальный	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение	номинальная	предельное отклонение
10	+0,4	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4
12	+0,4	—	—	—	—	—	—	2,0	+0,4
16	+0,4	—	—	—	—	2,0	+0,4	2,7	+0,5
20	+0,5	—	—	—	—	2,0	+0,4	3,3	+0,5
25	+0,6	—	—	2,0	+0,4	2,7	+0,5	4,2	+0,6
32	+0,7	2,0	+0,4	2,4	+0,4	3,4	+0,5	5,3	+0,7
40	+0,8	2,0	+0,4	3,0	+0,5	4,3	+0,6	6,7	+0,9
50	+1,0	2,4	+0,4	3,7	+0,6	5,4	+0,7	8,3	+1,0
63	+1,1	3,0	+0,5	4,7	+0,7	6,7	+0,9	10,5	+1,2
75	+1,3	3,6	+0,6	5,6	+0,8	8,0	+1,0	12,5	+1,4
90	+1,6	4,3	+0,6	6,7	+0,9	9,6	+1,2	15,0	+1,7
110	+1,8	5,3	+0,7	8,1	+1,0	11,8	+1,4	18,3	+2,0
125	+2,1	6,0	+0,8	9,3	+1,1	13,4	+1,5	20,8	+2,3
140	+2,3	6,7	+0,9	10,4	+1,2	—	—	—	—
160	+2,6	7,7	+1,0	11,9	+1,4	—	—	—	—

Стоимость полиэтиленовых труб представлена в таблице 34.

Срок службы полиэтиленовых труб ориентировочно равняется 50 годам. Старение полиэтиленовых труб в

эксплуатационных условиях происходит главным образом под действием различных по характеру нагрузок, кислорода воздуха, транспортируемой среды и т. д. Для предупреждения старения в полиэтилен вводят ароматические амины, фенольные соединения, органические фосфиты, канальную сажу и т. д. Коэффициент линейного расширения полиэтилена примерно в 10 раз больше, чем у металлических труб. Это необходимо учитывать при проектировании полиэтиленовых трубопроводов и производстве работ по их укладке.

Таблица 31

Оптовая цена 10 м труб из полиэтилена низкой плотности по МРТУ 6-05-918—67 и полиэтилена высокой плотности по МРТУ 6-05-917—67, руб. — коп.

Наружный диаметр труб, мм	Легкий тип	Среднелегкий тип	Средний тип	Тяжелый тип
11	—	—	—	0—60
12	—	—	—	0—78
16	—	—	0—83	1—20
20	—	—	1—10	1—50
25	—	1—15	1—70	2—25
32	—	1—70	2—50	3—50
40	2—10	2—70	3—40	5—30
50	3—00	4—00	5—20	8—50
63	4—40	6—00	8—70	13—00
75	6—30	8—50	12—00	19—00
90	9—50	12—00	18—70	25—70
110	14—00	17—50	25—00	38—00
140	18—00	28—00	39—00	57—00
160	26—00	36—00	50—50	76—00
225	44—00	70—00	96—00	—
280	68—00	102—00	—	—
315	84—00	128—00	—	—

Диапазон диаметров полиэтиленовых труб, изготавливаемых по МРТУ 6-05-917—67 и МРТУ 6-05-918—67, не удовлетворяет в полной мере требования водохозяйственного строительства, включая строительство закрытых оросительных систем. Так, по диаметрам выпускаемые в настоящее время полиэтиленовые трубы покрывают потребность строительства закрытых оросительных систем на 60—70%.

По техническим требованиям Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР напорные полиэтиленовые трубы для закрытых оросительных систем должны

выпускаться условным диаметром: из полиэтилена низкой плотности — от 100 до 300 мм; из полиэтилена высокой плотности — от 100 до 600 мм.

В настоящее время фасонные части из полиэтилена выпускаются промышленностью только для труб диаметром до 100 мм, и поэтому при строительстве закрытых оросительных систем из полиэтиленовых труб используются металлические фасонные части. В связи с этим необходимо освоить промышленное производство фасонных частей для полиэтиленовых труб всех диаметров, применяемых в водохозяйственном строительстве.

Винипластовые трубы отечественной промышленностью выпускаются в ограниченном количестве, поэтому широкого распространения в водохозяйственном строительстве они не получили.

В соответствии с ТУ № 4251—54 выпускаются винипластовые трубы условным диаметром до 150 мм трех типов: легкого — $P_у$=2,5 кгс/см²; среднего — $P_у$==6 кгс/см² и тяжелого — $P_у$=10 кгс/см².

Винипластовые трубы по сравнению с полиэтиленовыми несколько тяжелее, имеют меньшую морозостойкость. Механическая прочность винипластовых труб сохраняется при температуре от 10 до 40°С. С повышением температуры увеличивается пластичность материала и уменьшается прочность его. С понижением температуры уменьшается удельная ударная вязкость материала, поэтому при отрицательных температурах винипластовые трубы следует предохранять от ударов.

Ударная вязкость винипластовых труб так же, как и у полиэтиленовых, резко падает при наличии на их поверхности надрезов и царапин. Коэффициент линейного расширения у винипласта примерно в 5—6 раз выше, чем у стали.

В соответствии с техническими требованиями Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР для строительства закрытых оросительных трубопроводов требуются винипластовые трубы диаметром от 100 до 600 мм на рабочие давления 2,5; 4; 6 и 10 кгс/см².

Материал труб по своему качеству должен допускать производство монтажных работ при температуре до минус 15°С.

Винипластовые трубы должны поставляться в комплекте с фасонными деталями тех же диаметров, что и трубы.

Полипропиленовые трубы отечественной промышленностью изготавливаются в очень небольшом объеме. По техническим условиям № 38-2-54—69 трубы из полипропилена выпускают условным диаметром от 10 до 250 мм на рабочее давление 3,2 и 6,0 кгс/см². По своим свойствам полипропиленовые трубы сходны с полиэтиленовыми. Однако они несколько легче полиэтиленовых труб (плотность полипропилена 0,9—0,91 г/см³, а полиэтилена высокой плотности 0,94—0,97 г/см³). Основное преимущество полипропиленовых труб перед другими видами пластмассовых труб — их высокая теплостойкость. Температура плавления полипропилена 165°С. Полипропилен обладает ценным сочетанием относительно высокой прочности с высоким относительным удлинением. Однако у полипропилена по сравнению с полиэтиленом более низкая морозостойкость.

Строительство закрытых оросительных систем с применением труб из полимерных материалов. В настоящее время накоплен некоторый опыт строительства закрытых оросительных систем с применением полимерных, в первую очередь, полиэтиленовых, труб. Имеется небольшой опыт строительства закрытых трубопроводов из винипластовых труб.

Технология строительства трубопроводов закрытых оросительных систем с применением труб из полимерных материалов состоит из следующих этапов: подготовительные работы, рытье траншей, монтаж трубопровода и укладка его в траншею, засыпка и опрессовка трубопровода. Глубина заложения трубопроводов оросительных систем колеблется от 0,8 до 1,2 м. При использовании полимерных труб ширину траншеи для укладки трубопровода можно несколько уменьшить, что позволит сократить объем земляных работ.

Одним из ответственных этапов строительства трубопровода, обеспечивающим устойчивую и длительную его работу, является соединение труб между собой и с металлическими фасонными частями. Применяется два типа соединений пластмассовых труб: разъемный и неразъемный. К разъемным соединениям относятся резьбовые и фланцевые, к неразъемным — сварные и клеевые.

В практике водохозяйственного строительства наиболее широкое распространение при монтаже полиэтиленовых трубопроводов получила сварка труб встык и

врастуб. А из разъемных соединений наиболее часто встречается фланцевое соединение со свободным фланцем.

Сварка полиэтиленовых труб встык считается наиболее экономичным и технологически простым способом соединения. Особенно широкое распространение этот способ нашел при монтаже полиэтиленовых трубопроводов среднего и большого диаметра. При сварке встык торцы соединяемых труб оплавляют нагревательным инструментом на глубину 2—3 мм. После этого инструмент быстро убирают и не позднее чем через 1—2 с оплавленные торцы труб (под небольшим давлением 1,5÷÷2 кгс/см²) прижимают друг к другу. На прочность сварного шва влияет температура нагревательного инструмента, продолжительность нагрева, давление, с которым торцы труб прижимают друг к другу. При сварке встык применяют нагревательные инструменты с плоскими металлическими поверхностями. Инструмент нагревается электроэнергией или паяльной лампой. Оптимальная температура нагрева инструмента для полиэтилена низкой плотности составляет 170—200°С, для полиэтилена высокой плотности —200—230°С. При температуре ниже оптимальной увеличивается продолжительность нагрева торцов труб, а также величина усилия прижима торцов при сварке. При температуре выше оптимальной в месте стыка образуется значительный валик из размягченного материала (грат), который уменьшает живое сечение трубы.

