

УДК 691.32:620.193.21

[https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-47-55](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-47-55)

EDN: TLZRAP

ЗАЩИТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В БИОЛОГИЧЕСКИ АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

Н.К. РОЗЕНТАЛЬ¹✉, д-р техн. наук

Г.В. ЧЕХНИЙ², канд. техн. наук

¹ АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, г. Москва, 109428, Российская Федерация

² Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», 2-я Институтская ул., д. 6, к. 5, г. Москва, 109428, Российская Федерация

Аннотация

Введение. Рассмотрены вопросы коррозии бетонных и железобетонных конструкций зданий и сооружений в биологически активных средах с указанием мер защиты. Представленные материалы являются результатом многолетних обследований большого числа железобетонных конструкций зданий и сооружений различного назначения и натурных коррозионных испытаний бетонных образцов в биологически активных коррозионных средах.

Цель. Обобщение результатов выполненных работ в области коррозии и защиты железобетона в агрессивных биологических средах.

Материалы и методы. Исследовалось состояние железобетона конструкций и бетонных образцов, изготовленных со средствами защиты от конкретных агрессивных сред, находившихся длительное время в биологически активных средах. Основной метод исследований – изучение состояния бетона после длительного воздействия агрессивных сред.

Результаты. На основании результатов изучения состояния бетона в образцах и конструкциях изложены методы защиты бетона от воздействия: корней растений на плиты перекрытий железобетонных резервуаров питьевой воды; продуктов жизнедеятельности животных на полы животноводческих помещений; моллюсков-камнеточцев на морские сооружения; тионовых бактерий на сооружения водоотведения и очистки; плесневых грибов на промышленные и жилые помещения.

Выводы. Защита железобетонных конструкций в биологически активных средах должна назначаться на основании изучения их особенностей, механизмов коррозионных процессов в бетоне при их воздействии, а также анализа состояния конструкций в условиях длительного воздействия биологических сред.

Ключевые слова: бетон, железобетон, биологические коррозионно-активные среды, биологическая коррозия, моллюски-камнеточцы, тионовые бактерии, морские обрастатели, плесневые грибы

Для цитирования: Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Защита железобетонных конструкций в биологически агрессивных средах. *Вестник НИЦ «Строительство»*. 2024;42(3):47–55. [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-47-55](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-47-55)

Вклад авторов

Розенталь Н.К. – научное руководство, участие в обследованиях, написание статьи.

Чехний Г.В – участие в обследованиях, написание статьи.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 20.06.2024

Поступила после рецензирования 02.08.2024

Принята к публикации 08.08.2024

PROTECTION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES IN BIOLOGICALLY AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

N.K. ROZENTAL^{1,✉}, Dr. Sci. (Engineering)

G.V. CHEKHNI², Cand. Sci. (Engineering)

¹ JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, Moscow, 109428, Russian Federation

² Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, 2nd Institutskaya str., 6, bld. 5, Moscow, 109428, Russian Federation

Abstract

Introduction. The corrosion of concrete and reinforced concrete structures of buildings and facilities in biologically aggressive environments is considered and protective measures are indicated. All the presented materials are resulted from long-term surveys of numerous reinforced concrete structures of buildings and structures for various purposes along with full-scale corrosion tests of concrete samples in biologically aggressive corrosive environments.

Aim. To summarize the results of the performed work on the corrosion and protection of reinforced concrete in biologically aggressive environments.

Materials and methods. The reinforced concrete of structures and concrete samples prepared with means of protection against particular aggressive environments were studied, after they had been in biologically aggressive environments for a long period of time. The main research method is the study of concrete condition after prolonged exposure to aggressive environments.

Results. From the results of the study are outlined the methods of concrete protection from the following exposures: plant roots on the floor slabs of reinforced concrete drinking water tanks; animal life products on the floors of livestock facilities; stone-borers on marine facilities; thionic bacteria on water disposal and treatment facilities; mold fungi on industrial and residential premises.

