

22. Мухамеджанова О. Г. Статистический анализ при проведении межлабораторных сличительных испытаний / О. Г. Мухамеджанова, Л. Р. Сатлыкова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 2 (40). – С. 94–98.

© С. А. Ермаков, Д. И. Кабиров, Е. А. Коцуба

**Ссылка для цитирования:**

Ермаков С. А., Кабиров Д. И., Коцуба Е. А. Оценка показателя дымообразующей способности напольных покрытий ПВХ // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 4 (54). С. 29–35.

УДК 620.193

DOI 10.52684/2312-3702-2025-54-4-35-39

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ НАНОМОДИФИЦИРОВАННОГО БЕТОНА К КОРРОЗИИ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

**С. А. Логинова, И. А. Воронов**

**Логинова Светлана Андреевна**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Строительство зданий и сооружений», Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru;

**Воронов Илья Артемович**, ассистент кафедрой «Строительство зданий и сооружений», Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (915) 983-99-05; e-mail: voronovia@ystu.ru

Анализ коррозионной стойкости наномодифицированного бетона в биологически агрессивных средах предполагает проведение многосторонних научных изысканий, охватывающих широкий спектр характеристик материалов, включая химический состав компонентов, физико-химическое взаимодействие веществ, структуру порового пространства, механические свойства и эксплуатационные характеристики конечного продукта. Использование специальных добавок на наноразмерном уровне позволяет существенно повысить устойчивость бетонных конструкций к коррозии с учетом воздействием биофакторов. Проведенное исследование подтверждает, что применение наномодификации значительно повышает устойчивость бетона к биокоррозии благодаря эффективному взаимодействию компонентов цемента с добавками на наноуровне, что улучшает адгезивные свойства и плотность матрицы материала.

**Ключевые слова:** коррозия, наномодификация, нанодобавки, биоактивность, антикоррозионная защита.

## STUDY OF THE CORROSION RESISTANCE OF NANOMODIFIED CONCRETE UNDER CONDITIONS OF INCREASED BIOLOGICAL ACTIVITY

**S. A. Loginova, I. A. Voronov**

**Loginova Svetlana Andreyevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Construction of Buildings and Structures Department, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (906) 617-12-27; e-mail: sl79066171227@yandex.ru;

**Voronov Ilya Artemovich**, Assistant Professor of Construction of Buildings and Structures Department, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (915) 983-99-05; e-mail: voronovia@ystu.ru

The study of nanomodified concrete's corrosion resistance in biologically aggressive environments entails carrying out extensive scientific investigations encompassing various material attributes, such as the chemical makeup of its constituents, physicochemical interactions among substances, pore space architecture, and both mechanical properties and functional performance of the end product. The use of special additives at the nanoscale level significantly enhances the resistance of concrete structures to corrosion, taking into account the impact of biological factors. The conducted research confirms that the use of nanomodification significantly increases the resistance of concrete to bio-corrosion due to the effective interaction of cement components with additives at the nanoscale, which improves the adhesive properties and density of the material matrix.

**Keywords:** corrosion, nanomodification, nanoadditives, bioactivity, anti-corrosion protection.

### Введение

В последние годы существенно повысился интерес исследователей к вопросам повышения устойчивости строительных материалов, особенно бетона к воздействию коррозии, с учетом негативного воздействия микроорганизмов [1–3]. Биологическая коррозия цементного камня представляет собой сложный физико-химический про-

цесс, обусловленный жизнедеятельностью микроорганизмов, присутствующих в окружающем пространстве [4]. Микроорганизмы способны вызывать химические реакции, приводящие к постепенному разрушению структуры бетона, снижению его прочностных характеристик и уменьшению срока службы сооружений. Для адекватной оценки степени износа цементного камня важно провести углубленное изучение механизмового

коррозионного и биологического поражения [4–7]. Исчерпывающее понимание природы и динамики происходящих реакций позволит разработать эффективные методы профилактики и защиты против коррозии, направленные на повышение надежности и долговечности строительных конструкций. В частности, знание особенностей микробиологических воздействий поможет оптимизировать состав и структуру бетонов, создавая условия для минимизации негативных последствий воздействия биофакторов [7–10].

Исследований в области определения биостойкости наномодифицированных бетонов ранее не проводилось [7–10].