Минимальная продолжительность нагрева торцов труб для полиэтилена низкой плотности составляет 20 с, для полиэтилена высокой плотности —30 с.

Полученное соединение должно медленно охладиться.

Сварку встык также применяют для изготовления фасонных частей из отрезков труб.

В настоящее время имеется несколько установок для сварки полиэтиленовых труб. В частности, ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова сконструирован агрегат АСП-I для сварки труб встык (рис. 31). Агрегат состоит из установок для сварки, резки и торцовки полиэтиленовых труб. Эти установки смонтированы на самоходном шасси Т-16, на котором также установлен трехфазный синхронный генератор типа ЕС-52-4С мощностью 5 кВт, соединенный с двигателем шасси при помощи редук-

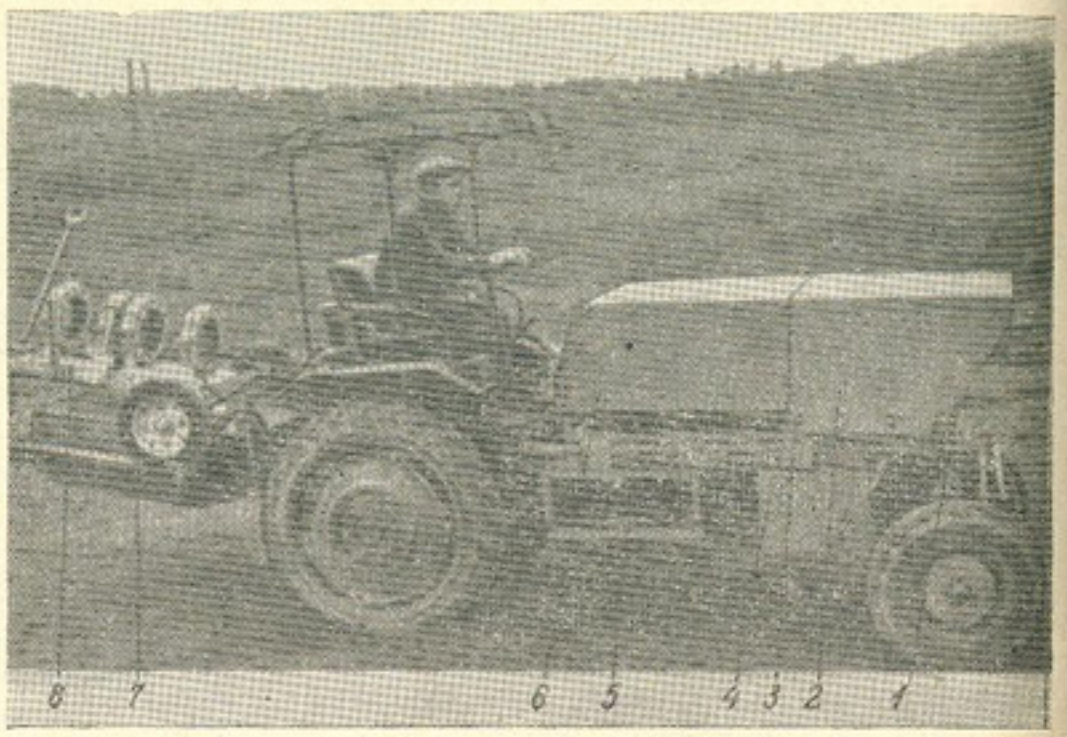


Рис. 31. Агрегат АСП-1 для сварки полиэтиленовых труб встык:
1 — самоходное шасси Т-16 мощностью 16 л. с.; *2* — ящик для размещения электрифицированной плиты УРТ-3; *3* — ящик для размещения фрез Ф-1; *4* — ящик для вкладышей; *5* — синхронный генератор ЕС-52-4С мощностью 5 кВт; *6* — шкаф с электрооборудованием и приборами; *7* — платформа; *8* — установка для сварки труб УСП-2.

тора. Таким образом, самоходное шасси превращено в дизель-электрическую станцию, которая питает током и перемещает все оборудование и приборы, необходимые для соединения полиэтиленовых труб.

Прочность соединений, полученных сваркой встык, составляет 95—98% прочности основного материала трубы.

По сравнению со сварными соединениями встык раструбные соединения имеют значительно большую площадь сварки и, следовательно, являются менее чувствительными к технологическим дефектам. Кроме того, при правильном выполнении таких соединений они не сужают внутреннего сечения трубопровода и позволяют проводить самоцентровку труб при сварке.

Для осуществления сварки враструб на торцах труб снимают фаски (для лучшего ввода их в раструб) под углом 45°. Высота снятия фасок на трубах должна быть 1—2 мм.

Для формования раструба конец трубы нагревают в глицериновой или масляной ванне при температуре 120—130°С. При отсутствии масла или глицерина можно использовать раствор поваренной соли или любого другого электролита, температура кипения которого должна превышать 120°С.

Глубина раструба и длина участка нагрева концов труб зависят от их диаметра. Глубина раструба обычно равняется 1,5 $D_{нар}$.

Раструб изготавливается следующим образом: конец трубы помещают в нагретый глицерин или раствор на необходимую глубину и нагревают до состояния свободного формования. Потом трубу вынимают из ванны и раструб формуют при помощи специальной оправки.

Раструб делают с таким расчетом, чтобы между внутренней поверхностью раструба в горячем состоянии и наружной поверхностью вставленной в нее трубы не было свободного зазора.

Процесс сварки враструб заключается в следующем: оплавление внутренней поверхности раструба происходит на дорне нагревательного инструмента, который вставляется в раструб. Оплавление наружной поверхности трубы происходит в гильзе нагревательного инструмента. Обычно дорн и гильзу совмещают в одном инструменте. Инструмент нагревается паяльной лампой или электроэнергией. Рабочие поверхности гильзы и дорна, контактирующие со свариваемыми деталями, должны быть тщательно обработаны (по 7 классу точности).

Инструмент нагревается открытым пламенем до температуры 320—340°С, а электронагревательный инструмент достаточно нагреть до 280—300°С.

Оплавление поверхностей происходит в течение 3—5 с. При этом расплавляется 1—2 мм толщины стенки трубы по всей поверхности. Затем концы труб быстро снимают с нагревательного инструмента и гладкий конец трубы вдвигают в раструб. Сварное соединение должно оставаться неподвижным до полного охлаждения. После каждого соединения нагревательный инструмент тщательно очищают.

После остывания соединенный участок может поступать в монтаж.

Для соединения полиэтиленовых труб с металлическими фасонными частями пользуются разъемными соединениями, в основном фланцевыми. Для этого на по-

лиэтиленовом патрубке формуется буртик. Затем на патрубок или на трубу надевают свободный металлический фланец и патрубок приваривают к трубе. Свободный фланец после этого соединяют с фланцем фасонной части с помощью болтов.

Винипластовые трубы при монтаже трубопровода соединяют с помощью клея. Для устройства клеевого соединения на одном из концов трубы формуется раструб. Для этого конец трубы со снятой под углом 45° внутренней фаской разогревают до температуры 120—130°С до тех пор, пока конец трубы не станет мягким. После этого его насаживают на холодную трубу, на торце которой снята наружная фаска под углом 20°. Охлаждается раструб быстро холодной водой.

После этого на раструбе и трубе ставят метки с целью фиксации их положения. Затем раструб снимают с трубы и соединяемые поверхности обрабатывают наждачной бумагой или рашпилем для придания им шероховатости. Обработанные поверхности обтирают сухой чистой тряпкой и обезжиривают их ацетоном или дихлорэтаном. На поверхность гладкого конца трубы кистью наносят тонкий слой клея, после чего конец трубы вставляют в раструб так, чтобы метки совместились. Клей, выдавленный при соединении труб, удаляют.

Для склеивания винипластовых труб применяют клеи различного состава, но наиболее распространенным является клей, содержащий 14 массовых частей перхлорвиниловой смолы и 86 массовых частей дихлорэтана. Нанесение клея и вдвигание гладкого конца трубы в раструб должно проводиться очень быстро из-за сильной летучести растворителя. После склеивания стык оставляют неподвижным на два часа. В работу трубопровод может быть пущен не ранее чем через 24 ч после склеивания последнего стыка.

