

**На правах рукописи**



**КОМАРИЧЕВ АРТЕМ ВИКТОРОВИЧ**

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ИНЪЕКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С  
АКТИВИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ ТВЕРДЕНИЯ**

**05.23.05 – Строительные материалы и изделия**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Липецк – 2017**

Работа выполнена на кафедре «Строительное материаловедение и дорожные технологии» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет»

Научный руководитель: **Гончарова Маргарита Александровна**  
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Иващенко Юрий Григорьевич**  
доктор технических наук, профессор,  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Саратовский государственный  
технический университет», заведующий кафедрой  
«Строительные материалы и технологии»  
(05.23.05)

**Коротких Дмитрий Николаевич**  
доктор технических наук, доцент, федеральное  
государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Воронежский  
государственный технический университет»,  
доцент кафедры «Технология строительных  
материалов, изделий и конструкций» (05.23.05)

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Мордовский государственный  
университет» имени Н.П. Огарева, г. Саранск

Защита состоится «6» марта 2018 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного совета Д 999.194.02 при ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» по адресу: 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1. К. Б-203.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».

Автореферат разослан «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Акчурин Т.К.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время при строительстве, ремонте и реконструкции промышленных и гражданских зданий различного функционального назначения возникает проблема уплотнения усадочных швов, заделки трещин и пустот в железобетонных конструкциях и в кирпичной кладке, укрепления и повышения водонепроницаемости фундаментов и оснований, заполнения узких трещин в вертикальных стыках крупнопанельных зданий, а также в монолитных железобетонных конструкциях транспортных сооружений (тоннелей, мостов и других). Как известно, надежность, работоспособность и жесткость строительных конструкций во многом зависят от качества исполнения инъекционных работ и применяемых материалов. Кроме того, в процессе специального строительства для нужд Вооруженных Сил страны и Гражданской обороны проблема создания непроницаемого контура в защитных сооружениях (ЗС) является остро актуальной задачей: вертикальные трещины и пустоты, образовавшиеся в результате деформационных процессов разного генезиса, а также из-за входов и вводов инженерных коммуникаций в ограждающие конструкции, могут являться причиной проникновения во внутреннее пространство сооружений опасной наружной среды.

Для этих целей в Липецком государственном техническом университете были разработаны магнитные герметизирующие композиционные материалы (МГКМ) на основе эпоксидных смол. Однако, применение МГКМ в специальном строительстве проблематично (из-за относительно низкой тепло- и огнестойкости), а в гражданском - экономически неэффективно. Оптимальным решением этой задачи является использование в качестве герметизирующего материала цементных композитов. Существующая технология инъектирования трещин и пустот в зоне контактных поверхностей «бетон-бетон» в вертикальных стыках железобетонных конструкций, а также фундаментов и «металл-бетон» в ограждающих конструкциях ЗС способом цементации имеет ряд существенных недостатков. Сущность такого способа заключается в длительном пропуске через трещины цементных смесей с высоким содержанием воды, в результате чего цементный раствор медленно твердеет, «закупоривая» дефектные места. Такой способ не обеспечивает необходимую степень герметичности ЗС, так как в процессе закачивания очередной порции раствора с высокой подвижностью,

структура цементного камня получается достаточно пористой, что негативно сказывается на прочности всей системы в целом. Кроме того, такая технология предусматривает высокий расход не только компонентов раствора, но и электроэнергии. Очевидно, что для снижения затрат и улучшения качества инъекционных работ требуются новые материалы и технологии.

Таким образом, для решения данной проблемы необходимо предложить составы цементных композиционных инъекционных материалов (ЦКИМ), обладающих заранее заданными прочностными, реологическими и другими строительно-техническими свойствами. При этом необходимо учитывать, что ЦКИМ представляют собой водные эмульсии и суспензии, нередко подвергающиеся коалесценции, что приводит к потере агрегативной устойчивости композиций. Для предотвращения расслоения в составы вводят поверхностно-активные вещества, которые существенно повышают стоимость такой технологии. Следовательно, составы ЦКИМ и технология их применения должны быть максимально эффективными и экономичными.