В более ранних исследованиях [11, 12] отмечается, продукты метаболизма микроорганизмов способны активно взаимодействовать с компонентами твердого цементного камня, выделяя водорастворимые соединения, провоцируя вымывание гидроксида кальция из внутренних слоев бетона [13]. Данные процессы усиливают миграцию указанного вещества изнутри пористой структуры бетона наружу, вызывая постепенную утрату физико-механических свойств и снижение уровня щелочности материала. Следовательно, явления биокоррозии бетона объясняются закономерностями массопереноса внутри материала, приводящими к ослаблению структурных связей, ухудшению прочностных характеристик и сокращению срока службы конструкции [14].

#### **Постановка задачи**

Настоящая работа направлена на всестороннее исследование особенностей изменения прочности наномодифицированных бетонов, созданных по уникальной методологии, предложенной коллективом исследователей [15]. Основное внимание сосредоточено на изучении влияния концентрации несвязанного гидроксида кальция на прочность материала, изменения значений водородного показателя среды и оценку интенсивности протекания процесса биоповреждения цементного камня. Полученные результаты лягут в основу разработки эффективных мер повышения устойчивости бетонов к агрессивному воздействию окружающей среды.

#### **Методы исследования**

Для оценки уровня стойкости исследуемых образцов к биологически активной коррозионной среде были изготовлены стандартные кубические элементы из цемента марки М500Д0 с коэффициентом водоцементного отношения 0,3. Часть образцов была дополнена ранее разработанными авторами [15] составами добавок на основе неорганических фторсодержащих солей. Твердение образцов осуществлялось в условиях контролируемого температурного режима (температура поддерживалась на уровне  $20 \pm 2$  °C) и стабильной влажности воздуха (50–70 %),

что соответствовало регламентированным требованиями стандарта ГОСТ 27677 «Защита строительных объектов от воздействия коррозии. Требования к испытаниям бетона». Дополнительно проводилось сравнение полученных результатов с характеристиками контрольных образцов традиционного состава, подвергнутых аналогичным условиям эксплуатации.

По завершении периода набора стандартной прочности, составляющего 28 сут/, подготовленные образцы переносились в специальную среду, имитирующую воздействие естественных условий повышенной влажности и присутствия микробиоты. По условиям испытания изделия выдерживались в растворе, моделирующем биологически активную агрессию, в течение 90 суток. Раствор содержал смесь органических кислот различной природы, приготовленную следующим образом: уксусная кислота в разведении 1 % составляла 35 % общей массы смеси, щавелевая кислота в аналогичной концентрации занимала долю в 49 %, лимонная кислота присутствовала в количестве 16 %. Этот состав позволил обеспечить наиболее точное воспроизведение естественной кислой среды, характерной для процесса воздействия микроорганизмов и эффективное моделирование процессов, происходящие в реальных эксплуатационных условиях.

Одной из ключевых проблем, приводящих к разрушению бетона, выступает повышенная влажность окружающей среды. За долгие годы службы конструкций из бетона и железобетона нередко сталкиваются с проникновением влаги внутрь структуры через мельчайшие поры и трещины [7, 8]. Это явление способствует постепенному ухудшению прочностных характеристик материала и развитию процессов деградации, ускоряя износ сооружений и снижая срок их безопасной эксплуатации.

В связи с этим для моделирования процесса содержания испытуемых образцов во влажной биоактивной среде в лабораторных условиях была разработана специальная установка, имитирующая данную среду [16]. В процессе испытаний на специализированной экспериментальной установке стандартные и наномодифицированные бетонные образцы подвергали систематическому воздействию капиллярной влаги посредством синтепоновой прокладки. Для поддержания стабильного уровня влажности на протяжении всех этапов исследования использовался специальный резервуар, заполненный либо дистиллированной водой (для контроля), либо специально подготовленным раствором органических кислот (для опытной группы) [16]. Испытания проводились таким образом, чтобы обеспечить одинаковое капиллярное влияние жидкостей как на обычные бетонные образцы, так и на

наномодифицированные. Это позволило сопоставить полученные результаты и сформулировать объективные выводы.

### Обсуждение результатов

Исследование включало в себя анализ влияния органических кислот на изменение ключевых характеристик цементного камня как с применением нанопримесей, так и без них. Высокая точность обработки большого массива полученных экспериментальных данных обеспечивалась специализированным программным пакетом MATLAB. Было выявлено, что введение нанодобавок существенно повышает устойчивость цементного материала к воздействию кислых сред, способствуя сохранению прочности и долговечности конструкций.

