Драпалок М.В.

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций
Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса

Пилипенко В.Н.

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры физической подготовки
Академия государственной пенитенциарной службы Чернигов.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ**

***Аннотация.** Комплексное влияние биологических и гигрометрических факторов приводит к интенсивному разрушению бетона. Сетка трещин в определенных условиях растет непрерывно, достигая иногда 10...20 см/сут. Характерно, что развитие трещинообразования происходит не только по поверхности, но и в глубину. Характер вызываемых повреждений определяется эксплуатационными условиями, в которых оказывается бетон. Решение проблемы биоводостойкости бетона является важной задачей для современного строительства. Для принятия правильных и обоснованных инженерных решений по сохранению и восстановлению эксплуатационных характеристик и повышению долговечности бетонных конструкций специального назначения наиболее важной и вместе с тем наиболее сложной является задача определения слабых звеньев структуры объекта, установления их взаимовлияния с различными уровнями структуры и выявления причинно-следственных связей с различными видами повреждения конструкций.*

***Ключевые слова:** бетон; микротрещины; трещиностойкость; биологическое сопротивление материала; бактерицидно-активная поверхность.*

Постановка проблемы

Бетон эксплуатируемых бетонных конструкций (в частности, канализационных коллекторов) подвергается воздействию различных агрессивных сред. В наиболее сложных эксплуатационных условиях оказывается бетон в зоне переменного уровня стоков. Здесь поверхность бетонных элементов периодически увлажняется и высушивается, на ней поселяются колонии микроорганизмов. Их комплексное биологическое и водное влияние на бетон зачастую приводит к быстрому разрушению элементов коллекторов.

Как показали натурные наблюдения, при раскрытии микротрещин бетона от расклинивающего действия воды происходит интенсивное развитие биофлоры. Наибольшая интенсивность микрофлоры наблюдается в устьях микротрещины. На внешне высушенной бетонной поверхности в трещинах сохраняются влажная среда и особые условия биологического развития различных организмов. Комплексное влияние биологических и гигрометрических факторов приводит к интенсивному разрушению бетона. Сетка трещин в определенных условиях растет непрерывно, достигая иногда 10...20 см/сут. Характерно, что развитие трещинообразования происходит не только по поверхности, но и в глубину. Растрескивание защитного слоя бетона толщиной 3...5 см может происходить в месячный срок. Далее начинается развиваться коррозия бетона, усугубляющая процесс его разрушения.

Изложенное приводит к заключению, что бетон для канализационных коллекторов должен обладать необходимой биологической стойкостью структуры. Определенная биоводостойкость бетона должна быть обеспечена в зоне попеременного увлажнения и высыхания. При этом должны соблюдаться как минимум два условия: поверхностная трещиностойкость и биологическое сопротивление материала. Идеальным

следовало бы признать абсолютно трещиностойкий бетон с бактерицидно-активной поверхностью к водной биофлоре. В этом случае сплошность бетона должна сохраняться заданный эксплуатационный срок, а на внутренней поверхности канализационных коллекторов в этот период должна отсутствовать биофлора.

Следует отметить, что решение этой проблемы, сложной для обычных бетонов, значительно усложняется при использовании подвижных бетонных смесей, которые применяются для изготовления трубчатых изделий по традиционной технологии. Увеличенный расход воды затворения обычно приводит к развитию капиллярной пористости, а, следовательно, возможности развития биокоррозии и трещинообразования. Биоводостойкости бетона практически не уделялось внимания в технической литературе. Поэтому решение такой проблемы является важной задачей для современного строительства.

Как показали проведенные лабораторные исследования, решение этой проблемы может быть получено путем применения специальных добавок для бетона. Очевидно, что такие добавки должны обладать полифункциональным действием на бетонную смесь и бетон.

Для обеспечения подвижности бетонной смеси добавка должна обладать свойствами, близкими к современным суперпластификаторам. С другой стороны, добавка должна модифицировать структуру бетона в сторону повышения его плотности и особенно бактерицидности к водной микрофлоре.