С металлическими фасонными частями винипластовые трубы могут соединяться с помощью фланцевых соединений. Фланцевые соединения могут быть со свободными фланцами на раструбах, на разбортовке и на втулках с приклеенным упорным кольцом.

Перед опусканием трубных плетей в траншею тщательно осматривают все стыковые соединения.

Кроме того, перед опусканием на бровке траншеи можно провести пневматические испытания плети трубопровода с проверкой стыков мыльной эмульсией.

Рис. 32. Опускание плети трубопровода в траншею вручную.

Опускание плетей пластмассовых труб в траншею проводится плавно, вручную (при небольшом диаметре труб) (рис. 32) или при помощи подъемных механизмов.

В траншее трубы укладывают непосредственно на выровненное дно. В скальных грунтах трубы помещают на подушку из рыхлого грунта толщиной не менее 10 см, без включения камней и щебня.

После окончания монтажа трубопровода его засыпают, сначала измельченным грунтом слоем не менее 20 см с тщательной утрамбовкой и подбивкой пазух, а затем обычным путем.

При укладке пластмассового трубопровода в жаркое время года засыпку проводят в наиболее холодное время суток, чтобы уменьшить напряжения, вызываемые температурными изменениями.

Одним из первых опытов применения полиэтиленовых труб для строительства закрытых оросительных систем было строительство участка самотечно-напорной оросительной сети в Таджикской части Голодной степи

в 1964 г. Работы по проектированию, строительству и эксплуатации этого участка проводились ВНИИГиМ.

Для строительства оросительной системы использовали полиэтиленовые трубы диаметром 324 мм. Площадь орошения 210 га, протяженность трубопровода 2300 м. Основным способом соединения полиэтиленовых труб между собой была сварка встык. Соединение труб с металлическими фасонными частями осуществлялось с помощью фланцевых соединений. На подземном трубопроводе через 120 м установлены гидранты-водовыпуски конструкции ВНИИГиМ. Глубина заложения труб 0,8 м.

Для оценки состояния трубопровода в течение нескольких лет после строительства проводились систематические наблюдения за его работой. При этом изучались эксплуатационные характеристики трубопровода, его прочностные показатели и характер их изменений с течением времени.

Исследования показали, что старение стыковых соединений со временем возрастает. В первые четыре года старение шло особенно интенсивно, затем процесс несколько стабилизировался. Величина относительной прочности сварных соединений за период эксплуатации остается высокой —98—99%.

Одновременно изучалось снижение эластичных свойств соединений и материала трубы. Материал становился все более хрупким. Процесс старения мест соединений шел значительно быстрее, чем самих труб.

При строительстве самотечной закрытой внутрихозяйственной оросительной сети в одном из хозяйств Грузинской ССР были применены полиэтиленовые трубы условным диаметром 150 мм. Общая площадь орошаемого участка составляла 1700 га.

В Таджикской ССР Московский гидромелиоративный институт (МГМИ) проводил опытные работы по укладке полиэтиленовых труб в комбинированной системе полива. Эта система состоит из закрытых транспортирующих и поливных трубопроводов и гибких поливных передвижных трубопроводов. На системе были использованы полиэтиленовые трубы легкого типа диаметром 100 мм, соединяли их с помощью отрезков металлических труб диаметром 125 мм на резиновых кольцах. Перед укладкой полиэтиленовых поливных труб в них сверлили отверстия диаметром 3,7—3,9 мм. Глубина заложения поливного трубопровода 0,3—0,4 м, расстояние между поливными отверстиями 60 см.

Вода из подземного трубопровода поступала через отверстия в борозды, преодолевая слои грунта и выходя на поверхность в виде родников.

В Литовской ССР на площади около 1000 га в закрытых оросительных системах применены полиэтиленовые трубы высокой плотности, среднего и тяжелого типа диаметром 100—150 мм. Соединяли трубы с помощью контактной сварки встык и враструб, фасонные части (тройники, отводы) изготавливались из полиэтиленовых труб с помощью комплекта инструментов, разработанного Литовским научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации.

Опыт эксплуатации закрытых оросительных трубопроводов из полиэтиленовых труб показал, что в первый год были нарушения в местах соединений. После проведения ремонта при дальнейшей эксплуатации нарушений в работе трубопроводов не наблюдалось.

В Московской области была построена напорная закрытая оросительная сеть из раструбных винипластовых труб румынского производства. Условный диаметр труб 150 и 200 мм, рабочее давление 6 кгс/см². Трубы были получены вместе с винипластовыми фасонными частями. Общая протяженность оросительной сети составляла 11 км, в том числе около 9,5 км из винипластовых труб.

Глубина заложения —1 м до верха трубы. Трубы соединяли в траншее с помощью клея, состоящего из перхлорвиниловой смолы и дихлорэтана.

После того как трубопровод был смонтирован, трубы присыпали вручную, кроме мест соединений, затем проводили опрессовку трубопровода. Общая засыпка трубопровода проводилась механизмами. Работу по монтажу винипластового трубопровода выполняли осенью, поэтому требовалась особая осторожность обращения с трубами.

Опыт строительства и эксплуатации закрытых трубопроводов из полимерных труб показал, что в ряде случаев имели место разрывы в местах соединений труб с металлическими фасонными частями. Наблюдения показали, что одной из причин возникновения подобных неполадок является высокий коэффициент линейного расширения полимерного материала.

Соединение полиэтиленовых труб с металлическими фасонными частями осуществляется в большинстве случаев на фланцах. Фланцевые соединения при изменении температуры окружающей среды не позволяют концевым участкам трубопровода свободно перемещаться. При этом в стенках труб и в местах соединений с фасонными частями возникают продольные термоупругие усилия, достигающие иногда значительной величины. После засыпки трубопровода часть продольных усилий воспринимается окружающим трубопровод грунтом. Однако в непосредственной близости от жесткого соединения трубопровода засыпка грунта может быть недостаточно плотной и термоупругие усилия воздействуют непосредственно на соединение. В результате этого в месте фланцевого соединения, в отбуртовке трубы образуется трещина. Особенно часто разрывы в жестких соединениях происходят в первые шесть-восемь месяцев эксплуатации трубопровода, когда грунт засыпки не приобрел необходимой плотности.

Чтобы избежать разрывов полиэтиленовых трубопроводов в местах соединений с фасонными частями, необходимо при проектировании и монтаже трубопровода предусматривать соединения, которые бы создавали возможность компенсации термоупругих усилий.

Применение полиэтиленовых труб при строительстве закрытых оросительных систем (диаметром от 100 до 350 мм при напорах до 6 кгс/см^2) экономически эффективнее стальных и чугунных. В сложных условиях строительства (просадочные грунты, агрессивные грунтовые воды и т. д.) предпочтительнее полиэтиленовые трубы.

Стоимость строительства напорных трубопроводов из полиэтиленовых труб значительно ниже стоимости строительства трубопроводов из других материалов. Так, стоимость строительства 1 км трубопровода диаметром 100 мм из труб различных материалов (без стоимости труб) составляет: из стальных труб —5220 руб.; из чугунных —4770; из асбестоцементных —4528 и из полиэтиленовых —3468 руб.

По данным В/О «Союзводпроект» при строительстве закрытых оросительных систем с применением полиэтиленовых труб экономия приведенных затрат составляет 700—2310 руб. на 1 т труб.

Кроме того, применение полимерных труб позволяет значительно экономить дефицитные металлические трубы. Так, при замене 1 км металлических труб полиэтиленовыми диаметром 200 мм экономия металла составляет около 37 т.

Полимерные трубы для дренажа в зоне орошения. Одно из основных мероприятий при освоении новых орошаемых земель — строительство разветвленной коллекторно-дренажной сети для предотвращения засоления и заболачивания земель. Наиболее целесообразным в этом отношении является закрытый трубчатый дренаж, который надежнее открытого и дешевле его в эксплуатации. Кроме того, он позволяет значительно сократить потери площади под каналами и обеспечить механизацию при строительстве.

В последние годы при строительстве закрытого горизонтального дренажа на орошаемых землях наряду с гончарными и асбестоцементными трубами применяются трубы из полимерных материалов, в основном из полиэтилена, реже из поливинилхлорида.

Полимерные трубы используются для устройства дрен, коллекторов и устьев.

В настоящее время в опытном порядке при строительстве дренажа в зоне орошения наряду с гладкостенными трубами применяются гофрированные перфорированные дренажные трубы из полиэтилена высокой плотности. Трубы выпускаются в бухтах длиной до 150 м. МРТУ 6-05-1078—69, по которым изготавливаются трубы, были разработаны для применения их в зоне избыточного увлажнения. Однако опыт ВНИИГиМ (в Голодной степи) показывает возможность их применения в зоне орошаемого земледелия.

