

УДК 691.535, 620.22

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

^а *Липецкий государственный технический университет*

^б *Волгоградский государственный технический университет*

ПРИМЕНЕНИЕ РЯДА БАКТЕРИАЛЬНЫХ АГЕНТОВ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

Показано применение ряда бактериальных агентов, обладающих уреазной активностью и способных стимулировать образование карбоната кальция. Для получения новой фазы предварительно проведен подбор пары «питательная среда — микроорганизмы», критерии выбора — уреазная активность и способность к росту (КОЕ/мл). Оптимальные критерии получены у штаммов бактерий 1, 2, 8 и соответствующих питательных сред I, III, II. Сформированы цементные системы следующего состава: портландцемент — мелкий заполнитель — крупный заполнитель — биодобавка. В качестве мелкого заполнителя использованы различные виды песка. Оценены цементные системы по критериям прочности на сжатие, на изгиб. Максимальную прочность показала система ЦС-1 на основе биодобавки 1. Проведены микроскопические исследования, оценена способность к восстановлению, с применением микрорентгеноспектрального анализа установлено изменение химического состава при появлении новой фазы.

Ключевые слова: портландцемент, восстановление материалов, биодобавки, уреазная активность, прочность, биоминерализация.

Бетон состоит из трех основных компонентов: цемента, воды и заполнителя. Низкая стоимость и доступность этих материалов, прочность и долговечность бетона в дополнение к простоте изготавливаемых конструкций сделали его одним из наиболее широко используемых строительных материалов. К факторам, приводящим к образованию трещин и разрушению бетона, относятся колебания температуры, агрессивные газы, суровые условия окружающей среды и попадание химических веществ.

Раннее образование микротрещин в бетонных конструкциях значительно влияет на их работоспособность, приводит к высоким затратам на техническое обслуживание. Хотя цементный бетон обладает некоторыми способностями к самовосстановлению, этого недостаточно для полного заживления трещин. Обычно, несмотря на негативное воздействие на окружающую среду и токсичность, используются такие ремонтные материалы, как эпоксидная смола или расширяющиеся цементные растворы [1—6].

Альтернативой, благоприятной для окружающей среды, стало использование технологии биоминерализации для эффективного процесса заживления трещин [1—3]. Биоминерализация включает этап гидролиза мочевины и образования CaCO_3 под действием фермента уреазы, выделяемого бактериями, в среде, насыщенной ионами кальция [4—10]. Осадок, полученный таким образом, считается экологически чистым и недорогим материалом с многообещающим потенциалом для широкого спектра инженерных решений.

Добавление бактерий, в результате жизнедеятельности которых образуется CaCO_3 , в цементирующие системы является новым, экологически чистым методом, ставшим в последнее время объектом интереса исследователей из-за хорошей совместимости с бетонной матрицей и цементными компози-

тами [10—12]. Бактерии вводятся в цементирующую систему различными методами, в т. ч. добавлением бактерий непосредственно в смесь, инкапсулированием бактерий в состоянии покоя до момента активации, распылением или впрыскиванием бактерий на поверхность бетона [13].

Первые исследования свойств кальцитовых отложений были проведены в 1995 г. Британский исследователь У. Голлапуди с коллегами [14] использовали этот метод для уменьшения пористости почвы с высокой проницаемостью путем введения бактерий в почву. Они смешали раствор хлорида кальция, содержащий мочевины и углекислоту, непосредственно с почвой и спрессовали смесь в колонне из песка. Обнаружилось, что поры и трещины в колонне закрылись [9]. Также проводились исследования по разработке методов, которые используют потенциал бактерий, продуцирующих минералы, для улучшения свойств бетона. Ранее многообещающие результаты получены при использовании различных бактерий в бетонной смеси или на поверхности бетона для заделки трещин в бетоне [10, 11], повышающие прочность бетона на сжатие [11, 12] и долговечность бетона [13—15].

