

## **БИОПОВРЕЖДЕНИЯ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, МЕРОПРИЯТИЯ ПО ВОССТАНОВЛЕНИЮ**

*ЖУРАВСКАЯ Н. Е., ШЕВЧЕНКО К. В., ЖУРАВСКИЙ Д. А.*

Киевский национальный университет строительства и архитектуры  
Киев, Украина

**Вступление.** Коррозия означает процесс разрушения, который путем физико-химических реакций между материалом и окружающей средой приводит к ухудшению свойств материала. Иногда этот процесс может быть полезным, например, при утилизации отходов и их переработке. Но чаще коррозия наносит ущерб материалам, загрязняет окружающую среду продуктами коррозии, снижает надежность конструкций, приводит к нарушению функций различных производственных и технологических систем, отражается на жизнеобеспечении общества. Оценка затрат, связанных с коррозией, состоит из затрат на защиту материалов и конструкций, на замену поврежденных частей, убытков от аварий и остановки производственных процессов, а иногда и несчастных случаев [1].

**Причины коррозии бетона.** Капиллярно-пористая структура бетона обусловлена многокомпонентностью состава разного уровня дисперсности и физико-химическими процессами усадки. Для получения необходимой подвижности бетонной смеси добавляется от 50 до 70 масс. % Воды. В процессе твердения химически связывается лишь 24–28 %. Усадка бетона вызывается, во-первых, потерей лишней воды при твердении (физическое усадка) и, во-вторых, образованием при гидратации менее объемных гидратированных структур (> конструкционная усадка). Это приводит к трещинообразованию и дальнейшего развития сети капилляров и пор. Поверхность бетона становится уязвимой для воды и присутствующих в окружающей атмосфере газов. С другой стороны, свободная известь в бетоне обладает высокой химической активностью реагирует с атмосферными газами и грунтовыми водами, вносит значительный вклад в коррозию поверхности [1].

Основные процессы коррозии бетона.

1. Замораживание – оттаивания. Техника, в порах бетона вода при замерзании увеличивается в объеме, создавая давление кристаллизации и провоцируя механическую деструкцию материала.

2. Свободная известь входит в химические реакции с углекислым газом воздуха (коксования), сернистым газом, окислами азота, попадающих в атмосферу из выхлопных газов и промышленных выбросов, вызывая влагу и разрушения бетона.

3. Гигроскопичные водорастворимые соли грунтовых вод разрушающе действуют на материал с помощью давления кристаллизации и гидратации солей, а также за счет возможных химических реакций со свободной известью и составляющими цементного камня.

4. Все органические и неорганические растворы кислого характера ( $> \text{pH} < 6$ ) в той или иной степени разрушают бетон, нейтрализуя свободную известь и повреждая цементный камень.

5. Нефтепродукты ослабляют связь между заполнителем и цементом, а также между бетоном и арматурой.

6. Аммиак и мочевины сорбируются бетоном, вызывая т. н. аммиачную коррозию цементного камня.

7. Сероводород очистных сооружений под воздействием кислорода и серных бактерий окисляется в сернистую и серную кислоты и разрушает бетон

8. Непрофессиональное совмещение цементных и гипсовых материалов может привести во влажной среде до образования объемного соединения – цементной бациллы  $3\text{CaOAl}_2 > \text{O}_3 > 3\text{CaSO}_4 > 3\text{H}_2 > \text{O}$ .

Процессы коррозии можно предотвратить или затормозить, используя поверхностные или объемные средства защиты бетона [1, 2].

Классификация видов коррозии бетона:

– Химическая коррозия: происходит в средах, которые не проводят электрического тока. Она обуславливается действием на металлы неэлектролитов (спирта, бензина, минеральных масел и т. д.) и сухих газов (кислорода, оксидов азота, хлора, и т. д.) при высокой температуре (так называемая газовая коррозия).

– Электрохимическая коррозия: более распространена и наносит значительно больший вред, чем химическая. Она возникает при контакте двух металлов в среде водных растворов электролитов.

– Эрозионная коррозия: специальный тип неоднородной коррозии пассивных металлов, при которой образуются углубления (ямки), обычно происходит в присутствии некоторых ионов при определенном положительного электродного потенциала относительно критического потенциала образования ямок и бугорков.

– Биокоррозия: коррозия, вызванная микроорганизмами (грибков, бактерий, водорослей) или продуктами их жизнедеятельности.

