

УДК 691.535, 620.22

М. А. Гончарова^а, Т. К. Акчурин^б, Е. С. Дергунова^а

^а Липецкий государственный технический университет

^б Волгоградский государственный технический университет

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ БИОДОБАВОК НА ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ И ДИФфуЗИОННУЮ ПРОНИЦАЕМОСТЬ БЕТОНОВ ДЛЯ ХЛОРИДОВ

Показано, что использование изолированных штаммов бактерий *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Lactobacillus acidophilus* и *Klebsiella pneumoniae* в качестве биодобавок в бетоне способствует значительному увеличению его водонепроницаемости и устойчивости к воздействию хлоридов. Это особенно важно в условиях высокой влажности или наличия соленой воды, как, например, на побережье или в районах с высоким уровнем грунтовых вод. Бактерии выращивали при температуре 35 ± 2 °С в аэрированном ферментере с применением специальной питательной среды. Для сохранения активности применяемых микроорганизмов проводили их иммобилизацию методом включения в гель с применением альгината натрия. Сформированы цементные системы следующего состава: цемент — песок — щебень — биодобавка — вода. Оценены цементные системы по критериям водонепроницаемости, диффузионной проницаемости для хлоридов, а также прочности на сжатие. Экспериментально выявлено, что модифицированные бетоны достигают по водонепроницаемости марки W10...W12. Рассчитаны коэффициенты проницаемости бетонов для хлоридов, установлено, что модифицированные бетоны более устойчивы к хлорид-ионам по сравнению с бетонами без добавок.

Ключевые слова: биоминерализация, проницаемость хлорид-ионами, портландцемент, цементные матрицы, биодобавки, урезные микроорганизмы, прочность, водонепроницаемость.

В настоящее время процесс биоминерализации демонстрирует многообещающие результаты в строительной и геотехнической областях в разработках укрепляющих и ремонтных составов, устранении трещин, упрочнении вяжущих материалов и других технологиях [1, 2]. Биоминерализация включает образование карбонат-ионов с помощью основного метаболизма определенных микроорганизмов, обладающих урезной активностью. Эти карбонат-ионы преобразуются в карбонат кальция в присутствии активного источника ионов Ca^{2+} [3—5]. Осадок, полученный таким образом, считается экологически чистым и недорогим материалом и может быть использован в различных строительных материалах, дорожных покрытиях и т. д. Биоминерализацию можно назвать одной из наиболее перспективных современных строительных технологий, поскольку микроорганизмы, встроенные в матрицу строительных материалов, обеспечивают их длительную защиту благодаря своей жизнедеятельности [6—8].

Описаны различные микробиологические подходы к самовосстановлению бетона, которые могут быть использованы для устранения таких проблем как трещины, пористость и водонепроницаемость. Эти методы основаны на использовании микроорганизмов, которые способны изменять структуру и свойства бетона, улучшая его характеристики [9, 10].

Биоминерализация может значительно улучшить прочность и долговечность цементных композитов, а также снизить водопоглощение и карбонизацию бетона в качестве альтернативной обработки поверхности (рис. 1) [11—15].

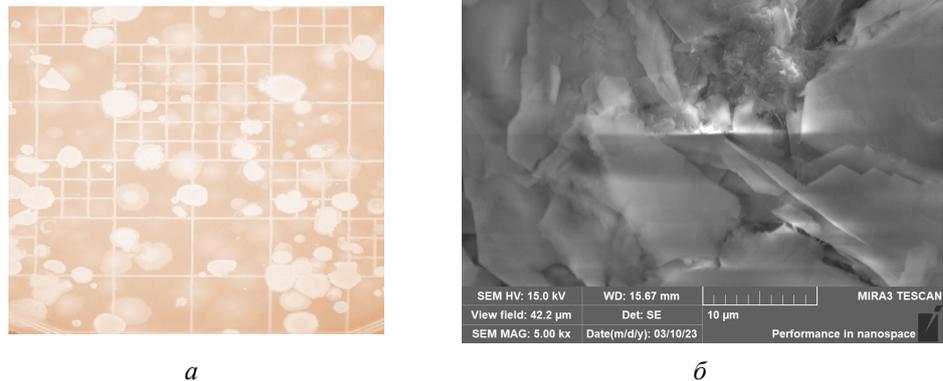


Рис. 1. Фото колоний *Bacillus subtilis*: а — на сетке Горяева; б — микрофотография разлома бетонного образца (TESCAN MIRA 3) [10]

Основываясь на результатах, представленных в вышеупомянутых исследованиях, необходимо отметить, что этот процесс является перспективным и актуальным направлением в строительном материаловедении [16—21]. Применение технологии биоминерализации в бетонах может также использоваться для торможения проникновения хлорид-ионов в бетоны.

