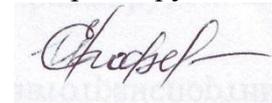


На правах рукописи



ЕРОФЕЕВА Ирина Владимировна

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА,
БИОЛОГИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ
ПОРОШКОВО-АКТИВИРОВАННЫХ БЕТОНОВ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Пенза – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства».

Научные руководители – заслуженный деятель науки РФ,
доктор технических наук, профессор

Калашников Владимир Иванович

доктор технических наук, профессор
Тараканов Олег Вячеславович

Официальные оппоненты – **Белов Владимир Владимирович**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тверской государственный
технический университет», заведующий
кафедрой «Производство строительных
изделий и конструкций»

Латыпов Валерий Марказович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»,
профессор кафедры «Строительные
конструкции»

Ведущая организация – **ФГБОУ ВО «Российский университет
транспорта (МИИТ)»**

Защита состоится 28 декабря 2018 года в 15-00 на заседании диссертационного совета Д 212.184.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, д. 28, корп. 1, конференц-зал.

С диссертационной работой можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета архитектуры и строительства и на сайте: <http://dissovet.pguas.ru/index.php/contact-us/d-212-184-01/97-25-erofeeva-irina-vladimirovna>.

Автореферат разослан 27 октября 2018 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бакушев
Сергей Васильевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Долговечность бетона и железобетона является одной из актуальных задач современного строительства, имеющей проблемный характер и требующей постоянного развития. Накопление данных по прочности и трещиностойкости материалов, а также кинетике коррозионных процессов в агрессивных средах позволяет разрабатывать методы и способы защиты, повышающие долговечность бетонов и других цементных композитов. Очевидно, что к наиболее сложным и опасным типам негативных факторов, вызывающих коррозию бетона и железобетона, относятся биологически активные среды, интенсифицирующие процессы их коррозионного биоповреждения и биоразрушения в условиях действия высокой влажности, теплого и жаркого климата, других факторов. В этой связи важнейшей задачей представляется рассмотрение вопросов, связанных с коррозионными процессами в различных климатических условиях (в частности, морского побережья и жаркого климата), в том числе с учетом влияния биологических факторов.

Комплексное воздействие динамических нагрузок, погоднo-климатических условий, агрессивных сред, а также низкого качества материалов, применяемых при возведении зданий и сооружений, в дорожном строительстве, может привести к их преждевременным разрушениям. Необходимо учитывать, что если оценка влияния негативных факторов окружающей среды является практически непредсказуемым процессом, то требования к качеству используемых материалов при современном развитии технологий могут быть обеспечены на самом высоком уровне.

Перспективным направлением повышения качества строительных изделий и конструкций, в том числе коррозионной стойкости, является использование для их производства бетонов с применением комплексных модификаторов широкого спектра действия. Рецептуру бетонов в этом случае назначают, используя дисперсные компоненты различных масштабных уровней, обеспечивающих плотную упаковку частиц и зерен синтезируемой системы с минимальной пустотностью, и эффективные суперпластификаторы третьего поколения. Тонкодисперсные наполнители в бетонных смесях различны по функциональному действию и делятся на реологически активные, реакционно-активные и гидратационного твердения.

Примером достижения достаточно высоких физико-технических свойств композиционных материалов является получение порошково-активированных песчаных бетонов с повышенным содержанием суспензионной составляющей, приводящей к формированию саморастекающихся и самоуплотняющихся смесей.

Несмотря на многочисленные работы, в которых исследовались структура и свойства порошково-активированных бетонов, до сих пор не изучено влияние геометрических и физико-механических свойств компонентов, а также энергетического их состояния на динамическую прочность, трещиностойкость, стойкость к биологическим факторам, в том числе с учетом климатических условий.

Решением обозначенной проблемы являются исследование и разработка механизма структурообразования цементных композитов, содержащих минеральные модификаторы различного масштабного уровня, физического и энергетического состояния в комплексе с эффективными суперпластификаторами третьего поколения, обеспечивающими получение материалов с заданными свойствами, в том числе показателями их долговечности в сложных агрессивных средах с учетом воздействия

биологических факторов.

Диссертационная работа выполнялась в рамках конкурсов фундаментальных научных исследований РААСН и Минстроя России, проводившихся в 2016 и 2018 годах, «Разработка биоцидных цементов с активными минеральными добавками и композитов на их основе, стойких в условиях воздействия биологически агрессивных сред»; «Высокоэффективные экономичные биостойкие и коррозионно-стойкие порошково-активированные самоуплотняющиеся бетоны нового поколения».

Степень разработанности избранной темы

В качестве способов, повышающих эффективность бетонов, рассматриваются различные технологические и рецептурные приемы.

На эволюционном пути улучшения качества бетона, повышения его прочности были прорывные технологии, связанные с разработкой высокоэффективных способов уплотнения (виброуплотнение, вибровакuumирование и т. д.), в создание которых большой вклад внесли И. М. Грушко, Б. В. Гусев, В. И. Соломатов, Э. Фрейсине, Р. Лермит, П. М. Миклошевский, С. В. Шестоперов, М. Н. Ахвердов, А. А. Афанасьев и др. Внедрением пластифицирующих добавок в технологии бетонов, и особенно эффективных супер- и гиперпластификаторов, занимались Н. Б. Урьев, П. Г. Комохов, В. И. Логанина, С. М. Мчедлов-Петросян, М. М. Сычев, В. И. Соломатов, Ю. М. Баженов, П. А. Ребиндер, В. Г. Батраков, В. Б. Ратинов, А. В. Ушеров-Маршак, В. С. Рамачандран, О. В. Тараканов, Б. Р. Фаликман, М. Коллепарди, Р. Кондо, Д. Рой, К. Хатторн, М. Даймон. Над созданием бетонов нового поколения с помощью различных методов активации составляющих компонентов, введения порошковой и тонкодисперсной фазы работали В. И. Калашников, С. С. Каприелов, В. И. Соломатов, В. И. Классен, В. Т. Фомичев, Ю. В. Пухаренко, Е. М. Чернышов, В. Г. Хозин, Г. Н. Яковлев, С. В. Федосов, Е. Г. Величко, Е. В. Королев, В. Л. Хвастунов, В. С. Лесовик, В. В. Строкова, А. В. Шейнфельд, У. Людвиг, Р. Aitchin, М. Cheurexu, E. G. Deharrard, V. Mechtherine, P. T. Santhosh, M. Schmidt, P. Kleingelhöfer, D. Frank, K. Fridemenn, P. Richard, M. Chentern, P. Y. Blais, C. Danrioc, A. S. Belardi, K. K. Sideris, E. Guneyisi, M. Fenollera, L. Garcia.

Ранее основным фактором, позволяющим достичь высокой прочности, было интенсивное виброуплотнение. Применение высокоэффективных способов уплотнения бетонов из жестких смесей позволило повысить их прочность в 1,5–2 раза по сравнению с бетонами, изготовленными из пластичных смесей с повышенным водоцементным отношением (В/Ц).

Современные высококачественные бетоны имеют большой спектр различных видов: это высокопрочные и ультравысокопрочные бетоны, самоуплотняющиеся, самонивелирующиеся, высококоррозионно-стойкие, реакционно-порошковые, порошковые пластифицированные, в том числе дисперсно-армированные. Эти разновидности бетонов удовлетворяют высоким требованиям прочности на сжатие и растяжение.

Создание высококачественных бетонов нового поколения базируется на использовании высокоэффективных суперпластификаторов в сочетании с новой рецептурой компонентов твердых видов, обеспечивающих синергетический эффект, особенно на ранней стадии структурообразования. К настоящему времени определены критерии тонкодисперсных наполнителей, регламентируемые стандартами.

Присутствие микрокремнезема нанометрического размерного уровня обеспечивает фиксацию образующихся гидратных фаз в положении ближней коагуляции, существенно уменьшая дефектность и повышая плотность и прочность образующейся структуры с низкой степенью неупорядоченности. Порошки из горных пород (каменная мука микрометрического масштабного уровня) относятся к реологически активным, выполняя совместно с суперпластификаторами реологическую функцию, вытекающую из физико-химической механики и реологии дисперсных систем. Содержание в смеси с цементом и суперпластификаторами нового поколения наполнителей может варьироваться в значительных пределах, увеличиваясь при уменьшении содержания цемента. При избыточном содержании наполнителя с частицами высокой дисперсности возникают микрообъемы с повышенной их концентрацией, что приводит к образованию трещин, снижению однородности микроструктуры и интегральному ухудшению свойств материала. Уменьшение обозначенных деструктивных процессов обеспечивается включением в состав наполнителя зерен больших размеров. При этом возможно образование эпитаксиальных контактов нового типа, основанных на силах электростатического притяжения и механического защемления тонкодисперсных частиц в стесненных условиях. В рецептуре должен присутствовать тонкий песок фракции 0,1–0,5 или 0,16–0,63 мм, который в смеси с цементом и суперпластификатором также усиливает реологическое действие последнего.

Большинство бетонов и других цементных композитов подвергаются воздействию статических и динамических нагрузок, а также негативных климатических и других агрессивных факторов. Исследованию долговечности бетонов в этих условиях посвящены работы В. М. Бондаренко, И. Г. Овчинникова, Е. А. Гузеева, В. И. Римшина, О. Г. Ржаницина, В. П. Цернанта, В. Д. Ильичева, В. И. Соломатова, Ю. М. Баженова, С. В. Федосова, В. П. Селяева, О. В. Старцева, Е. Н. Каблова, Л. М. Добшица, В. М. Латыпова, В. И. Кондращенко, В. И. Бабушкина, А. Р. Шуляченко, А. А. Бойкова, В. И. Чарномского, П. П. Будникова, П. П. Бута, В. А. Кинда, С. В. Шестоперова, В. А. Карпова, В. Н. Юнга, Б. Г. Скрамтаева, В. Ф. Степановой, А. Ф. Полака, В. Б. Ратинова, Ф. М. Иванова, А. Ф. Алексеева, Б. В. Гусева, Н. К. Розенталя, Г. С. Рояка, А. Е. Шейкина, П. Г. Комохова, В. М. Москвина, М. И. Бруссера, В. Ф. Смирнова, Н. И. Карпенко, Н. И. Макридина, В. И. Травуша, А. П. Федорцова, П. И. Новичкова, А. Д. Богатова, A. Alum, S. I. Pirt, R. T. Ross, G. Griffin, D. K. Platt, C. Andrade, M. Akijama, F. Xing, L. Bertolint, K. Holschemacher.