Применение полимерных труб в коллекторно-дренажной сети в зоне орошения позволяет облегчить и удешевить погрузочные, транспортные и строительные работы, повысить производительность труда при строительстве дренажа. Эластичность материала и большая длина труб обеспечивают устойчивую работу дрены в случае просадки грунта. Полимерные трубы устойчивы к коррозии, но дефицит этих труб ограничивает их применение для строительства дренажа.

Гофрированные трубы из полиэтилена высокой плотности не теряют эластичности при температуре до минус 30°С. Трубы из поливинилхлорида в зимних условиях применять не рекомендуется, так как при 5°С они становятся хрупкими. Перфорация у гладких полимер-

ных труб диаметром 100 мм и более, изготавливаемых в отрезках, та же, что и у асбестоцементных, то есть дырчатая и щелевая. Скважность трубы должна быть в пределах 0,5—1%. Отверстия выполняются в шахматном порядке на нижней трети трубы, но не менее 40 на 1 м. Размеры отверстий устанавливают с учетом крупности фракций фильтрующего материала. Устойчивость работы дренажных труб зависит от качества фильтрующего материала.

В настоящее время наряду с традиционными фильтрующими материалами для защиты дренажа от заиления применяют стекловату, стеклоткань, стеклохолст и другие стекломатериалы. На орошаемых землях для этой цели применяют обсыпку из мелкого гравия, щебня, крупных и средних песков и т. д. Глубина заложения дренажа в условиях орошаемого земледелия 2,5—3,5 м и более.

Строительство дренажа ведется траншейным и бестраншейным способом. Наиболее распространенный способ траншейный. Работы по этому способу состоят из рытья траншеи, укладки подстилающего фильтра, дренажных труб и засыпки труб фильтрующим материалом с боков и сверху. При укладке полимерных труб предварительно отрывают траншею. Затем на подготовленный слой из фильтрующего материала на дне траншеи укладывают полимерные перфорированные трубы. Сверху трубы засыпают гравием. Иногда сверху их покрывают полиэтиленовой пленкой, толем или бумагой (рис. 33).

Чтобы избежать сдвига полимерных труб, их соединяют с помощью муфт или враструб. Засыпку полимерных труб грунтом проводят вначале вручную (на 20—30 см), а затем бульдозером.

При строительстве закрытого дренажа в неустойчивых грунтах большое распространение получил способ «полки». Сначала одноковшовый экскаватор отрывает глубокую дрену с пологими откосами (1 : 1; 1 : 2) с превышением глубины по сравнению с проектной до 1 м, чтобы понизить уровень грунтовых вод относительно отметки дна. Затем в одном из откосов устраивается «полка» шириной 0,8—1,2 м. На нее укладывают фильтрующую подсыпку, полимерные или другие трубы и проводят круговую обсыпку труб фильтрующим материалом. Затем дрены засыпают.

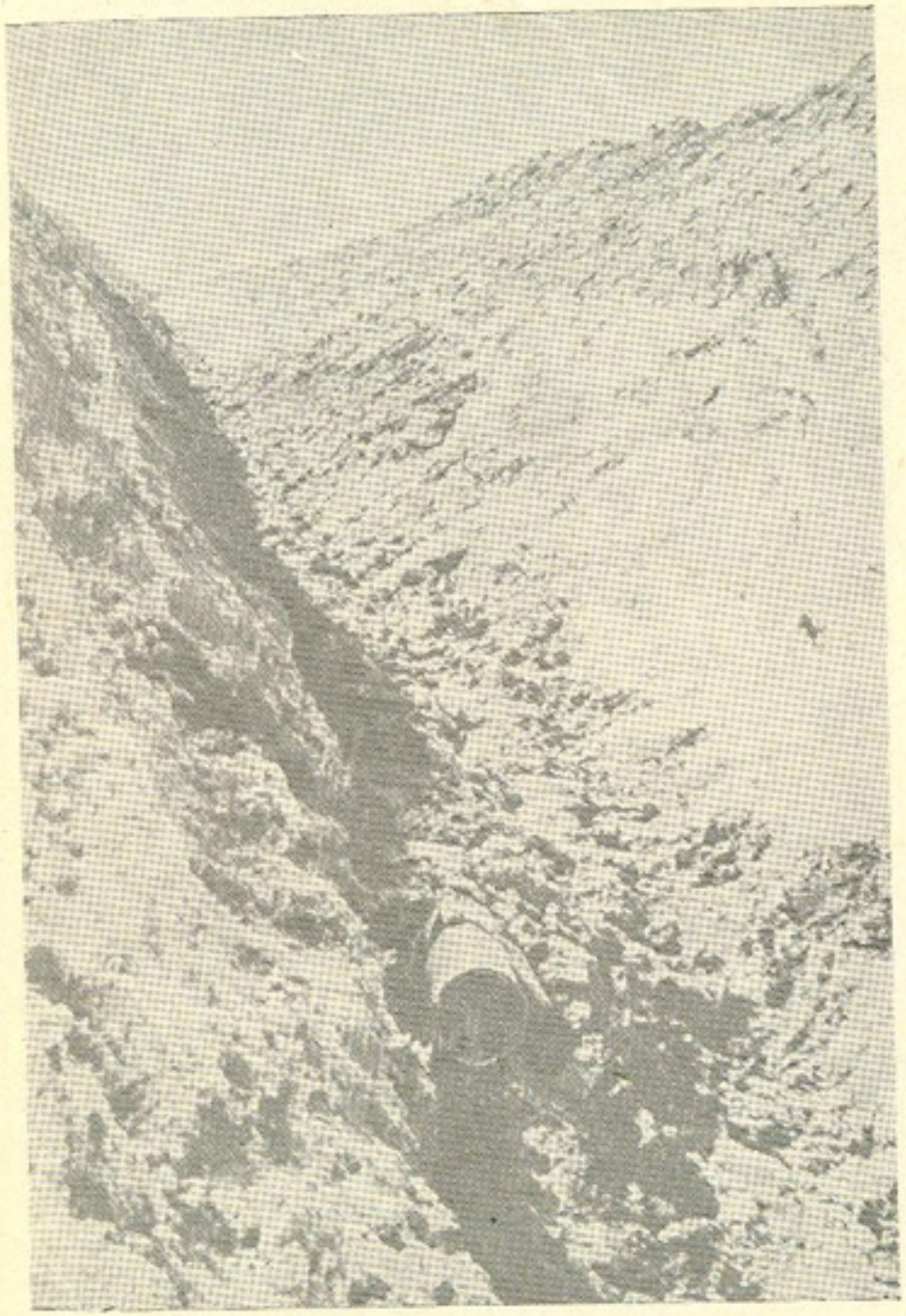


Рис. 33. Полиэтиленовая дренажная труба, покрытая сверху полиэтиленовой пленкой.

На рисунке 34 показаны уложенные винипластовые трубы диаметром 200 мм. Трубы соединяли с помощью муфт из отрезков этих же труб.

Недостатком способа «полки» является большой объем земляных работ и то, что большинство операций выполняется вручную. В результате стоимость строительства дренажа получается высокой.

Бестраншейный способ строительства дренажа с применением полиэтиленовых труб в зоне орошения проводится пока что в экспериментальном порядке. Этот способ состоит в том, что траншея не отрывается, а в грунте прорезается узкая щель, на дно которой укладываются из бухт гофрированные перфорированные полиэтиленовые трубы, обмотанные фильтрующим стекломатериалом. При этом значительно повышается производительность труда. Для укладки пластмассовых труб бестраншейным способом ВНИИГиМ разработаны конструкции соответствующих землеройных и трубоукладывающих рабочих органов.

Опыты, проведенные в Голодной степи, показали, что щель для укладки труб может прорезаться глубиной до 2,5 м. Землеройный рабочий орган выполнен в виде ножа стойки, внутри которого смонтирован направляющий желоб для укладки гибких полимерных труб.

Дренажная машина БДМ-300, предназначенная для бестраншейной укладки труб диаметром до 100 мм с синтетическим фильтром на глубину 2,5—3,0 м, представляет собой навесной агрегат. Пассивный рабочий орган ее прорезает щель и по желобу укладывает гибкие полимерные трубы.