Разрушение материалов под непосредственным воздействием растительных и животных организмов, а также микроорганизмов, относят к коррозии биогенного происхождения и называют биоповреждениями или биодеструкцией.

Органогенную коррозию бетона могут вызывать вещества, находящиеся в любом агрегатном состоя-

нии: газы и пары: сероводород; аммиак; пары эфиров и эфир масел; другие газы, продуцируемые животными организмами; жидкие и мазеобразные: растительные масла и животные жиры; твердые: пыль и аэрозоли, колонии микроорганизмов.

Если неорганические коррозионно-агрессивные среды оказывают на бетон прямое коррозионное воздействие, то растительные и животные организмы, а также органогенные коррозионно-активные среды и сопутствующие им микроорганизмы, могут вызвать как прямое, так и косвенное воздействие.

Защита от биоповреждений, являясь древнейшей научной и практической проблемой, не решена до настоящего времени, хотя является хозяйственно важным фактором.

Проведенными исследованиями установлено, что более 50 % общего объема биоповреждений бетона канализационных коллекторов связано с деятельностью микроорганизмов (бактерий). Бактериодеструкции вызываются представителями почти всех групп микроорганизмов. Характер вызываемых ими повреждений определяется эксплуатационными условиями, в которых оказывается бетон.

В результате биоповреждений снижается ценность материалов, нарушается процесс эксплуатации, принос экономический ущерб.

Методы защиты бетона сооружений специально назначены от биоповреждений не совершенны, тщательный анализ процесса до сих пор не проведен.

Как правило, биологические повреждения бетона обусловлены воздействием продуктов метаболизма микроорганизмов и лишь в редких случаях непосредственным механическим воздействием биоорганизмов. При этом необходимо учитывать весь комплекс условий и процесс взаимодействия среды и материалов конструкций, в котором преобладающими могут оказаться процессы химической коррозии или явления физической деструкции. Именно такие условия характерны для бетона в зоне переменного уровня воды. При образовании трещин в них поселяются микроорганизмы, выделяющие агрессивные компоненты в тело бетона.

Специфическими особенностями, отличающими органогенную коррозию, являются участие микроорганизмов в коррозионном процессе и метаморфозы корродирующего бетона.

Следовательно, биостойкость бетона может быть обеспечена двумя комплексно действующими способами: предотвращением поверхностного трещинообразования; созданием "биоиммунитета" бетона к жизнедеятельности микроорганизмов.

Долговечность бетона труб канализационных коллекторов зависит от большого числа факторов, основными из которых являются: условия эксплуатации, вид и состав бетона, а также степень агрессивности грунтовых вод.

По существующим в настоящее время представлениям из числа солей, входящих в состав агрессивных сред, наиболее опасными для цементной матрицы бетона являются сульфаты различной природы и концентрации.

Анализ последних исследований

Дефектность структуры бетона состоит из дефектности цементной матрицы, а также несовершенст-

вом контактного слоя между цементным камнем и заполнителем [1]. Разрушение цементной матрицы и бетона в целом в сульфатных средах сопровождается образованием кристаллов двуводного гипса и гидросульфата алюмината кальция. Образование кристаллов этих минералов в теле цементного камня и бетона рассматривается как причина сульфатной коррозии [2].

Кристаллизация гипса и гидросульфата алюмината кальция (ГСАК) вызывает разрушение цементной матрицы бетона, так как образование этих кристаллов приводит к значительному увеличению объема твердой фазы.

Многие авторы считают, что разрушение происходит только когда ГСАК образуется в твердой фазе – путём присоединения сульфат-ионов, ионов кальция и воды к гидроалюминату, находящемуся в твердой фазе [3]. Если все реагирующие компоненты находятся в растворе, то вредные напряжения не возникают, объём продуктов реакции (как гипса, так и ГСАК) меньше суммы объёмов реагирующих компонентов, находящихся в растворенном состоянии. Заполнение в этом случае объёма пор кристаллическим веществом является даже полезным, упрочняющим фактором [4]. По некоторым гипотезам, образование гипса и гидросульфата алюмината способствует разрушению, отвергается роль сил кристаллизации. Впервые такое предположение было высказано Т. Торвальдсоном [5]. По его мнению, причиной разрушения являются осмотические силы, которые возникают вследствие коллоидного характера продуктов взаимодействия цементного камня с агрессивной средой. Особое значение имеют продукты гидратации в виде гидросульфатов алюмината кальция.