Важным направлением является проведение исследований материалов по оптимизации их по показателям статической и динамической прочности, долговечности в условиях воздействия агрессивных сред. Наряду с установлением физико-механических показателей цементных композитов, необходимо выявление закономерностей их деформирования и разрушения под действием силовых нагрузок. В качестве внешних агрессивных факторов наиболее перспективным является рассмотрение физических, химических, биологических сред. Очевидно, что к основным относятся влажностные, температурные, микробиологические среды, в том числе характерные для районов морского побережья и жаркого климата, а также химические среды, во взаимодействии с другими факторами приводящие к преждевременному ускоренному старению материалов и усилению их повреждений и разрушений.

Цель и задачи диссертационного исследования

Целью работы является проведение комплексных исследований способности

порошково-активированных бетонов сопротивляться воздействию статических и динамических нагрузок, биологических сред и температурно-влажностных факторов в лабораторных и натуральных условиях. Для ее достижения были определены следующие задачи.

1. Составить обзор отечественной и зарубежной литературы по долговечности бетона и железобетона в условиях воздействия статических и динамических нагрузок, химических и биологических агрессивных сред, морской воды и различных климатических факторов и выделить пути обеспечения стойкости цементных композитов и изделий на их основе за счет внедрения порошково-активированных бетонов с повышенными показателями плотности и прочности.

2. Обосновать для проведения исследований составы цементных матриц порошково-активированных бетонов: 1) цемент, молотый наполнитель, пластификатор, вода, биоцидная добавка (матрица первого рода); 2) цемент, молотый наполнитель, тонкий наполнитель фракции 0,1–0,5 или 0,16–0,63 мм, пластификатор, вода, биоцидная добавка (матрица второго рода); 3) матрица первого рода или матрица второго рода, включающая мелкий заполнитель фракции 1,0–5,0 или 0,63–5,0 мм (матрица третьего рода).

3. Исследовать влияние комплексных добавок на процессы структурообразования и формирование структуры твердой фазы на различных стадиях гидратации портландцемента и обосновать выбор химических, тонкодисперсных и мелкозернистых минеральных компонентов, обеспечивающих улучшение технологических свойств бетонной смеси, повышение плотности и прочности порошково-активированных бетонов.

4. Провести сравнительные исследования структуры, прочности, деформативности, механики разрушения цементных композитов различного типа с использованием механических, физико-химических, включая лазерную интерферометрию, и других методов. Установить количественные зависимости показателей стойкости порошково-активированных бетонов в условиях воздействия статических и динамических нагрузок, биологических и климатических сред.

5. Выявить возможности повышения физико-механических свойств и стойкости цементных композитов путем отдельного и совместного введения дисперсных добавок, суперпластификаторов, биоцидных препаратов и ингибирующее действие последних на микромицеты, участвующие в биодеградации.

6. Провести комплексные исследования по оценке биопоражаемости цементных композитов различного рецептурного состава, включающих активированный затворитель, пластификаторы, пигменты, наполнители, дисперсную арматуру и мелкозернистые наполнители, биологически активными средами в лабораторных и натуральных условиях климата морского побережья.

7. Выполнить оценку стойкости разработанных цементных композитов в морской воде и в воздушной среде в условиях жаркого климата, характеризующихся воздействием ультрафиолетового облучения, переменной и повышенной влажности, солевого тумана, циклически действующих положительных и отрицательных температур.

8. Разработать предложения по практическому использованию порошково-активированных бетонов нового поколения в условиях воздействия статических и динамических нагрузок, биологических и температурно-влажностных сред.

Объект исследования – цементные композиты, модифицированные суперпластификаторами, биоцидными препаратами, дисперсными системами различного размерного уровня, энергетического состояния и пуццоланической активности, обеспечивающие в сочетании с параметрами минеральных наполнителей и заполнителей высокую степень упорядоченности структуры, максимальные их плотность, прочность, долговечность.

Предмет исследования – деструктивные процессы, происходящие в бетонах за счет механического, биологического и климатического воздействия, а также структурообразование и формирование комплекса повышенных физико-механических свойств, стойкости и долговечности цементных композитов в условиях воздействия биологических сред и температурно-влажностных факторов.

Научная новизна работы

1. Установлена взаимосвязь между содержанием компонентов (по объему), соотношением диаметров наполнителя на иерархических уровнях структур (матриц), оказывающая определяющее влияние на свойства порошково-активированных бетонов и соподчиненность всех уровней структуры от наиболее крупных к более мелким, охватывающая межфазные и межчастичные взаимодействия и позволяющая установить причинно-следственные связи структуры и свойств бетонов на жизненном цикле. Матрица первого рода – цемент, молотый наполнитель, пластификатор, вода и биоцидная добавка; второго рода – цемент, молотый наполнитель, пластификатор, вода, биоцидная добавка, тонкий наполнитель фракции 0,1–0,5 или 0,16–0,63 мм; третьего рода – матрица первого или второго рода, включающая мелкий заполнитель фракции 1,0–5,0 мм или 0,63–5,0 мм.

2. Развита механизмы синергетического действия добавок суперпластификаторов, биоцидных препаратов, нанодисперсных систем, частиц микрометрического размерного уровня в сочетании с параметрами минеральных наполнителей и заполнителей на изменение состава, структуры и свойств цементного камня и бетона, обеспечивающих их высокие плотность, прочность и долговечность.

3. Установлен комплекс показателей и параметров деформирования и разрушения структур (матриц) порошково-активированных бетонов. Выявлено, что введение в состав бетона пластифицирующих и биоцидных добавок, минеральных порошков приводит к увеличению сопротивления сжатию, сдвигу, растяжению, трещинообразованию, вязкости разрушения, химико-биологической и климатической стойкости.

4. Выявлено, что однородные по составу и коэффициентам линейного и объемного расширения цементные композиты, в которых при охлаждении в результате конденсации влаги не происходит критического заполнения микропор, являются более стойкими в условиях циклического воздействия положительных и отрицательных температур. При исследовании стойкости композитов в условиях повышенной влажности и переменных температур установлено, что повышение и сохранение твердости менее твердых материалов в начальное время действия среды связано с их большей потенциальной способностью уплотняться, упрочняться и повышать твердость поверхностного слоя.

5. Разработаны конкретные решения и общая стратегия выбора биоцидных добавок для порошково-активированных бетонов, предотвращающих процессы их биоповреждений, на основе установления видового состава микроорганизмов-би-

одеструкторов на строительных изделиях и определения минимальной ингибирующей концентрации биоцидных препаратов.

6. Выявлен видовой состав микроорганизмов-биодеструкторов, заселяющихся на цементных композитах при экспозиции в условиях влажного и жаркого климата черноморского побережья и морской воды, существенно усиливающих процессы биоповреждений.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Теоретическая значимость работы обусловлена получением новых знаний в области долговечности строительных материалов и изделий. Результаты могут быть использованы для оценки и прогноза долговечности материалов и конструкций.

2. Разработаны составы порошково-активированных бетонов с улучшенными упругопластическими и прочностными характеристиками и высокой стойкостью в условиях воздействия статических и динамических нагрузок, различных агрессивных факторов. Полученный комплекс экспериментальных показателей структуры, физико-механических свойств, биологической и климатической стойкости и сравнительная оценка свойств цементных композитов, включающих в свой состав различные виды заполняющих и добавочных компонентов, образующих составы бетонов различных структур, необходимы для моделирования их долговечности.

3. Сформулирован, теоретически разработан и экспериментально подтвержден подход к выбору составляющих компонентов и фунгицидных добавок для защиты конкретных композиционных материалов, основанный на исследовании особенностей процессов структурообразования и получения материалов плотной структуры и установлении ингибирующего действия бетонов на микромицеты, участвующие в биодеградации.

4. Исследована стойкость традиционных и разработанных цементных композитов при воздействии отдельных факторов внешней среды в условиях климата морского побережья.

5. Разработана рецептура композиционных вяжущих, включающих в свой состав суперпластификаторы, биоцидные препараты, тонкодисперсные системы, являющиеся высокоэффективной основой для широкого спектра строительных композиционных материалов различного назначения, в том числе тех, к которым предъявляются требования по долговечности.

6. Определены составы и изучены физико-механические свойства, биологическая и климатическая стойкость цементных композитов, содержащих суперпластификаторы, биоцидные препараты, дисперсные системы микрометрического размера как в сочетании с минеральными наполнителями и заполнителями, так и без их участия.

Методология и методы диссертационного исследования

Задачи диссертационного исследования решались с помощью установления зависимостей «состав, технология, структура и свойства цементных композиций и затвердевших материалов».

Изучение свойств и составов сырьевых компонентов, цементных композиций и затвердевших материалов проводилось с использованием общепринятых физико-механических, физико-химических и химико-биологических методов. Для качественной и количественной оценки продуктов гидратации контрольных и модифицированных составов с биоцидными препаратами, суперпластификаторами,

нанодисперсными системами, а также наполненных минеральными наполнителями и заполнителями цементных композитов применялся спектр современного лабораторного оборудования для рентгенофазового анализа и лазерной интерферометрии.

Положения, выносимые на защиту

1. Новые данные и закономерности влияния комплексных добавок на свойства и модификацию структуры цементных композитов в различных условиях твердения и после воздействий биологических и климатических факторов.

2. Результаты исследований эффективности модифицирующих добавок, включающих суперпластификаторы, дисперсные системы микрометрического размерного уровня, биоцидные препараты и минеральные наполнители и заполнители, а также результаты теоретического и экспериментального обоснования их оптимального содержания в матрицах порошково-активированных бетонов.

3. Результаты физико-механических, химико-биологических испытаний и зависимости изменений физико-механических и физико-химических свойств различных матриц порошково-активированных бетонов после экспозиции в биологически активных средах, в климатических условиях морского побережья и морской воде.

4. Рациональные рецептуры порошково-активированных бетонов с улучшенными показателями физико-механических свойств, биологической и климатической стойкости.

Степень достоверности результатов диссертационного исследования

Достоверность результатов обеспечена проведением экспериментальных исследований на высоком техническом уровне с достаточной воспроизводимостью, реализованных за счет применения современной аппаратной базы, стандартизированных методов исследований, научно обоснованных методик, регламентированных нормативными документами. При проведении испытаний использовалось проверенное и аттестованное оборудование. Установлена сходимость результатов теоретических исследований и экспериментальных данных. Результаты, полученные в работе, согласуются с экспериментальными данными других авторов.

Личный вклад автора

Вклад автора состоит в анализе отечественной и зарубежной научно-технической и патентной литературы по изучаемой проблеме, в выборе направления исследования, его обосновании, формировании цели и задач исследований, в планировании и проведении экспериментов, разработке эффективных цементных композитов, обладающих улучшенными физико-механическими свойствами и повышенной стойкостью в условиях биологических и температурно-влажностных сред, в анализе и обосновании полученных результатов исследований, изложенных в диссертационной работе.

