

DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-90-98

¹Строкин К.Б., ¹Новиков Д.Г., ^{2,*}Коновалова В.С., ²Касьяненко Н.С.¹Сахалинский государственный университет,²Ивановский государственный политехнический университет,

*E-mail: kotprotiv@yandex.ru

ВЛИЯНИЕ МИКРООРГАНИЗМОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА

Аннотация. В статье рассмотрено изменение физико-механических характеристик цементного камня из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н в процессе бактериальной и грибковой коррозии в течение 6 месяцев на воздухе и при увлажнении. Установлено, что плотность бетона при микробиологической коррозии увеличивается в условиях постоянного увлажнения образца. Однако, после высушивания зафиксировано снижение плотности бетона на 10 % под воздействием бактерий *Bacillus subtilis* и на 14 % под воздействием черной плесени. Экспериментальным путем была установлена степень воздействия микроорганизмов на величину водопоглощения цементного камня. Бактерии повышают водопоглощение на 7 %, черная плесень – на 10 %. В течение 6 месяцев при бактериальной коррозии в комнатных условиях водопоглощение увеличилось с 21 до 24,5 %, при грибковой – с 24 до 29 %. При воздействии капиллярной влаги в течение полугода водопоглощение бетона повысилось до 30,4 % под воздействием бактерий *Bacillus subtilis* и до 37,3 % под воздействием грибов *Aspergillus niger* var *Tieghet*. Увеличение водопоглощения бетона связано с повышением пористости вследствие биодеструкции. При комнатных условиях воздействия бактерий пористость увеличивается с 14,1 до 15,3 %, черной плесени – с 14,3 до 17,9 %. При постоянном увлажнении пористость цементного бетона повышается до 19,1 и 25,6 % при бактериальной и грибковой коррозии, соответственно. Потеря прочности цементного камня на сжатие составила 13 % под воздействием бактерий и 15 % под воздействием грибов на воздухе в течение 6 месяцев. При микробиологической коррозии бетона в условиях постоянного смачивания за полгода прочность снижается примерно на 35 %.

Ключевые слова: микробиологическая коррозия, коррозия бетона, прочность бетона, пористость бетона, плотность бетона, водопоглощение бетона.

Введение. Большинство процессов повреждения бетона состоит из двух этапов. Первоначально агрессивные жидкости проникают и переносятся через капиллярно-пористую структуру бетона (например, сульфаты, проникающие в реактивный алюминат; бактерии, проникающие в гипс, являющийся источником серы) до начала реальных химических или биохимических реакций разрушения. Эти жидкости могут быть водой, растворенными химическими веществами, такими как сульфаты, хлориды, щелочи или кислоты (в том числе биогенные кислоты). Эти агрессивные жидкости могут переноситься внутрь бетона через поры с помощью различных одиночных или комбинированных механизмов, среди которых: капиллярное всасывание за счет капиллярного действия внутри капилляров цементного камня; ионная диффузия (из-за градиента концентрации); диффузия пара (из-за градиента влажности); проницаемость за счет градиентов давления; миграция за счет градиентов электрического потенциала [1–4].

Любая цементная поверхность изменяется со временем и относительной влажностью из-за карбонизации: присутствие CO_2 в атмосфере вызывает реакцию портландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ цементной матрицы с двуокисью углерода воздуха при

наличии влаги и приводит к образованию кальция CaCO_3 [5]. Это явление снижает pH бетонной поверхности ($\text{pH} \approx 9,5$), таким образом многие микроорганизмы могут найти более благоприятную среду к их развитию [6–9].

Хотя пористость, геометрия, распределение и шероховатость поверхности бетона – это факторы, которые трудно контролировать, они имеют большое влияние на его долговечность. Свежий бетон имеет низкую проницаемость, и лишь небольшая часть его пор достаточно большие, чтобы в них могли проникнуть микроорганизмы [10, 11]. Однако со временем небольшие взаимосвязанные полости позволяют растворенным соединениям распространяться внутрь. Химические реакции в бетоне протекают быстро, пористость бетона увеличивается по мере растворения гидроксида и карбоната кальция кислотой в поровой жидкости [12, 13]. В этой пористой структуре процесс коррозии еще больше ускоряется за счет проникновения в бетон микроорганизмов.

Влияние химического состава бетона на его биоразрушение зависит от его биорецептивности и реакционной способности его компонентов с микробными метаболитами в покрывающей его

био пленке. Учет рисков биоповреждения бетонов можно произвести, выбрав состав цемента, ограничивающий долю реагирующих соединений с кислотами биологического происхождения. Портландит – первый бетонный компонент, который вступает в реакцию с этими кислотами [14, 15].