Цель данной работы — исследование водонепроницаемости и проницаемости хлорид-ионов в цементных системах, модифицированных рядом бактериальных агентов, таких как штаммы: *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Lactobacillus acidophilus*, *Klebsiella pneumoniae*, способных формировать при определенных условиях в порах бетона кальцит и таким образом участвовать в процессах укрепления и/или восстановления цементных композитов.

Для решения поставленной цели решались следующие *задачи*:

- 1) формирование цементных систем с добавлением биодобавок следующего состава: цемент — песок — щебень — биодобавка — вода;
- 2) оценка полученных цементных систем по критериям прочности на сжатие;
- 3) оценка диффузионной проницаемости хлорид-ионов в бетонных системах;
- 4) оценка водопоглощения и водонепроницаемости цементных систем с биодобавками.

В качестве биодобавок использовали изолированные штаммы бактерий *Bacillus subtilis* (Д1), *Pseudomonas aeruginosa* (Д2), *Lactobacillus acidophilus* (Д3), *Klebsiella pneumoniae* (Д4) (Weifang Yuexiang Chemical Co., Ltd., China).

Способ получения биомассы

Бактерии культивировали при определенной температуре в аэрированных условиях со специальным ферментером и питательной средой (10 г/л мясо-пептонный бульон (МПБ), 10 ммоль цитрата кальция $C_{12}H_{14}CaO_{14}$ и 20 г/л мочевины) для достижения оптимальной плотности и уровня уреазы. Электрохимический метод использовался для определения уровня уреазы в биомассе, а специальные слайд-тесты — для подсчета колониеобразующих единиц (КОЕ).

Способ иммобилизации

Для иммобилизации микроорганизмов использовали «метод включения в гель» [5]. Основная задача при создании биодобавок — сохранение уреазной активности бактерий. Клетки бактерий включались в гель альгината натрия, представляющего собой натриевую соль природного полисахарида из бурых водорослей. Применение альгинатов позволило сформировать стабильные гранулы, сохраняющие активность микроорганизмов. После растворения альгината в воде и добавления активированной биомассы получали биогранулы размером 5 мм. Затем гранулы промывали, сушили и использовали в качестве биодобавок (рис. 2).

Цементные системы

В качестве вяжущего вещества в стандартных смесях использовались цементы марок ЦЕМ 0 52,5Н и ЦЕМ I 42,5Б, соответствующие ГОСТ 31108—2003. Определение хлорид-ионов проводили по методике ГОСТ 5382—2019, минералогический состав цемента определяли с помощью рентгеноструктурного анализа (табл. 1).



Рис. 2. Биогранулы, содержащие уреазные микроорганизмы

Таблица 1

Фазовый состав цементов

Марка цемента	C_1 , %	C_2S , %	C_3A , %	$C_3A + C_4AF$, %
ЦЕМ 0 52,5Н	0,002	62	6,0	18,4
ЦЕМ I 42,5Б	0,001	65	2,4	15,3

В качестве мелкого заполнителя использовали стандартный полифракционный песок согласно ГОСТ 6139—2020. В качестве крупного заполнителя использовали щебень (ОАО «Доломит», Данков).

Организация эксперимента

Все образцы разделены на три группы в зависимости от водоцементного отношения: 0,4, 0,5 и 0,6. Прочность бетона определялась в соответствии с ГОСТ 10180—2012. Исследования по определению коэффициента диффузии хлоридов в бетоне осуществляли согласно ГОСТ 31383—2008. Оценку водопоглощения осуществляли в соответствии с ГОСТ 12730.3—2020. Водонепроницаемость бетона определялась на образцах цилиндрах диаметром 150 мм по ГОСТ 12730.5—2018 методом «мокрого пятна».