Апробация диссертационной работы

Основные научные достижения и результаты экспериментов были представлены на:

– Международной научно-практической конференции «Проблемы современного строительства» (Пенза, 2011 г.);

– Международной научно-технической конференции «Разработка эффективных авиационных, промышленных, электротехнических и строительных материалов и исследование их долговечности в условиях воздействия различных эксплуатационных факторов» (Саранск, 2013 г.);

– XVIII научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов Национального исследовательского Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева (Саранск, 2014 г.);

– Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы архитектуры и строительства» (Саранск, 2014, 2015, 2016, 2017 гг.);

– Международной научной конференции «Naukowa myśl informacyjnej powieki» (Przemysl, Poland, 2014, 2016 гг.);

– XXI Международном симпозиуме «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» (Москва, 2015 г.);

– XVIII Международной научно-практической конференции «Современные технологии в машиностроении и проблемы исследования и проектирования машин» (Пенза, 2015 г.);

– Международной научной конференции «XI International scientific and practical conference» (Sheffield, 2016 г.);

– Всероссийском совещании «Инновационное направление учебно-методической и научной деятельности кафедр материаловедения и технологии конструкционных материалов» (Саранск, 2016 г.).

Разработки в области создания порошково-активированных бетонов с улучшенной биологической и климатической стойкостью удостоены дипломов: Международной научно-практической конференции «Биотехнологии в комплексном развитии регионов» в конкурсе молодых ученых на лучшую научно-исследовательскую работу в 2016 году, IX Международного конгресса «Биотехнология: состояние и перспективы развития» за лучшую научно-исследовательскую работу в конкурсе молодых ученых в 2017 году.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 28 научных работ, в том числе 8 статей в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК, 2 работы в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных и систем цитирования Scopus. Техническая новизна решений подтверждена двумя патентами на изобретение и свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы из 286 наименований и 10 приложений, изложена на 277 страницах, содержит 45 рисунков, 50 таблиц. Приложения изложены на 41 странице.

Автор выражает благодарность за помощь и консультации при выполнении диссертационного исследования д.б.н. Смирнову В. Ф., к.т.н. Гуляевой Е. В., Дергуневой А. В., Балатхановой Э. М.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность выбранного направления исследования, степень его разработанности, сформулированы цель и задачи исследований, показаны научная новизна работы и ее теоретическая и практическая значимость,

методология и методы исследования, степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе приводится обзор научно-технической литературы отечественных и зарубежных ученых в области исследования структуры, физико-механических свойств и долговечности бетонов и других цементных композитов и выделены приоритетные направления в развитии отрасли.

Показано, что проблема обеспечения долговечности железобетонных конструкций является одной из главных в строительстве. Согласно литературным данным примерно 75 % строительных конструкций в мире подвержено разрушающему воздействию агрессивных сред, а продление срока их эксплуатации на 5 лет дает возможность экономии порядка 20 млрд руб. ежегодно. Долговечность бетонных и железобетонных конструкций, во-первых, определяется условиями внешней среды, т.е. климатом, составом воздуха, воды и грунта, а также особенностями контакта между внешней средой и наружными поверхностями конструкции. Во-вторых, в процессе эксплуатации строительные материалы и изделия в зданиях и сооружениях могут подвергаться негативному воздействию различных технологических факторов. Одной из агрессивных сред, вызывающих коррозию материалов, является биологическая, которая усиливается при определенных климатических условиях.

Опыт и уровень развития строительного комплекса показывают, что для современных зданий и сооружений необходим бетон с универсальными характеристиками, прежде всего с прочностью на сжатие в пределах 35–200 МПа, с высокими прочностью при растяжении, изгибе, трещиностойкостью, ударной вязкостью и длительной долговечностью, особенно в сложных условиях эксплуатации. К перспективным и эффективным отнесены материалы нового поколения, к которым относятся порошково-активированные бетоны.

Сформулирована рабочая гипотеза, заключающаяся в формировании порошково-активированных бетонов нового поколения с улучшенными физико-техническими свойствами за счет введения реакционно-активных и реологически активных наполнителей, эффективных суперпластификаторов и биоцидных добавок, способствующих уплотнению структуры, повышению прочности и коррозионной стойкости в биологических и температурно-влажностных средах.

Получение композитов с улучшенными показателями прочности, трещиностойкости и других свойств достигается низким водоцементным отношением, рациональной гранулометрией наполнителей и заполнителей различной природы, введением добавочных компонентов, усиливающих долговечность и другие свойства.

Во второй главе приводятся цель и задачи исследования, характеристики исходных материалов, методы приготовления образцов и их исследования, описаны приборы и оборудование.

При выполнении экспериментальных исследований для изготовления образцов цементных композитов использованы сырьевые материалы, удовлетворяющие требованиям соответствующих стандартов: портландцемент М500-Д0 Н производства Ульяновского цементного завода, портландцемент М500-Д0 производства ГУП «Чеченцемент» (р.п. Чири-Юрт), удовлетворяющие требованиям ГОСТ 10178; вода техническая по ГОСТ 23732–2011, вода, активированная электрическим током и магнитным полем. В качестве пластифицирующих добавок использовали суперпластификаторы нового поколения «Melflux 5581F», «Melment F10», «Хидетал ГП-

9γ», «SikoViskoGreate 20 Gold». Биоцидными добавками служили препараты: «Текс-флекс», «Росима» и др. В качестве реологически активного дисперсного наполнителя использовали микрокварц, а также карбонатные породы с различным содержанием CaCO_3 , реакционно-химическую пуццоланическую добавку – липецкий микрокремнезем. В качестве мелкого заполнителя использовали кварцевые пески двух фракций – 0–0,63 мм Смольненского карьера Ичалковского района РМ и 0,63–1,25 мм Храмцовского карьера Ивановской области.

Для решения поставленных задач в работе, наряду с применением стандартных методов испытаний, позволяющих определить прочность, модуль упругости, использовали ряд новых физико-механических и химико-биологических методов: метод рентгеноструктурного анализа для исследования структуры композитов, метод БЭТ для определения пористости, методы отпечатков, изъятия проб для определения видового состава микроорганизмов, метод оценки грибостойкости и фунгицидности для установления биостойкости. Кроме того, определяли ударную прочность падающим грузом в соответствии с ASTM D 7136, трещиностойкость через определение энергетических и силовых характеристик материала, процессов разрушения методами лазерной интерферометрии.

Существующие методы определения коррозионных процессов весьма длительны и трудоемки. Для ускорения проведения испытаний коррозионной стойкости применяли способ уменьшения поперечного сечения образцов. Испытание композитов проводилось на образцах размером $1 \times 1 \times 3$ см. Такие размеры позволяли проводить испытания материалов на биостойкость в чашках Петри.

Для оптимизации составов материалов использовали математические методы планирования эксперимента. Для получения достоверных данных осуществлялась статистическая обработка его результатов.

Исследования проводились в два этапа. На первом этапе выполнялось теоретическое обоснование получения композитов нового поколения с улучшенной структурой, подобраны рациональные составы биоцидных материалов и изучены их физико-механические свойства. На втором этапе исследована их стойкость в биологических и температурно-влажностных средах в лабораторных и натуральных условиях и предложены долговечные составы цементных композитов нового поколения.

В третьей главе приведены теоретические положения создания бетонов нового поколения с улучшенными физико-техническими свойствами, с помощью экспериментальных методов выполнено обоснование выбора составов условных матриц для проведения исследований, физико-химическими методами изучены структура и процессы структурообразования порошково-активированных бетонов.

Рассмотрены топологическая структура порошковых бетонов, условные реологические матрицы в пластифицированных бетонных смесях I, II и III рода. Приведены математические зависимости для расчета среднего расстояния между частицами наполнителя и заполнителя в матрицах разного рода, прочности дисперсно-наполненных композитов, оценки пластифицирующего эффекта суперпластификаторов.

Показано, что к важнейшим физико-техническим свойствам материалов относятся прочность, деформативность и долговечность. Прочность и жесткость цементных материалов определяются объемными содержаниями вяжущего и заполняющих компонентов, соотношением упругопрочностных свойств матрицы и за-

полнителей, их адгезионным взаимодействием, плотностью. Долговечность цементных композитов определяется множеством факторов, начиная от структуры и свойств материалов и заканчивая условиями эксплуатации строительных изделий. В биологически активных средах важнейшим является снижение обрастаемости материалов различными микроорганизмами. Для изделий, эксплуатируемых в условиях воздействия климатических факторов, определяющей является способность материалов сохранять физико-механические свойства в условиях циклически действующих температур, ультрафиолетового облучения, повышенной влажности. Приведены формулы для оценки долговечности бетонных и железобетонных конструкций через определение глубины разрушения бетона.

Обоснован выбор составов условных матриц для проведения исследований. Показано, что подбор многокомпонентных составов бетонов нового поколения необходимо осуществлять с использованием следующих основных рецептурных принципов: обязательное использование каменной муки с микрометрическими параметрами частиц как дисперсных наполнителей с $S_{уд} > 3\ 000\ \text{см}^2/\text{г}$, являющихся реологически активными компонентами; применение реакционно-активной пуццоланической добавки (микрокремнезема в количестве от 10 до 20 %), связывающей гидролизную известь в дополнительное количество прочных цементирующих гидросиликатов кальция для получения высокопрочных и сверхвысокопрочных бетонов; обязательное использование очень тонкозернистого кварцевого песка фракции 0,16–0,63 мм с модулем крупности менее 1,2, поддерживающего необходимое реологическое и структурное состояние водно-дисперсной смеси и увеличивающего взвешивающую способность дисперсно-тонкозернистой системы, предотвращая седиментацию грубозернистого песка при расслоении бетонной смеси; применение качественного песка-заполнителя и щебня со специально подобранной гранулометрией, обеспечивающих высокую насыпную плотность смеси наполнителей; низкое отношение воды к сумме всех твердых компонентов в бетонной смеси и чрезвычайно высокая объемная концентрация твердой фазы; обязательное использование высокоэффективных суперпластификаторов; для повышения биостойкости введение биоцидных добавок.

Определены реотехнологические свойства обычных, пластифицированных цементных и цементно-минеральных суспензий, водоредуцирующие эффекты.