Агрессивность микромицетов в отношении цементных бетонов выше, чем у бактерий. В процессе жизнедеятельности грибковые микроорганизмы выделяют органические кислоты, активно взаимодействующие с ионами кальция в поровой жидкости бетона, бактерии способствуют развитию углекислотной коррозии бетона. При грибковой коррозии бетона интенсивность потока массы вещества выше, чем при бактериальной коррозии [16], деструктивные процессы протекают быстрее.

Оценка параметров поверхности материалов, измерение характеристик проникновения жидкости в пористый и многофазный материал представляют интересную область исследований для лучшего понимания изменений характеристик, связанных со способностью строительных материалов к биокolonизации. В связи с этим была поставлена цель исследовать влияние бактериальной и грибковой коррозии на физико-механические характеристики цементного камня. Для этого проведено определение плотности, водопоглощения, пористости и прочности на сжатие цементного камня при различных условиях протекания микробиологической коррозии.

Материалы и методы. Исследования проводились на образцах из портландцемента ЦЕМ I 42,5Н с водоцементным соотношением В/Ц = 0,3. Для заражения бетона использовались следующие штаммы микроорганизмов: бактерии *Bacillus subtilis*, микромицеты *Aspergillus niger* van Tieghem. Поверхность цементного камня равномерно опрыскивалась водной суспензией спор микроорганизмов, затем образцы подсушивались в боксе при температуре 25 °С и относительной влажности воздуха 70–90 % до высыхания капель. Чашки Петри с зараженными микроорганизмами образцами помещались в эксикатор, на дно которого налита дистиллированная вода, и выдерживались при температуре 29±2 °С и относительной влажности воздуха более 90 % в течение 28 суток. Каждые 7 суток крышки эксикаторов приоткрывались на 3 минуты для доступа воздуха.

После заражения микроорганизмами одна часть цементных образцов находилась в условиях воздействия капиллярной влаги. Для этого образцы помещались в емкость на синтепоновую подкладку, часть которой для поддержания влаж-

ности на постоянном уровне была опущена в сосуд с водой. Другая часть образцов оставалась на воздухе при комнатных условиях. Срок испытаний составлял 6 месяцев.

Методы определения плотности, водопоглощения и пористости соответствуют ГОСТ 12730.0-2020 «Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости», а также европейским [17] и российским [18, 19] методам испытания бетона.

Плотность бетона определяется в соответствии с ГОСТ 12730.1-2020 «Бетоны. Методы определения плотности». Плотность бетона ρ_w вычисляется по формуле:

$$\rho_w = \frac{m}{V} \cdot 1000, \quad (1)$$

где m – масса образца, г; V – объем образца, см³.

Объем образцов вычисляется по их геометрическим размерам. Размеры образцов определяются линейкой с погрешностью не более 1 мм. Масса образцов определяется взвешиванием с погрешностью до 0,1 г.

Истинная плотность бетона определяется в соответствии с ГОСТ 12730.1-2020 «Бетоны. Методы определения плотности» путем измерения массы единицы объема измельченного и высушенного образца. Для определения истинной плотности бетона берутся две навески по 10 г. Истинная плотность бетона ρ вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{m \cdot \rho_B}{m + m_1 - m_2}, \quad (2)$$

где m – масса навески, кг; ρ_B – плотность воды, кг/м³; m_1 – масса пикнометра с дистиллированной водой, кг; m_2 – масса пикнометра с навеской и дистиллированной водой, кг.

Водопоглощение бетона определяется в соответствии с ГОСТ 12730.3-2020 «Бетоны. Методы определения водопоглощения». Водопоглощение определяется испытанием серии образцов с размерами 10×10×10 см. Водопоглощение бетона отдельного образца W_M по массе в процентах с погрешностью до 0,1 % рассчитывается по формуле:

$$W_M = \frac{m_c - m_B}{m_c} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где m_c – масса высушенного образца, г; m_B – масса водонасыщенного образца, г.

Пористость бетона определяется в соответствии с ГОСТ 12730.4-2020 «Бетоны. Методы определения показателей пористости». Полный объем пор бетона P_n вычисляется в процентах с погрешностью до 0,1 % по формуле:

$$P_{II} = \frac{\rho - \rho_w}{\rho} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где: ρ – истинная плотность бетона, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_w – плотность высушенного бетона, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Прочность на сжатие (R_c) определяется при испытании образцов статической нагрузкой по методике, установленной ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Нагружение образцов проводилось непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до их разрушения. При этом время нагружения исследуемого образца до его разрушения было не менее 130 с. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принималось за разрушающую нагрузку. Прочность бетона на сжатие для каждого образца вычисляется по формуле:

$$R_c = \frac{F}{A}, \quad (5)$$

где F – разрушающая нагрузка, Н; A – площадь рабочего сечения бетонного образца, мм^2 .