Образцы для исследования изготавливали согласно ГОСТ 10180—2012. Биодобавку, массой соответствующую 5 % от массы цемента, добавляли в раствор вместе с песком. Были получены следующие цементные системы (табл. 2).

Цементные системы, модифицированные биодобавками

Обозначение цементной системы	Тип цемента	Тип биодобавки	В : Ц
N0	ЦЕМ 0 52,5Н	—	0,4
			0,5
			0,6
N1	ЦЕМ 0 52,5Н	Д1	0,4
			0,5
			0,6
N2	ЦЕМ 0 52,5Н	Д2	0,4
			0,5
			0,6
N3	ЦЕМ 0 52,5Н	Д3	0,4
			0,5
			0,6
N4	ЦЕМ 0 52,5Н	Д4	0,4
			0,5
			0,6
S0	ЦЕМ 1 42,5Б	—	0,4
			0,5
			0,6
S1	ЦЕМ 1 42,5Б	Д1	0,4
			0,5
			0,6
S2	ЦЕМ 1 42,5Б	Д2	0,4
			0,5
			0,6
S3	ЦЕМ 1 42,5Б	Д3	0,4
			0,5
			0,6
S4	ЦЕМ 1 42,5Б	Д4	0,4
			0,5
			0,6

Оценка прочности

Значения прочности образцов цементных систем (с контрольными образцами и образцами с добавками) при сжатии через 28 сут представлены на рис. 3. Заметно, что образцы с бактериальными клетками имеют более высокую прочность по сравнению с контрольными. Способность к увеличению прочности при сжатии можно объяснить поведением бактериальных клеток в цементных системах, способных инициировать процесс образования кальцита.

В начальный период отверждения цементных систем микробные клетки получили достаточное питание, т. к. цементный раствор был еще пористым. Однако их рост мог быть затруднен из-за новых условий окружающей среды. Вероятно, клетки оставались неактивными при высоком рН цемента и начали медленно расти с увеличением времени отверждения. При росте клеток ионы кальция осаждаются в виде кальцита на поверхности и в матрице цементной

системы, заполняя поры. Когда большинство пор закупорилось, доступ питательных веществ и кислорода к клеткам микроорганизмов прекращался, и они либо погибали, либо превращались в споры, действуя как органические волокна [9]. Это объясняет увеличение прочности образцов цементных систем при сжатии, включая более высокие значения прочности через 28 сут для образцов с биодобавками.

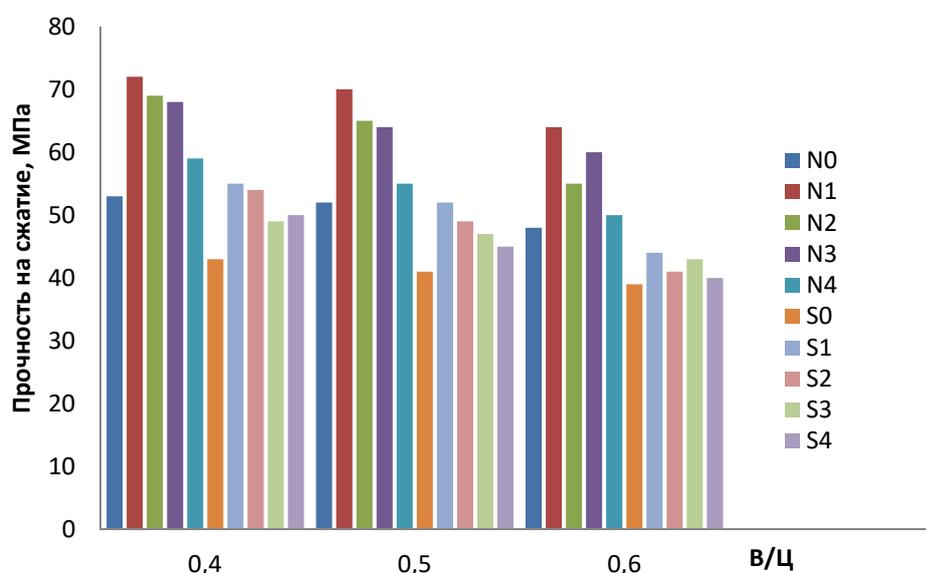


Рис. 3. Прочность на сжатие цементных систем на основе марок цемента ЦЕМ 0 52,5Н (серия N), ЦЕМ I 42,5Б (серия S), модифицированных биодобавками