При этом очевидным решением, обеспечивающим эффективность новой технологии их нагнетания в вертикальные узкие трещины, является жидкофазная активация систем твердения за счет действия магнитных полей. Тем более, что в некоторых случаях (например, для создания непроницаемого контура в защитных сооружениях) магнитное поле является необходимым технологическим параметром, обеспечивающим герметичность конструкций в целом. В таких условиях обязательным компонентом, гарантирующим стабильность цементных композиционных инъекционных материалов, является ферромагнитный наполнитель. При этом с целью снижения стоимости разработанных составов принято решение использовать отходы металлургического производства ПАО «Новолипецкий МК» – сталеплавильные (конвертерные) шлаки и продукты обточки металла электрокорундом, которые являются актуальным альтернативным сырьевым ресурсом Липецкого региона. Тем более это актуально в год экологии, так как известно, что в настоящее время, несмотря на прилагаемые усилия, проблема применения в строительстве техногенного сырья до сих пор не решена не только в Липецком регионе, но и в России в целом. При этом решаются сразу две задачи: использование вместо природного техногенного сырья и производство

строительных материалов и изделий на их основе, а также значительное снижение экологической нагрузки на регион с развитой промышленностью (в том числе за счет устранения или уменьшения складирования невостребованных отходов).

**Степень разработанности темы исследования.** В работе над диссертационными исследованиями автор базировался на научных трудах в области структурообразования цементных композитов следующих отечественных и зарубежных ученых: Акуловой М.В., Атабекова Г.И., Ахвердова И.Н., Баженова Ю.М., Бессонова Л.А., Биндер К., Болотских Н.С., Буданова А.Р., Бочарникова А.С., Боровской С.Н., Глебова А.Р., Гончаровой М.А., Деева И.С., Ерофеева В.Т., Заварова В.А., Золоторубова Д.Ю., Калашникова В.И., Комохова П.Г., Корнеева А.Д., Коротких Д.Н., Крока Р., Ландау Л.Д., Липатова Ю.С., Литвинова И.М., Ли Х., Лосье А., Малиновского М.С., Макридина Н.И., Матвиевского А.А., Огороднева Б.Е., Пакен А.М., Прошина А.П., Слободкина Д.О., Соломатова В.И., Смирнова А.П., Федосова С.В., Фрейдина А.С., Френкеля Я.И., Фолимагиной О.В., Чернышова Е.М., Шкловского Б.И., Шмитько Е.И., Штауфер Д. и других.

В диссертации учитывались теоретические и методологические теории предшественников, но акценты были сделаны на нерешенных проблемах улучшения свойств специальных растворов за счет жидкофазной активации компонентов бетонной смеси. Улучшение свойств бетонов на портландцементе с использованием ферромагнитного наполнителя достигнуто за счет двухэтапной обработки ЦКИМ, обеспечивающей повышение степени гидратации, приводящее к образованию плотной монолитной структуры цементной матрицы.

**Объектами исследований** являются цементные композиционные инъекционные материалы (ЦКИМ) с ферромагнитным наполнителем из отходов промышленных производств.

**Предмет исследования** – свойства и технология активированных магнитным полем ЦКИМ, определяющие качество инъекционных работ.

**Цель и задачи работы.** Целью исследований является решение научных и практических задач по инъектированию узких вертикальных трещин на контакте поверхностей «бетон-бетон» и «металл-бетон» оптимальными составами ЦКИМ с ферромагнитным наполнителем, подверженных двухэтапной магнитной обработке (сначала воды, а затем систем твердения смесей).

Технология инъектирования ЦКИМ за счет нагнетания составов в дефектные места или в стыки предопределяет двухэтапную магнитную обработку, перспективность которой предполагалась на основе следующих предпосылок рабочей **гипотезы**:

1. На первом этапе предполагается воздействие постоянного магнитного поля на дисперсионную среду (жидкость затворения), эффективность которой основывается на разработках и результатах, известных из работ отечественных ученых (профессоров Классена В.И., Ерофеева В.Т., Баженова Ю.М., Федосова С.В., Слизневой Т.Е. и других). При этом за счет жидкофазной активации улучшается структура и свойства воды (изменяется смачиваемость твердых поверхностей; ускоряется и усиливается адсорбция и растворение твердых частиц; возрастает агрегация минеральных компонентов).