Основная часть. Плотность образцов измерялась в состоянии естественной влажности, то есть сразу после испытаний (рис. 1). Плотность незараженных микроорганизмами цементных образцов увеличивается при увлажнении вследствие заполнения поровой структуры бетона влагой [20, 21]. При микробиологической коррозии на начальном этапе плотность бетона увеличивается вследствие образования биопленки, накопления в порах продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и поглощения влаги [22].

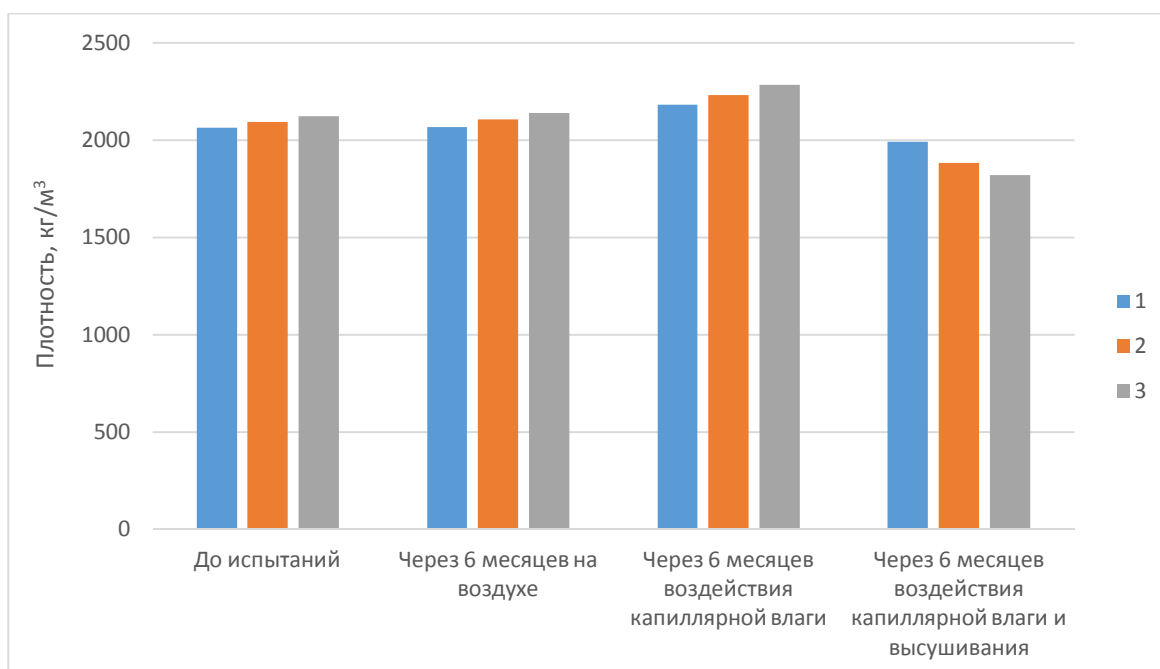


Рис. 1. Изменение плотности образцов:

1 – не зараженный; 2 – зараженный бактериями *Bacillus subtilis*;

3 – зараженный грибами *Aspergillus niger* van Tieghem

Дополнительно определялась плотность бетона, подвергнувшегося воздействию капиллярной влаги, после высушивания. Плотность незараженных бактериями и грибами образцов уменьшилась в связи с выщелачивающим действием воды. Снижение плотности цементного камня в этом случае объясняется деструкцией под воздействием микроорганизмов и продуктов их жизнедеятельности.

На рис. 2 приведены результаты исследования степени воздействия микроорганизмов на величину водопоглощения цементного камня. Очевидно, что значение водопоглощения цементного камня при грибковой и бактериальной коррозии

выше, чем у незараженных образцов. Водопоглощение незараженных образцов, выдержанных на воздухе в течение 6 месяцев, повышается незначительно, на 0,5 %. При комнатных условиях у образцов при бактериальной коррозии водопоглощение увеличилось на 17 %, при грибковой – на 21 %. Изменение водопоглощения незараженных микроорганизмами образцов под воздействием влаги обусловлено выщелачиванием цементного камня [12], при котором происходит изменение его структуры. Под воздействием влаги микроорганизмы размножаются быстрее. Водопоглощение цементного камня, зараженного бактериями *Bacillus subtilis*, увеличилось на 9 % через 6 месяцев воздействия капиллярной влаги. В

этих же условиях водопоглощение образцов цементного камня, зараженного грибами

Aspergillus niger van Tieghem, увеличилось на 13 %.