Сложность процессов сульфатной коррозии заключается в том, что в сильно минерализованных средах в зависимости от условий происходит образование или разложение ГСАК, кристаллизация или растворение гипса.

В связи с основными разрушающими факторами сульфатной коррозии разработаны методы повышения долговечности бетона при сульфатной агрессии. Они включают использование сульфатостойкого цемента, портландцементов с содержанием СЗА не более 5% и ряда специальных цементов; повышение содержания гипса в цементе с опережающим связыванием алюминатов; увеличение плотности бетона; ввод добавок в бетон; использование карбонатных заполнителей.

Эти методы направлены на предотвращение или замедление диффузии сульфат-ионов в бетон, уменьшение содержания алюминатов кальция или их своевременную реакцию с добавками – компонентами бетона. Сульфатное взаимодействие должно стать составной частью процессов, связанных с формированием структуры цементного камня.

Надо не столько защищать сооружение от проникновения в бетон сульфатных вод или понижать содержание СЗА в цементе, сколько получить в бетоне цементный камень, в котором вместо гидратированного алюмината будет находиться гидросульфат алюмината. К аналогичному выводу о положительном влиянии на сульфатостойкость цемента при введении гипса пришли Михайлов В.В. и Литвер С.Л. [6].

Однако во всех изученных работах отсутствуют указания на возможность применения рядовых порт-

ландцементов в условиях сульфатной агрессии.

Одним из методов борьбы с сульфатной коррозией является применение не только комплексных добавок в бетонных смесях, но и специальных видов – органо-минерального комплекса.

Цель исследований

Причины образования деформаций в бетонных элементах канализационных коллекторов могут заключаться в наличии поверхностей ослабления, что вызывается фильтрационной неустойчивостью материала конструкций [7]. Возникающие деформации обычно связаны с обводненными участками, поэтому устранение обводнённости создает предпосылки для повышения долговечности бетона. Однако противофильтрационное укрепление грунтов, в которых располагаются элементы коллекторов, не нашло широкого распространения ввиду высокой стоимости работ, сложности определения зон ослабления и несовершенной технологии. Несовершенство технологии заключается также в невозможности использования для таких работ обычных цементных растворов, поскольку последние не обладают высокой степенью противофильтрационной защиты. Поэтому установка водонепроницаемых экранов рассматривается как одна из составных частей комплекса работ по увеличению срока службы бетонных канализационных коллекторов, заглубленных в водонасыщенные грунты.

Основной материал

Как правило, канализационные коллекторы представляют собой сложную техническую систему, элементы которой выполняют заданную функцию с определенным запасом коррозионной стойкости. При этом не только отдельные элементы объекта, характеризуются различной долговечностью, но и их составные детали. По этим причинам эксплуатационная надёжность различных элементов коллекторов также отличается, и их отказ происходит по правилу слабого звена.

Для принятия правильных и обоснованных инженерных решений по сохранению и восстановлению эксплуатационных характеристик и повышению долговечности бетонных канализационных коллекторов наиболее важной и, вместе с тем, наиболее сложной является задача определения слабых звеньев структуры объекта, установления их взаимовлияния с различными уровнями структуры и выявления причинно-следственных связей с различными видами повреждения конструкций. Сложность решения этой задачи объясняется многообразием видов отрицательных воздействий, условий эксплуатации объекта, а также разнообразием конструктивных решений самих сооружений.