Получены результаты исследований влияния карбонатно-кварцевых наполнителей с дисперсностью кварцевого наполнителя $3\ 100\text{--}3\ 300\ \text{см}^2/\text{г}$ и карбонатного $6\ 000\text{--}9\ 200\ \text{см}^2/\text{г}$ с различным соотношением кварцевой и карбонатной составляющих в цементных композитах на водопотребность сырьевой смеси, прочность при изгибе и сжатии.

С помощью физико-химических методов исследований (рентгенофазового и термического анализа) выявлено влияние биоцидной добавки на процессы структурообразования цементных композитов. После 28 сут твердения цементных композитов, модифицированных медь- и цинкосодержащими биоцидными препаратами, а также полигексаметиленгуанидин стеаратом, выявлено снижение уровня алита и увеличение содержания портландита, что говорит о большей степени гидратации составов с добавками (рисунок 1).

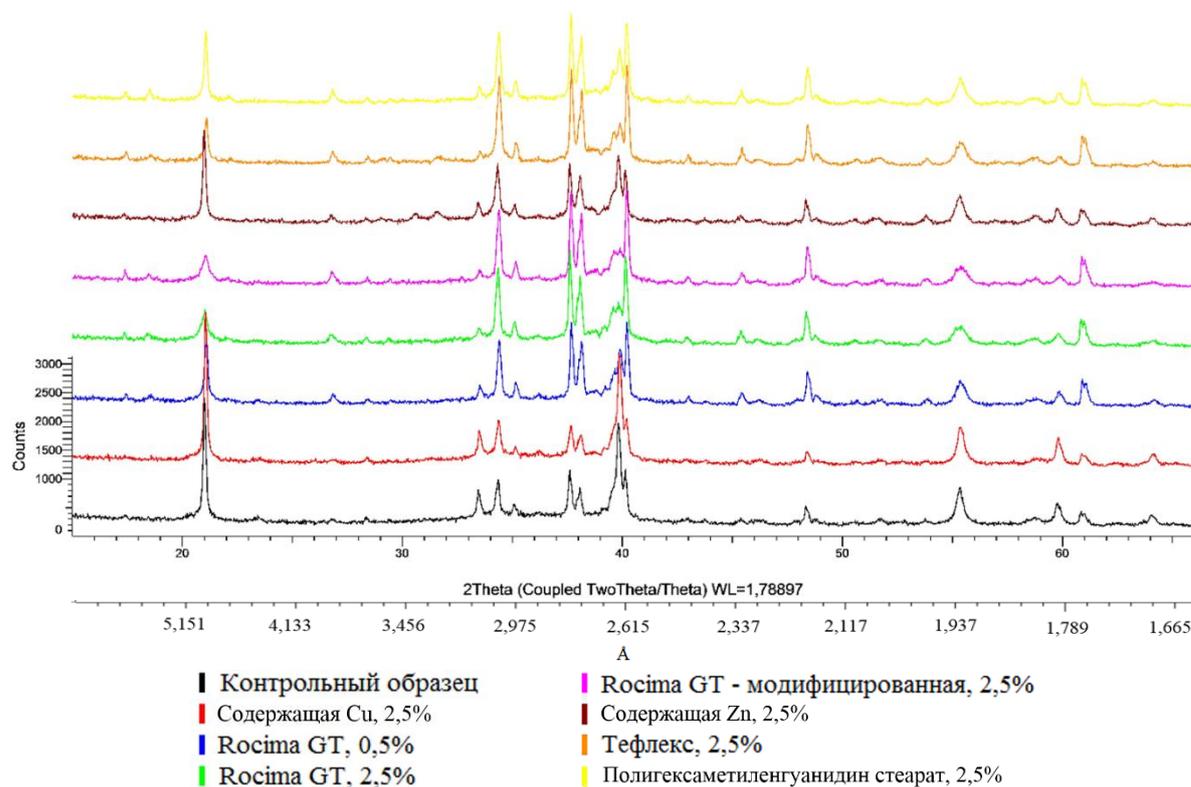


Рисунок 1 – Дифрактограммы модифицированного биоцидными препаратами цементного камня после 28 сут твердения

Определена пористость цементных композитов. Сравнение составов, различающихся между собой количественным содержанием воды затворения и наличием добавки гиперпластификатора и наполнителей, показывает, что повышение В/Ц на 31 % по сравнению с тестом нормальной плотности способствует повышению пористости цементного камня на 15 %, доведение цементного теста до нормальной плотности с В/Ц 0,171 с помощью гиперпластификатора обуславливает снижение этого показателя на 25,8 %, оптимальное содержание микрокварца, микрокремнезема и биоцидной добавки также вызывает снижение пористости. Дополнительное включение в составы белой и черной сажи способствует ее увеличению.

В четвертой главе приведены результаты исследования упруго-пластичных и прочностных свойств композитов при статическом и динамическом нагружении и механики их разрушения в зависимости от рецептурных факторов. Исследования осуществлены с изучением трех стадий процессов разрушения композитов: начальное накопление повреждений; накопление поверхностной трещины; развитие трещины.

Для исследований композитов в качестве базовых были приняты составы, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Составы для испытаний

Компоненты	Содержание массовых частей в составах								
	1	2	3	4	5	6	T17	T18	T19
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Портландцемент (ульяновский)	1,000	1,000	1,000	1,000	–	–	1,000	1,000	1,000
Гиперпластификатор «Melflux»	–	–	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Каменная мука (микрокварц)	–	–	–	1,100	0,750	–	–	–	–

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Микрокремнезем	–	–	–	–	0,120	–	–	–	–
Кварцевый наполнитель фракции 0–0,63 мм	–	–	–	2,753	1,775	2,065	–	–	–
Кварцевый наполнитель фракции 0,63–2,5 мм	–	–	–	2,347	1,875	1,760	–	–	–
Биоцидная добавка «Ге-флекс»	–	–	–	–	–	–	0,030	0,030	0030
Вода	0,267	0,350	0,171	0,600	0,475	0,525	0,267	0,350	0,195

Примечание. По ходу выполнения исследований, преследующих цель разработки материалов различного функционального назначения, составы модифицировались другими видами цементов, пластификаторов, наполнителей, пигментов и биоцидных добавок.

Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-технические свойства цементных композитов

Свойства		Показатели для составов								
		1	2	3	4	5	6	T17	T18	T19
Плотность ρ , кг/м ³		2 090	1 885	2 276	2 300	2 270	2 100	2 028	1 835	2 337
Прочность при сжатии R_b , МПа		56,4	52,6	133,0	67,1	110,0	32,5	59,5	58,3	131,0
Прочность при раскалывании R_{pp} , МПа		2,72	3,17	5,83	4,68	6,42	2,42	5,39	3,3	–
Прочность при изгибе R_{bt} , МПа		8,7	4,0	11,2	9,87	12,75	6,02	13,1	16,5	32,5
Пористость $П$, %		16,71	19,18	12,52	11,23	8,99	9,79	10,8	12,28	20,42
Демпфирующие свойства (логарифмический декремент колебаний) δ		0,181	0,178	0,072	0,119	0,172	0,082	0,232	0,148	0,175
Ударная прочность	Максимальная контактная сила F , Н	2 073	1 866	1 672	3 808	4 530	2 724	–	1 735	–
	Продолжительность контакта t , мс	0,17	0,11	0,08	0,21	0,25	0,24	–	0,38	–
	Импульс силы S , Н·м	81,1	57,2	38,1	200,1	177,9	56,8	–	165,7	–
Трещиностойкость	Удельные энергозатраты G_F , Дж/м ²	558,3	46,3	150,6	127,0	149,4	60,1	146,0	66,5	–
	Джей-интеграл J_i , Дж	34,2	3,76	42,19	25,8	45,5	7,9	17,4	11,3	–
	Интенсивность напряжения K_i , МПа·м ^{0,5}	1,60	1,12	1,15	0,63	1,27	0,49	0,77	0,69	–

Введение тонкодисперсного кварца в состав песчаного бетона привело к повышению таких его прочностных показателей, как прочность на сжатие, при изгибе и на растяжение при раскалывании, от 1,62 до 2,55 раза, что объясняется повышением плотности упаковки кварцевого заполнителя и подтверждается увеличением плотности таких образцов на 9,5 %. Отмечается положительный вклад в рост прочности микрокремнезема, имеющего более активную поверхность, чем у микрокварца. При этом существенно – от 1,3 до 5,8 раза, повышаются параметры трещиностойкости песчаного бетона, особенно статический джей-интеграл J_i , характеризующий энергию вязкого разрушения материала у вершины трещины, которая возрастает вследствие повышения сцепления цементного камня с активной поверхностью микрокремнезема.

Использование тонкодисперсного кварца повлияло и на характер деформирования образцов – повысилась их упругость от 1,3 до 1,7 раза, но при этом на 20 % снизилась величина предельных деформаций, т.е. образцы песчаного бетона становятся более упругими и менее деформативными, что согласуется с общими представлениями о повышении хрупкости цементных образцов с повышением их прочности. Методами лазерной интерферометрии установлен более низкий уровень начала трещинообразования в образцах песчаного бетона по сравнению с цементным камнем. Выявлено, что в бетоне без тонкодисперсного кварца отмечается появление перпендикулярных к направлению нагрузки дефектов, которые аналогично с составами на тонкодисперсном кварце под нагрузкой приводят к образованию магистральной трещины, совпадающей с направлением нагрузки, которая и приводит к разрушению образца в виде фрагментации его на отдельные пластины.

На рисунке 2 приведены результаты исследования влияния комплексной добавки и мелких заполнителей на процессы деформирования порошково-активированных бетонов.