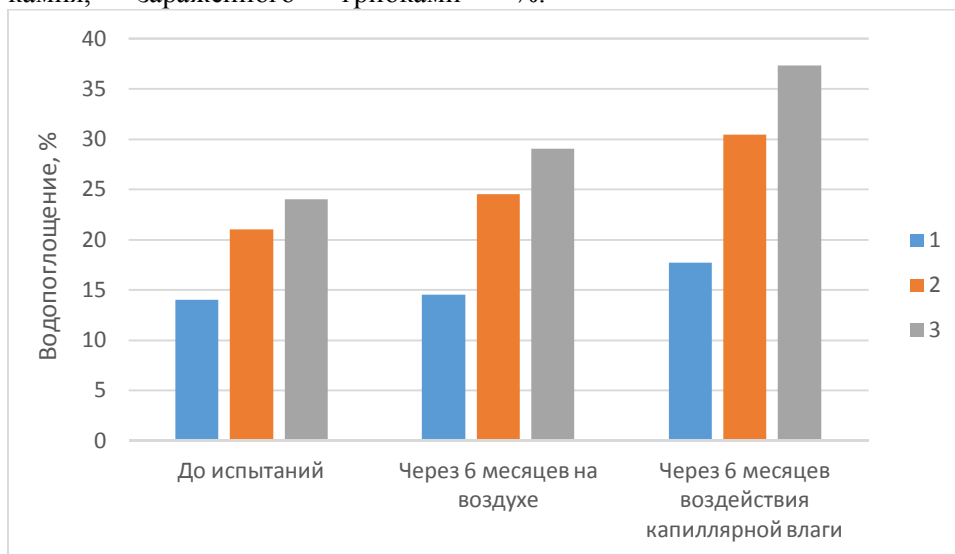


Рис. 2. Изменение водопоглощения образцов:
1 – не зараженный; 2 – зараженный бактериями *Bacillus subtilis*;
3 – зараженный грибами *Aspergillus niger* van Tieghem

Изменение водопоглощения связано не только с жизнедеятельностью микроорганизмов, но и с изменением пористости цементного камня в процессе микробиологической коррозии (рис. 3). Пористость зараженных и незараженных образцов до испытаний практически не отличается. После выдержки на воздухе при комнатных условиях в течение полугода пористость цементного камня увеличивается с 14 % до 15,3 и 17,9 % при бактериальной и грибковой коррозии, соответственно. В этом случае

влага из пор затрачивается на поддержание жизни в биопленке на поверхности цементного камня. При увлажнении образцов микроорганизмы распространяются вглубь бетона и изменяют его поровую структуру. Пористость цементного камня превышает 19 % через 6 месяцев воздействия бактерий, а после воздействия черной плесени составляет 25,5 %. Очевидно, что грибковые микроорганизмы сильнее влияют на поровую структуру цементного камня.

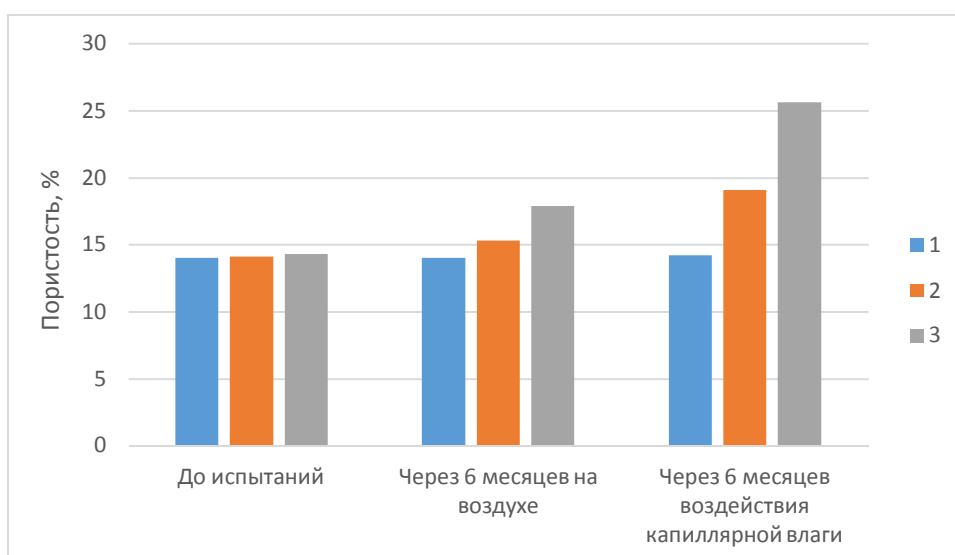


Рис. 3. Изменение пористости образцов:
1 – не зараженный; 2 – зараженный бактериями *Bacillus subtilis*;
3 – зараженный грибами *Aspergillus niger* van Tieghem

Из рис. 1 следует, что несмотря на увеличение пористости зараженных образцов при увлажнении их плотность возрастает. Это явление может быть связано со вскрытием закрытых пор в

структуре цементного камня, вследствие чего он поглощает больше влаги, происходит накопление продуктов жизнедеятельности микроорганизмов в порах, увеличивается масса образца.

