

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОРАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ****MODELING THE CONCRETE BIO DESTRUCTION PROCESS
AT THE TEXTILE INDUSTRIES**

Т.В. ЧЕШОКОВА, В.Е. РУМЯНЦЕВА, С.А. ЛОГИНОВА

T.V. CHESNOKOVA, V.E. RUMYANTSEVA, S.A. LOGINOVA

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail: 4esnokova@bk.ru; varrym@gmail.com; sl79066171227@yandex.ru

Изучены процессы грибковой коррозии бетона с помощью специальной лабораторной установки с применением модельной среды. Предложенная установка позволяет в кратчайшие сроки без применения аллергенных и токсичных компонентов моделировать условия и исследовать характер грибковой коррозии бетонных конструкций, эксплуатирующихся на предприятиях текстильной промышленности. С помощью лабораторной установки показано, что разрушение исследуемых образцов бетона явилось следствием кислотной коррозии, которая является главным разрушающим фактором жизнедеятельности грибов. Воздействие органических кислот на бетон привело к увеличению пористости материала, снижению его плотности и потере прочности. На основе полученных данных установлен механизм грибковой коррозии бетона, состоящий из двух стадий. Первая стадия грибковой коррозии – кислотная – связана с накоплением и выделением органических кислот и их взаимодействием с компонентами бетона с образованием растворимых продуктов реакций. Вторая стадия грибковой коррозии – механическая – связана с увеличением пористости, снижением плотности и прочности бетона. На основе полученных данных обоснованы оптимальные методы защиты материалов от грибковой коррозии.

The fungal corrosion of concrete was studied using a special laboratory setup using a model environment. The proposed installation allows in the shortest possible time without the use of allergenic and toxic components to simulate conditions and to investigate the nature of fungal corrosion of concrete structures operating at textile enterprises. Using a laboratory setup, it was shown that the destruction of the concrete samples under study was the result of acid corrosion, which is the main destructive factor in the life of fungi. The effect of organic acids on concrete led to an increase in the porosity of the material, a decrease in its density and loss of strength. Based on the data obtained, a fungal corrosion mechanism of concrete is established, consisting of two stages. The first stage of fungal corrosion is acidic, associated with the accumulation and release of organic acids and their interaction with concrete components with the formation of soluble reaction products. The second stage of fungal corrosion is mechanical, associated with an increase in porosity, a decrease in the density and strength of concrete. Based on the data obtained, the optimal methods for protecting materials from fungal corrosion are substantiated.

Ключевые слова: биологическая коррозия, грибковая коррозия, модельная среда, цементный камень, водопоглощение.

Keywords: biological corrosion, fungal corrosion, model medium, cement stone, water absorption.

Коррозионная деструкция бетона наносит значительный экономический ущерб экономике страны. По подсчетам специалистов около 10 % случаев коррозии бетона приходится на биологическую коррозию [1]. Наиболее агрессивным и разрушительным воздействием на материалы обладает грибковая коррозия [1], [2]. На предприятиях текстильной промышленности железобетонные конструкции подвергаются грибковой коррозии вследствие прямого контакта с микроорганизмами и продуктами их жизнедеятельности. Поэтому целью представленного исследования явилось изучение процессов разрушения бетона в результате жизнедеятельности грибов с помощью специальной лабораторной установки с применением модельной среды.

В результате жизнедеятельности грибов в окружающую среду выделяются органические кислоты: лимонная, уксусная, щавелевая и другие. Вследствие взаимодействия бетона с кислотами происходит вымывание гидроксида кальция из тела бетона, расширение уже имеющихся пор и образование новых. На последних этапах коррозии грибки проникают в образовавшиеся поры и приводят к дальнейшему разрушению структуры бетона и потере им прочности [3]. Поэтому в качестве модельной среды, имитирующей процессы жизнедеятельности грибов, использовался раствор органических кислот, взятых в определенном соотношении по ранее описанному методу [4]. О характере и интенсивности коррозии судили по изменениям pH-среды, водопоглощения и плотности бетонных образцов [5], [6].