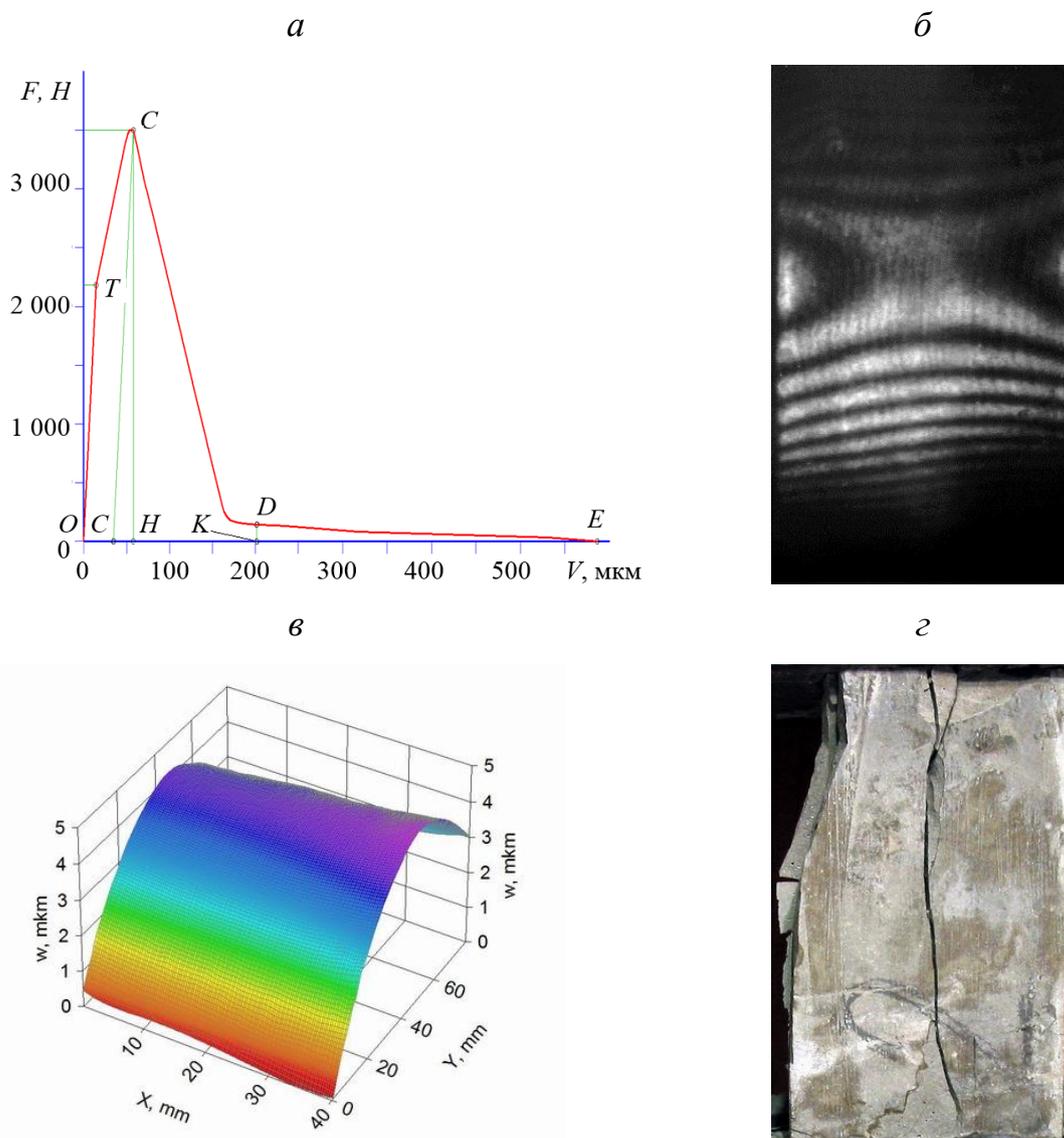


Рисунок 2 – Полная равновесная диаграмма деформирования (а); интерферограмма при $R=0,78$ от R_p (б); 3D-график деформации поверхности (в); фотография разрушения образца порошково-активированного бетона (г)

По данным лазерной интерферометрии, введение биоцидной добавки не изменяет в целом характер разрушения образцов цементного камня, происходящего через образование магистральной вертикально направленной трещины.

Выявлено определяющее влияние на демпфирующие свойства и ударную прочность композитов основных структурообразующих факторов.

Показано, что введение в состав цементного теста суперпластификаторов приводит к снижению демпфирующих свойств цементного камня, а включение кварцевого песка практически не изменяет их. Добавление в состав микрокварца и особенно в комплексе с микрокремнеземом обуславливает существенное увеличение этого показателя.

Физико-механические показатели, полученные в результате испытаний строительных материалов на ударное сопротивление, позволяют определить качественные характеристики упруговязкопластичного состояния композиционных материалов, изменяющиеся в течение малого периода времени. Напряженно-деформированное состояние материалов при проведении испытаний в этом случае оценивалось показателем максимальной контактной силы как величиной предельного состояния напряжения при разрушении композитов. Продолжительность контакта ударника с образцами связывали с упруговязкопластичным состоянием материала. Интегральная сумма изменяющейся величины силы ударника от времени контакта с образцами, которая зависит от структурных характеристик материала при испытании (диссипация, релаксация, деформация), является характеристикой импульса ударника. Вычисляемая величина импульса силы коррелирует с показателем ударной прочности, которая оценивается энергией удара.

Высокие показатели максимальной контактной силы, продолжительности контакта и величины импульса у пластифицированных высоконаполненных составов нового поколения. Максимальная контактная сила, при которой происходило разрушение образцов, достигает 4 530 Н, что более чем в два раза больше, чем у цементного камня на основе теста нормальной густоты. На примере составов, в одном из которых одновременно присутствуют биоцид «Ультрадез-Био» и пластификатор «Melflux 5581», а в другом пластификатор отсутствует, получены одинаковые результаты.

В пятой главе с помощью механических и математических методов, а также компьютерных технологий изучено поведение образцов цементных композитов в процессе экспонирования в лабораторных условиях, при воздействии температурно-влажностных и биологических агрессивных сред.

При исследовании влияния температурно-влажностных сред на свойства образцов цементных композитов были выбраны два режима воздействия. Первый – их выдерживание в условиях повышенной влажности и переменных температур, второй – в условиях изменяющихся положительных и отрицательных температур.

В качестве оцениваемых свойств рассматривалось изменение коэффициента стойкости по изменению упругопрочностных свойств. Стойкость оценивалась по величине площади многоугольника, получаемого в результате кусочно-линейной аппроксимации точек экспонирования. Оставшийся ресурс долговечности материалов определяется с помощью площадей многоугольников, которые находятся под линиями изменения свойств. Коэффициент стойкости устанавливали по изменению твердости на поверхности образцов. В результате проведенных исследований получены количественные зависимости стойкости композитов от водоцементного отношения,

вида и содержания суперпластификаторов, фунгицидных препаратов, каменной муки, микрокремнезема, кварцевых наполнителей и мелких заполнителей. Сравнительные исследования выявили высокие показатели стойкости порошково-активированных бетонов нового поколения.

Проведены исследования грибостойкости и фунгицидности композитов в стандартной среде мицелиальных грибов.

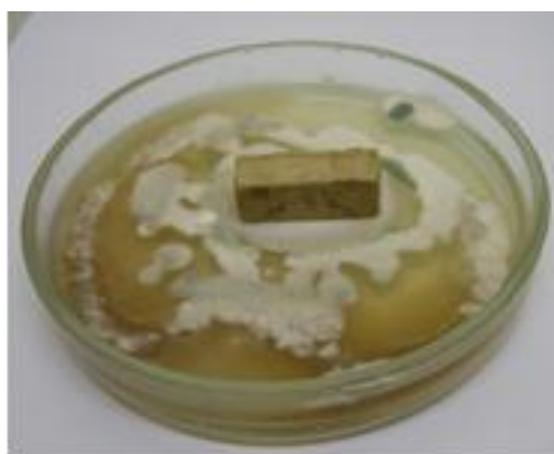
Грибостойкость составов с повышенным В/Ц выше на 1 балл по сравнению с композицией нормальной густоты, а на фунгицидность это не повлияло, сравниваемые составы показали одинаковую обрастаемость, равную 4 баллам. Активация воды затворения электрическим током и магнитным полем в зависимости от режимов процесса способствовала как повышению, так и понижению биостойкости. Сравнение грибостойкости составов с суперпластификаторами типа «Melflux» и «Хидетал» свидетельствует о более высокой биостойкости материалов со вторым пластификатором. Введение в них кварцевых наполнителей не оказало влияния на биостойкость цементных композитов.

Большую грибостойкость продемонстрировали цементные композиты с включением в их состав, наряду с наполнителем из кварцевого песка, наполнителя из органогенного известняка, а также пигмента – сурика железного. Меньшую и примерно равную грибостойкость во всем диапазоне варьирования состава и дисперсности наполнителя показали цементные композиты, в составы которых были включены наполнители из кварцевого песка, а также известняка и доломита. Более сильные фунгицидные свойства отмечены у цементных композитов с включением в их состав наполнителей из кварцевого песка и доломита.

Доказана возможность повышения биостойкости цементных композитов посредством введения фунгицидных добавок. В основе их токсического воздействия лежит способность ингибировать определенные реакции метаболизма грибов, угнетать дыхание, нарушать их клеточные структуры. Препараты «Тефлекс» на основе гуанидина, медь- и цинксодержащие, а также композиционные добавки, включающие пластификатор и биоцид, способствуют получению фунгицидных материалов (рисунок 3).



без добавки



с фунгицидной добавкой

Рисунок 3 – Обрастаемость образцов цементных композитов мицелиальными грибами

В результате проведенных исследований по выявлению минимальной ингибирующей концентрации препарата «Гефлекс» по отношению к ряду плесневых грибов – активных биодеструкторов строительных материалов установлено, что фунгицидный эффект данного соединения зависит от вида грибов (таблица 3).

Таблица 3 – Фунгицидная активность препарата «Гефлекс»

Виды микромицетов	Минимальная ингибирующая концентрация, %	Зона ингибирования роста, мм
<i>Aspergillus niger</i>	5,0	6
<i>Aspergillus terreus</i>	1,0	2
<i>Chaetomium globosum</i>	1,0	20
<i>Penicillium chrysogenum</i>	1,0	4
<i>Penicillium cyclopium</i>	1,0	4

Из данных таблицы 3 видно, что гриб *Aspergillus niger* проявлял достаточно высокую устойчивость по отношению к этому соединению по сравнению с другими видами, что объясняется неодинаковыми физиолого-биохимическими особенностями грибов. Основываясь на этих выводах, можно утверждать, что на предварительном этапе исследования строительных материалов и конструкций на предмет обнаружения биоповреждений необходимо изучить видовой состав микроорганизмов-биодеструкторов, что нами и было сделано в диссертационной работе. Знание их видового состава позволит подобрать оптимальную биоцидную присадку к строительным материалам, предотвращающую процесс их биоповреждений.

В шестой главе проанализированы результаты исследования обрастаемости цементных композитов микроорганизмами при экспозиции в природных условиях черноморского побережья и морской воды.