В этой связи очевидно, что следует рассматривать бетонный канализационный коллектор как единую систему, включающую в себя взаимосвязанные конструктивные элементы. При этом выявление причинно-следственных связей между воздействиями эксплуатационной среды и видами разрушений рассматриваются на трёх уровнях: первый – отдельный элемент; второй – отдельная конструкция, то есть совокупность отдельных элементов, способных к единому восприятию функциональной нагрузки; третий

- функциональный объект, совокупность конструктивных элементов, объединенных в единую структуру, определяющую форму и функциональное назначение всего сооружения [8].

Пространственные отношения элементов выделенных уровней системы определяют структуру объекта. Долговечность сооружения специального назначения во многом определяется целостностью его структуры, которая сохраняется и функционирует до определенного уровня воздействия различных факторов внешней среды, не превышающего некоторого критического значения. При превышении такого уровня происходит адаптация структуры сооружения к изменившимся условиям внешней среды. При этом первоначальная целостная, жесткая структура за счёт перераспределения возникающих напряжений в элементах сооружения переходит по правилу слабого звена в новую дискретную структуру. Для сооружений, основными структурными элементами которых являются бетонные и железобетонные конструкции, процесс такой трансформации связан с нарушением сплошности (монолитности) бетона. Во всех случаях трансформация структуры сооружения является первопричиной или следствием изменений, происходящих в различных её уровнях [9].

В результате анализа причинно-следственных связей изменений структуры сооружений специального назначения установлена возможность выделения трёх основных групп факторов, оказывающих отрицательное влияние на устойчивость структуры сооружения и снижающих его долговечность. Сюда относятся деструкция основных конструктивных материалов, экстремальные воздействия на конструкции сооружения, а также эксплуатационные нарушения. В реальных условиях эти факторы находятся в сложном взаимодействии, характеризующемся случайностью и неопределенностью. При этом взаимодействие одних факторов может привести к резкому обострению влияния других факторов.

При этом первоначальные изменения структуры бетона сооружения связаны с изменением физических свойств бетона и обусловлены коррозионными процессами, происходящими в материале при различных видах физических, химических и биологических воздействий.

Изменения, происходящие на первом уровне и связанные с деструкцией конструктивного материала, приводят к возникновению недопустимых напряжений в конструкциях сооружения (второй уровень), а затем к нарушению целостности структуры всего сооружения (третий уровень) за счёт появления трещин и разрушения отдельных элементов или потери системообразующих связей между отдельными элементами и конструкциями с исключением их из общей структуры сооружения. Такой процесс повреждения бетона и железобетона носит, как правило, продолжительный характер и может быть остановлен проведением мероприятий по консервации материала от разрушающих факторов, например, установкой защитных экранов.

Иной вид трансформации целостной структуры сооружения специального назначения в дискретную определяется второй группой факторов – экстремальными воздействиями на конструкции сооружения. Этот процесс характеризуется изменением условий

среды и может быть вызван физическими явлениями – просадкой грунта, повышением уровня грунтовых вод. В этом случае повреждения и деформации появляются в другом уровне структуры сооружения – в конструкциях и элементах жесткости – и одновременно приводят к потере сплошности бетона (первый уровень) и целостности структуры всего сооружения (третий уровень). Такие изменения структуры сооружения способствуют развитию доступа агрессивной среды внутрь структуры материала, что предопределяет дальнейшие изменения в структуре сооружения по первому виду трансформации.

Третья группа факторов, отрицательно влияющих на долговечность конструкционного материала и провоцирующих повреждение структуры сооружения сразу по двум видам трансформации, связана с нарушениями режимов эксплуатации. При этом происходит разрушение основных элементов сооружения и определяется низкая устойчивость их к различного рода воздействиям.

Основу для разработки и принятия решения о мероприятиях по сохранению и восстановлению сплошности поврежденных элементов канализационных коллекторов составляют результаты инженерного анализа и экспертной оценки поведения сооружения определенной конструктивной системы после длительного срока эксплуатации, а также статистические данные и классификация повреждений для определения их опасности и возможности предотвращения.