Бетонные образцы изготавливались согласно ГОСТ 27677 "Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний". Коррозионная стойкость исследовалась на образцах-кубах с гранью 3 см, изготовленных из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5 Н с водоцементным отношением В/Ц = 0,3. При исследовании свойств материалов в качестве вяжу-

щего был использован портландцемент нормированного состава без минеральных добавок марки ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО "Осколцемент" (Россия, Белгородской обл., г. Старый Оскол). Условия твердения: температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительная влажность воздуха 50...70 % в соответствии с ГОСТ 27677 "Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний". В качестве модельных сред применялись: дистиллированная вода и раствор органических кислот (1%-ная уксусная кислота (35% общего раствора кислот), 0,1%-ная щавелевая кислота (49%), 1%-ная лимонная кислота (16%).

Одним из основных условий возникновения грибковой коррозии бетона является повышенная влажность [7...9]. При эксплуатации бетонных конструкций в условиях технологий текстильной промышленности наблюдается проникновение капиллярной влаги к конструкциям. Для моделирования описанного процесса в лабораторных условиях была собрана специальная установка (рис. 1), состоящая из двух герметичных стеклянных сосудов (1) и (2), соединенных между собой посредством трубки (3). В сосуде (1) на синтепоновой подкладке (6) размещены бетонные образцы (4). Стеклянный сосуд (2) частично заполнен водой. Через трубку (3) протянут жгут из синтепона (5); 7 – модельный раствор (дистиллированная вода / раствор органических кислот).

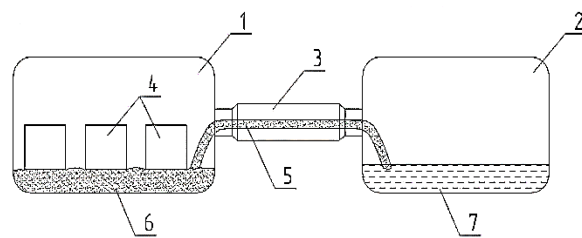


Рис. 1

Предложенная установка позволяет в кратчайшие сроки без применения аллергенных и токсичных компонентов моделировать условия среды и исследовать харак-

тер грибковой коррозии бетонных конструкций, эксплуатирующихся на предприятиях текстильной промышленности.

Образцы выдерживались в лабораторной установке в течение 90 дней. Таким образом имитировалась грибковая коррозия бетона в лабораторных условиях. Полученные экспериментальные данные подвергались обработке методами математической статистики [10], подтверждены сходимость результатов численных и экспериментальных данных, а также их корреляцией с известными закономерностями [11], [12].

В процессе исследования на специальной установке (рис. 1) образцы бетона подвергались воздействию капиллярной влаги через синтепоновую подкладку. Влажность подкладки поддерживалась на постоянном уровне все время проведения эксперимента с помощью специального сосуда. Сосуд наполнялся дистиллированной водой (для контрольной группы) и модельным раствором органических кислот (для опытной группы образцов).

Важным аспектом исследований являлось изучение изменения физико-механических свойств цементного камня, происходящих под воздействием органических кислот. Анализ больших массивов экспериментальных данных с целью получения более точных и релевантных конечных значений проводился с помощью пакета прикладных программ MATLAB [10], [13].

В ходе эксперимента были получены следующие результаты. Водопоглощение образцов бетона, подвергавшихся воздействию модельного раствора, было самым значительным по сравнению с контрольной группой (24 % по массе). Водопоглощение образцов достигалось уже на вторые сутки (рис. 2 – изменение водопоглощения по массе бетонных образцов). Эти же образцы имели самую низкую плотность ($1,46 \text{ г/см}^3$) по сравнению с образцами других групп (рис. 3). Следовательно, образцы бетона этой группы имеют более значительную пористость, по сравнению с другими образцами. Из рис. 1 видно, что водопоглощение образцов, подвергавшихся капиллярному воздействию дистиллированной воды, было менее значительным, чем у группы при

воздействии раствора кислот (21% по массе), но выше, чем у контрольной группы, водопоглощение в которой составило 13% по массе и протекало медленней, достигая устойчивого максимума лишь на четвертые сутки.