Проводились исследования, в которых в качестве носителей для инкапсуляции биоагентов использовались легкие заполнители, микрокапсулы, гидрогель и др. Во всех этих случаях подчеркивалось, что органические питательные вещества, такие как дрожжевой экстракт/сахароза/глюкоза и питательная среда с мочевиной [15], должны быть включены в систему цементирования, чтобы потенциально позволить живым клеткам расти и функционировать. Кроме того, вместе с бактериями следует добавлять дополнительные источники кальция, чтобы инициировать образование CaCO_3 . В исследовании [16] установлено, что в присутствии достаточного количества питательных веществ и кислорода бактерии активизируются и вырабатывают новую фазу, содержащую кальций.

Различные исследователи разработали микробиологические методы самовосстанавливания для устранения негативных последствий — заживления трещин [17], уменьшения или модификации пористости [8] и водопроницаемости [16] и др. Биоминерализация положительно влияет на прочность и долговечность цементных композитов, может снизить водопоглощение и карбонизацию бетона в качестве альтернативной обработки поверхности [18].

Основываясь на результатах, представленных в упомянутых исследованиях, необходимо отметить, что методы биоминерализации стремительно развиваются, их исследование является актуальной задачей строительного материаловедения. **Целью** нашей работы является изучение ряда бактериальных агентов, способных участвовать в процессах укрепления и/или восстановления цементных композитов.

В процессе исследования решались следующие задачи:

1. Выбор оптимальной пары «питательная среда — штамм» для быстрого роста биомассы (критерии выбора — уреазная активность и КОЕ/мл).
2. Формирование цементных систем состава: цемент — песок — щебень — биодобавка.
3. Оценка полученных цементных систем по критериям прочности на сжатие, на изгиб.
4. Микроскопические исследования и оценка появления новой фазы с течением времени, определение химического состава новой фазы.

В качестве биодобавок использовали изолированные штаммы бактерий *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Clostridium difficile*, *Lactobacillus acidophilus*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter cloacae* (Weifang Yuexiang Chemical Co., Ltd., China). Бактерии выращивали при температуре 35 ± 2 °С в аэрированном ферментере со скоростью мешалки 300...450 об/мин с применением различных питательных сред (табл. 1). Через 48 ч бактериальная культура достигла оптической плотности (OD 546 Нм) около 4,6...5,5. Уреазную активность биомассы определяли электрохимическим методом. КОЕ определяли с применением тест-слайдеров. Для изучения закономерностей процесса роста новой фазы использовали растровый электронный микроскоп TESCAN MIRA 3 SBH с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа Oxford Instruments, для оптической микроскопии — микроскоп X400 DigiMicroSkal (DNT, Германия).

Таблица 1

Питательные среды

Наименование питательной среды	Состав, г/л	pH при 25 °С
Среда I	Пептический перевар животной ткани — 1; глюкоза — 1; натрия хлорид — 5; натрия гидрофосфат — 1,2; калия дигидрофосфат — 0,80; феноловый красный — 0,012; агар-агар — 15,0	$6,8 \pm 0,2$
Среда II	Ферментативный гидролизат казеина — 10,00; глюкоза — 1,00; натрия хлорид — 5,00; феноловый красный — 0,010; агар-агар — 2,00	$6,8 \pm 0,2$
Среда III	Желатиновый пептон — 1,0; натрия хлорид — 5,0; декстроза — 1,0; калия гидрофосфат — 2,0; феноловый красный 0,012	$6,9 \pm 0,2$

Использовали следующие материалы:

- портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н (ЦЕМРОС, Липецк);
- крупный заполнитель — щебень (ООО РИЗНГРУПП);
- мелкий заполнитель — песок полифракционный, песок полевошпатовый, песок речной.

Водоцементное отношение цементных систем варьировали от 0,4 до 0,6. Прочностные характеристики бетона определяли согласно ГОСТ 10180—2012.

Многие бактерии в процессе своей жизнедеятельности способствуют образованию различных минералов, в частности карбоната кальция при наличии источников кальция и мочевины в процессе биоминерализации. Проведено много исследований с использованием различных грамположительных бактерий в песчаных системах [14]. Однако перенос процесса биоминерализации в цементные системы представят особенный интерес и актуальность.

В настоящее время известны бактерии, обладающие уреазной активностью, их способность к осаждению карбоната кальция также может быть использована в технологии биоминерализации (рис. 1).