В таблице 1 представлены результаты испытаний на прочность на сжатие образцов цементного камня, неподверженных и подверженных действию микроорганизмов. Незначительное повышение прочности на сжатие незараженного микроорганизмами цементного камня на воздухе обусловлено продолжающимися процессами гидратации и изменениями структурно-фазового состава [5]. Снижение прочности цементного камня под воздействием влаги связано с ослаблением и разрушением межкристаллических связей О-Са-О за счет вымывания кальция из его структуры [23]. Процесс биоповреждения цементного

каменя связан с изменением прочностных характеристик. После заражения поверхности цементного бетона бактериями *Bacillus subtilis* прочность на сжатие снижается на 9 %, грибами *Aspergillus niger van Tieghem* – на 12,5 %. С повышением влагосодержания процессы биодеструкции бетонов протекают быстрее. За 6 месяцев прочность на сжатие образца, зараженного бактериями, уменьшилась на 13 % на воздухе и на 32 % под воздействием капиллярной влаги. Для образца, зараженного грибами, снижение прочности произошло на 15 и 37 %, соответственно.

Таблица 1

Изменение прочностных характеристик бетонных образцов после воздействия микроорганизмов

№ п/п	Тип образца	Предел прочности при сжатии, МПа		
		До испытаний	Через 6 месяцев на воздухе	Через 6 месяцев воздействия капиллярной влаги
1.	Не зараженный	35,78	36,17	33,74
2.	Зараженный бактериями <i>Bacillus subtilis</i>	32,44	28,25	21,89
3.	Зараженный грибами <i>Aspergillus niger van Tieghem</i>	31,32	26,51	19,72

Микроорганизмы способствуют ускорению выщелачивания бетона [8, 16, 24] и ухудшению его физико-механических характеристик: повышению пористости, снижению плотности и потере прочности.

Выводы

1. На начальном этапе действия микроорганизмов происходит увеличение плотности бетона на 1,5–3 % и за полгода оно достигает 6,5–7,5 %. Однако плотность высушенного бетона ниже первоначальных значений на 10 % при бактериальной коррозии, на 14 % при грибковой коррозии.

2. Водопоглощение цементного камня на воздухе под действием бактерий *Bacillus subtilis* увеличилось на 17 %, под действием грибов *Aspergillus niger van Tieghem* – на 21 %. При микробиологической коррозии в условиях постоянного увлажнения течение 6 месяцев водопоглощение бетона увеличивается на 45 % при бактериальной коррозии, на 55 % при грибковой коррозии.

3. При комнатных условиях воздействия бактерий пористость бетона увеличивается на 8,5 %, черной плесени – на 25 %. При биодеструкции в течение полугодия повышается пористость цементного камня на 35,5 % при бактериальной коррозии, на 79 % при грибковой коррозии.

4. Прочностные характеристики бетона значительно ухудшаются после заражения поверхности микроорганизмами. За 6 месяцев потеря прочности цементного камня при воздействии бактерий *Bacillus subtilis* составила 32 %, при воздействии грибов *Aspergillus niger van Tieghem* – 37 %.

5. Из экспериментальных данных следует, что грибковые микроорганизмы сильнее ухудшают физико-механические характеристики цементного бетона по сравнению с бактериями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романенко И.И., Пинт Э.М., Петровнина И.Н., Еличев К.А., Романенко М.И. Факторы, влияющие на капиллярное водонасыщение бетонных образцов // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 10 (часть 2). С. 343–348.
2. Лыков А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1954. 298 с.
3. Shi C.J., Deng D.H., Xie Y.J. Pore Structure and Chloride Ion Transport Mechanisms in Concrete // *Key Engineering Materials*. 2006. Vols. 302–303. Pp. 528–535. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.528>
4. Yu Z., Ni C., Mingliang T., Shen X. Relationship between water permeability and pore structure of Portland cement paste blended with fly ash //