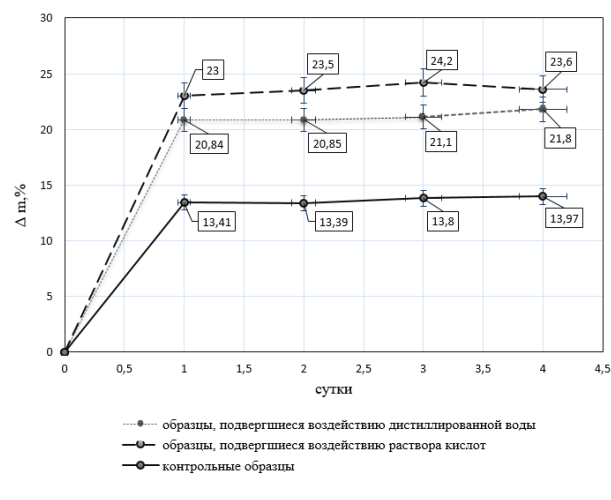


Рис. 2

На рис. 3 показано изменение плотности бетонных образцов при воздействии капиллярной влаги. Бетонные образцы, подвергавшиеся влиянию модельного раствора в лабораторной установке, имели меньшую плотность, чем контрольные образцы, что свидетельствует о начале их разрушения и потере прочности.

Предположительно, процессы, сопровождающие жизнедеятельность грибов, сразу вызывают активное выщелачивание бетона за счет воздействия органических кислот и образование пор в теле бетона. В дальнейшем процесс выщелачивания приводит к расширению пор, снижению плотности и потере прочности бетона [14], [15]. Поэтому имитация грибковой коррозии в эксперименте вызвала самые значительные изменения pH-среды и плотности бетонных образцов. Эти особенности грибковой коррозии бетона подтверждаются изменениями pH водной вытяжки образцов [16] (рис. 4).

Самое высокое значение pH ($\text{pH}=9,9$) получено у образцов, подвергавшихся воздействию модельного раствора кислот, что свидетельствует об активном процессе выщелачивания.