Важными факторами в технологии биоминерализации являются подбор состава оптимизированной питательной среды для культивирования штаммов

бактерий и оценка влияния состава питательной среды на количество колониобразующих единиц (количество жизнеспособных клеток), а также на уреазную активность жидких культур на основе исследуемых штаммов.

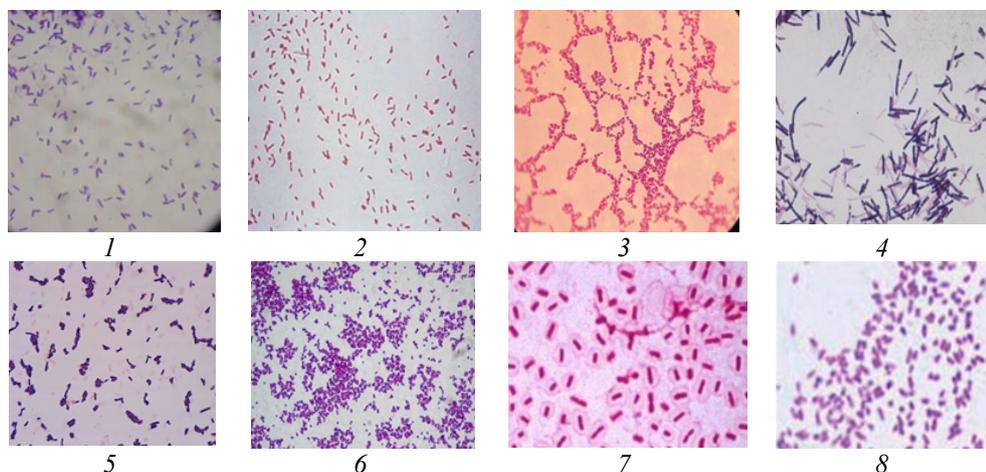


Рис. 1. Микрофотографии колоний бактерий, окрашенных по Грамму (X400 DigiMicroSkal, DNT, Германия): 1 — *Bacillus subtilis*; 2 — *Pseudomonas aeruginosa*; 3 — *Escherichia coli*; 4 — *Clostridium difficile*; 5 — *Lactobacillus acidophilus*; 6 — *Staphylococcus aureus*; 7 — *Klebsiella pneumoniae*; 8 — *Enterobacter cloacae*

Определены показатели роста штаммов бактерий на различных питательных средах в условиях периодического культивирования, при этом в каждую питательную среду добавляли 0,05 М CaCl₂ и 0,1 М растворы мочевины (табл. 2).

Таблица 2

Влияние вида штамма микроорганизмов и состава питательной среды на показатель роста и уреазную активность

№ штамма	Титр/уреазная активность, КОЕ/мл/мг/NH ₃ /г/сут	Среда I	Среда II	Среда III
1	<i>Bacillus subtilis</i>	$(3,07 \pm 0,05) \cdot 10^9 / 56$	$(2,90 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 35$	$(2,07 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 32$
2	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	$(5,81 \pm 0,03) \cdot 10^7 / 50$	$(4,11 \pm 0,06) \cdot 10^7 / 45$	$(8,17 \pm 0,06) \cdot 10^9 / 55$
3	<i>Escherichia coli</i>	$(4,01 \pm 0,04) \cdot 10^8 / 41$	$(4,36 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 43$	$(7,28 \pm 0,06) \cdot 10^5 / 19$
4	<i>Clostridium difficile</i>	$(4,27 \pm 0,06) \cdot 10^5 / 42$	$(4,54 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 45$	$(6,89 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 51$
5	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	$(4,31 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 43$	$(5,07 \pm 0,06) \cdot 10^7 / 49$	$(8,55 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 55$
6	<i>Staphylococcus aureus</i>	$(4,45 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 44$	$(6,07 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 50$	$(5,66 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 50$
7	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	$(2,05 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 22$	$(5,55 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 25$	$(5,67 \pm 0,06) \cdot 10^7 / 32$
8	<i>Enterobacter cloacae</i>	$(4,95 \pm 0,06) \cdot 10^8 / 48$	$(7,55 \pm 0,06) \cdot 10^9 / 53$	$(5,80 \pm 0,06) \cdot 10^6 / 28$

Максимальное значение КОЕ на уровне 10⁹ показали бактерии штаммов 1, 2, 8 на питательных средах I, III и II соответственно. Для данных микроорганизмов значение уреазной активности — на уровне 53...56 мг NH₃/г/сут.