**Биологическая коррозия бетона и железобетона.** Под биологической коррозией понимают процессы повреждения бетона, вызванные продуктами жизнедеятельности живых организмов (бактерии, грибы, мхи, лишайники и микроорганизмы), которые поселяются на поверхности строительных конструкций. Бактерии, грибы, водоросли способны развиваться на конструкциях из бетона и проникать в капиллярно-пористую структуру материала. Продукты их метаболизма (органические кислоты и щелочи) разрушают компоненты цементного камня (особенно в условиях высокой влажности) [2].

Микробиологическая коррозия цементных бетонов встречается в жилых и промышленных зданиях, транспортных и гидротехнических сооружениях, чаще поражаются элементы отстойников, градирен, коллекторов, трубопроводов, 70 опоры коммуникаций, пола предприятий пищевой промышленности. Внешними признаками повреждения микроорганизмами минеральных строительных материалов является их вспучивания, растрескивания, откалывания целых фрагментов штукатурки или кирпича, на полу и стенах проступают темные пятна. Часто эти явления способствуют климатические условия (высокая влажность, перепады температур). Считается, что среда, контактирует с бетоном и железобетоном, будет опасным, когда имеет  $\text{pH} = 7,2\text{--}7,6$ , а  $E_h \leq 0,1$ .

Как правило, здание из бетона (или кирпича) поражается грибами и бактериями очень сильно, при этом фасад поражается конечно плесневыми грибами и бактериями на большую глубину ( $>5$  мм), а внутренние помещения, в которых наблюдаются признаки протекания практически только бактериями разных видов. Кроме указанных видов биозагрязнений, необходимо назвать и повреждения паразитирующей растительностью (зеленые разводы на домах), возбудителями которой являются водоросль, что приводит ощутимого разрушения.

Значительное поражение микроорганизмами как фасадных строительных материалов, так и материалов для внутренних помещений может повлиять на снижение санитарно-гигиенической характеристики зданий. Фасадные строительные материалы повреждаются преимущественно грибами и бактериями, среди которых присутствуют как спорообразующие, так и неспорообразующие формы.

Микроорганизмы создают на поверхности конструкций агрессивная среда из продуктов своей жизнедеятельности в виде кислот, кислых газов, сульфидов, аммиака и других агрессивных веществ. Широкие исследования влияния бактерий на бетон установили, что больше всего разрушают цементный камень и бетон динитрифицирующие бактерии, окисляющие серу. В результате деятельности этих бактерий образуется серная кислота, и разрушает бетон. Значительно снижают прочность бетона и анаэробные азотфиксирующие бактерии. Они образуют масляную кислоту, которая также является агрессивной. В этом случае уменьшаются силы сцепления составных частей камня вследствие образования соединения кальция и происходит разложение извести и гидратных новообразований под воздействием ионов водорода.

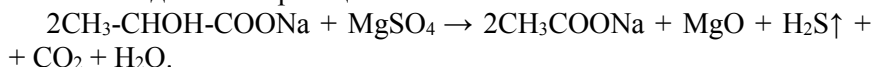
Наиболее опасными по бетону и железобетону является тионовые нитрифицирующие, углеводов окисляющие и сульфатредуцирующие бактерии, а также грибы, образующие в результате своей жизнедеятельности неорганические и органические кислоты. Опасные для бетона и разного вида бактерии. Они действуют в основном на мочевины (содержащийся в сточных водах), гидролизуют ее, выделяя при этом аммиак и угольную кислоту. Аммиак может взаимодействовать в присутствии извести цемента с сульфатами воды и образовывать легкорастворимую соль  $\text{CaSO}_4 \cdot (\text{NH}_4) 2\text{SO}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ .

Механизм действия биогенной сернокислотной коррозии проявляется в следующем. Летучие соединения серы ( $\text{H}_2\text{S}$ , органические полисульфиды) превращаются бактериями через промежуточную ступень в виде элементарной серы. Серная кислота производится бактериями рода *Thiobacillus*, которые называют «пожирателями бетона». В свежо замешанном бетоне, который имеет высокощелочную среду ( $\text{pH} > 12$ ), эти бактерии не заселяются. Но в результате карбонизации значение  $\text{pH}$  уменьшается до 9 и ниже, а в такой среде развиваются вышеуказанные бактерии и их разновидности. В результате жизнедеятельности бактерий  $\text{pH}$  на поверхно-

сти бетона снижается еще больше – до 5 и меньше, и создаются условия, необходимые для развития этих опасных для бетона бактерий. В канализационных системах особенно подвержены коррозии участки с высокой концентрацией летучих соединений серы.