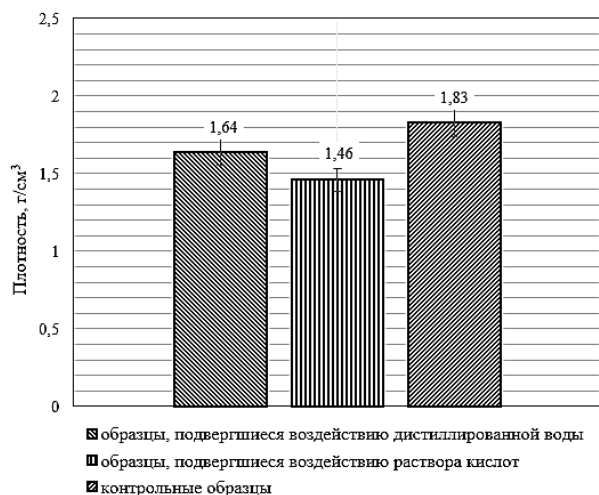


Рис. 3

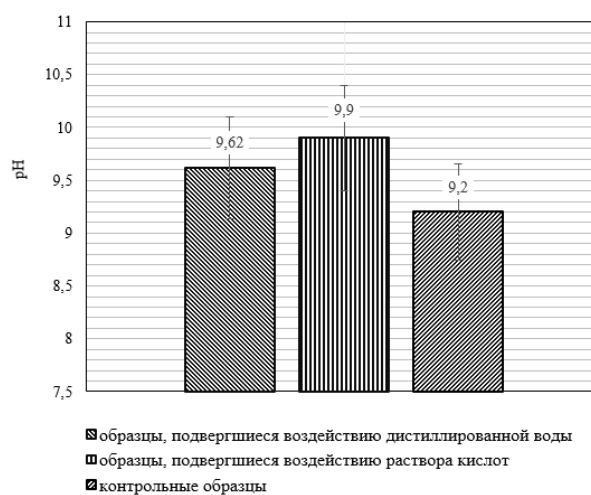


Рис. 4

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что причиной разрушения исследуемых образцов бетона явилась коррозия под воздействием органических кислот [17...19], а также последующее механическое воздействие, выражающееся в увеличении пористости материала и снижении его плотности. Образцы бетона, подвергавшиеся воздействию дистиллированной воды в опытной установке, также подвергались выщелачиванию, но в значительно меньшей степени, чем образцы, подвергавшиеся воздействию агрессивной модельной среды. Следовательно, моделирование грибковой коррозии бетонных образцов вызвало активные процессы выщелачивания и порообразования в теле бетона и, как следствие, снижение его плотности с потерей прочности [17], [18]. С помощью предлагаемой лабораторной установки показано, что разрушение исследуемых образцов бетона явилось следствием кислотной коррозии, которая является главным разрушающим фактором жизнедеятельности грибов.

Дальнейшие исследования механизмов грибковой коррозии с помощью предложенной лабораторной установки позволят изучить кольматирующую способность продуктов кислотной коррозии бетонных образцов [11]. При взаимодействии компонентов цементной матрицы бетона с агрессивной средой, выделяемой грибами, образуется два типа кольматантов. Первый

тип кольматантов состоит из геля кремнекислоты, который образуется в результате взаимодействия силикатной составляющей цементного камня с агрессивной средой. Второй тип кольматантов образуется в результате химической реакции компонентов агрессивной среды с основными частями цементного камня – гидроксидами кальция и магния [17], [20], [21].

В настоящий момент основными мерами по предотвращению биокоррозии бетонов является санитарно-профилактическая обработка поверхности, проводимая с использованием различных химических веществ. Недостатком химической обработки является ускорение деградации бетонных конструкций в целом [14], [22...26].

В свою очередь, исследования кольматантов, образующихся на ранних этапах грибковой коррозии бетона, дадут возможность предложить принципиально новые и наиболее эффективные способы защиты бетонов от коррозии.

ВЫВОДЫ

1. На основе полученных данных установлен механизм грибковой коррозии бетона, состоящий из двух стадий. Первая стадия грибковой коррозии – кислотная, связана с накоплением и выделением органических кислот и их взаимодействием с компонентами бетона с образованием растворимых продуктов реакций. Вторая ста-

дия грибковой коррозии – механическая, связана с увеличением пористости, снижением плотности и прочности бетона.