Очередность проведения работ по бестраншейной укладке дренажа машиной БДМ-300 следующая: перемотка труб из бухт на барабан с одновременной их обмоткой синтетическим фильтрующим материалом на специальных станках в помещении базового склада; разбивка трасс дрен; разработка корыта скрепером по одной из схем движения. Отвалы вынутого грунта располагаются на расстоянии 5—8 м от бровки корыта на одной из его сторон. Отметки ложа корыта после разработки скреперами должны отличаться от проектных не более чем на ±5 см; доработка корыта автогрейдерами под проектный уклон 0,002 после скреперной разработки для выравнивания оставшихся неровностей; укладка полимерных труб машиной БДМ-300; уплотне-

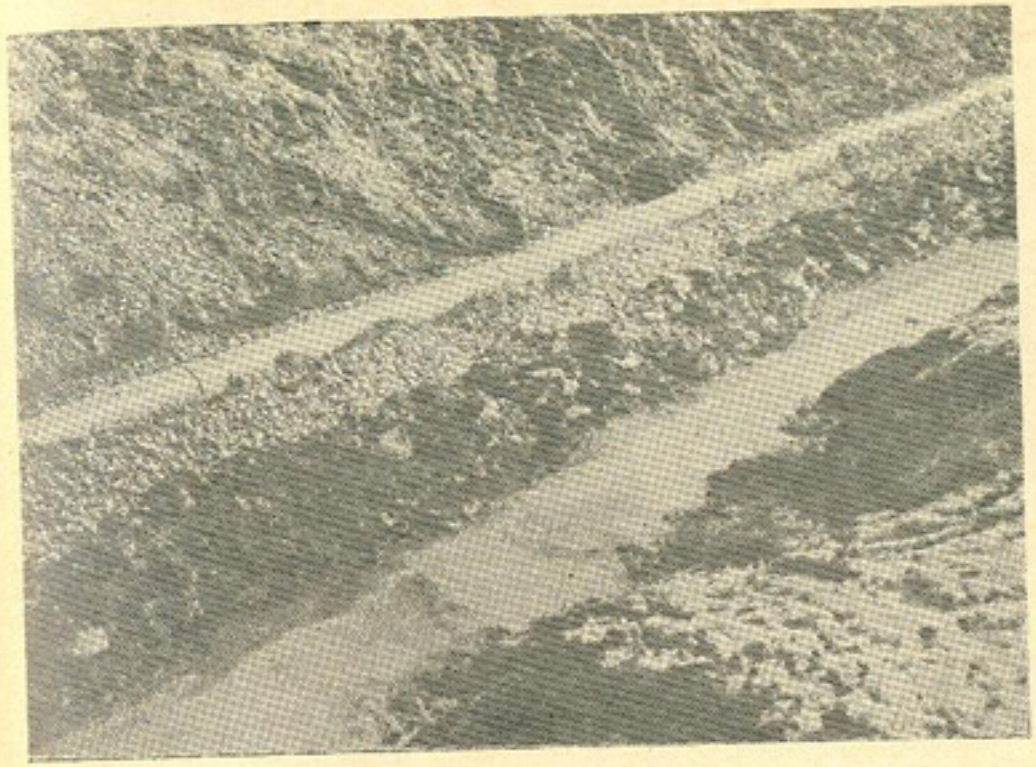


Рис. 34. Винипластовые трубы в коллекторно-дренажной сети в Голодной степи.

ние оставшейся после прохода БДМ-300 щели гусеницами бульдозера с постепенным сдвигом ходов от периферии щели к центру; разработка котлована под устье дрены экскаватором обычным способом;засыпка котлована устья бульдозером с послойным уплотнением грунта гусеницами; засыпка корыт бульдозерами путем перемещения вынутого скреперами грунта с послойным разравниванием и уплотнением его.

В БДМ-300 отсутствует механизм придания дрене заданного уклона. Машина работает по заранее спланированной поверхности.

Скорость движения БДМ-300 при тяговом усилии 26 тс — 1000 м/ч.

По данным ВНИИГиМ, стоимость строительства 1 м дренажа с применением полиэтиленовых гофрированных перфорированных труб, обмотанных фильтрующим материалом, бестраншейным способом, составляет 2 руб. 23 коп. Это в 4 раза меньше стоимости строительства дренажа с помощью дреноукладчика Д-301 и в 6 раз меньше стоимости строительства дренажа методом «полки».

Предварительные результаты исследований, проведенные ВНИИГиМ, показали, что дренаж из полимерных труб, уложенный бестраншейным способом в пылеватых суглинках, имеет слабое осушающее и рассоляющее действие и требует дальнейшего изучения.

В условиях Голодной степи ВНИИГиМ проводит исследования по установлению наиболее оптимальных конструкций дрен и подбору надежных фильтрующих материалов для защиты дрен от заиления и кольматации.

В связи с ограниченным объемом не представляется возможным в данной главе изложить полные сведения о применении полимерных труб, например, для подпочвенного орошения, в качестве сифонов, поверхностных поливных трубопроводов и т. д.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение эффективности и долговечности инженерных сооружений в связи с продолжающимся расширением водохозяйственного строительства стало проблемой большой государственной важности. Однако еще многие оросительные системы из-за значительных фильтрационных потерь воды из каналов и водоемов имеют низкий коэффициент полезного действия. Необходимость резкого повышения эффективности различных сооружений и конструкций ощущается также при строительстве и эксплуатации других объектов водного хозяйства.

Происходящее быстрыми темпами развитие химии и производства химической продукции, в том числе полимерных материалов, ставит перед мелиораторами новые задачи по использованию достижений химии.

В последние годы синтетические смолы и полимерные материалы находят все более широкое применение в водном хозяйстве, в частности в водохозяйственном строительстве.

В настоящее время создано огромное число полимерных материалов и практически не существует таких инженерных проблем, которые нельзя было бы решить, используя достижения отечественной химии. Однако от момента создания нового вещества (материала) до его промышленного производства обычно проходит много

времени и на строительство химических предприятий затрачиваются большие средства. Поэтому важное значение имеет технико-экономическое обоснование замены традиционных материалов новыми, в том числе полимерными.

В качестве примера можно привести решение вопроса по герметизации швов в бетонных и железобетонных облицовках оросительных каналов. Анализ опыта эксплуатации оросительных систем, применение и опробование самых различных материалов для герметизации деформационных швов показали, что мастичные герметики на полимерной основе дадут положительные результаты. Однако этого было слишком мало, чтобы поставить перед химиками задачу по изысканию полимерных герметиков из числа имеющихся или созданию новых. Необходимо было указать, какими свойствами должны обладать герметики, то есть каким техническим требованиям они должны удовлетворять.

Задача оказалась далеко не легкой. И только после длительной работы ряда научных, проектных и производственных организаций Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР такие требования к мастичным герметикам были разработаны.

Недостаточность информации и соответствующего контакта потребителей с создателями полимерных материалов в ряде случаев отдаляют сроки применения того или иного материала, а иногда приводят к использованию на практике устаревших или далеко не лучших решений.

Сказанное во многом относится и к мелиорации, ибо не всегда можно достаточно четко сформулировать требования к тем материалам, которые нужны. В свою очередь, химическая промышленность, не имея соответствующих заказов, не расширяет производство или вообще не планирует изготовление тех или иных материалов и изделий на их основе.

Поэтому анализ и систематизация сведений и опыта применения полимерных материалов в водном хозяйстве облегчат работу по выявлению эффективности использования полимеров в водном хозяйстве и создадут основу для более обоснованного планирования их производства.

В связи с этим автор надеется, что сделанная в настоящей книге попытка осветить вопросы применения

полимерных материалов в отдельных областях водного хозяйства, а также некоторые соображения о перспективах применения полимеров внесут свой вклад в дело успешного использования в водном хозяйстве достижений химии полимеров.

Создание высокоэффективных противофильтрационных устройств на оросительных каналах и водоемах в настоящее время уже невозможно без применения полимеров.

Так, облицовки каналов из сборных бетонных или железобетонных плит должны выполняться с применением для уплотнения деформационных швов герметиков на полимерной основе.

В тех случаях, где следует ожидать больших деформаций основания в результате пучения, просадки и т. п., предпочтение должно быть отдано бетоно-пленочным облицовкам.

При строительстве водоемов следует шире использовать экраны из полиэтиленовых и других пленок.

Применение полимерных труб для орошения и дренажа — одна из наиболее перспективных областей использования полимеров в водном хозяйстве.

Решение вопросов расширения производства полимерных труб, а также повышения их ассортимента, главным образом в сторону увеличения диаметра труб, создаст здоровую конкуренцию существующим решениям при строительстве трубопроводных систем в мелиорации. Здесь, естественно, еще многое предстоит сделать и научным организациям, например в области стыкования труб, выявления оптимальных параметров дренажных труб, установления надежности и долговечности полимерных трубопроводов и т. д.