Экспериментальные исследования подтвердили, что максимальное влагопоглощение наблюдается у контрольных образцов, подвергшихся обработке имитирующим раствором, составившее порядка четверти их первоначальной массы. Такие образцы обладали минимальной плотностью среди всех исследуемых вариантов (всего  $1,46 \text{ г/см}^3$ ), что подтверждает повышенную пористость их внутренней структуры. В свою очередь, наномодифицированный бетон, испытываемый в среде дистиллированной воды, продемонстрировал меньшую степень влагопоглощения по сравнению с контрольными образцами, составляя всего 13–15 %, при условии введения разработанных ранее авторами добавок [15]. Наномодифицированные бетонные образцы достигли пика водопоглощения только спустя четыре дня испытаний. Это свидетельствует о замедленной реакции пористой структуры материала на водную среду благодаря включению наноконпонентов, обеспечивающих дополнительную защиту от проникновения воды внутрь конструкции.

Образцы бетона, не содержащие наномодификаторы и подвергавшиеся воздействию модельного раствора, продемонстрировали снижение плотности по сравнению с наномодифицированными образцами. Это свидетельствует

о начальных стадиях разрушения материала и уменьшении его прочностных характеристик. Согласно современным научным исследованиям, активность микроорганизмов приводит к интенсивному выщелачиванию бетона благодаря образованию органических кислот, что дополнительно ускоряет процессы деградации структуры материала [13–16]. Дальнейшее выщелачивание оказывает негативное воздействие на поровую структуру материала, снижает плотность и ухудшает эксплуатационные качества бетона. Лабораторное моделирование биологического воздействия оказало значительное влияние на изменение уровня pH и плотности исследуемых образцов. Подтверждением этому стали измерения pH водной вытяжки образцов, показавшие наиболее высокие значения pH ( $\text{pH} = 9,9$ ) у обычных бетонных образцов без добавок, взаимодействовавших с модельным раствором, что служит индикатором активно протекающего процесса выщелачивания.

Комплексное электронно-микроскопическое исследование образцов цементного бетона без примесей после 90 дней воздействия биологически агрессивной влажной среды выявило увеличение диаметра пор в 2–2,5 раза по сравнению с контрольными образцами (рис.). Исследование микроструктуры поверхности образцов цемента при различных увеличениях проводилось с помощью микроскопа MeijiTechno (Япония).

Проведенное комплексное электронно-микроскопическое изучение образцов обычного цементного бетона спустя 90 сут/ контакта с биоагрессивной влажной средой показало двукратное расширение размеров поровых каналов по отношению к эталонным образцам (рис.). Анализ микроструктурных особенностей поверхностей исследуемых бетонных образцов осуществлялся посредством специализированного оборудования – электронного микроскопа марки MeijiTechno.

Показатели прочности бетона на сжатие после выдерживания в искусственно созданных условиях воздействия агрессивных растворов приведены в таблице.



а



б

Рис. 1. Фотографии поверхности цементного камня, а – не подвергшейся микробиологическому воздействию ( $\times 60$ ); б – с биоповреждениями ( $\times 60$ ) [15]

Fig. 1. Photographs of the surface of cement stone: а – not exposed to microbiological influence ( $\times 60$ ); б – with biodeterioration ( $\times 60$ ) [15]

Таблица

## Оценка прочностных характеристик образцов, подверженных воздействию агрессивной среды

№ п/п	Тип образца	Методика проведения испытания	Средняя прочность на сжатие (срок твердения – 28 сут., Мпа)	Средняя прочность на сжатие после воздействия агрессивной среды (срок твердения – 90 сут., Мпа)
1	Бетонные образцы без нанодобавок	ГОСТ 10180	45,02	36,17
2	Наномодифицированные бетонные образцы	ГОСТ 10180	62,9	59,95

Представленные данные исследований объясняются способностью нанодобавок эффективно заполнять поры в структуре бетона. Стоит подчеркнуть, что уже на 28-й день опыта на поверхностях как контрольных, так и наномодифицированных образцов, начали появляться светлые отложения биопленки. Проведенные испытания подтвердили наличие значимой корреляции между воздействием биологических факторов и изменением физических и механических свойств цемента. Дополнительно стоит отметить, что интенсивность разрушения зависит от вида микроорганизмов и условий эксплуатации материала [16–21].

