

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук
Чулковой Ирины Львовны на диссертацию
Балицкого Дмитрия Андреевича на тему: *«Биоминерализующий
состав как модифицирующий компонент ремонтных смесей»*,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Для отзыва предоставлены диссертация, изложенная на 171 странице машинописного текста, которая включает 45 рисунков, 36 таблиц, список литературы из 153 наименований, 4 приложений, а также автореферат объемом 20 страниц.

Актуальность диссертационной работы

Актуальность рассматриваемой темы обусловлена перспективностью применения микробной карбонатной биоминерализации как модификатора ремонтных составов. Разрабатываемые ремонтные смеси имеют как научное, так и прикладное значение. Использование микроорганизмов в ремонтных смесях для инъектирования трещин или заполнения полостей уменьшает проницаемость бетона, что позволяет продлить срок службы объектов строительства за счет улучшения их эксплуатационных характеристик.

Диссертационная работа Балицкого Дмитрия Андреевича направлена на разработку технологического решения, обеспечивающее получение ремонтных смесей на цементной основе с эффектом микробной карбонатной биоминерализации за счет использования в качестве модифицирующего компонента биоинерализующего состава, вводимого с водой затворения.

Работа выполнена при финансовой поддержке в рамках: гранта РФФИ № 18-29-12011 и государственного задания Минобрнауки РФ № FZWN-2023-0006 с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

Общая характеристика работы

Автором обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана степень разработанности данной темы, определены цель и задачи работы, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследования, обозначены положения, выносимые на защиту, факторы, обеспечивающие достоверность полученных результатов, а также сведения об апробации и внедрении результатов исследований.

Первая глава посвящена обзору научной литературы с подробным описанием физико-химических процессов, протекающих при микробной карбонатной биоинерализации, классификацию способов введения уреазных бактерий в различной последовательности, влиянию прекурсоров и рециклированного заполнителя на процессы биоинерализации и структурообразования композиционного вяжущего.

Во второй главе описаны свойства сырьевых материалов, методы и методики проведения экспериментов с учетом этапов подготовки, которые подробно

представлены в главах диссертации, и отражают анализ исследований, что облегчает восприятие и понимание полученных результатов.

В третьей главе изложена научно-техническая терминология; проанализирована продуцирующая способность бактерий в зависимости от содержания и концентраций прекурсоров. Установлены рациональные концентрации компонентов биоминерализующего состава на основании анализа уреазной активности бактерий. Произведена оценка влияния прекурсоров на свойства цементного теста, а также исследован характер воздействия биоминерализующего состава в зависимости от концентрации в цементной системе. Произведено прогнозирование цементной матрицы, модифицированной биоминерализующим составом.

Четвертая глава посвящена изучению влияния биоминерализующего состава на физико-механические характеристики цементного камня в модельной системе «вяжущее – биоминерализующий состав – рециклированный заполнитель». Произведена оптимизация гранулометрического состава смесей по кривой Фуллера с учетом нормативных требований к заполнителям, вводимым в ремонтные растворы. Описана микроструктура цементного камня в зависимости от объемного содержания и фракционного состава заполнителя. Исследовано влияние гидратации вяжущего на жизнедеятельность карбонатогенных бактерий, в результате которого установлено отсутствие негативного воздействия на их жизнеспособность и продуцирующую активность. Отмечено увеличение гидрофобности поверхности цементного камня, модифицированного биоминерализующим составом. Проанализирована возможность закрытия трещин цементного камня при объемном введении биоминерализующего состава в композит.

В пятой главе разработана технология получения ремонтных смесей с биоминерализующим компонентом; рассмотрены принципы и методы ремонта бетонных конструкций, согласно которым обоснована технология нанесения составов в зависимости от повреждения бетона; рассчитана технико-экономическая эффективность, представлены прочностные характеристики ремонтных смесей; для внедрения результатов работы разработаны стандарты организации и представлены перспективы дальнейших исследований.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и научная новизна.