В морской воде цементные композиты в большей степени обрастают бактериями. В зависимости от их состава на поверхности образцов заселяются бактерии родов *Bacillus*, *Clostridium*, палочковидные грамположительные неспорообразующие бактерии и актинобактерии. Значительный интерес представляют составы, содержащие супер- и гиперпластификаторы. Лучший результат показали образцы на основе цементной композиции, содержащей добавку гиперпластификатора «Melflux 1641F». Применение других пластификаторов привело к интенсивному обрастанию поверхности материалов бактериями. Так, на образцах с добавкой суперпластификатора «ФортрайстМСтронг» обнаружены бактерии рода *Bacillus* в количестве 30 КОЕ/мл, а в случае использования отечественного гиперпластификатора «Хидетал 9γ» выявлены грамположительные кокки рода *Staphylococcus* в количестве 740 КОЕ/мл. Природа наполнителя по-разному влияет на обрастаемость цементных композитов. Наибольшее обрастание обнаружено на образцах, изготовленных из составов, содержащих кварцевые пески двух фракций. На них выявлены бактерии рода *Bacillus*, актинобактерии и грамположительные палочковидные бактерии, в количестве 980 КОЕ/мл. Введение микрокварца способствовало увеличению бактерицидности цементных композитов. В этом случае на образцах бактерии не выявлены. Добавление в этот же состав микрокремнезема привело к их заселению грамотрицательными палочковидными неспорообразующими бактериями и грамположительными бактериями рода *Sarcina* в количестве 20 КОЕ/мл.

Осуществлен анализ видового состава микроорганизмов, заселяющихся на поверхности цементных композитов с учетом их рецептуры при выдерживании в климатических условиях черноморского побережья: при переменной влажности, солевом тумане, ультрафиолетовом облучении (открытая площадка); повышенной

влажности и солевом тумане (под навесом); после старения в морской воде (таблица 4).

Таблица 4 – Видовой состав микроорганизмов, заселяющихся на поверхности образцов цементных композитов

Условия экспозиции	Показатели для составов					
	1	2	3	4	5	6
1. В морской воде: общее количество бактерий, КОЕ/мл микрофлора на образцах	30 Актинобактерии	100 Бактерии рода <i>Bacillus</i>	0 -	10 Бактерии рода <i>Bacillus</i>	20 Палочковидные неспорообразующие грамположительные бактерии, грамотрицательные бактерии рода <i>Sarcina</i>	980 Бактерии рода <i>Bacillus</i> . Актинобактерии. Грамположительные палочковидные бактерии, заключенные в чехлы
2. На открытой площадке черноморского побережья	<i>Alternaria dianthicola</i> , <i>Alternaria alternate</i> , <i>Chaetomium dolichotrichum</i> , <i>Cladosporium elatum</i>	<i>Penicillium chrysogenum</i> , <i>Alternaria dianthicola</i> , <i>Alternaria alternate</i> , <i>Chaetomium dolichotrichum</i> , <i>Chaetomium globosum</i> , <i>Alternaria solani</i>	<i>Alternaria dianthicola</i> – 3 к., <i>Fusarium moniliforme</i> – 2 к., <i>Alternaria alternate</i> – 1 к., <i>Chaetomium globosum</i> – 1 к., <i>Penicillium oxalicum</i> – грибов мало	<i>Alternaria dianthicola</i> , <i>Alternaria alternate</i> , <i>Chaetomium globosum</i> – 3 к., <i>Paecilomyces variotii</i> , <i>Stachybotrys chartarum</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> – 2 к., <i>Cladosporium elatum</i> – 6 к.	<i>Chaetomium globosum</i> , <i>Aspergillus ustus</i> , <i>Alternaria dianthicola</i> , <i>Alternaria alternate</i> , <i>Alternaria solani</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> , <i>Chaetomium dolichotrichum</i> , <i>Penicillium oxalicum</i> , <i>Cladosporium elatum</i>	<i>Fusarium moniliforme</i> , <i>Chaetomium globosum</i> , <i>Stachybotrys chartarum</i> , <i>Alternaria dianthicola</i> , <i>Alternaria alternate</i> , <i>Cladosporium elatum</i>
3. Под навесом на черноморском побережье	Нет данных	<i>Alternaria alternate</i> , <i>Alternaria pluriseptata</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> , <i>Fusarium avenaceum</i> , <i>Chaetomium dolichotrichum</i> , <i>Fusarium globosum</i> , <i>Aspergillus ustus</i>	<i>Chaetomium dolichotrichum</i> , <i>Rhizopus cohnii</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> + бактерии	<i>Alternaria alternate</i> , <i>Alternaria pluriseptata</i> , <i>Chaetomium dolichotrichum</i> , <i>Penicillium nigricans</i> , <i>Aspergillus ustus</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Cladosporium elatum</i>	<i>Chaetomium dolichotrichum</i> , <i>Cladosporium globosum</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Alternaria solani</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> , <i>Alternaria brassicae</i> , <i>Cladosporium elatum</i> , <i>Penicillium nigricans</i> , <i>Aspergillus ustus</i>	<i>Chaetomium dolichotrichum</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Fusarium moniliforme</i> , <i>Aspergillus ustus</i> , <i>Alternaria brassicae</i> , <i>Chaetomium globosum</i> , <i>Cladosporium elatum</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Paecilomyces variotii</i>
4. После старения в морской воде	<i>Penicillium oxalicum</i> – 1 к., 6 к. бактерий	<i>Penicillium canescens</i> – 1 к., 14 к. бактерий	<i>Fusarium moniliforme</i> – 1 к., <i>Penicillium claviforme</i> – 1 к., бактерии	<i>Penicillium chrysogenum</i> – 1 к., <i>Penicillium oxalicum</i> – 5 к. очень мелкие + бактерии, <i>Alternaria solani</i> – 4 к., бактерии, грибы угнетены, слаборазвиваются	<i>Fusarium javanicum</i> – 1 к., <i>Chaetomium dolichotrichum</i> – 1 к., <i>Aspergillus sydowii</i> – 2 к., <i>Penicillium oxalicum</i> – 3 к. + 20 к. бактерии	<i>Penicillium oxalicum</i> – 2 к., <i>Fusarium javanicum</i> – 4 к., <i>Fusarium moniliforme</i> , грибы угнетены + бактерии

При выдерживании цементных композитов в условиях воздействия переменной влажности, солевого тумана и солнечной радиации на поверхности образцов заселяются мицелиальные грибы видов *Alternaria dianthicola*, *Alternaria alternata*, *Chaetomium globosum*, *Fusarium moniliforme*. В воздушной среде, где характерно воздействие солевого тумана, ветра и повышенной влажности, на поверхности образцов заселяются мицелиальные грибы видов *Alternaria brassicae*, *Aspergillus oryzae*, *Cladosporium elatum*, *Fusarium moniliforme*, *Penicillium nigricans*. После старения образцов в морской воде, вынесенных на открытую площадку, на них преимущественно заселяются *Penicillium toxalicum*, *Fusarium moniliforme*, *Penicillium canescens*, *Alternaria solani*.

Число видов, способных к заселению на образец, растет с увеличением В/Ц и понижается при введении биоцидных препаратов; общее число видов мицелиальных грибов, способных к заселению на искусственном камне, содержащем в своем составе пластификатор «Melflux 1641F», ниже, чем число микромицетов, выявленных для состава с пластификатором «Хидетал 9 γ», что обусловлено, по-видимому, разным влиянием добавки на В/Ц. Биологическое разнообразие сообщества биопленки возрастает при переходе к бетонам переходного и нового поколений.

Проанализировано влияние биоцидных препаратов на обрастание цементных композитов мицелиальными грибами при выдерживании на открытой площадке черноморского побережья и после старения в морской воде. Больше снижение обрастаемости образцов микромицетами при эксплуатации в наземно-воздушной среде происходит при введении добавки «Тефлекс Антиплесень», а если материалы используются в водной среде, то следует предпочесть добавку «MultiDEZ Дезинфекант».

В седьмой главе приводятся данные о производственных составах, сведения о внедрении результатов исследования и технико-экономической эффективности.

Приведены рекомендуемые для применения на практике составы порошково-активированных бетонов, обладающих повышенной долговечностью в условиях воздействия силовых нагрузок, биологических и температурно-влажностных сред.

Предложены технологические схемы получения фракционированных заполнителей и наполнителей из отходов камнедробления различных горных пород и производства на их основе самоуплотняющихся порошково-активированных тонкозернистых песчаных бетонов. Показана экономическая эффективность их производства в результате снижения стоимости компонентов при различных расходах последних в 1 м³, а также отсевов камнедробления различных горных пород, в том числе известняков, эффективность использования в качестве мелких заполнителей и наполнителей различного размерного уровня, что значительно расширит сырьевую базу для производства бетонов нового поколения и существенно снизит нагрузку на экосистему регионов с горнодобывающими или горнообогатительными предприятиями.

Показана экономическая эффективность строительных материалов с биоцидными добавками, обеспечивающими повышенную биостойкость материалов.

Результаты исследований внедрены в АО «Ельниковская ДСПМК», АО «Завод ЖБК-1», прошли апробацию и рекомендованы к внедрению в СРО Южного федерального округа России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Определено, что порошково-активированные бетоны и другие цементные композиты нового поколения, составленные на основе композиционных вяжущих, наполнителей и заполнителей различной природы и гранулометрического состава, являются эффективными при эксплуатации в условиях воздействия химических, биологических, температурно-влажностных агрессивных сред, включая факторы жаркого климата, морской воды и солевого тумана. Выявлены взаимосвязь между объемным содержанием компонентов, соотношением диаметров наполнителя на иерархических уровнях структур (матриц), оказывающая определяющее влияние на свойства порошково-активированных бетонов, и соподчиненность всех уровней структуры от наиболее крупных к более мелким, охватывающая межфазные и межчастичные взаимодействия и позволяющая установить причинно-следственные связи структуры и свойств бетонов на жизненном цикле.

2. Расчетно-экспериментальным методом с использованием физического эксперимента и математического моделирования выявлены зависимости влияния на прочность и долговечность бетонов, образованных с применением реакционно-активных и реологически активных нанометрических добавок (каменная мука, микрокремнезем и др.) и малодефицитных карбонатно-кварцевых наполнителей с микрометрическими и миллиметровыми диапазонами дисперсности и зернистости, состоящих из следующих компонентов: цемент, молотый наполнитель, пластификатор, вода и биоцидная добавка (матрица первого рода); цемент, молотый наполнитель, тонкий наполнитель фракции 0,1–0,5 или 0,16–0,63 мм, пластификатор, вода и биоцидная добавка (матрица второго рода); матрица первого или второго рода, включающая мелкий заполнитель фракции 1,0–5,0 или 0,63–5,0 мм (матрица третьего рода).

С использованием методов РСА, РФА, БЭТ-анализа, а также физико-механических испытаний (оценка упругопрочностных свойств при статическом и динамическом нагружении), химико-биологических исследований, оценки в лабораторных условиях грибостойкости и фунгицидности, изменения стойкости материалов в химических и биологических средах, климатических испытаний (оценка стойкости материалов в натуральных условиях жаркого климата в городе Геленджике), математических методов оптимизации (реализация плана Шеффе) разработаны порошково-активированные бетоны и другие цементные композиты, обладающие высокими показателями прочности, плотности, стойкие в температурно-влажностных и биологических средах, в условиях жаркого климата.

