

КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 691:620.197

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ФУТЕРОВКИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЕМКОСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

© 2023 г. В. Н. Денисов¹, Д. Л. Сарган^{1,*}

¹Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения
им. генерала армии А.В. Хрулева, Санкт-Петербург, Россия

*E-mail: sargan16@mail.ru

Поступила в редакцию 16.10.2023 г.

После доработки 16.10.2023 г.

Принята к публикации 16.10.2023 г.

Рассмотрены виды агрессивных воздействий сточных вод на железобетонные конструкции емкостных сооружений водоснабжения и водоотведения. Проанализированы методы первичной и вторичной защиты бетона от механических и химических воздействий агрессивных сред. Определены преимущества полимерных материалов для защиты бетона от агрессивных воздействий и особенности технологии облицовки железобетонных конструкций полимерными листами.

DOI: 10.56304/S2782375X23020043

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение надежной защиты внутренних поверхностей емкостных железобетонных сооружений от агрессивного воздействия технологических сред при ремонте и реконструкции объектов военной инфраструктуры является актуальной задачей. На сетях водоснабжения эксплуатируются наземные обсыпные и заглубленные резервуары для хранения питьевой воды, отстойники, фильтры, осветлители. К эксплуатируемым сооружениям водоотведения относятся резервуары для очистки сточных вод, биофильтры, метантенки, аэротенки, песколовки, нефтеловушки, нефтеотделители, отстойники, смесители, фильтры-осветлители. Емкостные сооружения водоснабжения и водоотведения выполнены из железобетонных конструкций в сборном, сборно-монолитном или монолитном исполнении.

Бетон в таких конструкциях имеет пористую структуру и шероховатую поверхность, он обладает высоким водопоглощением, проницаемостью для газов, подвержен воздействию растворенных в воде химически активных веществ и абразивному гидроизносу.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Железобетонные конструкции емкостных сооружений водоснабжения при их эксплуатации подвергаются воздействию растворенных в воде сульфатов и хлоридов, а в периоды очистки при

обслуживании воздействию хлора (Cl_2), озона (O_3), гипохлорита натрия (NaClO). В надводной зоне на конструкции емкости воздействует углекислый газ из воздуха. При этом на бетон воздействуют следующие процессы: коррозия первого вида с выщелачиванием водой гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) в цементном камне, что приводит к разрыхлению бетона в поверхностных слоях; взаимодействие растворенной в воде углекислоты с гидроксидом кальция в цементном камне с вымыванием растворимого бикарбоната кальция; воздействие хлора на гидроксиды, гидросиликаты и гидроалюминаты кальция цементного камня с образованием растворимого в воде хлорида кальция (CaCl_2). Это приводит к разрушению поверхностного слоя бетона и коррозии стальной арматуры, карбонизации бетона углекислым газом воздуха в надводной зоне, что вызывает переход гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) в карбонат кальция (CO_3), нейтрализацию бетона со снижением величины рН, что вызывает коррозию арматуры.

В процессе эксплуатации бетон емкостных сооружений водоотведения подвергается механическим воздействиям, изменению температурно-влажностных условий эксплуатации и химическим воздействиям агрессивной среды производственных, хозяйственно-бытовых и ливневых сточных вод. В сточных водах содержатся минеральные, органические и биологические компоненты. Среди растворенных минеральных веществ наи-

Таблица 1. Характеристики применяемых способов вторичной защиты

Способы ремонта	Наименование материалов	Достоинства	Недостатки
Нанесение окрасочных и мастичных составов	Органические, полимерные, битумно-полимерные, цементно-полимерные составы	Простота устройства, доступность материалов, легко наносится	Недолговечность при воздействии жидких сред, деформациях
Нанесение составов проникающего действия	Гидрофобизирующие составы, инъекционные цементные растворы, цементные составы проникающего действия	Простота устройства, доступность материалов, легко наносится	Недолговечность, низкая механическая прочность, плохая адгезия к сырым поверхностям, токсичность, низкая трещиностойкость
Оклейка рулонными материалами	Рулонные и листовые материалы на основе битумных и полимерных материалов	Сохранение своей сплошности, при деформациях	Недолговечность, опасность повреждения вследствие проколов, высокая стоимость
Торкретирование	Цементные растворы, полимеррастворы, асфальтовые растворы, торкретрастворы	Высокие механические характеристики	Недолговечность. Неоднородность с основанием, низкая адгезия к основанию
Шовная	Герметизирующие составы, прокладки, шнуры, гидрошпонки	Возможность обеспечения надежной защиты	Недолговечность при неправильном подборе материалов
Футеровка полимерными пленками и листами	Металлические, полимерные и бентонитовые листы, полимерные пленки	Наиболее долговечная и надежная	Неоднородность с основанием, высокая стоимость материала и большие трудозатраты

более агрессивными являются углекислота, хлориды, сульфаты, соединения аммония и магния. Углекислота, взаимодействуя с гидроксидом кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) в бетоне, образует растворимую в воде известь. При этом из цементного камня удаляется кальций (Ca), что приводит к разрыхлению и уменьшению прочности бетона и коррозии арматуры [1]. Соединения аммония (NH_4) и магния (Mg) при взаимодействии со щелочной средой бетона приводят к выделению аммиака, который ускоряет растворение извести и разрушение бетона.