- Construction and Building Materials. 2018. Vol. 175. Pp. 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.147>
5. Баженов Ю.М. Технология бетона. М.: Изд-во АСВ, 2011. 524 с.
6. Olson E.R. Influence of pH on bacterial gene expression // *Molecular Microbiology*. 1993. Vol. 8. Issue 1. Pp. 5–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.1993.tb01198.x>
7. Уряшева Н.Н. Взаимодействие микроорганизмов с каменными строительными материалами // *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2017. Т. 17. № 3. С. 65–71. <https://doi.org/10.14529/build170310>
8. Ерофеев В.Т., Аль Дулайми С.Д.С., Федорцов А.П., Богатов А.Д., Федорцов В.А. Биологическая коррозия бетонов // *Строительные материалы*. 2020. № 11. С. 13–23. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-13-23>
9. Wei S., Jiang Z., Liu H., Zhou D., Sanchez-Silva M. Microbially induced deterioration of concrete – a review // *Brazilian Journal of Microbiology*. 2013. Vol. 44. No. 4. Pp. 1001–1007. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014005000006>
10. Diercks M., Sand W., Bock E. Microbial corrosion of concrete // *Experientia*. 1991. Vol. 47. Pp. 514–516. <https://doi.org/10.1007/BF01949869>
11. Чеснокова Т.В., Румянцева В.Е., Логинова С.А. Изучение грибковой коррозии бетона с помощью модельной среды // *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2019. № 3 (59). С. 85–89.
12. Москвин В.М. Коррозия бетона. М.: Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1952. 344 с.
13. Marangu J.M., Thiong'o J.K., Wachira J.M. Review of Carbonation Resistance in Hydrated Cement Based Materials // *Journal of Chemistry*. 2019. Vol. 2019. Article ID 8489671. <https://doi.org/10.1155/2019/8489671>
14. Makhloufi Z., Kadri E.H., Bouhicha M., Benaissa A. Resistance of limestone mortars with quaternary binders to sulfuric acid solution // *Construction and Building Materials*. 2012. Vol. 26. Issue 1. Pp. 497–504. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.050>
15. Рахимбаев Ш.М., Тольпина Н.М. Обоснование выбора типа вяжущего для агрессивных сред органического происхождения на основе теории гетерогенных физико-химических процессов // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2016. Т. 1. № 9. С. 159–163.
16. Строкин К.Б., Новиков Д.Г., Коновалова В.С., Логинова С.А., Нармания Б.Е. Определение ресурса безопасной эксплуатации конструкций из железобетона в условиях микробиологической коррозии // *Современные проблемы гражданской защиты*. 2020. № 4. С. 62–69.
17. Болотских О.Н. Европейские методы физико-механических испытаний бетона. Харьков: ТОРНАДО, 2010. 144 с.
18. Попов К.Н., Каддо М.Б., Кульков А.В. Оценка качества строительных материалов. М.: Высшая школа, 2004. 288 с.
19. Попов К.Н., Шмурнов И.К. Физико-механические испытания строительных материалов. М.: Высшая школа, 1989. 238 с.
20. Kovler K., Roussel N. Properties of fresh and hardened concrete // *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41. Issue 7. Pp. 775–792. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.009>
21. Zhang M., Yang L.-M., Guo J.-J., Liu W.-L., Chen H.-L. Mechanical properties and service life prediction of modified concrete attacked by sulfate corrosion // *Advances in Civil Engineering*. 2018. Vol. 2018. Pp. 1–7. <https://doi.org/10.1155/2018/8907363>
22. Munyai O.M., Thiong'o J.K., Muthengia J.W., Mutitu D.K., Mwirichia R., Muriithi G., Marangu J.M. Study on the effect of Thiobacillus intermedius bacteria on the physico-mechanical properties of mortars of ordinary portland cement // *Heliyon*. 2020. Vol. 6. Issue 1. E03232. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03232>
23. Неделя Н.Н. Влияние влажности бетона на его прочность // *Бетон и железобетон*. 1983. № 3. С. 38–39.
24. Strokin K., Novikov D., Konovalova V. Forecasting the durability of reinforced concrete under conditions of microbiological corrosion // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 274. P. 04003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127404003>

Информация об авторах

Строкин Константин Борисович, доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры строительства, директор Технического нефтегазового института. E-mail: strokin07@rambler.ru. Сахалинский государственный университет. Россия, 693000, Южно-Сахалинск, проспект Коммунистический, д. 33.

Новиков Денис Геннадьевич, сотрудник научно-исследовательской лаборатории. E-mail: denis.g.novikov@gmail.com. Сахалинский государственный университет. Россия, 693000, Южно-Сахалинск, проспект Коммунистический, д. 33.

Коновалова Виктория Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности. E-mail: kotprotiv@yandex.ru. Ивановский государственный политехнический университет. Россия, 153000, Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21.

Касьяненко Наталья Сергеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и техносферной безопасности. E-mail: kasiyanenko@gmail.com. Ивановский государственный политехнический университет. Россия, 153000, Иваново, Шереметевский пр-т, д. 21.

Поступила 13.07.2021 г.