В процессе изготовления, транспортировки и монтажа, а также в период эксплуатации конструкций из бетона и железобетона возможно образование отколов, раковин, трещин и других дефектов. Ремонт указанных конструкций достаточно надежно может проводиться полимеррастворами на основе эпоксидных или модифицированных эпоксидных смол. Их можно использовать также для омоноличивания бетонных и железобетонных элементов.

Для ремонтных целей перспективны полимерцементные композиции, которые всегда дешевле чисто полимерных. Можно надеяться на положительные результаты использования для полимерцементов водорастворимых эпоксидных, полиамидных и акриловых смол, а также латексов синтетического каучука.

Области применения полимербетонов и полимерцементных бетонов уже сейчас и тем более в будущем не ограничатся ремонтными работами. Так, на основании длительных лабораторных и производственных исследований полимербетону на основе мономера ФА уже отдается бóльшее предпочтение, чем естественному камню или бетону, при устройстве износоустойчивых облицовок сооружений на горных реках. Однако еще недостаточно совершенна механизация приготовления и укладки монолитного полимербетона, поэтому будущее принадлежит сборным полимербетонным облицовкам.

Перспективно применение полимербетона для дренажных труб в условиях агрессивных вод. Найдут широкое распространение также блочные фильтры из крупнопористого полимерцементного бетона для скважин водоснабжения и т. д.

Дешевые полимерные композиции (лак этиноль и др.) успешно применяются при безвлажностном уходе за монолитным бетоном. Следует продолжить поиск осветленных покрытий не только по эстетическим соображениям, но и из-за уменьшения напряжений в монолитном бетоне, возникающих в результате перепада температур по толщине бетона при его нагреве солнцем.

Значительно сложнее решается вопрос устройства антикоррозийных покрытий по бетону. Необходимость в их устройстве может появиться при пропуске по каналам агрессивных для бетона, например сточных, вод. В настоящее время для этого могут быть рекомендованы только наполненные чисто эпоксидные или модифицированные эпоксидные смолы. Следует продолжить поиск для этой цели более дешевых и недефицитных синтетических смол.

Наряду с развитием производства и применения полимербетонов найдут также распространение бетонополимеры, бетоны, полученные путем пропитки цементных бетонов мономерами с последующим их отверждением методом радиационного облучения или тепловой обработки.

Таким образом, полимерные материалы уже сейчас позволяют более эффективно решать некоторые вопросы строительства и эксплуатации мелиоративных си-

стем. По мере увеличения ассортимента, расширения производства и накопления сведений о свойствах и долговечности полимерных материалов применение их в водном хозяйстве будет возрастать.

Перед научными и проектными организациями стоит задача определения и уточнения областей применения полимеров в водном хозяйстве, а также разработки обоснованных требований к свойствам тех или иных материалов, их ассортименту и масштабам производства. Это облегчит и ускорит ориентацию химической промышленности на производство полимеров для нужд водного хозяйства.

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

Антонова И. Т., Саввина Ю. А., Лейрих В. Э. Полимерцементный бетон с добавками фурилового спирта и солянокислого анилина.— «Строительные материалы», 1964, № 7.

Балалаев Г. А., Медведев В. М., Мощанский Н. А. Защита строительных конструкций от коррозии. М., Стройиздат, 1966.

Батраков В. Г. Повышение долговечности бетона добавками кремнийорганических полимеров. М., Стройиздат, 1968.

Березинский А. Р. Пластмассы в гидротехническом строительстве. М., «Энергия», 1971.

Васькович К. А. Рекомендации по применению полимерных материалов в гидротехническом строительстве в условиях Голодной степи. Ташкент, 1967.

Воробьев В. А. Основы технологии строительных материалов из пластических масс. М., «Высшая школа», 1965.

Воробьев В. А., Андрианов Р. А. Технология полимеров. М., «Высшая школа», 1971.

Воскресенский В. А., Соколова Ю. А. Свойства пластбетонов на основе эпоксидных смол и мономера ФА. — «Бетон и железобетон», 1964, № 12.

Временная инструкция по проектированию и устройству деформационных швов в монолитной бетонной облицовке каналов, выполняемых вручную с применением полиэтиленовых пленок. Укроргводстрой Минводхоза УССР, Киев, 1971.

Временные технические указания по конструкции бетоно-пленочных облицовок и технологии работ при их устройстве. УкрНИИГиМ, Киев, 1971.

Выгодский С. Я. К вопросу об уходе за бетоном, укладываемым в облицовку каналов.— «Гидротехническое строительство», 1938, № 5.

Гапль Л. Пластмассы в строительстве. М., Стройиздат, 1969.

Гисаку. Пленки из полимеров. Л., «Химия», 1971.

Горенбейн В. Я. Износостойкость облицовок гидротехнических сооружений. М., «Энергия», 1967.

Гохман Л. М. Полимерно-битумное вяжущее с применением дивинилстирольных термопластов.— «Труды СоюздорНИИ», вып. 50, М., 1971.

Греков Д. И., Лангин О. Н. Применение покрытий на основе каучука для защиты от кавитации проточной части гидротурбин. Асфальтовые и пластмассовые гидроизоляции и конструкции.— Труды координационных совещаний по гидротехнике», вып. 43. Л., «Энергия», 1968.

Гринюк В. Н. Синтетические герметики фирм «Ронк-Пуленк» и «Лежье Франсе».— «Гидротехника и мелиорация», 1968, № 10.

Дегтярь В. А., Литвин А. Н. Защита свежеуложенного бетона этинолевым лаком.— «Гидротехническое строительство», 1958, № 9.

Духовный В. А. Комбинированное антифильтрационное покрытие земляных каналов.— «Гидротехника и мелиорация», 1968, № 3.

Елшин И. М., Власенко В. А. Безвлажностный метод ухода за монолитным бетоном в условиях жаркого климата юга УССР. — В сб.: Водное хозяйство, вып. 6. Киев, «Урожай», 1967.

Елшин И. М., Гвенетадзе А. Р. Бетоно-пленочные композиции в противофильтрационных устройствах на оросительных каналах.— «Экспресс-информация ЦБНТИ Минводхоза СССР», серия 5, вып. 2. М., 1971.

Елшин И. М., Гвенетадзе А. Р. Бетоно-пленочные композиции для облицовки каналов.— «Гидротехника и мелиорация», 1968, № 9.

Елшин И. М., Гвенетадзе А. Р. Вопросы герметизации швов ирригационных сооружений полимерными мастиками.— В сб.: Мелиорация и водное хозяйство, № 16. Киев, «Урожай», 1971.

Елшин И. М., Мананников П. М. Защита свежеуложенного бетона пленками из синтетических смол.— «Гидротехника и мелиорация», 1962, № 8.

Елшин И. М., Слободяник И. И., Резник В. Б. Износоустойчивая облицовка бетонных сооружений Яккабагского гидроузла из полимербетона на мономере ФА.— «Мелиорация и водное хозяйство», вып. 20. Киев, «Урожай», 1972.

Елшин И. М., Слободяник И. И., Резник В. Б., Гончаров В. В., Власенко В. А. Из опыта применения неразрушающих методов контроля прочности полимербетонных облицовок в полевых условиях.— «Мелиорация и водное хозяйство», вып. 21. Киев, «Урожай», 1972.

Елшин И. М. Пластбетон. Киев, Будівельник, 1967.

Елшин И. М., Остер-Волков Н. Н. Пластбетоны на основе мономера ФА.— «Бетон и железобетон», 1960, № 11.

Елшин И. М. Пластбетонные облицовки в гидротехническом строительстве.— «Энергетическое строительство», 1962, № 27.

Елшин И. М., Слободяник И. И., Резник В. Б. Полимербетонные облицовки гидросооружений.— В сб.: Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях. Вильнюс, 1971.

Елшин И. М. Применение полимерных материалов в строительстве.— «Гидротехника и мелиорация», 1969, № 3.

Елшин И. М., Гвенетадзе А. Р., Власенко В. А. Противофильтрационные экраны на ирригационных каналах Украины.— В сб.: Применение полимерных материалов в борьбе с фильтрацией из каналов. М., 1966.

Елшин И. М., Мощанский Н. А., Олехнович В. А., Берман Г. М. Синтетические смолы в строительстве (международный опыт). Киев, «Будівельник», 1969.

Елшин И. М., Власенко В. А., Слободяник И. И. Твердіння бетону під плівкоутворюючими покриттями. «Будівельні матеріали і конструкції», 1971, № 5, Киев.

Зайцев А. Г., Васильев В. А., Папаригопуло С. В. Полимерные строительные материалы. М., Стройиздат, 1968.