Воздействие на щелочные составляющие цементного камня хлоридов и сульфатов приводит к нейтрализации щелочной среды, образованию легко растворимых солей. Вымывание таких солей разрыхляет структуру бетона и также приводит к коррозии арматуры. Кроме того, их воздействие может привести к образованию расширяющихся гидратированных соединений гидросульфаломинов, которые в процессе своего роста вызывают внутренние напряжения в бетоне и возможное образование трещин. Щелочные соединения приводят к растворению алюмосодержащих компонентов бетона и таким образом нарушают его структуру.

Воздействие содержащихся в производственных сточных водах органических кислот также

приводит к нейтрализации щелочной среды и образованию легко растворимых солей. Биологические компоненты сточных вод в виде бактерий, грибов и водорослей, находящихся на поверхности бетона, в процессе жизнедеятельности выделяют серную кислоту, сероводород и органические кислоты, что приводит к повреждению и разрушению железобетонных ограждающих конструкций.

Незаполненная сточными водами часть емкостных сооружений водоснабжения и водоотведения подвергается воздействию агрессивных газов и температурно-влажностному воздействию окружающей среды. Газовая среда может содержать сероводород, оксиды углерода, азота, серы и другие газы. При периодическом замораживании и оттаивании водонасыщенного бетона возникают замерзание льда в макропорах, его расширение, создание внутреннего напряжения в структуре бетона, что приводит к ускоренному разрушению бетона. Его невысокая деформативность может приводить к образованию микротрещин из-за температурных колебаний. Температурные деформации отдельных железобетонных элементов, деформации всего сооружения, вызванные неравномерной осадкой грунта, приводят к дальнейшему раскрытию трещин в днище, стенах и

Таблица 2. Технические характеристики футеровочных листов

Вид испытания	Наименование предприятий, изготовивших футеровочные листы				
	АО “Сосновскагро- промтехника”	ГК “Тех- Полимер” с V-образными анкерными элементами	ГК “Тех- Полимер” с T-образными анкерными элементами	ООО “Гидроизоляция- ционные инженерные сооружения”	АО НПП “Гидрополи- мер”
Прочность сцепления, МПа	0.25	0.27	0.31	0.28	0.39
Средняя плотность, кг/м ³	937	962	1000	957	936
Модуль упругости, МПа	780	802	789	800	809
Водопоглощение, %	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01

покрытии и сквозной фильтрации воды в ограждающих конструкциях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Опыт применения наиболее распространенных способов первичной и вторичной защиты железобетонных конструкций показывает их недостаточную надежность. Первичная защита путем обеспечения высокой химической стойкости, водонепроницаемости, износостойкости цементобетона не обеспечивает защиту в течение всего срока эксплуатации и требует периодических ремонтов с нанесением слоев торкрета или составов проникающего действия. Поэтому при капитальном ремонте и реконструкции необходима вторичная защита бетона специальными покрытиями [1].

Применение вторичных окрасочных, оклеечных, мастичных защитных покрытий не гарантирует сроки эксплуатации более 15–20 лет, а наиболее надежная изоляция из металлических листов имеет высокую стоимость, подвержена коррозии и нуждается в дополнительной защите [2]. Анализ приведенных в табл. 1 способов вторичной защиты железобетонных конструкций показал, что наиболее надежным среди них является футеровка внутренних поверхностей емкостных сооружений полимерными листами.

Основными преимуществами полимерных листов являются: срок эксплуатации не менее 50 лет, высокая химическая стойкость, эластичность и экологическая безопасность. Этот материал не является дефицитным, он производится в Российской Федерации по отечественным технологиям [3].

Фиксация полимерных футеровочных листов к бетонным поверхностям может проводиться различными способами. Листы с плоскими поверхностями приклеивают клеем или мастикой, а листы с анкерными выступами закрепляют в свежемолотом слое мелкозернистого бетона между ремонтируемой железобетонной конструкцией и футеровкой.

Недостатком клеевого крепления является незначительное сцепление с бетоном и большинством клеев. Анкерные листы с выступами в виде анкерных ребер имеют T-образные или цилиндрические утолщения, обеспечивающие заанкеривание в бетоне, жесткость футеровки и плотное прилегание к поверхности. Полимерные листы могут иметь анкерные элементы, выполненные в виде “ласточки хвоста” и равномерно распределенные по поверхности [5–8].

Для оценки эксплуатационных свойств футеровочных листов в бетонных конструкциях был проведен комплекс испытаний на прочность анкеровки с бетоном, определение средней плотности, водопоглощения, определение модуля упругости. Испытания проводили на полноразмерных образцах железобетонных конструкций. Класс бетона всех железобетонных конструкций соответствовал В15. Сами конструкции до испытаний хранились в одинаковых условиях бетонного завода “БетонМикс” (г. Санкт-Петербург) и испытывались в проектном возрасте (табл. 2).