После выявления оптимальных пар «штамм микроорганизма — питательная среда» сформированы составы цементных систем (ЦС 1-9) для испытаний и определения способности восстановления с применением технологии биоминерализации (табл. 3). Составы формировали с учетом типа биодобавки (пара «штамм — питательная среда»), водоцементного отношения, типа мелкого заполнителя.

Таблица 3

Составы цементных систем

Компонент	ЦС-1	ЦС-2	ЦС-3	ЦС-4	ЦС-5	ЦС-6	ЦС-7	ЦС-8	ЦС-9
Цемент ЦЕМ I	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Мелкий заполнитель: песок полифракционный	1400	—	—	1400	—	—	1400	—	—
песок полевошпатовый	—	1400	—	—	1400	—	—	1400	—
песок речной	—	—	1400	—	—	1400	—	—	1400
Крупный заполнитель: щебень	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280	2280
Биодобавка	1	2	8	1	2	8	1	2	8
Соотношение добавка/цемент, %	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Одним из важных составляющих бетона является мелкий заполнитель. Он отличается зерновым составом, морфологией поверхности и прочностными свойствами в зависимости от места добычи. Определение химического состава мелкого заполнителя проводили с помощью метода АЭС-ИСП (табл. 4.)

Таблица 4

Химический состав мелкого заполнителя

Содержание, мас. %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Песок полифракционный	97,836	0,846	0,443	0,035	0,011	0,245	0,105	0,120
Песок полевошпатовый	77,124	12,5	0,11	0,27	5,3	3,3	0,14	0,100
Песок речной	95,132	1,217	0,621	0,50	0,02	0,98	0,19	0,001

Были использованы пески 3 видов, свойства которых представлены в табл. 5. Определение водопотребности песков проводили согласно ГОСТ 9758—2012.

Установлена зависимость прочности на сжатие и изгиб от типа песка и вида штамма микроорганизмов (табл. 6).

Т а б л и ц а 5

Свойства песков

Показатель	Вид песка		
	полифракционный	полевошпатовый	речной
Модуль крупности	3,33	2,85	1,55
Пустотность, %	36,8	37,5	43,2
Водопоглощение песка	4	6	8
Фракционный состав, мм			
2,5	24	18	0
1,25	61	36	0
0,63	66	45	3
0,315	79	76	75
0,14	98	97	98
менее 0,14	1	1	3

Т а б л и ц а 6

*Прочность образцов бетонов, полученных с применением различных видов
 мелкого заполнителя и биодобавок*

Тип цементной системы	Тип биодобавки	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на изгиб, МПа
ЦС-1	1	72,56	12,3
ЦС-2	2	48,89	12,9
ЦС-3	8	95,56	13,5
ЦС-4	1	51,45	11,8
ЦС-5	2	42,45	11,9
ЦС-6	8	72,95	11,5
ЦС-7	1	49,72	13,0
ЦС-8	2	41,24	13,2
ЦС-9	8	62,32	13,3

Использование различных типов бактерий приводит к различной степени осаждения кристаллов карбоната кальция. Так в ряду бетонных образцов, изготовленных с одним и тем же видом песка, прочность на сжатие достигает максимума при использовании биодобавки 8, обладающей высокой уреазной активностью. Также свойства бетона зависят от вида применяемого мелкого заполнителя. С увеличением модуля крупности песка достигается наибольшая прочность (более 95 Мпа — на сжатие и 13,5 Мпа — на изгиб). С увеличением значения В:Ц происходит снижение прочности на сжатие (рис. 2), эта тенденция сохраняется при всех видах биодобавок и мелкого заполнителя, независимо от крупности и фракционного состава.