### Вывод

Испытания показали, что прочность на сжатие бетонных образцов с нанодобавками, прошедших длительное воздействие агрессивной среды, увеличилась почти вдвое по сравнению

с обычными образцами без добавок. Такой существенный прирост прочности обусловлен уникальной возможностью наночастиц создавать дополнительные защитные слои, препятствующие разрушающему воздействию ферментов микроорганизмов на структуру цементного камня. Контрольные образцы, напротив, продемонстрировали заметное снижение прочности вследствие активного химического процесса, инициированного микроорганизмами. Это подчеркивает важность комплексного изучения физико-механических свойств бетонов для точного прогнозирования долговечности и устойчивости бетонов и железобетонов в сложных природных и промышленных средах эксплуатации. Полученные экспериментальные данные подтверждают эффективность нанотехнологий в улучшении прочностных характеристик и перспективность их дальнейшего внедрения в строительную индустрию.

### Список литературы

1. Piroz A. S. The characteristic observation of nano concrete and its types / A. S. Piroz // Actual Science. – 2022. – № 1 (48). – P. 28–33.
2. Ерофеев В. Т. Биокоррозия цементных бетонов, особенности ее развития, оценки и прогнозирования / В. Т. Ерофеев, А. П. Федорцов, А. Д. Богатов, В. А. Федорцов // Фундаментальные исследования. – 2014. – №12. – С. 708–716.
3. Белов В. В. Ползучесть мелкозернистых карбонатных бетонов с комплексной добавкой / В. В. Белов, Т. Р. Баркая, П. В. Куляев // Химия, физика и механика материалов. – 2022. – № 1 (32). – С. 62–75.
4. Акулова М. В. Влияние добавок-регуляторов структурообразования на долговечность тяжелого бетона / М. В. Акулова, О. В. Селиверстова // Строительство и реконструкция. – 2016. – № 1 (63). – С. 73–77.
5. Inaba Y. Microbially influenced corrosion of stainless steel by Acidithiobacillusferrooxidans supplemented with pyrite: importance of thiosulfate / Y. Inaba, S. Xu, J. T. Vardner, A. C. West, S. Banta // Applied and environmental microbiology. – 2019. – Vol. 85(21). – DOI: 10.1128/AEM.01381-19.
6. Травуш В. И. Циклическая прочность бетонов нового поколения / В. И. Травуш, Н. И. Карпенко, В. Т. Ерофеев, И. В. Ерофеева, Б. А. Бондарев, А. Б. Бондарев // Строительные материалы. – 2020. – №1-2. – С. 88–94. – <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-778-1-2-88-94>.
7. Ho V. Ha. Bond strength of a steel bar in concrete reinforcing with shape memory alloy fibers / V. Ha. Ho, V. M. Ngo, V. T. Vu // Science Journal of Transportation. – 2024. – № 3 (19). – P. 44–57.
8. Калиновская Н. Н. Хлориды в добавках и бетонах / Н. Н. Калиновская, Д. С. Котов // Технологии бетонов. – 2019. – № 3-4 (152-153). – С. 11–14.
9. Румянцева В. Е. Прочность и трещиностойкость бетона с добавкой на основе стеарата кальция / В. Е. Румянцева, В. С. Коновалова, А. А. Гальцев, К. Б. Строкин, Б. Е. Нармания // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 3 (52). – С. 71–82.
10. Москвичева А. В. Разработка мероприятий по снижению коррозии оборудования водохозяйственного комплекса / А. В. Москвичева, Е. В. Федулова, А. Ю. Гильгенберг, О. В. Коновалов, Г. Л. Гиззатова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4 (38). – С. 36–40.
11. Румянцева В. Е. Применение полевых и лабораторных методов определения карбонизации, хлоридной и сульфатной коррозии при обследовании строительных конструкций зданий и сооружений / В. Е. Румянцева, И. Н. Гоглев, С. А. Логинова // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – № 15 (67). – С. 51–58.
12. Хузин А. Ф. Физико-механические свойства высокопрочного бетона, модифицированного комплексной добавкой / А. Ф. Хузин, Р. А. Ибрагимов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 4 (34). – С. 317–321.