© Строкин К.Б., Новиков Д.Г., Коновалова В.С., Касьяненко Н.С., 2021

¹*Strokin K.B.*, ¹*Novikov D.G.*, ^{2,*}*Konovalova V.S.*, ²*Kasiyanenko N.S.*

¹*Sakhalin State University,*

²*Ivanovo State Polytechnic University*

**E-mail: kotprotiv@yandex.ru*

THE INFLUENCE OF MICROORGANISMS ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE

Abstract. *The article considers the change in the physical and mechanical characteristics of cement stone made of the CEM I 42,5 N Portland cement in the process of bacterial and fungal corrosion for 6 months in the air and moisture conditions. It is established that the density of concrete during microbiological corrosion increases under constant moistening of the sample. However, after drying, a decrease in the density of concrete is recorded by 10 % under the influence of Bacillus subtilis bacteria and by 14 % under the influence of black mold. The degree of influence of microorganisms on the amount of water absorption of cement stone is established experimentally. Bacteria increases water absorption by 7 %, black mold increases water absorption by 10 %. Within 6 months, water absorption increased from 21 to 24,5 % for bacterial corrosion in indoor conditions, and from 24 to 29 % for fungal corrosion. When exposed to capillary moisture for 6 months, the water absorption of concrete increased to 30,4 % under the influence of Bacillus subtilis bacteria and to 37,3% under the influence of Aspergillus niger van Tieghem fungi. An increase in the water absorption of concrete is associated with an increase in porosity due to biodegradation. Under room conditions of exposure to bacteria, the porosity increases from 14,1 to 15,3 %, and from 14,3 to 17,9 % after exposure to black mold. With constant moistening, the porosity of cement concrete increases to 19,1 and 25,6 % with bacterial and fungal corrosion, respectively. The loss of compressive strength of cement stone is 13 % under the influence of bacteria and 15 % under the influence of fungi in the air for 6 months. In case of microbiological corrosion of concrete under conditions of constant wetting, the strength decreases by about 35 % in 6 months.*

Keywords: *microbiological corrosion, concrete corrosion, concrete strength, concrete porosity, concrete density, water absorption of concrete.*

REFERENCES

1. Romanenko I.I., Pint E.M., Petrovnina I.N., Elichev K.A., Romanenko M.I. Factors affecting on capillary water saturation of concrete samples [Faktoiry, vliyayushchie na kapillyarnoe vodonasyschenie betonnyh obrazcov]. Fundamental Research. 2016. No. 10 (part 2). Pp. 343–348. (rus)
2. Lykov A.V. Transfer phenomena in capillary-porous bodies [Yavleniya perenosa v kapillyarno-poristykh telah]. Moscow: State Publishing House of Technical and Theoretical Literature, 1954. 298 p. (rus)
3. Shi C.J., Deng D.H., Xie Y.J. Pore Structure and Chloride Ion Transport Mechanisms in Concrete. Key Engineering Materials. 2006. Vol. 302–303. Pp. 528–535. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.302-303.528>
4. Yu Z., Ni C., Mingliang T., Shen X. Relationship between water permeability and pore structure of Portland cement paste blended with fly ash. Construction and Building Materials. 2018. Vol. 175. Pp. 458–466. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.147>
5. Bazhenov Yu.M. Technology of concrete [Tekhnologiya betona]. M.: Publishing house «ASV», 2011. 524 p. (rus)
6. Olson E.R. Influence of pH on bacterial gene expression. Molecular Microbiology. 1993. Vol. 8. Issue 1. Pp. 5–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.1993.tb01198.x>
7. Uryasheva N.N. Interaction between Microorganisms and Stone Building Materials [Vzaimodejstvie mikroorganizmov s kamennymi stroitel'nymi materialami]. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and

Architecture. 2017. Vol. 17. No. 3. Pp. 65–71. <https://doi.org/10.14529/build170310> (rus)

8. Erofeev V.T., Al-Dulaimi Salman Davud Salman, Fedortsov A.P., Bogatov A.D., Fedortsov V.A. Biological corrosion of concrete [Biologicheskaya korrozziya betonov]. Construction Materials. 2020. No. 11. Pp. 13–23. <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-786-11-13-23> (rus)

9. Wei S., Jiang Z., Liu H., Zhou D., Sanchez-Silva M. Microbially induced deterioration of concrete – a review. Brazilian Journal of Microbiology. 2013. Vol. 44. No. 4. Pp. 1001–1007. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014005000006>

10. Diercks M., Sand W., Bock E. Microbial corrosion of concrete. Experientia. 1991. Vol. 47. Pp. 514–516. <https://doi.org/10.1007/BF01949869>

11. Chesnokova T.V., Rumyantseva V.E., Loginova S.A. Study of fungary corrosion of concrete by means of model environment [Izuchenie gribovoj korrozii betona s pomoshch'yu model'noj sredy]. Modern High Technologies. Regional Application. 2019. No. 3 (59). Pp. 85–89. (rus)

12. Moskvina V.M. Corrosion of concrete [Korrozziya betona]. Moscow: State Publishing house of literature on construction and architecture, 1952. 344 p. (rus)