Биогенная сернокислотная коррозия зависит как от потока сточных вод, так и от времени года. В местах завихрений потока сточных вод (например, на насосных станциях) всегда высвобождается больше летучих соединений серы. В летние месяцы их концентрация еще повышается, так как в этот период создаются более благоприятные условия для бактерий, из-за более высокой температуры. Потребление населением белков (молоко и молочные продукты, мясо и мясные продукты), использование сульфат содержащих моющих средств и частично более высокие температуры сточных вод (например, вследствие слива в канализацию горячей воды из стиральных машин) также создает благоприятные условия для микроорганизмов, участвующих в биогенной сернокислой коррозии.

Образование летучих соединений серы  $H_2S$  осуществляется бактериями в анаэробных условиях (без кислорода) с сульфатов в сточных водах такой реакции:



На дрожжевых производствах питательную среду, на которой выращиваются пекарские дрожжи, является благоприятным для развития всех микроорганизмов, а в условиях сильной аэрации могут развиваться и различные виды бактерий. В результате штукатурка стен и потолка покрывается трещинами глубиной до 5 см, темными пятнами и черным налетом, который смывается только водой под давлением, еще более интенсифицирует разрушения цементного бетона, вызывая выщелачивания из него свободной извести.

Методы защиты.

Основные методы защиты материалов от биоповреждения микроорганизмами:

- Механическое удаление загрязнений.
- Поддержка правильного санитарно-гигиенического и температурно-влажностного режима ( $20\text{ }^\circ\text{C} > t > 60\text{ }^\circ\text{C}$ , относительная влажность окружающего воздуха менее 80 %, аэрация).

- Физические методы (бактериальные фильтры, электромагнитное, радиационное и ультрафиолетовое облучение, ультразвук, электрохимическая защита).
- Гидрофобизация поверхности.
- Предотвращение проникновения микроорганизмов к объекту (герметизация, очистки воздуха, вакуум, биоцидные газовая среда).
- Удаление одного из элементов, необходимых для роста микробов (например, использование хелатных соединений железа и магния, связывающие металлы, необходимые для роста микроорганизмов).
- Биологическая защита (антагонизм, конкуренция микроорганизмов).
- Создание материалов с заданными биостойкими свойствами (один или несколько компонентов материала обладают биоцидными свойствами).
- Применение биоцидных соединений - одно из наиболее эффективных и распространенных способов защиты.

В связи с тем, что микрофлора, поражает материалы и изделия, очень разнообразна и нередко включает организмы, относящиеся к разным группам, наиболее целесообразно применять биоциды широкого спектра действия, а также смеси различных соединений. Особый интерес представляют биоциды с ограниченным сроком действия, поскольку с окончанием определенного количества времени снимается вопрос о токсичности материала.

Классификация биоцидов, химические средства защиты от биоповреждений классифицируют по биологическому действию, назначению и объектом применения, химическим составом:

- фунгициды – для защиты материалов и изделий от повреждения грибами (главным образом плесневыми);
- бактерициды – для защиты от гнилостных, кислотообразующих и других бактерий;
- альгициды и моллюскоциды – для защиты морских судов, гидротехнических сооружений, систем промышленного водоснабжения и мелиорации от обрастания водорослями и моллюсками;
- гербициды – для защиты зданий, сооружений, особенно памятников архитектуры, городских территорий и строительных площадок, обочин автомобильных насыпей железных дорог, аэродромных взлетно-посадочных полос от высших растений;

Эта классификация в известной степени условна, поскольку многие биоцидов по комплексу биоцидных и физико-химических свойств могут использоваться для защиты нескольких групп материалов; нами проведены исследования по защите от биоповреждений, биообрастания материала при его получении и защиты строительных конструкций при эксплуатации [3].

Для защиты конструкций от биологической коррозии эффективным и основным способом является обработка поверхности изделия бактерицидными средствами (содержат хлор, формалин и т. д.). Очень часто бактерицидные вещества вводят в состав лакокрасочных материалов и других видов покрытий. Но такой способ защиты достаточно дорогой и не всегда возможен [4].

Методы защиты бетона и железобетона от коррозионного разрушения делят на первичные и вторичные. К первым относятся:

- Корректировки состава, цель которых – обеспечение высокой плотности и прочности бетона, хорошей водонепроницаемостью.
- Применение специальных добавок и вяжущих с особыми характеристиками.
- Разработка конструктивных решений, обеспечивающих защиту стальной арматуры.