Отмечено значительное увеличение прочности при сжатии образцов цементного раствора с добавлением биодобавки Д1 на основе *Bacillus subtilis*, что соответствует результатам, описанным в [5, 6, 9]. Увеличение прочности при сжатии главным образом обусловлено уплотнением матрицы цементной системы и последующим заполнением пор внутри образцов кальцитом, который образуется в результате реакции, катализируемой уреазой микроорганизмов. С другой стороны, прочность при сжатии уменьшается с увеличением водоцементного соотношения на 10...15 % при сравнении образцов с добавками и контрольных образцов (см. рис. 3). Это обусловлено тем, что скорость осаждения карбоната кальция снижается с увеличением доли воды, что приводит к снижению прочности при сжатии.

Изучение водопоглощения бетонов

Водопоглощение (W_a , % масс) зависит от водоцементного соотношения и количества цемента в образце. Чем выше эти показатели, тем больше водопоглощение цементной системы. В процессе отверждения этот показатель уменьшается. Водопоглощение измеряли путем взвешивания образцов, насыщенных водой, каждые 24 ч. Контрольные точки при сроках отверждения составляли 7, 14 и 28 сут (рис. 4).

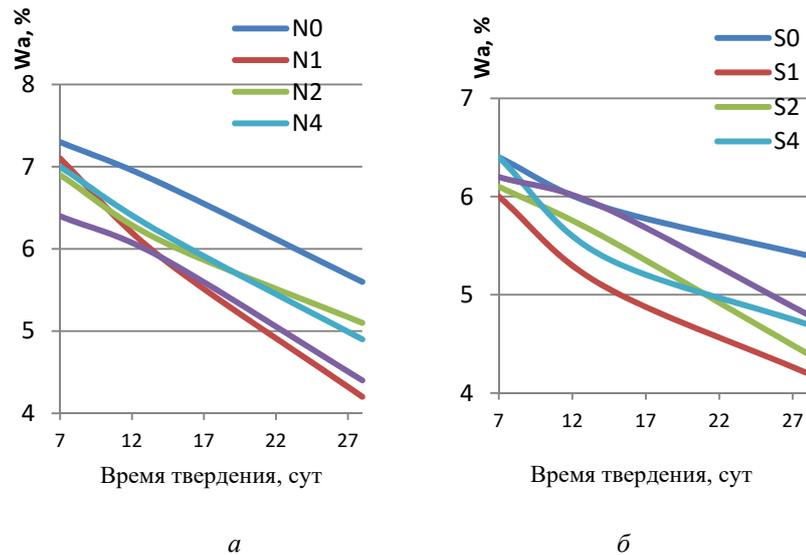


Рис. 4. Зависимость водопоглощения цементных систем, модифицированных биодобавками, на основе марок цемента: *а* — ЦЕМ 0 52,5Н (серия *N*); *б* — ЦЕМ I 42,5Б (серия *S*)

Установлено, что водопоглощение цементных систем, как с биодобавками, так и без них, уменьшается с течением времени твердения до 28 сут. Это, возможно, связано с непрерывной гидратацией и накоплением гидратированных продуктов, заполняющих открытые поры в образцах. Кроме того, значения водопоглощения образцов цементных систем с различными биодобавками оказались ниже, чем у контрольных образцов. Это можно объяснить тем, что формируемый кальцит оседает в порах и на поверхности цементных систем [9]. С другой стороны, водопоглощение снижается с уменьшением водоцементного отношения. При увеличении $V : Ц$ концентрация бактерий уменьшается, что ведет к уменьшению количества осаждаемого кальцита, заполняющего открытые поры и снижающего водопоглощение.

Оценка водонепроницаемости модифицированных бетонов

Водонепроницаемость бетона является важным параметром, определяющим способность материала сопротивляться проникновению воды. Он особенно важен для конструкций, которые подвергаются воздействию воды, таких как гидротехнические сооружения, резервуары для воды и т. д. Определение водонепроницаемости позволяет выбрать наиболее подходящий тип бетона для конкретной конструкции и обеспечить ее долговечность и надежность [2].