Для исследования способности восстановления цементных композитов с биодобавками взяты образцы бетона, для фиксации новой фазы карбоната кальция применены: растровый электронный микроскоп TESCAN MIRA 3 SBH с приставкой для микрорентгеноспектрального анализа Oxford Instruments, оптический микроскоп X400 DigiMicroSkal. Наблюдения микроструктуры, а также морфологии межфазной переходной зоны между цементным тестом и заполнителем проводились на срезах размером

5×40×40 мм. Установлен валовый химический элементный состав образца бетона с распределением по фазам (рис. 3).

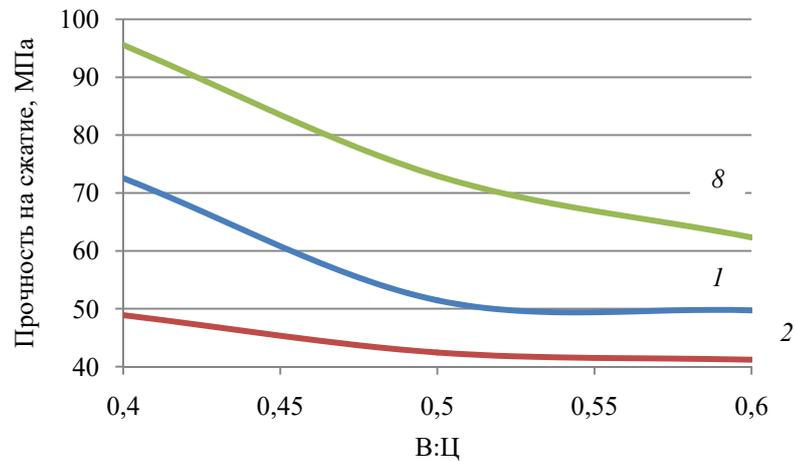


Рис. 2. Зависимость предела прочности на сжатие бетона после 28 сут твердения от значения В:Ц при использовании различных видов биодобавок

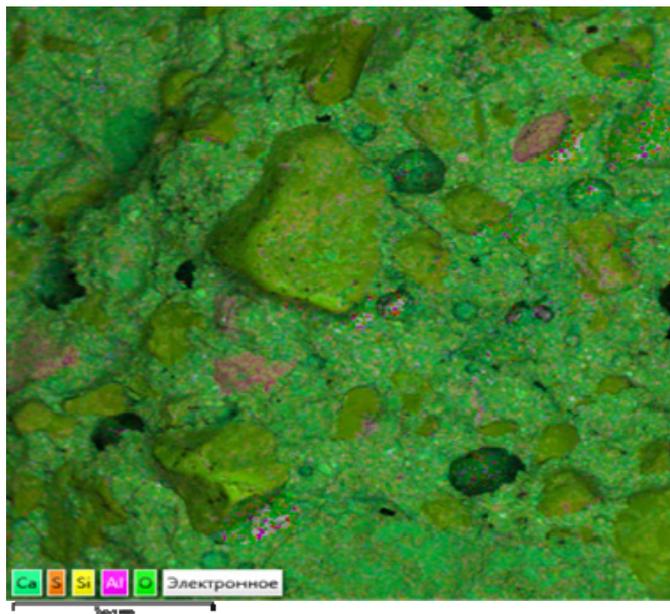


Рис. 3. Микрофотография поверхности бетонного образца, полученная с помощью растрового электронного микроскопа TESCAN MIRA 3

Осажденный карбонат кальция обладает различными полиморфами с настраиваемыми физико-химическими свойствами, которые играют решающую роль в восстановлении цементных систем. Особое внимание обращено на поры бетонного образца. В выбранных точках проведен микрорентгеноспектральный анализ (рис. 4). Установлено, что содержание элементов в поровом пространстве отличается за счет образования CaCO_3 .