Целью вторичных защитных мер является исключение прямых контактов поверхности бетонных и железобетонных конструкций с агрессивными средами. Такими способами являются:

- Устройство наклеиваемой гидроизоляции. Этот вариант используется при контакте бетонной поверхности с влажной почвой или при его периодическом смачивании жидкостями-электролитами.
- Применение обмазочных гидроизоляционных материалов. Наиболее распространены мастики на базе различных смол.
- Обработка поверхностей с помощью пропитывающих жидкостей. Уплотнительные покрытия, повышающие водонепроницаемость поверхностного слоя бетона, часто наносят перед использованием лакокрасочных покрытий.
- Применение акриловых и лакокрасочных покрытий – актуально при взаимодействии поверхности бетонного элемента с твердыми материалами [5].

Действенным способом борьбы с биокоррозией является обработка эксплуатационных сред бактерициды – водным раствором мед-

ного купороса (0,1 – 0,3 мг/л) и хлором (0,4 – 0,5 мг/л). Эффективным является облицовка конструкций кислотоустойчивыми материалами (плиткой или кирпичом)

Существуют бетоны устойчивые к органическим агрессивным средам, например, пластбетон на основе фурфуролацетонового мономера (мономер ФА), но он выделяет в воздух фурфурол и ацетон. Санитарно-химические и токсикологические исследования показали, что как в ранние сроки, так и при повышенных температурах концентрации летучих компонентов пластбетона в виде фурфурола и ацетона значительно ниже допустимых концентраций этих веществ в воздухе и тем более в производственных помещениях. Поэтому пластбетон на основе мономера ФА можно рекомендовать в качестве материала для строительных конструкций на предприятиях пищевой промышленности. Его также применяют в легкой, химической, медицинской отраслях промышленности. С целью применения светлых и цветных пластбетона, химически устойчивых при контакте с органическими веществами, было предложено синтетическое связующее – термопластичная эпоксидная смола ЭД-6.

Более перспективными являются материалы проникающего действия, применение которых значительно повышает эксплуатационные характеристики, например, бетона. Принцип их действия заключается в проникновении под воздействием осмотического давления химически активных веществ в капиллярно-пористую структуру бетона, где взаимодействуют с составляющими цементного камня. Следствием этого является уплотнение структуры бетона, перекрывается доступ воде, но не воздуху. Глубина проникновения такого герметика в бетон может достигать 100 мм и более (сплошным фронтом) в зависимости от плотности основания. К таким материалам относятся смеси «Виатрон» «Гидротэкс», мастика «Гипердесмо», «Акватрон», «Пенетрон», гибкая цементная мембрана «Феникс», «Еволит-гидро» и другие. Каждая марка имеет свою область применения. Эти препараты не токсичны и решают целый ряд задач, а именно гидроизоляционная защита конструкций, антибактериальная санация, теплоизоляция зданий и сооружений [4].

**Выводы.** Таким образом, коррозия – это больше негативное явление, чем положительное. Она приводит к повреждению материалов, загрязняет окружающую среду, снижает надежность конструкций, приводит к нарушению функций различных производственных



и технологических систем, отражается на жизнеобеспечении общества. Оценка экономических затрат, связанных с коррозией, состоит из затрат на защиту материалов и конструкций, на замену поврежденных частей, убытков от аварий и остановки производственных процессов, а иногда и несчастных случаев. Применение биоцидных соединений – один из наиболее эффективных и распространенных способов защиты от коррозии для окружающей среды, в том числе. В дальнейшем планируется ряд исследований с использованием нанотехнологий по предупреждению биообрастания различных видов материалов и конструкций.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корозія та захист будівельних матеріалів та конструкцій 2013 р. – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/18431591.pdf> (дата звернення: 02.06.20).

2. Журавська Н. Є. До питання біопошкодження бетону та залізобетону / Н. Є. Журавська // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – 2014. – Вип. 28. – С. 180–186. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs\\_2014\\_28\\_28](http://nbuv.gov.ua/UJRN/rmkbs_2014_28_28).

3. Журавська Н. Є. Енергозберігаюча технологія запобігання впливу біокорозії на матеріали / Н. Є. Журавська // Містобудування та територіальне планування. – 2016. – Вип. 60. – С. 155–162. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP\\_2016\\_60\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2016_60_20).

4. Биокоррозия – Режим доступу: <https://www.okorrozii.com/biokorrozia.html> (дата звернення: 02.06.20).

5. Коррозия бетона: виды, методы защиты – Режим доступу: [https://udarnik.spb.ru/vse-o-betone/korroziya\\_betona/](https://udarnik.spb.ru/vse-o-betone/korroziya_betona/) (дата звернення: 02.06.20).