Из каждого исследуемого состава изготавливались контрольные образцы для оценки водонепроницаемости, которые хранились в камере нормального твердения при температуре 20 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 95 ± 5 %. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Водонепроницаемость бетонных образцов с биодобавками увеличилась с $W4...W5$ до $W10...W12$ по сравнению с образцами без добавок. Таким образом, использование биодобавок на основе микроорганизмов является перспективным направлением в области улучшения свойств бетонов, обеспечивая их устойчивость к воздействию влаги и агрессивных сред.

Таблица 3

Показатели модифицированных биодобавками бетонов (при $B : Ц = 0,4$):
 водонепроницаемость и коэффициенты диффузии хлоридов в бетоне

Цементная система	Водонепроницаемость, МПа		Коэффициенты диффузии хлоридов в бетоне, $D_{\text{бх}} \cdot 10^{-6}, \text{мм}^2/\text{с}$		
			Возраст бетона, сут		
	28	56	28	56	112
N0	0,4	0,4	14,6	20,2	35,1
N1	0,5	1,0	6,8	6,2	6,1
N2	0,5	1,2	7,0	7,4	7,6
N3	0,4	0,8	7,4	8,0	8,1
N4	0,5	1,0	6,9	7,0	7,2
S0	0,3	1,0	12,1	16,4	20,2
S1	0,4	1,0	8,1	8,4	8,5
S2	0,4	1,0	7,9	7,5	7,0
S3	0,4	0,8	8,2	8,0	7,9
S4	0,4	0,8	7,8	7,6	7,4

Влияние хлорид-ионов на бетонные системы, модифицированные биодобавками

Стойкость бетона к агрессивным средам определяется его диффузионной проницаемостью. От этого показателя зависит время проникновения ионов хлора через защитный слой, что может вызвать коррозию арматуры и снизить надежность конструкции. Важно моделировать лабораторные исследования таким образом, чтобы они максимально соответствовали реальным условиям. На сегодняшний день предложено более 10 методов исследования диффузионной проницаемости бетона при воздействии хлорид-ионов [2]. Все они могут быть разделены на прямые испытания с использованием опытных образцов, ускоренные испытания с применением внешнего электрического поля и непрямые испытания, основанные на измерении косвенных характеристик материала.

Проникновение хлорид-ионов в бетон — сложный процесс, связанный с реактивной диффузией и различными механизмами переноса, что важно учитывать при определении диффузионных коэффициентов. Проникновение хлоридов нельзя объяснить только диффузией, ему способствуют различные механизмы, такие как абсорбция в капиллярах, химические реакции с пористой структурой бетона и сорбция на поверхности продуктов гидратации. Результаты исследований показывают, что процесс проникновения хлора не является чисто диффузионным. Определение диффузионного коэффициента упрощает описание этого сложного процесса, но полученные значения могут быть использованы для качественного сравнения проникновения хлоридов в разные типы бетонов.

Коэффициент диффузии хлоридов в бетоне играет важную роль при оценке долговечности и проектировании бетонных конструкций, построенных в средах с высоким содержанием хлоридов. Устойчивость бетона к проникновению хлоридов повышается при осаждении кальцита в результате биоминерализации. По экспериментальным данным оценены коэффициенты диффузии хлоридов в бетоне (см. табл. 3).

Проницаемость бетона зависит от структуры пор бетона, в то время как электропроводность или удельное сопротивление бетона определяется как структурой пор, так и химическим составом порового раствора. Таким образом, бактериальные добавки резко снижают проницаемость бетона для хлоридов, однако для развития данного процесса необходимо время.