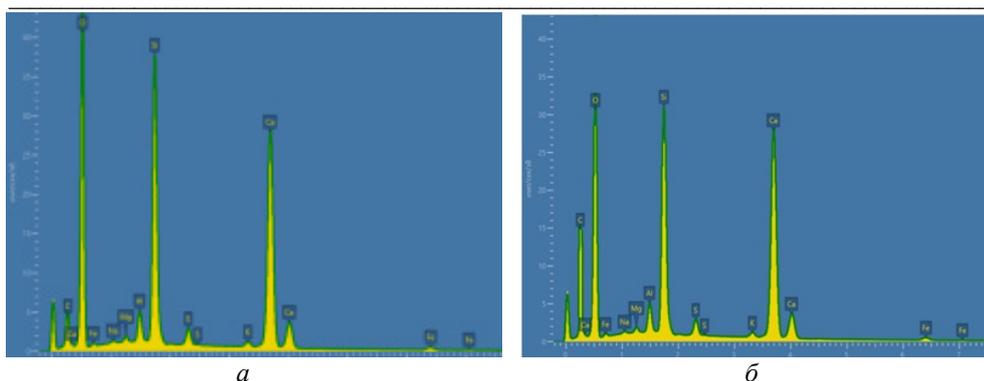


Рис. 4. Микрорентгеноспектральный анализ порового пространства бетонного образца: *а* — образец получен без применения биодобавок; *б* — образец получен с применением биодобавки на основе *Enterobacter cloacae*

SEM-микрофотография контрольного образца цементной системы с добавкой бактериальных клеток, выдержанной в течение 28 дней, показана на рис. 5.

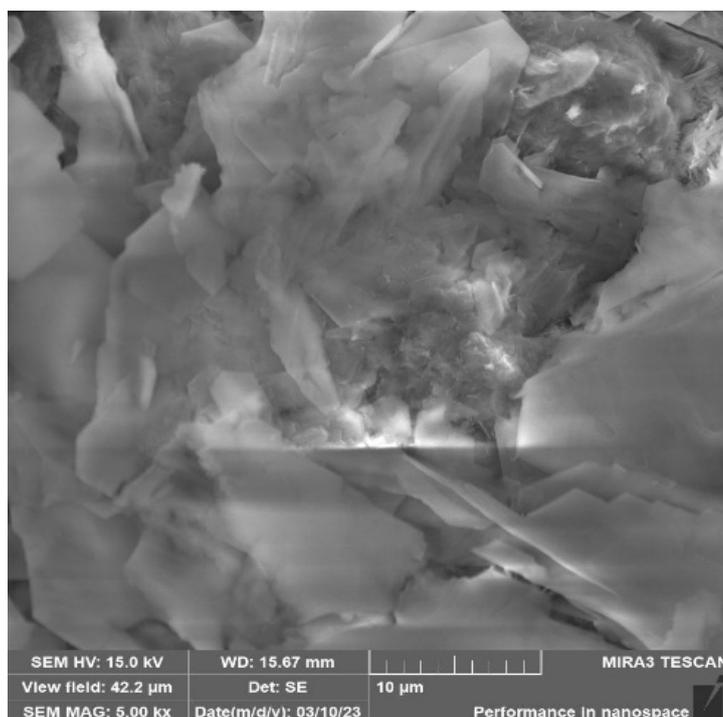


Рис. 5. SEM-микрофотография цементной системы с добавкой бактериальных клеток, выдержанной в течение 28 сут

По наблюдениям SEM, карбонат кальция, осажденный бактериальными клетками, можно четко различить в порах матрицы образца; между тем фаза кальцита не наблюдается в контрольных образцах, изготовленных без какого-либо добавления бактериальных клеток, что подтверждается результатами микрорентгеноспектрального анализа.