Conclusion. Reinforced concrete structures in biologically aggressive environments should be protected through studying their peculiarities, corrosion mechanisms, as well as analyzing the condition of structures under prolonged exposure to biological environments.

Keywords: concrete, reinforced concrete, biologically aggressive environment, corrosion, stone-borers, thionic bacteria, marine fouling, mold fungi

For citation: Rozental N.K., Chekhni G.V. Protection of reinforced concrete structures in biologically aggressive environments. *Vestnik NIC Stroitel'stvo = Bulletin of Science and Research Center of Construction*. 2024;42(3):47–55. (In Russian). [https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3\(42\)-47-55](https://doi.org/10.37538/2224-9494-2024-3(42)-47-55)

Authors contribution statement

Rozental N.K. – scientific guidance, experimental study, writing the manuscript.

Chekhni G.V. – experimental study, writing the manuscript.

Funding

No funding support was obtained for the research.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 20.06.2024

Revised 02.08.2024

Accepted 08.08.2024

Биологически активные среды, в которых железобетонные конструкции подвергаются агрессивным воздействиям, весьма разнообразны. Одна из ранних работ, привлекавшая внимание специалистов, занимающихся проблемой коррозии бетона в биологически активных средах, появилась в печати в 1978 г. [1]. В дальнейшем исследования биокоррозии бетона получили значительное развитие [2]. Работы выполнялись при координации Научного совета по биоповреждениям АН СССР. Выполненные НИИЖБ обследования состояния железобетонных конструкций в различных биологически активных средах позволяют выделить те из них, которые вызывают наибольшие повреждения железобетонных конструкций. К ним следует отнести среды, в которых конструкции механически повреждаются живыми организмами (животные, растения) и вследствие химических взаимодействий с продуктами жизнедеятельности животных, грибов и бактерий. Бетон не является питательной средой для микроорганизмов, но загрязнение исходных материалов и бетона органическими веществами создает для развития бактерий благоприятную среду.

Корни растений. Повреждения такого рода наблюдаются в заглубленных (подземных) резервуарах питьевой воды, прошедшей предусмотренную технологией очистку на станциях водоподготовки. Корни из грунта, находящегося на перекрытии, проникают через трещины в бетоне. Давление корней расширяет трещины. Фильтрующая вода растворяет известь цементного камня в бетоне. Ширина трещин увеличивается. В результате в очищенную, готовую к передаче потребителю воду попадает неочищенная грунтовая вода. Со временем ширина трещин увеличивается, а поток неочищенной воды возрастает.

Метод защиты железобетонных конструкций от разрушающего действия корней растений состоит в регулярном осмотре перекрытий и выявлении повреждений, своевременном ремонте выявленных мест протечек грунтовой воды. Ремонт выполняется путем расчистки и удаления поврежденного бетона, нагнетания в трещины плотных мелкозернистых цементно-песчаных растворов или органических защитных составов. В работе [3] рассмотрен случай образования трещин в бетоне днища и стен резервуаров, возникающих вследствие осадки и других деформаций резервуаров питьевой воды. Заделку предлагается выполнять эластичными гидроизоляционными материалами. Подобный ремонт выполняется на поврежденных корнями кустов и деревьев кровлях старых зданий, длительное время не находившихся в эксплуатации.

В сельскохозяйственных зданиях (коровниках, свинарниках) наибольшему повреждению подвергаются полы. Одновременное воздействие копыт и агрессивных выделений животных вызывает разрушение бетонных полов. Особенно агрессивна к бетону среда свинарников. Нам известен определенный положительный опыт защиты полов свинарников на Кубе. Защита бетона выполнялась механически прочными и коррозионностойкими эпоксидными покрытиями.

В.М. Москвиным были обследованы причалы в Черном море, разрушенные (взорванные) в период Великой Отечественной войны. Рассматривая вопросы биологической коррозии, он установил, что обрастание бетона морскими растениями практически не разрушало бетон. Повреждения вызывали живые организмы – различного рода моллюски, дыхание которых повышало на контакте с бетоном концентрацию растворенной углекислоты и тем способствовало растворению цементного камня в морской воде.