Выводы

Представлены сформированные цементные системы следующего состава: цемент — песок — щебень — биодобавка — вода. Концентрация биодобавки составила 5 % по массе (от массы портландцемента). Оценены полученные цементные системы по критериям прочности на сжатие. Максимальную прочность показали цементные системы на основе марок цемента ЦЕМ 0 52,5Н и ЦЕМ I 42,5Б с биодобавкой на основе штаммов микроорганизмов *Bacillus subtilis*. Установлено, что применение биодобавок позволяет увеличить прочность бетонных образцов на 20...30 %. Экспериментально получены значения коэффициентов водопоглощения и водонепроницаемости цементных систем с биодобавками. Водонепроницаемость бетонных образцов с биодобавками увеличилась до марки W10...W12 за счет заполнения пор кальцитом. Оценена способность биодобавок тормозить проникновение хлорид-ионов в бетон, рассчитаны коэффициенты диффузионной проницаемости хлорид-ионов в цементных системах. Установлено, что бактериальные отложения в форме кальцита способствуют снижению проницаемости в 2...4 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полиморфизм и морфология карбонатов кальция в технологиях строительных материалов, использующих бактериальную биоминерализацию (обзор) / В. В. Строкова, У. Н. Духанина, Д. А. Балицкий, О.И. Дроздов, В. В. Нелюбова, О. В. Франк-Каменецкая, Д. Ю. Власов // Строительные материалы. 2022. № 1-2. С. 82—122.
2. Леонович С. Н., Шалый Е. Е., Литвиновский Д. А., Степанова А. В. Долговечность бетона при комбинированном воздействии окружающей среды и механической нагрузки: анализ экспериментальных исследований // Наука и техника. 2022. Т. 21. № 4. С. 269—280.
3. Применение микробной карбонатной биоминерализации в биотехнологиях создания и восстановления строительных материалов: анализ состояния и перспективы развития / В. В. Строкова, Д. Ю. Власов, О. В. Франк-Каменецкая, У. Н. Духанина, Д. А. Балицкий // Строительные материалы. 2019. № 9. С. 83.
4. Fouladi A. S., Arulrajah A., Chu J., Horpibulsuk S. Application of Microbially Induced Calcite Precipitation (MICP) technology in construction materials: A comprehensive review of waste stream contributions // Construction and Building Materials. 2023. Vol. 388. 131546.
5. Гончарова М. А., Дергунова Е. С. Особенности применения процесса биоминерализации для улучшения структурно-прочностных свойств бетона // Строительные материалы. 2023. № 1-2. С. 25—31.
6. Духанина У. Н., Строкова В. В., Балицкий Д. А. Влияние микробной карбонатной минерализации на гидрофобность поверхности цементного камня // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2020. № 7. С. 19—25.
7. Achal V., Mukherjee A., Reddy M. S. Effect of calcifying bacteria on permeation properties of concrete structures // Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 2011. Vol. 38. Iss. 9. Pp. 1229—1234.
8. Abo-El-Enein S. A., Ali A. H., Talkhan F. N., Abdel-Gawwad H. A. Application of microbial biocementation to improve the physic-mechanical properties of cement mortar // HBRC Journal. 2013. Vol. 9. Iss. 1. Pp. 36—40.
9. Гончарова М. А., Акчурин Т. К., Дергунова Е. С. Особенности использования уреазных биодобавок в цементных системах // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. Вып. 3(88). С. 64—69.