2. Механизмы грибковой коррозии бетона, подтвержденные в ходе эксперимента, позволяют предположить, что эффективными методами антикоррозионной защиты будут: обработка поверхности материала, предотвращающая проникновение капиллярной влаги в тело бетона, кольматация пор на начальных этапах запуска коррозии и, наконец, получение бетонов высокой плотности с последующим соблюдением условий их эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Алмагамбетова С.Т.* Анализ методов противокоррозионного воздействия на защиту оборудования объектов пищевой отрасли // *Техника и технология пищевых производств.* – 2018. Т. 48, № 2. С. 129-135. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-129-135>
2. *Chai W., Li W. and Ba H.* Experimental study on predicting service life of concrete in the marine environment // *Open Civil Eng. J.* – V. 5, 2011. P. 93...99. DOI: 10.2174/1874149501105010093
3. *Жуков Е.М., Кропотов Ю.И., Лугинин И.А., Полошков С.И., Легаева Л.А.* Коррозия железобетонных конструкций и причины ее возникновения // *Молодой ученый.* – 2016, №7. С. 78...80.
4. *Строганов В.Ф., Куколева В.Ф., Бараева Л.Р.* Метод испытания минеральных строительных материалов на биостойкость в модельных агрессивных средах // *Вестник Казанского государственного архитектурно-строительного университета.* – 2011, №3. С. 153...161.
5. *Боме Н.А., Рябикова В.Л.* Почвоведение. – Тюмень: ТГУ, 2012.
6. ГОСТ 12730.5-2018. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости (с Изменением №1). – М., 2007.
7. *Дергунова А.В., Светлов Д.А., Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф.* Микробиологическая стойкость строительных материалов // *Приволжский научный журнал.* – Н.Новгород: ННГАСУ, 2009, №2(10). С. 108...113.
8. *De Muynck W., De Belie N., and Verstraete W.* Microbial carbonate precipitation in construction materials: a review // *Ecological Engineering.* – 2010, 36(2). P. 118...136.
9. *Mardhiah Ismail, Norhazilan Md Noor, Nordin Yahaya, Akrima Abu Bakar, Muhammad Khairool Fahmy Mohd Ali and Arman Abdullah.* Statistical Investigation on Anaerobic Sulphate-Reducing Bacteria Growth by Turbidity Method // *International Journal of Biological Chemistry.* – 9 (4), 2015. P. 178...187. DOI: 10.3923/ijbc.2015.178.187
10. *Иглин С.П.* Теория вероятностей и математическая статистика на базе MATLAB. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2006.
11. *Федосов С.В., Румянцева В.Е., Красильников И.В., Коновалова В.С., Евсяков А.С.* Математическое моделирование кольматации пор бетона при коррозии // *Инженерно-строительный журнал.* – 2018, № 7(83). С. 198...207.
12. *Fedosov S.V., Rymantseva V.Ye., Konovalova V.S., Krasilnikov I.V.* Physical and Mathematical Modelling of the Mass Transfer Process in Heterogeneous Systems under Corrosion Destruction of Reinforced Concrete Structures // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – 2018. Vol. 456. 012039. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/456/1/012039>
13. *Сурота А.А.* Методы и алгоритмы анализа данных и их моделирование в MATLAB. – СПб.: БХВ-Петербург, 2016.
14. *Zapata-Peñasco I., Salazar-Coria L., Saucedo-Garcí M., Villa-Tanaka L., Hernández-Rodríguez C.* Bisulfite reductase and nitrogenase genes retrieved from biocorrosive bacteria in saline produced waters of offshore oil recovery facilities // *International Biodeterioration & Biodegradation.* – 2013. V.83. P. 17...27. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.07.005>
15. *Чеснокова Т.В., Логинова С.А., Киселев В.А.* Анализ воздействия биологической коррозии // *Современные наукоемкие технологии.* – Иваново, 2018. С. 98...101.
16. *Strokova V.V., Nelubova V.V., Rykunova M.D.* Resistance of cement stone in sanitation solutions // *Magazine of Civil Engineering.* – 2019. 90(6). P. 72...84. DOI: 10.18720/MCE.90.7
17. *Рахимбаев Ш.М.* Кинетика процессов кольматации при химической коррозии цементных систем // *Бетон и железобетон.* – 2012, № 6. С. 16...17.
18. *Рахимбаев Ш.М., Толыпина Н.М.* Термодинамический анализ кислотной коррозии // *Сб. мат. науч.- практич. конф., посвященной 85-летию Баженова Ю.М.* – Белгород: Изд-во БГТУ, 2015. С. 549...552.
19. *Javaherdashti R.* A Brief Review of General Patterns of MIC of Carbon Steel and Biodegradation of Concrete // *IUFS Journal of Biology.* – 2009. 68(2). P. 65...73
20. *Козлов Д.Ю.* Антикоррозионная защита. – Екатеринбург: ООО "ИД "Оригами", 2013.
21. *Al-Salloum Y., Hadi S., Abbas H.* Bio-Induction and Bioremediation of Cementitious Composites Using Microbial Mineral Precipitation—A Review. Construction and Building Materials. – 2017. 154. P. 857...876. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.203>
22. *Al Qabany A., Soga K. and Santamarina C.* Factors affecting efficiency of microbially induced calcite precipitation // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.* – 2011. 138(8). P. 992...1001.
23. *Noshi C.I., Schubert J.J.* A Novel Microbially Induced Self-Healing Cement / Concrete for Underwater Concrete Offshore Structures // *SPE/IADC International Drilling Conference and Exhibition, 5-7 March, The Hague, The Netherlands.* – 2019. <https://doi.org/10.2118/194173-MS>