Зюликов Г. М. Исследование полиэтиленовых трубопроводов закрытых оросительных систем.— В сб.: Полимерные материалы в водном хозяйстве. ЦНИИБ Минводхоза СССР, 1971.

Иванов А. М., Залан Л. М. Ползучесть фурфурол-ацетонового песчаного пластбетона.— «Бетон и железобетон», 1964, № 12.

Иноземцев Ю. П. Кавитационные разрушения бетона и защитных облицовок в натурных условиях.— «Гидротехническое строительство», 1969, № 1.

Инструкция по безвлажностному уходу за монолитным бетоном в облицовках оросительных каналов. ЦНИИБ Минводхоза СССР, М., 1970.

Кавешников А. Т. О кавитационной эрозии гасителей и расщепителей.— «Гидротехника и мелиорация», 1971, № 9.

Каган Д. Ф. Исследование свойств и расчет полиэтиленовых труб, применяемых в водоснабжении. М., Стройиздат, 1964.

Казаков В. С., Томин Е. Д. Механизация строительства закрытого дренажа на осушаемых и орошаемых землях. М., Россельхозиздат, 1969.

Калашникова В. М., Смелянский В. Л. Некоторые свойства полимерцементных растворов и технология их приготовления.— В сб.: «Полимерные строительные материалы. Вып. 7. М., Госстройиздат, 1963.

Карамян Г. А. Опыт применения полимерных пленок для борьбы с фильтрацией из водоемов.— «Гидротехника и мелиорация», 1964, № 2.

Кисина А. М., Стабников Н. В. Полимеро-битумные герметизирующие материалы.— «Труды СоюздорНИИ», вып. 50. М., 1971.

Кокорин Л. Д. Бетонирование и уход за монолитным бетоном в гидротехническом строительстве. М., Госстройиздат, 1953.

Кричевский И. Е. Вопросы применения полиэтилена в конструкциях противофильтрационных устройств плотин из местных материалов. М., «Энергия», 1967.

Кричевский И. Е., Рельтов Б. Ф. Опыт сооружения полиэтиленовых экранов.— В сб.: Полимерные материалы в водном хозяйстве. ЦНИИБ Минводхоза СССР, 1971.

Ли Ф. М., Химия цемента и бетона. М., Госстройиздат, 1961.

Логинов В. С., Кашковская-Е. А., Миронов А. А., Кочнев Ю. И. Некоторые свойства пластбетона на полиэфирных смолах.—«Бетон и железобетон», 1964, № 5.

Лукинский О. А. О долговечности герметизации швов в гидромелиоративных сооружениях.— «Гидротехника и мелиорация», 1971, № 5.

Мердок Л. Д. Бетонные работы. М., Госстройиздат, 1958.

Микульский В. Г., Игонин Л. А. Сцепление и склеивание бетона в сооружениях. М., Стройиздат, 1965.

Миличенко С. Л. Ремонт кавитационных разрушений гидротурбин. М., «Энергия», 1971.

Миркин Д. Ф. О твердении бетона под защитными пленками.— «Известия высших учебных заведений», «Строительство и архитектура», 1959, № 4.

Миронов С. А., Малинина Л. А. Ускоренное твердение бетона. М., Издательство литературы по строительству, 1964.

Михайлова Р. Д. Современные методы ухода за свежеуложенным бетоном.— В сб.: Бетон в дорожном строительстве. М., Автрансиздат, 1958.

Москвин В. М., Якуб И. А. Защита твердеющего бетона от высыхания.— «Гидротехническое строительство», 1953, № 11.

Мощанский Н. А. Защитные пластики в строительстве. М., «Знание», 1966.

Мощанский Н. А. Плотность и стойкость бетонов. М., Госстройиздат, 1951.

Мощанский Н. А. Повышение стойкости строительных материалов и конструкций, работающих в условиях агрессивных сред. М., Стройиздат, 1962.

Мощанский Н. А., Путляев И. Е., Пучнина Е. А., Уварова И. Б., Хорькова М. А. Химически стойкие мастики, замазки и бетоны на основе термореактивных смол. М., Стройиздат, 1968.

Никитин С. М., Щербаков В. М. Пластические массы в дорожном строительстве. — «Автомобильные дороги», 1960, № 8.

Новиковский В. Э., Радько А. Ф., Лукинский О. А. Способы герметизации швов лотков и облицовок каналов.— «Гидротехника и мелиорация», 1968, № 6.

Оробченко Е. В., Прянишникова Н. Ю. Фурановые смолы. Киев, Госиздат. технич. литературы, 1963.

Патуроев В. В. Длительная прочность полимербетонов.— В сб.: Конструктивные и химически стойкие полимербетоны. М., Стройиздат, 1970.

Петров Г. С., Фискина Р. Я. Термореактивные смолы на основе фуранового спирта и их применение в промышленности.— В сб.: Исследование в области термореактивных пластмасс. М., «Химия», 1959.

Покровский Н. С. О применении синтетических материалов для защиты бетонных гидротехнических сооружений от кавитации.— «Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 43. Л., «Энергия», 1968.

Полак А. Ф. Элементарные процессы твердения мономинеральных вяжущих веществ. — «Труды БашНИИстроя», вып. 3, 1963.

Попченко С. Н. Перспективы применения полимеро-битумных материалов в строительстве. «Труды СоюздорНИИ», вып. 50, М., 1971.

Послwoвский В. В., Гиршкан С. А., Новиковский В. Э., Сокольская В. В. Применение пластмасс в ирригации. Ташкент. Изд. АН УзССР, 1963.

Потапов Ю. Б., Залан Л. М. Ползучесть пластбетона на смоле ФАМ.— «Бетон и железобетон», 1965, № 9.

Почапский Н. Ф., Сачко В. П. Полимеры в дорожном строительстве. Киев, «Будівельник», 1968.

Применение герметиков в капитальном строительстве СССР. М., Госстрой СССР, 1967.

Применение полиэтиленовых труб в закрытой оросительной сети. «Колос», М., 1965.

Противофильтрационная одежда ирригационных каналов. Под редакцией С. Р. Оффенгендена. М., «Колос», 1965.

Путляев П. Я. Кинетика усадки и внутренние усадочные напряжения в полимерных материалах на основе реактопластов.— В кн.: Конструктивные и химически стойкие полимербетоны. М., Стройиздат, 1970.

Пфлаумер О. Э., Светова Е. Я. и др. Основные строительные свойства мастичных герметиков.— «Строительные материалы», 1967, № 7.

Реутин П. Д. Герметизация стыков сборных железобетонных резервуаров.— В сб.: Применение смол в бетонных и железобетонных конструкциях. Вильнюс, 1971.

Розанов Н. П. Вопросы проектирования водопропускных сооружений, работающих в условиях вакуума при больших скоростях потока. М., Госэнергоиздат, 1959.

Розанов Н. П., Дун Бай-Нянь. Исследование вакуумности гасителей энергии и вопросы их проектирования с недопущением кавитационной эрозии.— «Труды координационных совещаний по гидротехнике, вып. 7. М., Госэнергоиздат, 1963.

Руководство по бетону. М., Госэнергоиздат, 1958 (перевод с англ.).

Руководство по производству работ при устройстве износоустойчивых облицовок ирригационных сооружений из пластбетона на мономере ФА. ЦНИБ Минводхоза СССР, 1970.

Саввина Ю. А., Лейрих В. Э. Бетоны с добавками высокоэластичных полимеров.— «Пластические массы», 1963, № 2.

Саталкин А. В., Кунцевич О. В., Солнцева В. А., Шклярова Л. А. Кавитационная стойкость полимерных покрытий бетона.— В сб.: Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях. Вильнюс, 1971.

Саталкин А. В., Попова О. С. Прочность и деформативность мелкозернистых бетонов с добавками полимеров.— «Бетон и железобетон», 1965, № 9.

Саталкин А. В., Солнцева В. А., Попова О. С. Цементно-полимерные бетоны. VI конференция по бетону и железобетону. (Материалы подготовлены Ленинградским правлением НТО Стройиндустрии). Рига, 1966.

Саталкин А. В., Солнцева В. А., Попова О. С. Цементно-полимерные бетоны. Л., Стройиздат, 1971.

Сахаров В. И., Мичко В. Ф. Окрасочная каменноугольно-эпоксидная гидроизоляция гидротехнических сооружений.— В сб.: Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях. Вильнюс, 1971.

Сегалова Е. Е. Современное физико-химическое представление о процессах твердения минеральных вяжущих веществ.— «Строительные материалы», 1960, № 1.