Как показывают результаты обследований канализационных коллекторов [10], в большинстве случаев (порядка 70 %) обнаружены конструкции с нарушенной сплошностью бетона в виде трещин различного типа. В железобетонных элементах таких сооружений количество конструкций с нарушенной сплошностью еще больше, здесь практически отсутствуют элементы, в которых не имелось бы трещин. Следует также отметить, что косметическая заделка трещин в конструкциях сооружений, эксплуатирующихся во влажной среде, не восстанавливает сплошности бетона, поэтому, со временем, наблюдается накопление и развитие повреждений [10].

В результате систематизации и статистического анализа определены пять основных видов нарушения сплошности бетона труб канализационных коллекторов: одиночные и разветвляющиеся трещины; развитые пересекающиеся трещины; многочисленные развитые сетчатые трещины; разрушение и выкра-

шивание бетона; обнажение арматуры с разрушением бетона.

Выводы

Как следует из проведенного анализа, долговечность канализационных сооружений зависит от ряда факторов, характер которых обусловлен обычным или преждевременным износом, а также снижением несущей способности элементов сооружения, связанным с нарушениями условий эксплуатации и проявлениями экстремальных воздействий. В результате действия и взаимного влияния этих факторов происходит адаптация сооружения к новым условиям за счёт трансформации целостной жесткой структуры в дискретную, менее жесткую. Такая трансформация может происходить за счёт разрушения общих системообразующих связей и элементов или же вследствие нарушения сплошности основных конструкционных материалов.

Деформации элементов канализационных коллекторов, приводящие к нарушению их устойчивости, вызываются следующими причинами: гидростатическим давлением воды, создаваемым вследствие низкого коэффициента фильтрации грунтов; повышенным количеством атмосферных осадков и утечками бытовых и технических стоков, вызывающими подьем уровня подземных вод; неудовлетворительным состоянием дренажной системы; незначительным сцеплением по контактам между слоями грунта, что взаимосвязано с выносом песчаных и пылеватых частиц (суффозией); длительным застоём воды, способной инфильтроваться; увеличением динамических нагрузок при прохождении транспортных средств и работе механизмов над канализационными коллекторами; наличием ослабленных участков в сооружении.

Основным мероприятием по обеспечению устойчивости канализационных сооружений является дренаж, в результате которого достигается устранение или ограничение фильтрационных деформаций, снижаются влажность грунта и градиенты напора грунтовых вод.

Составы цементационных растворов, вид и количество добавок назначаются в зависимости от конкретных инженерно-геологических условий, целевого назначения цементационных работ, типа сооружения и природных условий. При большой проницаемости грунтов, трещин и пор в бетонных элементах цементация производится с введением в состав раствора наполнителей и химических добавок.

Литература

1. Драпалюк М.В. Дослідження ресурсозберігаючої технології модифікованого бетону з димфузюючими компонентами // Драпалюк М.В., Пилипенко В.М. Нові технології в будівництві, Київ. № 30, 2016. – 50-53 с.
2. Соломатов В.И. Элементы общей теории композитных строительных материалов // Изв. ВУЗов. Строительство и архитектура. – 1980. – №8. – с. 61-70.
3. Де Бур Я. Введение в молекулярную физику и термодинамику. – М.: Издательство, 1982. – 277 с.
4. Дерягин Б.В. Современная теория устойчивости лиофобных суспензий и золей: Тр. III Всесоюз. конф. по коллоидной химии. – М.: Изд. АН СССР, 1956. – с. 225-249.
5. Лифшиц Е.М. Теория молекулярных сил притяжения между твердыми телами // ЖЭТФ. – 1955. – Т. 29. – Вып. 1. – С. 94-110.
6. Полак А.Ф. Твердение мономинеральных вяжущих веществ. – М.: Стройиздат, 1966. – 208 с.
7. Muller H. Die Theorie der Koagulation polydisperser Systeme. // Kolloid. – Z. – 1926. – Bd. 38. – S. 1-2.
8. Ахвердов И.Н., Маргулис Л.Н. Неразрушающий контроль качества бетона по электропроводности. – Минск: Наука и техника, 1975. – 174с.