3. Установлены закономерности влияния рецептурных факторов на упруго-пластические и прочностные свойства цементных композитов при статических и динамических нагрузках:

– выявлено, что повышение водоцементного отношения с 0,267 до 0,350 обуславливает снижение прочности композитов на сжатие, растяжение при раскалывании и коэффициента интенсивности напряжений при нормальном разрыве на 22–30 %, что особенно значимо влияет на рост энергетических параметров механики разрушения – уменьшает в 12,1 раза удельные энергозатраты на статическое разрушение образца G_F и в 9,1 раза – статический джей-интеграл J_i ;

– установлено, что применение поликарбонатного суперпластификатора «Melflux 1641F» значительно снизило водоцементное отношение (с 0,64 до 0,49) и способствовало повышению прочностных свойств композитов: на сжатие – с 1,20 до 1,72 раза, на растяжение при раскалывании – с 1,66 до 2,13 раза и на изгиб – в 2,91 раза; в этом случае характер деформирования образцов под нагрузкой ближе к цементному камню на тесте нормальной густоты, однако с более короткой (в 10 раз) ниспадающей ветвью, что говорит о большей хрупкости образца;

– определено, что введение тонкодисперсного кварца в состав песчаного бетона привело к росту прочности на сжатие, при изгибе и на растяжение при раскалывании от 1,62 до 2,55 раза, что объясняется более плотной упаковкой кварцевого заполнителя, вызывающей увеличение плотности таких образцов на 9,5 %, пластифицирующим эффектом микрокремнезема и более высокой его химической активностью. При этом существенно – от 1,3 до 5,8 раза, повышаются параметры трещиностойкости, особенно статический джей-интеграл J_i , характеризующий энергию вязкого разрушения материала у вершины трещины, которая возрастает вследствие повышения сцепления цементного камня с активной поверхностью микрокремнезема.

4. Методами лазерной интерферометрии установлено, что предразрушение образцов бетона начинается с фазы формирования визуально не наблюдаемой блочной структуры – упругих областей, окаймленных линейно протяженными в горизонтальном и вертикальном направлениях зонами повышенных пластических деформаций, трансформирующимися при росте нагрузки в вертикально направленные трещины, развитие которых приводит в последующем к их слиянию в магистральные трещины, вызывающие фрагментацию образца на плоские пластины и его физическое разрушение, причем развитие вертикальных зон повышенных пластических деформаций сопровождается нивелировкой («закрытием») горизонтальных трещин блоков. Установлено, что введение микрокварца, особенно в сочетании с аморфно-активным микрокремнеземом, существенно отодвигает момент начала микротрещинообразования в цементных образцах, которые проявляют однородное поле деформаций вплоть до уровня напряжений, составляющих 0,90–0,95 от разрушающих (для сравнения: цементно-песчаный образец без тонкодисперсного кварца отличается более низким уровнем трещинообразования, соответствующий уровню напряжений 0,5–0,6 от разрушающих). Выявлено, что биоцидная добавка на основе соединений гуанидина снижает отрицательное влияние повышения водоцементного отношения на прочность и трещиностойкость цементного камня.

5. Изучены демпфирующие свойства цементных композитов. Выявлено, что введение в состав цементного теста супер- и гиперпластификаторов приводит к их снижению; добавление порошков микрокварца и микрокремнезема обуславливает существенное увеличение демпфирующих свойств цементного камня с суперпластификаторами. Установлено, что высокие значения максимальной контактной силы, продолжительности контакта и величины импульса показали пластифицированные высоконаполненные составы нового поколения. У композита, имеющего в своей рецептуре микрокварц, кварцевый наполнитель и мелкий заполнитель, а также суперпластификатор «Melflux 1641F», показатель максимальной контактной силы составляет 3 808 Н, тогда как у цементного камня из теста нормальной густоты – 2 073 Н. При этом у первого примерно в два раза выше показатели продолжительно-

сти контакта и величина импульса ударника. К еще более высоким результатам привело введение в высоконаполненные составы микрокремнезема. Максимальная контактная сила, при которой происходило разрушение образцов, составила 4 530 Н. Это более чем в два раза больше, чем у цементного камня на основе теста нормальной густоты.

6. С помощью физико-механических, математических и компьютерных технологий изучено поведение образцов цементных композитов в процессе экспонирования в лабораторных условиях при воздействии циклически действующих положительных и отрицательных температур, повышенной влажности и переменных положительных температур. В результате проведенных исследований получены количественные зависимости стойкости композитов от водоцементного отношения, вида и содержания гиперпластификаторов, фунгицидных препаратов, каменной муки, микрокремнезема, кварцевых наполнителей и мелких заполнителей. Сравнительные исследования свидетельствуют о более высоких показателях стойкости порошково-активированных бетонов нового поколения.

7. Проведены исследования грибостойкости и фунгицидности цементных композитов в стандартной среде мицелиальных грибов, на основе которых сделаны следующие выводы:

- грибостойкость композитов с повышенным В/Ц выше на 1 балл по сравнению с композитом, изготовленным из теста нормальной густоты, а на фунгицидность это не оказывает влияния – сравниваемые составы продемонстрировали одинаковую обрастаемость, равную 4 баллам;

- активация воды затворения электрическим током и магнитным полем в зависимости от режимов процесса оказывает неоднозначное влияние на биостойкость бетона;

- более высокая грибостойкость отмечена при использовании пластификатора «Хидетал» по сравнению с препаратом «Melflux»;

- введение в составы каменной муки и микрокремнезема оказало незначительное влияние на грибостойкость цементных композитов;

- большей грибостойкостью характеризуются цементные композиты с использованием в их составе наполнителей из кварцевого песка и органогенного известняка, а также пигмента – сурика железного;

- более сильные фунгицидные свойства наблюдаются у цементных композитов с включением в их состав, наряду с наполнителем из кварцевого песка, наполнителя из горного доломита;

- меньшую и примерно равную фунгицидность независимо от состава и дисперсности наполнителя показали цементные композиты, в составы которых были включены наполнители из кварцевого песка, речного и органогенного известняков;

- доказана возможность повышения биостойкости цементных композитов посредством введения фунгицидных добавок – препаратов на основе гуанидина, веществ, содержащих медь и цинк, а также композиционных добавок с пластификатором и биоцидом;

- на основе выполненных исследований предложены стратегия и подходы к разработке биостойких составов строительных материалов.

8. Результаты проведенных исследований по определению минимальной ингибирующей концентрации препарата «Гефлекс» по отношению к ряду плесневых

грибов – активных биодеструкторов строительных материалов показали, что фунгицидный эффект данного соединения зависит от вида грибов. Так, например, гриб *Aspergillus niger* проявлял достаточно высокую устойчивость по отношению к этому соединению по сравнению с другими видами, что объясняется неодинаковыми физиолого-биохимическими особенностями грибов. Основываясь на этих выводах, можно утверждать, что на предварительном этапе изучения строительных материалов и конструкций на предмет обнаружения биоповреждений необходимо исследовать видовой состав микроорганизмов-биодеструкторов, что позволит наиболее рационально подобрать биоцидную добавку к строительным материалам, предотвращающую процесс их биоповреждений, что и было сделано в диссертационной работе.

9. Установлено, что видовой состав микроорганизмов, заселяющихся на поверхности цементных композитов различного рецептурного состава, зависит от условий эксплуатации:

- в морской воде цементные композиты в большей степени обрастают бактериями, в зависимости от их состава на поверхности образцов заселяются бактерии родов *Basillus*, *Clostradium*, палочковидные грамположительные неспорообразующие бактерии и актинобактерии; установлено общее количество колониеформирующих единиц;

- в воздушной среде на открытой площадке черноморского побережья, где характерно воздействие ультрафиолетового облучения, солевого тумана, ветра и переменной влажности, на поверхности образцов заселяются мицелиальные грибы видов *Alternaria dianthicola*, *Alternaria alternata*, *Chaetomium globosum*, *Fusarium moniliforme*;

- в воздушной среде черноморского побережья под навесом, где характерно воздействие солевого тумана, ветра и повышенной влажности, на поверхности образцов заселяются мицелиальные грибы видов *Alternaria brassicae*, *Aspergillus oryzae*, *Cladosporium elatum*, *Fusarium moniliforme*, *Penicillium nigricans*;

- после старения образцов в морской воде, вынесенных на открытую площадку, на них преимущественно заселяются *Penicillium oxalicum*, *Fusarium moniliforme*, *Penicillium canescens*, *Alternaria solani*.

10. Методами математического планирования эксперимента путем реализации симплекс-решетчатого плана исследовано влияние зернового состава наполнителей из известняка, доломита, кварцевого песка при возможно более полном заполнении ими объема материала цементных композитов на физико-механические свойства и биостойкость. Известняковые и кварцевые наполнители, суперпластификаторы третьего поколения типа «Хидетал», «Melflux», биоцидные добавки на основе соединений гуанидина, медь- и цинксодержащих препаратов, нанодобавки позволяют регулировать процессы структурообразования и значительно изменять физико-механические свойства, биологическую стойкость и долговечность бетона в условиях жаркого климата.

Полученные результаты комплексной идентификации строения, физико-механических свойств и долговечности показали, что модифицированная плотная структура принципиально отличается от немодифицированной: объем пор сокращается на 25,8–36,0 %; в структуре преобладают гидросиликаты кальция типа CSH(I) преимущественно скрытокристаллической формы; в зависимости от рецептурных

факторов прочность материалов варьирует в среднем в пределах 50–130 МПа при сжатии, 8–30 МПа при изгибе.

11. Разработана принципиальная технологическая схема изготовления строительных изделий с повышенными показателями биологической и климатической стойкости. Результаты исследования приняты для внедрения при возведении и ремонте зданий и сооружений, эксплуатирующихся в условиях воздействия биологически активных сред и жаркого климата. Бетоны с применением местных строительных материалов и биоцидных добавок по ряду показателей значительно превосходят традиционные.