10. *Smitha M. P., Suji D., Shanthi M., Adesina A.* Application of bacterial biomass in biocementation process to enhance the mechanical and durability properties of concrete // *Cleaner Materials*. 2022. Vol. 3. 100050.
11. Luo M., Qian Ch., Influences of bacteria-based self-healing agents on cementitious materials hydration kinetics and compressive strength // *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 121. Pp. 659—663.
12. *Bhutange S. P., Latkar M. V., Chakrabarti T.* Role of biocementation to improve mechanical properties of mortar // *Sādhanā*. 2019. Vol. 44. DOI: org/10.1007/s12046-018-1023-7.
13. *Balam N. H., Mostofinejad D., Eftekhar M.* Use of carbonate precipitating bacteria to reduce water absorption of aggregates // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 141. Pp. 565—577.
14. *Amjad H., Khushnood R. A., Ahmad F.* Enhanced fracture and durability resilience using bio-triggered sisal fibers in concrete // *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 76. 107008.
15. *Bhutange S. P., Latkar M. V., Chakrabarti T.* Studies on efficacy of biocementation of cement mortar using soil extract // *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 274. 122687.
16. *Joshi S., Goyal S., Reddy M. S.* Influence of nutrient components of media on structural properties of concrete during biocementation // *Construction and Building Materials*. 2018. Vol. 158. Pp. 601—613.
17. Bio-induction and bioremediation of cementitious composites using microbial mineral precipitation — A review / Y. Al-Salloum, S. Hadi, H. Abbas, T. Almusallam, M. A. Moslem // *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 154. Pp. 857—876.
18. Comprehensive microbiological studies on screening bacteria for self-healing concrete / C. S. Sri Durga, N. Ruben, M. Sri Rama Chand, M. Indira, C. Venkatesh // *Materialia*. 2021. Vol. 15. 101051.
19. *Mondal S., Ghosh A. D.* Spore-forming *Bacillus subtilis* vis-à-vis non-spore-forming *Deinococcus radiodurans*, a novel bacterium for self-healing of concrete structures: A comparative study // *Construction and Building Materials*. 2021. Vol. 266. 121122.
20. *Choi S.-G., Wang K., Wen Z., Chu J.* Mortar crack repair using microbial induced calcite precipitation method // *Cement and Concrete Composites*. 2017. Vol. 83. Pp. 209—221.
21. *Junwale R., Nikode A., Bhutange S., Latkar M. V.* Crack healing in cement mortar using enzyme induced calcium carbonate precipitation // *Construction and Building Materials*. 2023. Vol. 394. 132223.

© Гончарова М. А., Акчури Т. К., Дергунова Е. С., 2024

Поступила в редакцию
в феврале 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Гончарова М. А., Акчури Т. К., Дергунова Е. С. Изучение влияния биодобавок на водонепроницаемость и диффузионную проницаемость бетонов для хлоридов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Серия: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 1(94). С. 71—80. DOI: 10.35211/18154360_2024_1_71.

Об авторах:

Гончарова Маргарита Александровна — советник РААСН, д-р техн. наук, проф., Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; magoncharova777@yandex.ru

Акчури Талгат Кадимович — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru; Scopus ID: 57190967539

Дергунова Елена Сергеевна — канд. хим. наук, доц., Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; dergunova14@yandex.ru

Margarita A. Goncharova^a, Talgat K. Akchurin^b, Elena S. Dergunova^a

^a *Lipetsk State Technical University*

^b *Volgograd State Technical University*

STUDY OF THE EFFECT OF BIOADDITIVES ON THE WATER RESISTANCE AND DIFFUSION PERMEABILITY OF CONCRETE FOR CHLORIDES

The data presented in the article indicate that the use of isolated strains of bacteria *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Lactobacillus acidophilus* and *Klebsiella pneumoniae* as dietary supplements in concrete contributes to a significant increase in its water resistance and chloride resistance. This is especially important in conditions of high humidity or the presence of salt water, such as on the coast or in areas with high groundwater levels. The bacteria were grown at a temperature of 35 ± 2 °C in an aerated fermenter using a special nutrient medium. To preserve the activity of the applied microorganisms, their immobilization was carried out by the method of incorporation into the gel using sodium alginate. Cement systems of the following composition were formed: cement — sand — crushed stone — bioadditive — water. Cement systems were evaluated according to the criteria of water resistance, diffusion permeability for chlorides, as well as compressive strength. It has been experimentally revealed that modified concretes achieve water resistance of the *W10...W12* grade. The permeability coefficients of concrete for chlorides were also calculated and it was found that modified concretes are more resistant to chloride ions compared to concrete without additives.

Key words: biomineralization, chloride ion permeability, portland cement, cement matrices, bioadditives, urease activity microorganisms, strength, water resistance.

For citation:

Goncharova M. A., Akchurin T. K., Dergunova E. S. [Study of the effect of bioadditives on the water resistance and diffusion permeability of concrete for chlorides]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2024, iss. 1, pp. 71—80. DOI: 10.35211/18154360_2024_1_71.

About authors:

Margarita A. Goncharova — Doctor of Engineering Sciences, Professor, Advisor of Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; magoncharova777@yandex.ru

Talgat K. Akchurin — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Advisor of Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; info@vgasu.ru; Scopus ID: 57190967539

Elena S. Dergunova — Candidate of Chemistry, Docent, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; dergunova14@yandex.ru