2. На втором этапе воздействие на цементные композиционные инъекционные материалы магнитного поля (по нашему предположению) должно создать в их системах твердения (с ферромагнитным наполнителем) дополнительный потенциал на формируемых поверхностях гидратных кластеров, за счет которого интенсифицируются физико-химические процессы взаимодействия компонентов (что существенно повышает степень гидратации систем твердения в ранние сроки). Это позволит улучшить прочностные, адгезионные, реологические и магнитные свойства ЦКИМ за счет создания более плотной упаковки зерен компонентов смеси вследствие колебательных движений, совершаемых электрически заряженными частицами с их сольватными оболочками, в результате которых разрушаются случайные непрочные структурные связи в активированных системах твердения и проявляется эффект тиксотропного разжижения.

Для достижения цели были определены следующие **задачи**:

Для достижения поставленной цели были определены и решены следующие **задачи**:

1. Провести анализ отечественных и зарубежных исследований, посвященных опыту заполнения трещин современными инъекруемыми и герметизирующими материалами.

2. Теоретически и экспериментально подтвердить возможность создания эффективных, активированных магнитной обработкой ЦКИМ с ферромагнитным наполнителем из отходов промышленных производств.

3. Разработать оптимальные составы ЦКИМ (с учетом критериев функциональной эффективности и экономичности) с двухэтапной магнитной обработкой и техногенными ферромагнитами.

4. Исследовать прочностные, реологические, магнитные и адгезионные свойства ЦКИМ с двухэтапной магнитной обработкой систем твердения.

5. Определить оптимальные величины индукции магнитного поля и импульса его воздействия как определяющих технологических параметров жидкофазной активации составов ЦКИМ.

6. Предложить технологии инъектирования трещин оптимальными составами ЦКИМ.

7. Определить параметры оценки качества инъекционных работ активированными составами ЦКИМ.

8. Оценить технико-экономическую эффективность применения разработанных ЦКИМ.

***Научная новизна исследования заключается:***

- разработаны теоретические и практические принципы магнитной активации систем твердения, позволяющие получать цементные инъекционные композиции с низким содержанием поверхностно-активных веществ по сравнению с составами, приготовленными по традиционной технологии (или вообще без их использования) без снижения их функциональной эффективности и строительно-технических свойств специальных растворов за счет существенного снижения пористости систем твердения и повышения плотности контактной зоны с мелким заполнителем и ферромагнитным наполнителем из сталеплавильных шлаков;

- с помощью метода планирования экспериментов оптимизированы параметры двухэтапной магнитной обработки систем твердения, обеспечивающие получение структуры ЦКИМ с улучшенными строительно-техническими свойствами;

- в получении результатов теоретических и экспериментальных исследований, доказывающих эффективное применение ферромагнитных наполнителей из отходов производств в виде тонкомолотых конвертерных шлаков

и продуктов обработки металлов абразивными материалами, при изготовлении цементных композиционных инъекционных материалов;

- в обосновании применения двухэтапной магнитной обработкой воды и систем твердения для активации ЦКИМ, с целью повышения их прочностных и улучшения реологических свойств для качественного тампонажа трещин на поверхности раздела «бетон-бетон» в стыках крупнопанельных зданий и «металл-бетон» в бетонных ограждающих конструкциях защитных сооружений специального назначения.

***Теоретическая значимость и практическая значимость работы.***

***Теоретическая значимость*** заключается в развитии существующей теории структурообразования и жидкофазной активации систем твердения ЦКИМ как композиционных материалов с оптимальным насыщением цементной и цементно-песчаной матрицы ферромагнитным наполнителем (под воздействием внешнего локального магнитного поля).

***Практическая значимость*** диссертационных исследований заключается:

– в разработке оптимальных составов ЦКИМ, активированных двухэтапной магнитной обработкой воды и водно-цементных систем, для заделки узких и широких трещин в железобетонных конструкциях;

– в определении магнитной проницаемости металлов конструкций входов и вводов инженерных коммуникаций ЗС, а также магнитной восприимчивости составов ЦКИМ, активированных поэтапной магнитной обработкой воды и водно-цементных систем, для заделки трещин в железобетонных конструкциях;

– в установлении граничных параметров внешнего локального магнитного поля и давления нагнетания, активированных поэтапной магнитной обработкой ЦКИМ, в узкие и широкие трещины на контактных поверхностях «металл- бетон» и «бетон-бетон»;

– в разработке метода оценки качества герметизационных работ активированными составами ЦКИМ по степени газопроницаемости;

– в применении результатов теоретических и экспериментальных исследований в решении инженерных проблем, связанных с разработкой и непосредственным применением нормативной и технической документации для организации тампонажных работ оптимальными составами ЦКИМ,

активированными двухэтапной магнитной обработкой, для тампонажа трещин этими составами на поверхностях раздела «металл-бетон» и «бетон-бетон» в ограждающих конструкциях ЗС и крупнопанельных зданий.