Рекомендации, перспективы дальнейшей разработки темы

Сформулированы научные подходы к управлению физико-механическими свойствами, химико-биологическим сопротивлением и климатической стойкостью порошково-активированных бетонов, которые позволяют сформулировать рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы диссертационного исследования:

- применение отдельных пластификаторов, минеральных и биоцидных добавок после оптимизации их структуры и свойств позволит создать эффективные биоцидные высокоплотные строительные композиты;

- высокая технико-экономическая эффективность разработанных составов, а это высокопрочные, высокоплотные, биостойкие композиты, строительные материалы с высокой стойкостью в условиях жаркого климата, позволит расширить область их применения;

- перспективным является получение зависимостей изменения упруго-пластических и прочностных свойств порошково-активированных бетонов в различных химико-биологических и климатических средах.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК:

1. Высокоэффективные самоуплотняющиеся порошково-активированные песчаные бетоны и фибробетоны / В.И. Калашников, В.М. Володин, И.В. Ерофеева [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–2. – С. 110. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20136>. (ИФ РИНЦ 0,358; 0,5/0,125 печ. л.)

2. Бетоны переходного и нового поколений. Состояние и перспективы / В.И. Калашников, О.В. Тараканов, В.М. Володин [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2. – С. 151. – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20386>. (ИФ РИНЦ 0,358; 0,625/0,125 печ. л.)

3. Ударная прочность цементных композитов / В.Т. Ерофеев, В.Д. Черкасов, Д.В. Емельянов [и др.] // Academia. Архитектура и строительство. – 2017. – № 4. – С. 89–94. (ИФ РИНЦ 0,438; 0,375/0,125 печ. л.)

4. Исследование поведения цементных композитов в условиях повышенной влажности и переменных положительных температур / И.В. Ерофеева, В.В. Афонин, А.П. Федорцов [и др.] // International Journal for computational civil and structural engineering. – 2017. – Т. 13. – № 4. – С. 66–81. (ИФ РИНЦ 0,351; 1/0,46 печ. л.)

5. Биостойкость карбонатно-кварцевых композитов / И.В. Ерофеева // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2018. – № 6. – С. 28–32. (ИФ РИНЦ 0,528; 0,3125 печ. л.)

6. Исследование прочности композитов, наполненных порошками карбонатных пород / В.Т. Ерофеев, О.В. Тараканов, И.В. Ерофеева [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – № 1 (34). – С. 5–13. (ИФ РИНЦ 0,574; 0,5625/0,25 печ. л.)

7. Исследование грибоустойкости и фунгицидности цементных композитов в среде мицелиальных грибов / И.В. Ерофеева // Русский инженер. – 2018. – № 2 (59). – С. 44–47. (ИФ РИНЦ нет; 0,25 печ. л.)

8. Демпфирующие свойства цементных композитов / В.И. Травуш, В.Т. Ерофеев, В.Д. Черкасов [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2018. – № 5. – С. 34–39. (ИФ РИНЦ 0,590; 0,375/0,0625 печ. л.)

Публикации в изданиях, входящих в международную реферативную базу данных и систем цитирования SCOPUS:

9. Biological Resistance of Cement Composites Filled with Dolomite Powders / V. Erofeev, V. Kalashnikov, D. Emelyanov [et al.] // Solid State Phenomena. Vol. 871, 2016. – P. 33–39.

10. Biological Resistance of Cement Composites Filled with Limestone Powders / V. Erofeev, V. Kalashnikov, D. Emelyanov [et al.] // Solid State Phenomena. Vol. 871, 2016. – P. 22–27.

Патенты на изобретения:

11. Пат. 2575953 Российская Федерация, МПК, С04В38/08. Сырьевая смесь для изготовления крупнопористого бетона / В.И. Калашников, В.Ф. Смирнов, А.И. Родин [и др.]; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва», Общество с ограниченной ответственностью «ВОЛЬТ». – 2015102942; заявл. 29.01.2015, опубл. 27.02.2016, Бюл. № 6.

12. Пат. 2621327 Российская Федерация, МПК, С04В28/04; С04В38/08; С04В14/12; С04В24/24; С04В11/20. Сырьевая смесь для изготовления крупнопористого бетона / В.Т. Ерофеев, В.И. Калашников, А.Д. Богатов [и др.]; заявитель и патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». – 2016100792; заявл. 12.01.2016, опубл. 02.06.2017, Бюл. № 16.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

13. Свидетельство № 2018611243. Программа оценки изменения цветности цементных, полимерцементных и иных композиционных материалов под воздействием различных эксплуатационных факторов / В.Т. Ерофеев, В.В. Афонин, И.В. Ерофеева [и др.]; федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». – № 2017662504; заявл. 01.12.2017; зарегистр. 26.01.2018.

Публикации в других изданиях:

14. Влияние препарата «Тефлекс реставратор» на физико-механические свойства и стойкость к воздействию микробиологических агрессивных сред композиционных материалов на основе неорганических вяжущих / И.В. Ерофеева, О.И. Чаиркина, С.В. Казначеев // Матер. XVIII науч.-практич. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов национального исследовательского Мордов. гос. ун-та им. Н.П. Огарёва. Ч. 1. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 47–51.

15. Влияние содержания воды, вида суперпластификатора и гиперпластификатора на растекаемость суспензий и прочностные свойства цементного камня / Е.В. Гуляева, И.В. Ерофеева, В.И. Калашников [и др.] // Молодой ученый. – 2014. – № 19 (78). – С. 191–194.

16. Влияние реакционно-активных добавок на прочностные свойства пластифицированного цементного камня / Е.В. Гуляева, И.В. Ерофеева, В.И. Калашников [и др.] // Молодой ученый. – 2014. – № 19 (78). – С. 194–196.

17. Супер- и гиперпластификаторы. Микрокремнеземы. Бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / В.И. Калашников, В.М. Володин, М.Н. Мороз [и др.] // Молодой ученый. – 2014. – № 19 (78). – С. 207–210.

18. Explore the possibility of replacing foreign the hyperplasticizing additives combining them with cheaper domestic the hyperplasticizing additives / I. Erofeeva, A. Petukhov, V. Kalashnikov // 2-nd International Conference «Technical sciences: modern issues and development prospects». Conference Proceedings. – Sheffield, UK. Scope Academic House, 2014. – P. 57–62.

19. Самоуплотняющиеся бетоны с низким удельным расходом цемента на единицу прочности бетона / Е.В. Гуляева, С.В. Аксенов, И.В. Ерофеева [и др.] // Materiały X Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Nauka i innowacja – 2014». Vol. 10. Matematyka. Fizyka. Nowoczesne informacyjne technologie. Budownictwo i architektura. Chemia i chemiczne technologie. – Przemysł. Nauka i studia, 2014. – P. 38–40.

20. Роль дисперсности и качества кварцевого песка на реологию и прочностные свойства суспензионного бетона / С.В. Ананьев, С.В. Аксенов, И.В. Ерофеева [и др.] // *Materiały X Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «Nauka i inowacja – 2014»*. Vol. 10. Matematyka. Fizyka. Nowoczesne informacyjne technologie. Budownictwo i architektura. Chemia i chemiczne technologie. – Przemysł. Nauka i studia, 2014. – P. 40–44.

21. Влияние углеродных волокон на прочность порошкового бетона / В.И. Калашников, С.В. Ананьев, И.В. Ерофеева // *Materiały XI mezinárodní vědecko – praktická konference «Vědecký pokrok na přelomu tisyachalety – 2015»*. – Díl 17. Ekologie. Zeměpis a geologie. Výstavba a architektura. Zemědělství. – Praha: Publishing House «Education and Science», 2015. – P. 63–65.

22. Высокопрочные бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / В.И. Калашников, В.М. Володин, И.В. Ерофеева // *Materiały XI mezinárodní vědecko – praktická konference «Vědecký pokrok na přelomu tisyachalety – 2015»*. – Díl 17. Ekologie. Zeměpis a geologie. Výstavba a architektura. Zemědělství. – Praha: Publishing House «Education and Science», 2015. – P. 65–67.

23. Анализ эффективности песчаных бетонов по удельному расходу цемента на единицу прочности / В.М. Володин, М.Н. Мороз, В.И. Калашников [и др.] // *Молодой ученый*. – 2015. – № 8 (88). – С. 205–208.

24. Эффективные бетоны нового поколения с низким удельным расходом цемента на единицу прочности / М.Н. Мороз, В.И. Калашников, И.В. Ерофеева // *Молодой ученый*. – 2015. – № 6 (86). – С. 189–190.

25. Высокоэкономичные малоцементные пластифицированные бетоны / В.И. Калашников, В.Т. Ерофеев, О.В. Тараканов [и др.] // *Материали за 11-а международна научна практична конференция, «Найновите постижения на европейската наука»*. Том 13. Технологии. Селско стопанство. Здание и архитектура. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2015. – С. 85–87.

26. Изучение реологической активности известняковой муки для получения эффективных бетонов / В.И. Калашников, О.В. Тараканов, И.В. Ерофеева // *Материали за 11-а международна научна практична конференция, «Найновите постижения на европейската наука»*. Том 13. Технологии. Селско стопанство. Здание и архитектура. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2015. – С. 88–90.

27. Сухие реакционнопорошковые бетонные смеси и перспективы их использования / В.И. Калашников, О.В. Тараканов, И.В. Ерофеева // *Материали за 11-а международна научна практична конференция, «Найновите постижения на европейската наука»*. Том 13. Технологии. Селско стопанство. Здание и архитектура. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2015. – С. 90–92.

28. Влияние дозировки супер- и гиперпластификаторов на реотехнологические свойства цементных суспензий / Е.В. Гуляева, В.И. Калашников, И.В. Ерофеева // *Современные научные исследования и инновации*. – 2015. – № 4–2. – С. 76–78.

29. Биостойкость декоративных цементных композитов / В.Т. Ерофеев, А.И. Родин, В.И. Калашников [и др.] // *Вестник Приволжского территориального отделения РААСН*. – 2016. – № 19. – С. 304–308.

30. Удельный расход цемента на единицу прочности бетонов нового поколения / И.В. Ерофеева, В.И. Калашников // *Materials of the XII International scientific and practical conference, «Modern scientific potential»*, Vol. 17. Construction and architecture. Chemistry and chemical technology. – Sheffield. Science and education LTD, 2016. – С. 11–13.

31. Высокопрочные бетоны нового поколения / В.И. Калашников, И.В. Ерофеева // *Materials of the XII International scientific and practical conference, «Science without borders»*. Volume 20. Technical sciences. Construction and architecture. – Sheffield. Science and education LTD, 2016. – С. 82–84.

ЕРОФЕЕВА Ирина Владимировна

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, БИОЛОГИЧЕСКАЯ И КЛИМАТИЧЕСКАЯ
СТОЙКОСТЬ ПОРОШКОВО-АКТИВИРОВАННЫХ БЕТОНОВ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 22.10.18. Объем 1,75 печ. л.

Тираж 100 экз. Заказ № 1714.

Типография Издательства Мордовского университета
430005, г. Саранск, ул. Советская, 24