Железобетонные конструкции могут повреждаться в море моллюсками-камнеточцами. Этот вид повреждений характерен для стран с жарким климатом. Такое повреждение

наблюдалось нами на Кубе. Обсуждалась возможность строительства морского аквариума. Предполагалось построить его непосредственно в море. В таком аквариуме посетители могли бы находиться ниже уровня воды в железобетонных коридорах с большими остекленными окнами и наблюдать за жизнью морских обитателей в естественной среде. От открытого моря аквариум был бы огражден металлической сеткой, что не позволило бы обитателям аквариума покидать его территорию.

В порядке подготовки к строительству в одном из морских портов была поднята свая, сломанная при строительстве причала и пролежавшая на дне около 20 лет. Сваю распилили и обнаружили прямолинейные цилиндрические каналы, созданные моллюсками-камнеточцами. Каналы имели вход со стороны моря диаметром 1–2 мм. Через это отверстие личинки моллюска проникали в бетон и, продвигаясь вглубь, постепенно обращались в двусторчатых моллюсков. Через оставшееся отверстие моллюск мог обменивать находящуюся в скважине воду, что позволяло ему дышать растворенным в воде кислородом и питаться микроскопическими морскими обитателями. С удалением вглубь от поверхности сваи диаметр скважины увеличивался до 10–12 мм. Скважины имели длину 10–15 см. Сообщается, что длина скважины может достигать 30 см. На поперечном срезе бетон имел вид ломтика пористого сыра. Моллюск постепенно увеличивал длину скважины, выделяя при дыхании углекислый газ, который растворял цементный камень и карбонатный заполнитель. Движение створок моллюска при дыхании оказывало истирающее действие и создавало условие для продвижения моллюска вглубь бетона.

Подобное повреждение бетона возможно для регионов с жарким климатом, где имеются условия для существования подобных моллюсков, а заполнитель для бетона сложен карбонатными породами ввиду отсутствия твердых, нерастворимых углекислотой изверженных пород, необходимых для производства щебня. В бетоне с таким заполнителем перемещение моллюска прекращается, как только он достигнет плотного, не поддающегося растворению углекислотой зерна заполнителя.

Скважины, созданные моллюсками в скалах, сложенных карбонатными породами, можно видеть в Крыму. Находятся они на значительной высоте от уровня моря, что свидетельствует об изменении уровня моря или о подъеме суши.

Применение твердых изверженных пород при изготовлении бетона решает указанную проблему. Можно полагать, что подобная проблема характерна главным образом для приморских и малых островных государств, где отсутствуют твердые изверженные породы, а для изготовления заполнителей имеются лишь нестойкие к указанному воздействию карбонатные отложения.

В России в Заполярье (Кольский полуостров), где в морском строительстве применяются бетоны с заполнителями из твердых изверженных пород, подобные повреждения бетона не наблюдались. Распространенные там моллюски способны повредить бетон с заполнителями из изверженных твердых пород лишь в тонком наружном слое цементного камня до первого зерна крупного заполнителя, что не может создать проблем для железобетонных конструкций. Возможно лишь обрастание поверхности подводной части сооружения водорослями и моллюсками.

В теплых морях обрастание подводных конструкций может достигать 100 кг/м², что заметно увеличит нагрузку на несущие конструкции. В холодных северных морях обрастание значительно меньше. Однако обрастание бетона растениями и моллюсками создает проблему

эксплуатации водоводов морской воды. Обрастание внутренней поверхности труб уменьшает пропускную способность водоводов.

С негативным влиянием обрастания поверхности в море строители встретились при возведении Кислогубской приливной электростанции в заливе Баренцева моря. Обрастание внутренней поверхности труб, подводящих морскую воду к турбогенераторам, могло затруднить подвод воды и существенно повлиять на мощность станции. Возникла необходимость защиты турбинного водовода от биологического обрастания. Строителями было реализовано оригинальное решение [4].