13. Fedosov S. V. The influence of structure formation conditions of the composite on the mass transfer processes / S. V. Fedosov, V. E. Rumyantseva, V. S. Konovalova, I. N. Goglev // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 753. – P. 042047.
14. Федосов С. В. Управление процессами коррозионной деструкции строительных материалов на основе законов массопереноса / С. В. Федосов, В. Е. Румянцева, В. С. Конавалова, И. Н. Гоглев, Б. Е. Нармания // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 3 (74). – С. 106–111.
15. Loginova S. Study of the properties of a cement concrete hardening accelerator additive with a mechanism of action at the nano-size level / S. Loginova, M. Tanichev, I. Goglev // Pakistan Journal of Life and Social Sciences. – 2024. – № 2 (22). – С. 21678–21686.
16. Чеснокова Т. В. Моделирование процесса биоразрушения бетона на предприятиях текстильной промышленности / Т. В. Чеснокова, В. Е. Румянцева, С. А. Логинова // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2020. – № 1 (385). – С. 206–212.
17. Колобанов А. С. Об особенностях работы оцинкованных строительных конструкций в условиях агрессивных сред / А. С. Колобанов, Н. В. Тарасова, Л. С. Сабитов, И. Н. Гарькин, Д. С. Сорокина // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – №2 (48). – С. 1–18. – DOI: 10.52684/2312-3702-2024-48-2-15-18/
18. Черкасова Е. В. Эксплуатационная надежность коррозионной защиты в промышленно развитом регионе / Е. В. Черкасова, Н. А. Золотухина, И. П. Горюнова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2017. – № 2 (120). – С. 140–144.
19. Адоньева А. А. Взаимосвязь качественных показателей пластификаторов и свойств полимерно-битумных вяжущих / А. А. Адоньева, П. А. Лукьянец, Н. А. Лушников, А. С. Покатаев, Н. И. Савенкова, В. Е. Николаевский, Д. Ю. Небратенко // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3 (41). – С. 51–56. – DOI: 10.52684/2312-3702-2022-41-3-51-56.
20. Gordeeva I. V. Analysis of Flow Curves of Modified Bitumen Composites / I. V. Gordeeva, Yu. A. Naumova, V. G. Nikol'skii, I. A. Krasotkina, T. V. Dudareva // Polymer Science, Series D. – 2020. – № 13 (2). – P. 151–156.
21. Зима А. Г. Экологичность конструкционных строительных материалов / А. Г. Зима // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 2 (32). – С. 40–49.

© С. А. Логинова, И. А. Воронов

#### Ссылка для цитирования:

С. А. Логинова, И. А. Воронов Исследование устойчивости наномодифицированного бетона к коррозии в условиях повышенной биологической активности // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2025. № 4 (54). С. 35–39.

УДК 338.439.021.1  
DOI 10.52684/2312-3702-2025-54-4-39-44

## ПРОБЛЕМЫ УРБАНИЗАЦИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКИХ ГОРОДОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

**Ж. А. Зими́на, О. Н. Беспалова, А. А. Айтпаева**

**Зими́на Жанна Анатольевна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (960) 863-97-28; e-mail: zim-zhanna@mail.ru;

**Беспалова Ольга Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, начальник учебно-методического управления, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (917) 185-82-41; e-mail: bespalovaon@mail.ru;

**Айтпаева Айгуль Алдунгаровна**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры экспертизы, эксплуатации и управления недвижимостью, начальник управления научно-исследовательской работы и международных связей, Астраханский государственный архитектурно-строительный университет, г. Астрахань, Российская Федерация, тел.: + 7 (999) 725-03-67; e-mail: arman.bisaliev2012@yandex.ru

На современном этапе развития нашего государства урбанизация приобрела глобальные масштабы. Россию сегодня можно считать высокоурбанизированной страной с преимущественно городским населением, численность которого составляет 75 % от общего числа граждан [1]. С одной стороны, современные российские города являются центрами притяжения молодого, активного населения, где открываются широкие возможности, а с другой, - характеризуются высокой степенью индустриализацией, повышенной концентрацией инфраструктуры, приумножающей угрозы и опасности экологического кризиса [2, 3]. Поэтому актуальным становится необходимость поиска решения проблемы урбанизации городских территорий, создание безопасного города, условий комфортного проживания городского населения в нем. В статье рассматриваются актуальные вопросы проектирования и строительства автономных агрокомплексов в условиях урбанизации, основы развития современного городского сельского хозяйства как путь к решению проблемы глобализации урбанизации.

**Ключевые слова:** городские агрокомплексы, вертикальные фермы, урбанизированное агропроизводство, городская среда.