Скрамтаев Б. Г., Панфилова Л. И. Исследования влияния вакуума в твердеющих цементах.— «Труды НИИцемента, 1949, № 2.

Скугорова Л. П., Таран В. Д. Трубопроводно-строительные материалы. М., «Высшая школа», 1967.

Скупин Л. Полимерные растворы и пластбетоны. М., Стройиздат, 1967.

Слипченко П. С., Рутковский Б. И. Опыт строительства канала Северский Донец-Донбасс. Киев, Госстройиздат УССР, 1964.

Смирнов Е. Н. Свойство полимерных герметиков холодного отверждения.— В сб.: Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях. Вильнюс, 1971.

Смирнов Е. Н. Строительно-технические свойства полимерно-битумных мастик на основе пластбита и ДСТ.— «Труды СоюздорНИИ», вып. 50. М., 1971.

Соколова Ю. А., Хозин В. Г., Ершов В. М., Соколов Г. М., Малов В. Ф., Воскресенский В. А. Защитные покрытия железобетонных градирен на основе модифицированных эпоксидных смол.— В сб.: Применение полимерных смол в бетонных и железобетонных конструкциях. Вильнюс, 1971.

Сокольская В. В. О противофильтрационных экранах из полимерных пленочных материалов.— В сб.: Полимерные материалы в водном хозяйстве. ЦНИБ Минводхоза СССР, 1971.

Солнцева В. Л., Иванов Ф. М., Бугаева Г. Н., Еселев А. Д. Применение покрытий на основе эпоксидных смол для защиты бетона и железобетона от коррозии.— «Лакокрасочные материалы и их применение», 1969, № 2.

Соломатов В. И. Полимерцементные бетоны и пластбетоны. М., Стройиздат, 1967.

Стабников Н. В. Битумно-полимерные герметики для уплотнения швов. Л., «Энергия», 1968.

Стабников Н. В., Кисина А. М. Исследования битумно-полимерных герметиков для уплотнения деформационных швов.— «Труды координационных совещаний по гидротехнике», вып. 43, «Асфальтовые гидроизоляции и конструкции». Л., «Энергия», 1968.

Стафеев Л. Ф. Опыт применения полиэтиленового экрана на земляной плотине. —«Гидротехника и мелиорация», 1969, № 3.

Темкин Е. С. Влияние жаркого климата на свойства бетонов на карбонатных песках.— «Бетон и железобетон», 1971, № 8.

Технические указания по устройству гидроизоляции фундаментов мастикой БИТЭП (ВСН 134-70), Главленинградстрой при Ленгорисполкоме, 1971.

Технические указания по уходу за свежеуложенным бетоном дорожных и аэродромных покрытий с применением пленкообразующих материалов. ВСН-35-70. М., Оргтрансстрой, 1970.

Усманов И. Пластраствор как материал для изготовления дренажных труб.— Бюллетень «Новая техника», 1966, № 7.

Френкель И. М. Режим ухода за бетоном.— «Бетон и железобетон», 1958, № 6.

Хамраев Н. Р., Алимов Т. А. Опыт гидромелиоративного строительства на просадочных грунтах Узбекистана.— «Гидротехника и мелиорация», 1968, № 9.

Харин А. И., Куделя Г. М., Елшин И. М., Гвенетадзе А. Р. Авторское свидетельство № 261990 с приоритетом от 1/IV 1968 г. «Устройство для образования противофильтрационных облицовок оросительных каналов».

Хасин Б. Ф. Исследования строительных герметиков для уплотнения стыков плит и деформационных швов железобетонной облицовки каналов.— «Гидротехническое строительство», 1969, № 1.

Хасин Б. Ф. Применение новых полимерных материалов для герметизации деформационных швов гидротехнических сооружений.— «Труды координационных совещаний по гидротехнике», вып. 43. Л., «Энергия», 1968.

Холланд Ф. Обработка и защита бетона раствором хлорированного каучука.— «Гражданское строительство», 1967, № 6 (перевод с англ.).

Черкинский Ю. С. Основные принципы подбора полимеров для полимерцементного бетона. — «Полимерные строительные материалы», вып. 7. М., Госстройиздат, 1963.

Черкинский Ю. С. Полимерцементный бетон. М., Госстройиздат, 1960.

Черкинский Ю. С. Полимерцементные бетоны на катионном хлоропреновом латексе.— «Бетон и железобетон», 1964, № 12.

Черняк К. И. Эпоксидные компаунды. М., 1959.

Чуйко А. В., Ромоданов А. Н. О разрушении некоторых полимерцементных бетонов животными жирами.— «Бетон и железобетон», 1964, № 5.

Шварц Р. М. Применение бетона для борьбы с фильтрацией из оросительных каналов. М., Госстрой СССР, 1967.

Шлаен А. Г. Простой и надежный стык лотков-каналов. — «Гидротехника и мелиорация», 1966, № 6.

Шнейдерова В. В., Мигаева Г. С., Персесян М. Г. Защитные покрытия для железобетонных конструкций на основе наирита.— В сб.: Защита строительных конструкций от коррозии. М., Стройиздат, 1966.

Язев Р. Е. Применение эпоксидных пластбетонов для защитных покрытий бетона гидросооружений от кавитационной эрозии.— «Труды координационных совещаний по гидротехнике», вып. 43. Л., «Энергия», 1968.

Яшин А. В. Основные физико-механические свойства пластрастворов и пластбетонов.— «Бетон и железобетон», 1965, № 9.

Rilem, Symposium on concrete and reinforced concrete in hot countries Haifa, 1960, Proceeding. Part, 2—3. Recommended practice for hot weather concreting.— I. Amer Concrete Inst. 1958, vol. 30, N 5, p. 525—534. Concreting in high temperatures. — Indian Concrete I., 1961, vol. 35, p. 443—444.

Forum G. S. Coring concrete. Important feature in strength development. — Dock and Harbour. Authority, 1959, vol. 40, N 469, p. 222—225.

Franke W. Möglichkeiten zum Einsatz verschiedener Plaste als Sehutsbehandling von Beton — flächen. — Wiss Z. Hochschule Archit. und Bauwesen Weimar. 1961, Bd. 8, N 2, s. 207—236. Hot weather concreting problems. — Cemend, Lime an Gravel. 1957, vol. 32, N 2, p. 50—52. Entwicklung und Prüfung von Nachbehand lungsmitteln für Frischbeton. — Silikattechik. 1962, Bd. 13, N 11, s. 392—398.

Malhotra H. L. The effect of temperature on the compressive strength of concrete. — Magazine of Concrete Research, 1956, vol. 8, N 23, p. 85—94.

Vavrin F., Krema R. Tak zabranit Predésnému odpareri Vody Z betonu. — Stavba. 1958, N 3, s. 69—70.

Voss F. Der Einfluss der Lagerung auf die Biegerugfestigkeit. Beton, 1963, N 10, s. 459.

Lelubre R. Le retrait et la fissuration du béton. — Chimic et Batiment, 1957, vol. 6, N 15, p. 1—10.

Lerch W. Plastic shrinkage.— I. Amer. Concrete Inst. 1957. vol. 28, N 8, p. 797—802; vol. 29, N 6, p. 1341—1346.

Problems and practices. — I. of American Concrete Inst. 1956, vol. 28, N 3, p. 321—324. 8½ million gallons in a butyl lined reservoir — Farm Mechanisation, 1968, vol. 20, N 223.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
Противофильтрационные устройства на каналах и водоемах с использованием синтетических пленок 6
Герметизация швов в конструкциях оросительных систем полимерными материалами 36
Полимербетоны в ирригационном строительстве . . . 85
Защитные покрытия по бетону на основе синтетических смол 137
Полимерные трубы для закрытых оросительных систем и дренажа в зоне орошения 161
Заключение 180
Указатель литературы 185

Игорь Михайлович Елшин
ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ИРРИГАЦИОННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Редактор *Г. Попова.*
Художник *А. Осминин.*
Художественный редактор *М. Волкова.*
Технические редакторы *З. Околелова, Н. Усанова.*
Корректор *А. Кудрявцева.*

Сдано в набор 4/VI 1974 г. Подписано к печати 4/IX 1974 г. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Усл.-печ. л. 10,08. Уч.-изд. л. 11,51. Изд. № 280. Тираж 5000 экз. Заказ № 6755. Цена 48 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 103716, ГСП, Москва, К-31, ул. Дзержинского, д. 1/19.

Типография им. Смирнова Смоленского облуправления издательств, полиграфии и книжной торговли, г. Смоленск, пр. им. Ю. Гагарина, 2.