Создана установка, забирающая морскую воду насосом. Воду пропускают через электролизер, где происходит разложение морских солей хлоридов с образованием активного хлора (хлорноватистая кислота и гипохлорит-ионы, обладающие сильным бактерицидным действием). Содержащая активный хлор морская вода периодически подается в объем водовода. Производительность установки по хлору, по данным экологов, достаточна для полной защиты водовода и не создает экологических проблем для обитателей отделенного от моря водоема. При концентрации хлора 1,5–2,0 мг/л он не уничтожает личинки, а лишь не позволяет им закрепляться на поверхности трубопровода. На выходе из водовода хлор не обнаруживается. Исследования экологов показали, что такой метод защиты трубопроводов не оказывает влияния на обитателей отделенной от моря части залива.

К числу химических веществ, выделяемых бактериями, относится сероводород, обращаемый тионовыми бактериями в серную кислоту, вызывающую коррозию бетона и стальной арматуры.

Сероводородная среда, образующаяся в трубопроводах систем канализации сточных вод, является агрессивной для железобетонных конструкций [5]. Сотрудники НИИЖБ выполнили большое число обследований состояния канализационных трубопроводов в различных городах России. Как правило, заказы на обследования поступали от местных водоканалов в связи с обрушением туннелей. Коррозия железобетонных трубопроводов при воздействии сероводорода протекает весьма интенсивно. В работе [6] оценивали скорость разрушения бетона, погруженного в сероводородную воду и в газовую сероводородную среду. В газовой среде процесс коррозии бетона развивался с большей скоростью, чем в жидкой. Аналогичную картину мы видим в реальных канализационных коллекторах. Как правило, повреждение бетона происходит в сводовой части трубопровода, не подвергающейся прямому контакту с жидкими стоками.

Механизм повреждения железобетонных труб коллекторов сточных вод состоит в следующем. В лотковой части трубопровода образуется органический осадок. В толще осадка при низком содержании кислорода создаются идеальные условия для размножения анаэробных бактерий. Такие бактерии в процессе своей жизнедеятельности не требуют присутствия кислорода. Питательной средой для анаэробных бактерий служат органические вещества, белки, сульфированные моющие средства и другие серосодержащие вещества. Тионовые анаэробные бактерии разрушают органические вещества, содержащие серу, и в условиях дефицита кислорода выделяют сероводород. Сероводород поступает в парогазовую среду трубопровода, растворяется в конденсате на поверхности стенок и свода сооружения и становится питательной средой для аэробных бактерий, развивающихся в присутствии кислорода. Продуктом жизнедеятельности аэробных бактерий является серная кислота. Конденсат на стенках и своде трубопровода становится сильноагрессивной средой для бетона. Происходит разрушение бетона в своде трубопровода, развивается коррозия стальной

арматуры. Процесс заканчивается обрушением свода. Случаев обрушения железобетонных трубопроводов большое количество. Особенно много таких обрушений наблюдалось в трубопроводах, транспортирующих стоки кожевенных заводов, заводов по производству безалкогольных напитков и других предприятий, выпускающих органические продукты. Питательной средой для анаэробных бактерий служат и имеющиеся в воде моющие средства, которые в большинстве содержат сульфированные продукты. Наблюдаются обрушения коллекторов, транспортирующих воду, содержащую моющие средства, имеющие в своем составе серу, используемую в жизнедеятельности анаэробных бактерий. Скорость разрушения бетона достигает 1 см в год [7].

Для оценки проницаемости цементно-песчаных растворов для бактериальных клеток различной формы и величины предложен условный показатель – коэффициент инфицирования, который можно использовать для прогнозирования стойкости материала в биологически агрессивных средах [8].

В большинстве случаев ремонт сводился к вскрытию поврежденного участка трубопровода, установке металлического короба и его обетонированию. Поскольку при этом состав сточных вод не менялся, через какое-то время происходило обрушение трубопровода на соседних участках. Повреждение канализационных трубопроводов наблюдалось нами во многих городах.

В качестве меры защиты от агрессивного действия тионовых бактерий на бетон профессором В.М. Васильевым в Санкт-Петербурге предложены системы аэрации стоков и вентиляции воздушного пространства коллекторов.