Научные положения, выдвинутые в диссертации, обоснованы и согласуются с отечественными и зарубежными научными представлениями в области микробной карбонатной биоминерализации, реализуемой в строительном материаловедении. Представленные аспекты работы, в совокупности, могут значительно повысить качество и долговечность цементобетонных изделий, что сделает их более устойчивыми к воздействию внешней среды и снизит частоту необходимости в ремонте. Изучение сырьевых компонентов и состава модифицированного материала, использование комплекса методов исследования с применением современного высокотехнологичного оборудования позволило получить достоверные результаты.

В научной новизне автором обосновано и экспериментально подтверждено технологическое решение, обеспечивающее получение ремонтных смесей на

цементной основе с эффектом микробной карбонатной биоминерализации за счет использования в качестве модифицирующего компонента биоминерализующего состава (БС), вводимого с водой затворения. Установлены рациональные концентрации биоминерализующего состава в системе «вяжущее – биоминерализующий состав – рециклированный заполнитель», не оказывающие негативного влияния на процессы гидратации цемента и продуцирующую способность бактерий. Показано, что реакции преципитации карбоната кальция, приводящие к улучшению характеристик, как самой ремонтной смеси, так и контактной зоны, обеспечивают сродство структур с насыщенной вторичным кальцитом ремонтной поверхностью и эффект самовосстановления.

Установлены закономерности влияния модифицирующей добавки биоминерализующего состава на свойства и процессы структурообразования ремонтных смесей. Введение БС в диапазоне от 2 до 10 % приводит к: снижению нормальной густоты цементного теста на 3–9 %; замедлению начала схватывания на 16–34 %; снижению среднего значения начальной скорости твердения (при введении 8 % БС) на 9 % и коэффициента торможения гидратации на 2 %; повышению прочности на сжатие цементного камня при оптимальной концентрации БС на 8 %. Рециклированный заполнитель, как дополнительный источник карбоната кальция, в зависимости от его содержания, обеспечивает повышение прочности на сжатие на 6–27 %. С уменьшением крупности РцЗ прослеживается тенденция увеличения содержания кальцита в биоминерализованной цементной матрице от 13 до 24 %. Смывы из разломов по закрытым трещинам показали увеличение количественного содержания штаммов *Bacillus pumilus* на 35 % по сравнению с образцами с БС без РцЗ. Рациональные составы модифицированной РС, характеризуются увеличением прочности на сжатие на 4–12 %, адгезии к ремонтируемой поверхности на 36–69 % по сравнению с составом без БС.

Предложена феноменологическая модель структурообразования ремонтной смеси в системе «вяжущее – биоминерализующий состав – рециклированный заполнитель (РцЗ)», при применении технологии МКБ. Поверхность карбонизованного рециклированного заполнителя ремонтного состава, а также вторичные карбонаты ремонтируемой поверхности (РП), выступают подложкой для роста биокарбонатов, являясь дополнительным источником ионов кальция. Тем самым, контактная зона между РС и РП, помимо продуктов гидратации, включает биогенные кристаллические новообразования, координирующие контракционные и капиллярные поры в процессе продуцирующей деятельности бактерий, пролонгируя процессы структурообразования в эксплуатационный период.

Достоверность обеспечивается: комплексом экспериментальных исследований с учетом требований методик и методов, регламентированных нормативными документами, при использовании современного высокотехнологичного оборудования и сопоставлением результатов, полученных другими авторами.

Автореферат диссертации соответствует структуре работы, отражает основные идеи и выводы исследований, положения, выносимые на защиту, обоснование актуальности и значимости работы, цели и задачи исследования. Выво-

ды базируются на полученных автором экспериментальных результатах.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследований

Дополнены теоретические представления о процессах микробной карбонатной биоминерализации при использовании биоминерализующего состава в качестве модифицирующего компонента ремонтных смесей. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что введение биоминерализующего раствора в ремонтный состав на цементной основе приводит к продуцированию кристаллов карбоната кальция бактериальной культурой *Bacillus pumilus* с последующим упрочнением контактной зоны между РС и ремонтной бетонной поверхностью.