13. Marangu J.M., Thiong'o J.K., Wachira J.M. Review of Carbonation Resistance in Hydrated Cement Based Materials. Journal of Chemistry. 2019. Vol. 2019. Article ID 8489671. <https://doi.org/10.1155/2019/8489671>

14. Makhloufi Z., Kadri E.H., Bouhicha M., Benaissa A. Resistance of limestone mortars with quaternary binders to sulfuric acid solution. Construction and Building Materials. 2012. Vol. 26. Issue 1. Pp. 497–504. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.050>

15. Rahimbaev S., Tolykina N. Reasons for the choice of type of the organic origin knitting for hostile environment on the basis of the theory of heterogeneous physical and chemical processes [Obosnovanie vybora tipa vyazhushchego dlya agressivnykh sred organicheskogo proiskhozhdeniya na osnove teorii geterogennykh fiziko-himicheskikh processov]. Bulletin of Belgorod State Technological University

named after. V.G. Shukhov. 2016. No. 9. Pp. 159–163. (rus)

16. Strokin K.B., Novikov D.G., Konovalova V.S., Loginova S.A., Narmaniya B.E. Determination of safe service life of structures made of reinforced concrete at microbially induced corrosion [Opredelenie resursa bezopasnoy ekspluatatsii konstruksiy iz zhelezobetona v usloviyakh mikrobiologicheskoy korrozii]. Modern problems of civil protection. 2020. No. 4 (37). Pp. 62–69. (rus)

17. Bolotskikh O.N. European methods of physical and mechanical testing of concrete [Evropejskie metody fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy betona]. Kharkov: TORNADO, 2010. 144 p. (rus)

18. Popov K.N., Kaddo M.B., Kulkov A.V. Assessment of the quality of building materials [Ocenka kachestva stroitel'nykh materialov]. Moscow: Higher School, 2004. 288 p. (rus)

19. Popov K. N., Shmurnov I. K. Physical and mechanical tests of building materials [Fiziko-mekhanicheskie ispytaniya stroitel'nykh materialov]. Moscow: Higher School, 1989. 238 p. (rus)

20. Kovler K., Roussel N. Properties of fresh and hardened concrete. Cement and Concrete Research. 2011. Vol. 41. Issue 7. Pp. 775–792. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.009>

21. Zhang M., Yang L.-M., Guo J.-J., Liu W.-L., Chen H.-L. Mechanical properties and service life prediction of modified concrete attacked by sulfate corrosion. Advances in Civil Engineering. 2018. Vol. 2018. Pp. 1–7. <https://doi.org/10.1155/2018/8907363>

22. Muniyao O.M., Thiong'o J.K., Muthengia J.W., Mutitu D.K., Mwirichia R., Muriithi G., Marangu J.M. Study on the effect of Thiobacillus intermedius bacteria on the physico-mechanical properties of mortars of ordinary portland cement. Heliyon. 2020. Vol. 6. Issue 1. E03232. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03232>

23. Nedelya N.N. The effect of concrete moisture on its strength [Vliyanie vlazhnosti betona na ego prochnost']. Concrete and reinforced concrete. 1983. No. 3. Pp. 38–39. (rus)

24. Strokin K., Novikov D., Konovalova V. Forecasting the durability of reinforced concrete under conditions of microbiological corrosion. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 274. P. 04003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127404003>

Information about the authors

Strokin, Konstantin B. DSc, assistant professor, professor of the department of construction, director of the technical oil and gas institute. E-mail: strokin07@rambler.ru. Sakhalin State University. Russia, 693000, Yuzhno-Sakhalinsk, Kommunisticheskyy ave., 33.

Novikov, Denis G. Research laboratory employee. E-mail: denis.g.novikov@gmail.com. Sakhalin State University. Russia, 693000, Yuzhno-Sakhalinsk, Kommunisticheskyy ave., 33.

Konovalova, Viktoriya S. PhD, assistant professor of the department of natural sciences and technosphere safety. E-mail: kotprotiv@yandex.ru. Ivanovo State Polytechnic University. Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevskiy ave., 21.

Kasiyanenko, Nataliya S. PhD, assistant professor of the department of natural sciences and technosphere safety. E-mail: kasiyanenko@gmail.com. Ivanovo State Polytechnic University. Russia, 153000, Ivanovo, Sheremetevskiy ave., 21.

Received 13.07.2021

Для цитирования:

Строкин К.Б., Новиков Д.Г., Коновалова В.С., Касьяненко Н.С. Влияние микроорганизмов на физико-механические свойства бетона // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2021. № 10. С. 90–98. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-90-98

For citation:

Strokin K.B., Novikov D.G., Konovalova V.S., Kasiyanenko N.S. The influence of microorganisms on the physical and mechanical properties of concrete. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2021. No. 10. Pp. 90–98. DOI: 10.34031/2071-7318-2021-6-10-90-98