В НИИЖБ д.т.н. С.С. Каприеловым с сотрудниками предложена конструкция коррозионно-стойких железобетонных труб из высокопрочного бетона с вкладышем из кислотостойкого полимера. Вкладыш устанавливался в форму перед бетонированием трубы на заводе ЖБИ. Получалась коррозионно-стойкая труба.

В настоящее время в Москве происходит массовая замена железобетонных труб в канализационных системах на трубы из коррозионно-стойких полимеров. Можно ожидать, что такие трубы будут служить без аварий многие годы.

Чем выше растворимость или увеличение объема продуктов взаимодействия кислоты с силикатами и алюминатами цементного камня, тем выше агрессивность среды. Помимо сильных минеральных кислот (серной, азотной), агрессивностью к бетону обладают и многие органические кислоты: уксусная, молочная, лимонная и другие, образующие с гидроксидом кальция хорошо растворимые соли, что ставит эти кислоты в один ряд с агрессивными к бетону средами. Например, растворимость кальциевой соли молочной кислоты равняется 54 г/л. На заводах по переработке молока при проливах молочной продукции и его скисании образующаяся молочная кислота разрушает бетонные полы.

В период перестройки в крупных городах, в том числе в Москве, возникавшие в большом количестве малые предприятия занимали ранее не приспособленные для офисов и магазинов и не использованные как помещения для длительного нахождения в них людей подвалы в старых домах. Нередко это были влажные помещения, стены которых были заражены плесневыми грибами. Сотрудники таких предприятий жаловались на нездоровую среду этих помещений. Для приведения помещений в нормативное состояние давались рекомендации по удалению зараженной грибами штукатурки, осушению и гидроизоляции помещений, использованию при повторном нанесении штукатурки добавок биоцидов.

Цементные бетоны и штукатурки разрушаются плесневыми грибами. При микроскопическом анализе отобранных из поврежденной цементной штукатурки и бетона образцов обнаруживаются плесневые грибы видов *Penicillium*, *Cladosporium*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Candida* и др. Указать точно количество видов плесневых грибов невозможно. Специалисты называют сотни видов. Плесневые грибы повреждают в первую очередь пористые штукатурки и бетоны. У людей, находящихся в зараженных помещениях, споры грибов вызывают многочисленные заболевания, в том числе болезни дыхательных путей. У жильцов и работающих в зараженных помещениях людей при анализе обнаруживали в крови споры плесневых грибов. Заражение бетона и штукатурки грибами обнаруживалось в первую очередь в подвалах и помещениях с влажным режимом работы. Сотрудники НИИЖБ выполнили обследования на грибковые повреждения конструкций большого числа жилых домов, общественных, спортивных, медицинских, музейных зданий и помещений. В большинстве случаев поражения железобетонных конструкций грибами обнаружены в зданиях с большим сроком эксплуатации. Но были здания и сооружения с еще не законченным строительством. Предполагается, что споры грибов были внесены в бетон и штукатурку с исходными материалами или конструкции были загрязнены в период строительства. Пробы бетона и штукатурки при необходимости передавали для анализа в медицинские организации. Заражение плесневыми грибами наблюдается в первую очередь в помещениях с влажным режимом эксплуатации (промышленные здания и помещения с выделением пара технологическими установками, ванны и туалетные помещения жилых зданий, при наличии конденсата на промерзающих стенах и т. п.). Характерным признаком повреждения является шелушение штукатурки [9]. На поверхности конструкций плесневые грибы могут иметь вид легкого бесцветного или окрашенного налета. Плесневые грибы могут проникать в штукатурку на значительную глубину.

Грибы могут иметь различную форму. Например, при обследовании фундамента небольшого дома, построенного в 1892 г. на берегу Оки, под гидроизоляцией, выполненной из бересты, были обнаружены грибы в виде толстых шнуров диаметром до 1–2 см и длиной в несколько метров.