Лучшие характеристики показали футеровочные листы с анкерными ребрами рельсовидного профиля производства АО НПП “ГИДРОПОЛИМЕР”, которые производят на предприятии в соответствии с нормативными требованиями методом экструзии из полипропилена или полиэтилена отечественного производства со специальными добавками и красителями, обеспечивающими устойчивость к окружающей среде применения.

Ремонтно-восстановительные работы включают в себя технологические операции по очистке поверхности от слабого бетона, заделке трещин, восстановлению поверхностного слоя бетона и устройству вторичной гидроизоляции. Ремонтные бетонные поверхности вначале очищают от слабосвязанных и осypающихся частиц аппаратом гидродинамической очистки, а в случае недостаточной шероховатости насекают с последующей промывкой напорной струей воды. Заделку трещин выполняют после их расшивки до осно-

вания трещины, продувки сжатым воздухом и огрунтовки. Арматуру очищают от ржавчины металлическими щетками. Заполнение трещин выполняют заделкой с поверхности или инъектированием. Заполнение трещин выполняют полимерцементными растворами.

Разработана инновационная технология футеровки поверхностей полимерными листами с анкерными ребрами в процессе ремонта железобетонных конструкций емкостных сооружений.

Восстановление поверхностного слоя выполняют пропиткой и составами проникающего действия для снижения пористости поверхности, уменьшения водопоглощения бетона и повышения механической прочности. Наносят составы кистью, валиком или распылителем в зависимости от вязкости материала. После нанесения происходит быстрое впитывание состава в бетонное основание с покрытием стенок пор, испарение жидкой фазы и высыхание. Составы проникающего действия на определенной глубине взаимодействуют со свободной окисью кальция, кольматируют микропоры в бетоне.

Помимо всех поверхностей конструкций необходимо тщательно герметизировать температурные швы, примыкания стенок ко дну и покрытию, вводы трубопроводов, зоны технологических люков и смотровых площадок.

При устройстве защитных покрытий железобетонных конструкций футеровочные листы монтируют анкерными ребрами к поверхности конструкции, закрепляют их анкерами к основанию. После фиксации листов проводят экструзионную сварку вертикальных швов. Места установки анкеров закрывают полимерными накладками и обваривают. Выявленные мелкие дефекты полимерного покрытия и порезы устраняют сварочным экструдером. Для устранения вырывов шириной более 15 мм применяют накладки из полиэтиленового листа.

Пространство между полимерным листом и внутренней поверхностью железобетонной конструкции заполняют мелкозернистой бетонной смесью. Заполнение проводится поперечно, не доходя 5–10 мм до верхней кромки листа [4].

При футеровке как сборных, так и монолитных железобетонных конструкций обеспечивается надежная защита конструкций в течение всего срока эксплуатации от любых агрессивных сред сточных вод, в том числе кислот, щелочей, нефтепродуктов. Полимерное покрытие обеспечивает полную водонепроницаемость, низкое водопо-

глошение, высокую морозостойкость, экологичность и хорошие диэлектрические свойства. Футеровка обладает эластичностью, высоким сопротивлением растрескиванию и тепловому старению, она экологична и инертна к агрессивным средам. Температурный интервал, при котором обеспечивается надежная эксплуатация гидроизоляции на основе полимерных футеровочных листов, от -20 до $+40^{\circ}\text{C}$. Срок эксплуатации футерованных конструкций емкостных сооружений составляет не менее 50 лет. К преимуществам этой технологии относятся небольшой вес футеровочного покрытия, его прочное сцепление с бетоном, возможность получения герметичного, прочного и цельного покрытия в сжатые сроки.

ВЫВОДЫ

Применение полимерных футеровочных листов с анкерными ребрами является одной из наиболее перспективных технологий ремонта и реконструкции бетонных и железобетонных конструкций емкостных сооружений водоснабжения и водоотведения объектов военной инфраструктуры. Необходимы дальнейшие исследования для определения параметров технологических процессов закрепления анкерных листов и их сварки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баженев Ю.М.* Технология бетона. М.: АСВ, 2007. 528 с.
2. *Грицук П.Д. и др.* // Проектные и изыскательские работы в строительстве. 2020. № 12. С. 82.
3. *Денисов В.Н. и др.* // Актуальные проблемы военно-научных исследований. 2020. № 810 (11). С. 82.
4. *Денисов В.Н., Сауц В.Н., Сарган Д.Л., Грицук П.Д.* // МО РФ: сб. докл. круглого стола “Внедрение современных технологий на объектах жилищно-коммунального хозяйства” в рамках научно-деловой программы Международного военно-технического форума “Армия-2022”. Санкт-Петербург. 2022. С. 160.
5. ТУ 2246-003-56910145-2014 Бетонозащитный лист с V-образными дискретными анкерными элементами, расположенными в шахматном порядке.
6. ТУ 2246-002-56910145-2014 Полимерный лист с T-образными анкерными элементами для защиты монолитных железобетонных конструкций.
7. ТУ 2291-001-66001828-2013 Облицовочные панели (вкладыши) “ЭКОВЭЛЛ”.
8. ТУ 22-4600-9-001-11146988-2015 Футеровочный лист с анкерными ребрами.