24. Adnan M., Alshammari E., Patel M., Amir Ashraf S., Khan S., Hadi S. Significance and potential of marine microbial natural bioactive compounds against biofilms/biofouling: necessity for green chemistry. – 2018. PeerJ 6:e5049 <https://doi.org/10.7717/peerj.5049>

25. Erofeev V., Emelyanov D., Tretiakov I., Kalashnikov V., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnov V., Matvievskiy A. Biological Resistance of Cement Composites Filled with Dolomite Powders // Materials Science Forum. – 2016. 871. P. 33...39.

26. Erofeev V., Emelyanov D., Tretiakov I., Kalashnikov V., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnov V., Matvievskiy A. Biological Resistance of Cement Composites Filled with Limestone Powders // Materials Science Forum. – 2016. 871. P. 22...27.

REFERENCES

1. Almagambetova S.T. Analiz metodov protivokorroziionnogo vozdeystviya na zashchitu oborudovaniya ob'ektov pishchevoy otrasli // Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv. – 2018. T. 48, № 2. S. 129-135. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-129-135>

2. Chai W., Li W. and Ba H. Experimental study on predicting service life of concrete in the marine environment // Open Civil Eng. J. – V. 5, 2011. R. 93...99. DOI: 10.2174/1874149501105010093

3. Zhukov E.M., Kropotov Yu.I., Luginin I.A., Poloshkov S.I., Legaeva L.A. Korroziya zhelezobetonnykh konstruksiy i prichiny ee vozniknoveniya // Molodoy uchenyy. – 2016, №7. S. 78...80.

4. Stroganov V.F., Kukoleva V.F., Baraeva L.R. Metod ispytaniya mineral'nykh stroitel'nykh materialov na biostoykost' v model'nykh agressivnykh sredakh // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2011, №3. S. 153...161.

5. Bome N.A., Ryabikova V.L. Pochvovedenie. – Tyumen': TGU, 2012.

6. GOST 12730.5-2018. Beton. Metody opredele-niya vodonepronitsaemosti (s Izmeneniem №1). – M., 2007.

7. Dergunova A.V., Svetlov D.A., Erofeev V.T., Smirnov V.F. Mikrobiologicheskaya stoykost' stroitel'nykh materialov // Privolzhskiy nauchnyy zhurnal. – N.Novgorod: NNGASU, 2009, №2(10). S. 108...113.

8. De Muynck W., De Belie N., and Verstraete W. Microbial carbonate precipitation in construction materials: a review // Ecological Engineering. – 2010, 36(2). R. 118...136.

9. Mardhiah Ismail, Norhazilan Md Noor, Nordin Yahaya, Akrima Abu Bakar, Muhammad Khairool Fahmy Mohd Ali and Arman Abdullah. Statistical Investigation on Anaerobic Sulphate-Reducing Bacteria Growth by Turbidity Method // International Journal of Biological Chemistry. – 9 (4), 2015. P. 178...187. DOI: 10.3923/ijbc.2015.178.187

10. Iglin S.P. Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika na baze MATLAB. – Khar'kov: NTU "KhPI", 2006.

11. Fedosov S.V., Rummyantseva V.E., Krasil'nikov I.V., Konovalova V.S., Evsyakov A.S. Matematicheskoe modelirovanie kol'matatsii por betona pri korrozii // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. – 2018, № 7(83). S. 198...207.