Повреждения плесневыми грибами наблюдались в зданиях и сооружениях не только в средней полосе европейской части России, но и в северных районах, где при низких зимних температурах стены нередко промерзают и на поверхности со стороны помещения конденсируется влага. Нередко для сбережения тепла помещения недостаточно проветривают, создаются условия для появления конденсата, увлажнения бетона и появления плесени. Специалисты насчитывают сотни видов плесневых грибов. Споры многих из них вызывают многочисленные виды заболеваний человека. Меры предупреждения появления плесени предусматривают утепление наружных ограждающих конструкций зданий, поддержание относительной влажности в пределах установленных гигиенических норм и обработку поверхности конструкций биоцидами [10–12].

Специалисты не рекомендуют самостоятельно бороться с плесенью. Это опасно, велика возможность заражения. Существуют специализированные организации, имеющие необходимые препараты и оборудование.

Заключение

Защита железобетонных конструкций в биологически активных средах должна назначаться на основе результатов тщательного изучения особенностей биологически активных сред, коррозионных процессов, происходящих в бетоне конструкций, анализа состояния конструкций, подвергавшихся воздействию названных сред. В настоящей статье приведены некоторые результаты обследований зданий и сооружений с биологически активными средами и рекомендации по защите конструкций, выполненных из цементных растворов и бетонов. Ввиду большого разнообразия биологических сред и недостаточной изученности их воздействий на строительные конструкции исследования в данном направлении необходимо расширять.

Список литературы

1. Чуйко А.В. Органогенная коррозия. Саратов: Изд-во Сарат. гос. унив.; 1978.
2. Старцев С.А. Биоповреждение строительных конструкций как фактор, снижающий долговечность зданий и сооружений. В: Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве: Материалы междунар. конф., 10–12 окт. 2007 г. Санкт-Петербург; 2007, с. 20–24.
3. Латыпов В.М., Анваров Б.М., Латыпова Т.В. Долговечность и способы ремонта железобетона в резервуарах чистой воды. В: Проблемы прочности бетона и железобетона: материалы науч.-техн. конф. Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет; 2011, с. 271–274.
4. Усачев И.Н. Морская энергетика. Приливные электростанции и морские энергетические установки. Санкт-Петербург: Изд-во АО «ВНИИГ им Б.Е. Веденеева»; 2022.
5. Дрозд Г.Я., Матвиенко В.А., Губарь В.Н. Биоповреждения бетона сооружений биологической очистки сточных вод. В: Биоповреждения и методы оценки биостойкости материалов. Москва; 1988, с. 91–96.
6. Читаишвили Т.Г., Гудеджиани Э.Н. Тионовые бактерии как фактор коррозии бетонных сооружений, омываемых сероводородными минерализованными водами. В: Биоповреждения в строительстве. Москва: Стройиздат; 1984.
7. Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Стойкость бетонов в газовой среде коллекторов сточных вод. Бетон и железобетон. 2002;(5):23–25.
8. Рожанская А.М., Гончаров В.В., Теплицкая Т.В., Андреев Е.И. Инфицирование капиллярно-пористых материалов микроорганизмами. Доклады АН УССР. 1988;(12):60–62.
9. Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Мельникова А.И. Коррозия цементных материалов, вызванная воздействием грибов. Бетон и железобетон. 2000;(6):23–26.
10. Иванов Ф.М., Рогинская Е.Л., Серебряник В.А., Гончаров В.В. Биоцидные растворы и бетоны. Бетон и железобетон. 1989;(4):9–10.
11. Антонов В.Б. Влияние биоповреждений зданий на здоровье человека. В: Проблемы долговечности зданий и сооружений в современном строительстве: Материалы междунар. конф., 10–12 окт. 2007 г. Санкт-Петербург; 2007, с. 137–142.
12. Розенталь Н.К., Чехний Г.В. Вопросы коррозионной стойкости при воздействии биологически активных сред. В: Бетон и железобетон – взгляд в будущее: науч. тр. III Всероссийской (II Международной) конф. по бетону и железобетону, Москва, 12–16 мая 2014 г. Т. 3. Москва; 2014, с. 367–376.