**Методология и методы исследования:** ориентированность на предысторию постановки и развития проблемы применения ЦКИМ; принципы комплексности и системности поставленных задач; базирование на фундаментальных положениях при раскрытии закономерностей структурообразования систем твердения ЦКИМ, использование как традиционных, так и разработанных – «авторских» методик определения основных свойств и качества работ с использованием предлагаемых материалов, современное техническое сопровождение эксперимента (прикладная и практическая нацеленность результатов работы).

***Положения, выносимые на защиту:***

- теоретическое и экспериментальное обоснование механизма упрочнения ЦКИМ в процессе насыщения его цементной матрицы ферромагнитным наполнителем из промышленных отходов;

- оптимальные составы, обладающие улучшенными прочностными, реологическими и другими свойствами ЦКИМ, активированные двухэтапной магнитной обработкой, с ферромагнитным наполнителем из отходов металлургической промышленности (тонкодисперсные конвертерные шлаки и материалы, полученные в результате обточки металла электрокорундом);

- технология цементации дефектных мест в бетонных защитных сооружениях на поверхностях контакта металл-бетон и в вертикальных стыках крупнопанельных зданий и сооружений на поверхностях контакта бетон-бетон составами ЦКИМ, активированными двухэтапной магнитной обработкой;

- установленные значения степени магнитной проницаемости металлов значительной толщины (0,6 -1,0 см) и магнитной восприимчивости составов ЦКИМ, активированных двухэтапной магнитной обработкой, с ферромагнитным наполнителем из отходов производств (тонкомолотый конвертерный шлак и продукты обточки стали на электрокорунде);

- результаты оценки воздухопроницаемости составов ЦКИМ, активированных двухэтапной магнитной обработкой, наполненными

ферромагнетиками из конвертерных шлаков и продуктов обточки стали на электрокорунде).

***Достоверность полученных результатов и обоснованность*** результатов и выводов диссертационной работы **подтверждены:**

- обоснованной постановкой научных проблем, принятых допущений и ограничений, большим объемом выполненных экспериментальных исследований;
- хорошей сходимостью результатов модельных исследований и реализованного эксперимента со статистической обработкой результатов;
- внедрением активированных составов ЦКИМ в технологию инъектирования при герметизации трещин указанными составами на объектах дорожного, промышленного и гражданского строительства.

***Апробация результатов работы.*** Основные результаты диссертационных исследований были представлены на следующих международных научно-практических конференциях: «Наукоемкие технологии и инновации», Белгород, 2014 (Юбилейная конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова); «Современная металлургия нового тысячелетия» (Липецк, 2015-2017 гг.); «Инновационные технологии в науке и образовании» (Чебоксары, 2015), на ежегодных научно-практических конференциях ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет» (2013-2017 гг.) и других.

***Внедрение результатов исследований:***

1. Разработанные составы цементных инъекционных композиций для заделки трещин на основе отходов металлургии были внедрены при проектировании дорожной одежды по улице Московская в г. Липецке в ООО «ЛипецкНИЦстройпроект»; в ООО «Промизделия» – при строительстве склада готовой продукции в селе Косыревка (Липецкая область); при строительстве и реконструкции тринадцатизэтажных 124-квартирных домов из монолитного железобетона по улице Свиридова в г. Липецке – в ООО «Хай-Тек».

2. Основные положения диссертации, результаты эксперимента и промышленной апробации используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «ЛГТУ» при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 – Строительство профиля подготовки «Производство и применения строительных материалов, изделий и конструкций».