9. Brux G., *Vacuum – Concrete – Verfahren – Maschinen, – Gerate – und Personaleinat/ – (Zement und Beton)*, 1967, V., 339, SS. 11-12/
 10. Файнер М.Ш. *Ресурсосберегающая модификация бетона. – Черновцы: Прут, 1993. – 151с.*

References

1. Drapaluk M., Pulupenko (2016). *Research of resource-saving technology of modified concrete with dipping components // New technologies in construction*, No. 30.50-53.
2. Solomato V.I. (1980) *Elements of the General Theory of Composite Building Materials. Izv. Universities. Construction and architecture.* – №8, 61-70.
3. De Bur Ya. (1982). *Introduction to molecular physics and thermodynamics.* – M.: Publishing hous, 277.
4. Deragin B. (1956). *The modern theory of the stability of lyophobic suspensions and sols: Tr. III All-Union. Conf. on colloid chemistry.* AN SSSR, 225-249.
5. Livshic E. (1955) *The theory of molecular forces of attraction between solids // JETF, – T. 29. Вып. 1, 94-110.*
6. Polak F. (1966). *Hardening of monomineral astringents.* – Stroyizdat, 208.
7. Muller H. (1926) *Die Theorie der koagulation polydisperser Systeme. // Kolloid. – Z. Bd. 38, 1-2.*
8. Ahverdo I. (1975). *Nondestructive quality control of concrete by conductivity: Science and Technology*, 174.
9. Brux G., *Vacuum (1967). Concrete – Verfahren – Maschinen, – Gerate – und Personaleinat/ – (Zement und Beton)*, V., 339, 11-12.
10. Fainer M. (1993). *Resource-saving modification of concrete. The Prut*, 151.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН РУЙНУВАННЯ БЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ В АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Анотація. Комплексний вплив біологічних і гігromетричних чинників призводить до інтенсивного руйнування бетону. Сітка тріщин в певних умовах зростає безперервно, досягаючи іноді 10...20 см/добу. Характерно, що розвиток тріщиноутворювання відбувається не тільки по поверхні, але і в глибину. Характер пошкоджень визначається експлуатаційними умовами, в яких працює бетон. Рішення проблеми біоводостійкості бетону є важливим завданням для сучасного будівництва. Для прийняття правильних і обгрунтованих інженерних рішень щодо збереження та відновлення експлуатаційних характеристик і підвищення довговічності бетонних конструкцій спеціального призначення найбільш важливою і в той же час найбільш складною є задача визначення слабких ланок структури об'єкта, встановлення їх взаємовпливу з різними рівнями структури і виявлення зв'язків з різними видами пошкоджень конструкцій.

Ключові слова: бетон; мікротріщини; тріщиностійкість; біологічне опір матеріалу; бактерицидно-активна поверхня

Драпалюк М.В.

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій.
Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса.

Пилипенко В.М.

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної підготовки.
Академія державної пенітенціарної служби, м. Чернігів.

STUDY OF THE REASONS OF MIXING OF CONCRETE CONSTRUCTIONS IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

Abstract. Complex influence of biological and hygrometric factors leads to intensive destruction of concrete. The grid of cracks grows continuously under certain conditions, sometimes reaching 10 ...20 cm/day. It is characteristic that the development of crack formation occurs not only over the surface, but also in depth. The nature of the damage caused is determined by the operating conditions in which the concrete is exposed. The solution of the problem of bioavailability of concrete is an important task for modern construction. To make correct and justified engineering solutions for the preservation and restoration of operational characteristics and to increase the durability of concrete structures for special purposes, the most important and at the same time the most difficult is the problem of determining the weak links in the structure of the facility, establishing their mutual influence with different levels of structure and identifying causal relationships with various types of structural damage.

Keywords: concrete; microcracks; crack resistance; biological resistance of the material; bactericidal active surface.

Drupaluk Marina

PhD in Engineering, associate professor, associate professor of pulpit building construction.
Academy of construction and architecture, Odessa.

Pylypenko Volodymyr

PhD in Engineering, associate professor, associate professor of Physical Training Department.
Academy of State Penitentiary Service Chernihiv.