References

1. Chuiko A.V. Organogenic corrosion. Saratov: Publishing house of Saratov State University; 1978. (In Russian).
2. Startsev S.A. Bio-damage of building structures as a factor reducing the durability of buildings and structures. In: Problems of durability of buildings and structures in modern construction: Materials of the international conference, October 10–12, 2007. Saint Petersburg; 2007, pp. 20–24. (In Russian).

3. *Latypov V.M., Anvarov B.M., Latypova T.V.* Durability and methods of repair of reinforced concrete in clean water tanks. Problems of strength of concrete and reinforced concrete: Materials of the scientific and technical conference. Ufa: Ufa State Petroleum Technical University; 2011, pp. 271–274. (In Russian).
4. *Usachev I.N.* Marine energy. Tidal power plants and marine power plants. Saint Petersburg: Publishing house of JSC VNIIG named after B.E. Vedenev; 2022. (In Russian).
5. *Drozd G.Ya., Matvienko V.A., Gubar V.N.* Bio-damages of concrete of biological wastewater treatment facilities. In: Bio-damages and methods for assessing the biostability of materials. Moscow; 1988, pp. 91–96. (In Russian).
6. *Chitaishvili T.G., Gudegiani E.N.* Thionic bacteria as a corrosion factor of concrete structures washed by hydrogen sulfide mineralized waters. In: Bio-damages in construction. Moscow: Stroyizdat Publ.; 1984. (In Russian).
7. *Rozental N.K., Chekhniy G.V.* Resistance of concrete in the gas environment of wastewater collectors. Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete. 2002;(5):23–25. (In Russian).
8. *Rozhanskaya A.M., Goncharov V.V., Teplitskaya T.V., Andreyuk E.I.* Infection of capillary-porous materials by microorganisms. Doklady Akademii nauk Ukrainskoi SSR [Reports of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR]. 1988;(12):60–62. (In Russian).
9. *Rozental N.K., Chekhniy G.V., Melnikova A.I.* Corrosion of cement materials caused by exposure to fungi. Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete. 2000;(6):23–26. (In Russian).
10. *Ivanov F.M., Roginskaya E.L., Serebryanyk V.A., Goncharov V.V.* Biocidal solutions and concretes. Beton i Zhelezobeton = Concrete and Reinforced Concrete. 1989;(4):9–10. (In Russian).
11. *Antonov V.B.* The effect of biological damage to buildings on human health. In: Problems of durability of buildings and structures in modern construction: Materials of the international conference, October 10–12, 2007. Saint Petersburg; 2007, pp. 137–142. (In Russian).
12. *Rozental N.K., Chekhniy G.V.* Issues of corrosion resistance under the influence of biologically active media. In: Concrete and reinforced concrete – glance at future: Scientific papers of the III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete: Moscow, May 12–16, 2014. Vol. 3. Moscow: Moscow State University of Civil Engineering; 2014, pp. 367–376. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Николай Константинович Розенталь , д-р техн. наук, профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы», АО «НИЦ «Строительство», Москва
e-mail: rosental08@mail.ru

Nikolai K. Rozental , Dr. Sci. (Engineering), Professor, Department of Buildings, Structures, and Materials, JSC Research Center of Construction, Moscow
e-mail: rosental08@mail.ru

Галина Васильевна Чехний, канд. техн. наук, заведующий сектором коррозии бетона лаборатории коррозии и долговечности бетонных и железобетонных конструкций, НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», Москва

e-mail: chehniy@mail.ru

тел.: +7 (499) 174-76-97

Galina V. Chekhniy, Cand. Sci. (Engineering), Head of Concrete Corrosion Section, Laboratory of Corrosion and Durability of Concrete and Reinforced Concrete Structures, Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete named after A.A. Gvozdev, JSC Research Center of Construction, Moscow

e-mail: chehniy@mail.ru

tel.: +7 (499) 174-76-97

 Автор, ответственный за переписку / Corresponding author