Разработаны ремонтные смеси, содержащие (по массе вяжущего): 8 % БС (D-глюкоза – 10 г/л, пептон – 30 г/л, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ – 20 г/л, CaCl_2 – 20 г/л, бактериальный инокулят 5×10^6 кл/мл), 5 %, 10 %, 20 % РцЗ, вода затворения – 24 %. Для инъектирования трещин использован заполнитель фракций 0,16–0,315, 0,315–0,63 в соотношении 47/53; для заполнения полостей – 0,16–0,315, 0,315–0,63, 0,63–1,25, 1,25–2,5 в соотношении 19/21/26/34 соответственно. Разработанные составы обеспечивают получение ремонтных растворов с прочностью на сжатие 52–60 МПа; прочностью сцепления с основанием 1,4–2,2 МПа; сохранением продуцирующей способности штаммов *Bacillus pumilus*.

Предложена технология получения ремонтных смесей, включающая приготовление биоминерализующего состава, вводимого с водой затворения не ранее 36 часов и не позднее 72 часов с момента его приготовления, непосредственно перед затворением ремонтных составов.

Основные положения работы изложены в 16 публикациях, в том числе: 6 статей в российских журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ и 4 работы в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus.

Замечания и рекомендации по диссертации и автореферату

1. Автором в качестве рециклированного заполнителя выбран стеновой цементный камень на цементном вяжущем из тяжелого бетона, при этом не совсем понятно возможно ли использование в качестве заполнителя иных видов материалов?

2. В работе приводится расчет гранулометрической кривой РцЗ по Фуллеру для обеспечения наиболее плотной упаковки заполнителя в цементной системе, но доля заполнителя в разрабатываемых составах не превышает 20 %. На чем основывается такой выбор?

3. В тексте диссертационной работы при оценке жизнеспособности бактериальных культур в системе «ПЦ+БС+РцЗ» не указан гранулометрический состав заполнителя. Влияет ли крупность зерна заполнителя на жизнестойкость микроорганизмов?

4. При оценке долговечности модифицированного биоминерализующим компонентом цементного камня на основании теории переноса по методике, предложенной Рахимбаевым Ш.М., расчет прочности материала останавливается на 400 сутках, но при этом, бетоны имеют длительный срок эксплуатации. С чем связан такой выбор периода оценки долговечности?

5. При оценке прочности разрабатываемых составов следовало проанализи-

зировать не только прочность на сжатие, но и на изгиб.

6. Требуют конкретизации области применения ремонтных смесей, модифицированных биоминерализующим составом.

7. По тексту диссертации и автореферата имеется ряд неточностей и редакционных погрешностей.

Замечания и рекомендации не являются критическими и не оказывают влияния на положительное впечатление о работе.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация Балицкого Дмитрия Андреевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой содержится научно-обоснованное технологическое решение, обеспечивающее применение биоминерализующего состава как модифицирующего компонента для получения ремонтных смесей. Полученные в диссертации выводы и предлагаемые технические рекомендации обладают научной новизной, а также расширяют и дополняют теоретические представления в исследуемой области. Текст написан грамотным техническим языком, графический материал выполнен на высоком уровне.

Учитывая актуальность затронутых вопросов, научную новизну, теоретическую и практическую значимость полученных результатов, считаю, что диссертационная работа на тему «Биоминерализующий состав как модифицирующий компонент ремонтных смесей» соответствует критериям п. 9–11, 13, 14 Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 в действующей редакции с дополнениями и изменениями), предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Балицкий Дмитрий Андреевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук по специальности

05.23.05 – Строительные материалы

и изделия, профессор, профессор кафедры

«Промышленное и гражданское строительство»

Чулкова
Ирина Львовна

«04» ноября 2024 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет»

Адрес университета: 644080, Россия, г. Омск, пр. Мира, д. 5

Тел.: +7 (3812) 65-03-22

E-mail: chulkova_il@sibadi.org