12. Fedosov S.V., Rymantseva V.Ye., Konovalova V.S., Krasilnikov I.V. Physical and Mathematical Modelling of the Mass Transfer Process in Heterogeneous Systems under Corrosion Destruction of Reinforced Concrete Structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. Vol. 456. 012039. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/456/1/012039>

13. Sirota A.A. Metody i algoritmy analiza dannykh i ikh modelirovanie v MATLAB. – SPb.: BKhV-Peterburg, 2016.

14. Zapata-Peñasco I., Salazar-Coria L., Saucedo-Garcí M., Villa-Tanaka L., Hernández-Rodríguez C. Bisulfite reductase and nitrogenase genes retrieved from biocorrosive bacteria in saline produced waters of offshore oil recovery facilities // International Biodeterioration & Biodegradation. – 2013. V.83. R. 17...27. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2012.07.005>

15. Chesnokova T.V., Loginova S.A., Kiselev V.A. Analiz vozdeystviya biologicheskoy korrozii // Sovremennyye naukoemkie tekhnologii. – Ivanovo, 2018. S. 98...101.

16. Strokova V.V., Nelubova V.V., Rykunova M.D. Resistance of cement stone in sanitation solutions // Magazine of Civil Engineering. – 2019. 90(6). P. 72...84. DOI: 10.18720/MCE.90.7

17. Rakhimbaev Sh.M. Kinetika protsessov kol'matatsii pri khimicheskoy korrozii tsementnykh sistem // Beton i zhelezobeton. – 2012, № 6. S. 16...17.

18. Rakhimbaev Sh.M., Tolypina N.M. Termodinamicheskyy analiz kislotnoy korrozii // Sb. mat. nauch.- praktich. konf., posvyashchennoy 85-letiyu Bazhenova Yu.M. – Belgorod: Izd-vo BGTU, 2015. S. 549...552.

19. Javaherdashti R. A Brief Review of General Patterns of MIC of Carbon Steel and Biodegradation of Concrete // IUFS Journal of Biology. – 2009. 68(2). R. 65...73

20. Kozlov D.Yu. Antikorrozionnaya zashchita. – Ekaterinburg: OOO "ID "Origami", 2013.

21. Al-Salloum Y., Hadi S., Abbas H. Bio-Induction and Bioremediation of Cementitious Composites Using Microbial Mineral Precipitation—A Review. Construction and Building Materials. – 2017. 154. P. 857...876. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.203>

22. Al Qabany A., Soga K. and Santamarina C. Factors affecting efficiency of microbially induced calcite precipitation // Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. – 2011. 138(8). P. 992...1001.

23. Noshi C.I., Schubert J.J. A Novel Microbially Induced Self-Healing Cement / Concrete for Underwater Concrete Offshore Structures // SPE/IADC International Drilling Conference and Exhibition, 5-7 March, The Hague, The Netherlands. – 2019. <https://doi.org/10.2118/194173-MS>

24. Adnan M., Alshammari E., Patel M., Amir Ashraf S., Khan S., Hadi S. Significance and potential of

marine microbial natural bioactive compounds against biofilms/biofouling: necessity for green chemistry. – 2018. PeerJ 6:e5049 <https://doi.org/10.7717/peerj.5049>

25. Erofeev V., Emelyanov D., Tretiakov I., Kalashnikov V., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnov V., Matvievskiy A. Biological Resistance of Cement Composites Filled with Dolomite Powders // Materials Science Forum. – 2016. 871. P. 33...39.

26. Erofeev V., Emelyanov D., Tretiakov I., Kalashnikov V., Balathanova E., Erofeeva I., Smirnov V., Matvievskiy A. Biological Resistance of Cement Composites Filled with Limestone Powders // Materials Science Forum. – 2016. 871. P. 22...27.

Рекомендована кафедрой естественных наук и техносферной безопасности. Поступила 09.01.20.