Выводы

Проведен подбор пары «питательная среда — штамм», оптимальной для роста биомассы (критерии выбора — уреазная активность и КОЕ/мл). Установлено, что оптимальные критерии были получены у штаммов 1, 2, 8 и соответствующих питательных сред I, III, II. Сформированы цементные системы следующего состава: цемент — мелкий заполнитель — крупный заполнитель — биодобавка. В качестве мелкого заполнителя использовали различные виды песка. Оценены полученные цементные системы по критериям прочности на сжатие, на изгиб. Установлено, что максимальную прочность показала система ЦС-1 на основе биодобавки 1 — *Bacillus subtilis* и полифракционного песка. Проведены микроскопические исследования, оценено с применением микрорентгеноспектрального анализа появление новой фазы в течение времени, установлено изменение химического состава при появлении новой фазы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2023.131546.
2. Abo-El-Enein S. A., Ali A. H., Talkhan F. N., Abdel-Gawwad H. A. Application of microbial biocementation to improve the physico-mechanical properties of cement mortar // HBRC Journal. 2013. Vol. 9. Iss. 1. Pp. 36—40.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Amjad H., Khushnood R. A., Ahmad F. Enhanced fracture and durability resilience using bio-intrigged sisal fibers in concrete // Journal of Building Engineering. 2023. Vol. 76. 107008.
7. Гончарова М. А., Дергунова Е. С. Особенности применения процесса биоминерализации для улучшения структурно-прочностных свойств бетона // Строительные материалы. 2023. № 1-2. С. 25—31.
8. Sumit J., Shweta G., Sudhakara R. M. Influence of nutrient components of media on structural properties of concrete during biocementation // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 158. Pp. 601—613.
9. 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. Comprehensive microbiological studies on screening bacteria for self-healing concrete / Ch. S. Sri Durga, N. Ruben, M. Sri Rama Chand, M. Indira, Ch. Venkatesh // Materialia. 2021. DOI: 10.1016/j.mtla.2021.101051.
10. Mondal S., Ghosh A. 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. Pp. 121122.
11. Choi S.-G., Wang K., Wen Zh., Chu J. Mortar crack repair using microbial induced calcite precipitation method // Cement and Concrete Composites. 2017. Vol. 83. Pp. 209—221.
12. 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.
13. Gollapudi U., Knutson C., Bang S., Islam M. A new method for controlling leaching through permeable channels // Chemosphere. 1995. No. 30. Pp. 695—705.

15. 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.

16. Гончарова М. А., Акчури 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.

17. 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.

18. 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.

© Гончарова М. А., Акчури Т. К., Дергунова В. В., Дергунова Е. С., 2023

Поступила в редакцию
в октябре 2023 г.

Ссылка для цитирования:

Гончарова М. А., Акчури Т. К., Дергунова В. В., Дергунова Е. С. Применение ряда бактериальных агентов для восстановления цементных композитов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2023. Вып. 5(93). С. 60—70.

Об авторах:

Гончарова Маргарита Александровна — 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 (ВолГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; info@vgasu.ru; Scopus ID: 57190967539

Дергунова Валентина Витальевна — студентка, Липецкий государственный технический университет. Российская Федерация, 398055, г. Липецк, ул. Московская, 30; v123alentina@gmail.com

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, Valentina V. Dergunova^a,
Elena S. Dergunova^a**

^a *Lipetsk State Technical University*

^b *Volgograd State Technical University*

APPLICATION OF BACTERIAL AGENTS FOR THE RESTORATION OF CEMENT COMPOSITES

The article shows the use of a number of bacterial agents with urease activity and capable of stimulating the formation of calcium carbonate. To obtain a new phase, a pair of “nutrient medium — microorganisms” was previously selected, the selection criteria were urease activity and the ability to grow CFU/ml). It was found that the optimal criteria were obtained from bacterial strains 1, 2, 8 and the corresponding nutrient media I, III, II. Cement systems of the following composition were formed: Portland cement — fine aggregate — large aggregate — bioadditive. Various types of sand were used as a fine aggregate. Cement systems were evaluated according to the criteria of compressive strength, bending strength. It was found that the maximum strength was shown by the CS-1

system based on dietary supplement 1. Microscopic studies were also carried out, the ability to recover, i.e. the appearance of a new phase over time, was assessed, using micro-X-ray spectral analysis, changes were found.

К е у w o r d s: portland cement, restoration of materials, dietary supplements, urease activity, strength, biomineralization.

For citation:

Goncharova M. A., Akchurin T. K., Dergunova V. V., Dergunova E. S. [Application of bacterial agents for the restoration of cement composites]. *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], 2023, iss. 5, pp. 60—70.

About authors:

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

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

Valentina V. Dergunova — Student, Lipetsk State Technical University. 30, Moskovskaya st., Lipetsk, 398055, Russian Federation; v123alentina@gmail.com

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