**Публикации.** Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в 15 научных публикациях, в том числе 4 статьи в российских рецензируемых научных изданиях, рекомендованных Перечнем ВАК Минобрнауки России, 1 статья в издании, входящем в международную реферативную базу данных и систем цитирования SCOPUS, в одной монографии; получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Объем и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, основной части (пяти глав), заключения, списка литературы и четырех приложений. Работа изложена на 169 страницах машинописного текста, включающего 31 таблицу, 48 рисунков, а также список литературы из 204 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность выбранного направления



исследований, сформулированы цели, задачи исследований, научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения, которые автор выносит на защиту.

**В первой главе** проанализированы условия возникновения узких трещин в стыках между железобетонными конструкциями и в зоне контакта бетона с металлическими изделиями защитно-герметичных входов и вводов инженерных коммуникаций. На рис.1 показан

Рисунок 1 - Трещина в бетоне  
на контакте с металлом

смоделированный в процессе экспериментальных исследований случай образования трещин в бетоне на контакте с металлическими деталями конструкций. Показано, что избежать их образования на технологическом этапе практически невозможно.

Определены проблемы традиционных способов заделки трещин в железобетонных ограждающих конструкциях способами цементации, силикатизации и смолизации.

В связи с этим необходимо говорить об эффективности жидкофазной активации строительных композитов, так как такое регулирование свойств (с помощью магнитной обработки жидкости затворения) по сравнению с твердофазной активацией (за счет механической обработки вяжущих и инертных компонентов, а также введения химических добавок) обеспечивает улучшение механических свойств раствора без перерасхода пластифицирующих добавок и связующих веществ. При этом до сих пор практически отсутствуют теоретические положения, описывающие механизмы воздействия активации жидких компонентов материалов на характеристики мелкозернистых композитов, не отработаны оптимальные технологические параметры и составы, а также технология производства таких цементных материалов.

На основе ранее сделанного анализа строительно-технических свойств и дополнительных исследований характеристик многочисленных видов отходов металлургического производства, влияющих на эффективность использования их в качестве ферромагнитного наполнителя в ЦКИМ целесообразнее всего использовать тонкодисперсные конвертерные шлаки и техногенные материалы, полученные в результате обточки металла электрокорундом.

Далее рассмотрены принципы структурообразования цементных композиционных инъекционных материалов с ферромагнитным наполнителем, теоретически обоснованы изменения реологических и прочностных свойств таких материалов под действием магнитных сил за счет кластерообразования и дополнительного электрического потенциала на формируемых поверхностях гидратных кластеров.

**Во второй главе** проанализированы свойства исходных компонентов для создания ЦКИМ и представлены методики экспериментальных исследований прочностных, реологических и адгезионных свойств активированных магнитным полем систем твердения, состоящих из цементно-песчаных и цементно-водных смесей с тонкодисперсным наполнителем из конвертерных шлаков и отходов обработки металлов абразивными материалами.

Обоснованы исследования конкретных свойств ЦКИМ, которые и определили программу экспериментальных исследований и необходимый перечень испытательного оборудования (табл.1).

Таблица 1 – Программа экспериментальных исследований

№№ п/п	Исследуемые свойства	Образцы, мм	Испытательное оборудование
1.	Прочность при сжатии ЦКИМ для широких трещин	Кубы 40х40х40	Машина испытательная универсальная ИР 5082-50
2.	Прочность на изгиб ЦКИМ для широких трещин	Призмы 40х40х160	
3.	Прочность на сжатие ЦКИМ для узких трещин	Цилиндры диаметр 40	
	Прочность на растяжение при изгибе цементно-водных ТКМ для узких трещин	Призмы 40х40х160	
	Удельная поверхность и диаметр частиц наполнителя	-	Поверхностемер ПМЦ - 500
5.	Усадочные деформации	Призмы 100х100х400	Индикаторы часового типа, штанги, хомуты с винтовым креплением
6.	Распływ конуса смесей для узких трещин	-	Конус и встряхивающий столик
7.	Осадка конуса «СтройЦНИЛ» в цементно-песчаных смесях (для широких трещин)	-	Конус СтройЦНИЛ» и стандартное ведро
8.	Напряжение сдвига ЦКИМ	-	Самостоятельно изготовленное устройство
9.	Адгезия	-	Адгезиметр типа «Константа»
10.	Магнитная индукция от источников локального магнитного поля в трещине на контакте металл-бетон	Образцы металла разной толщины: 3; 5; 10	Измеритель магнитной индукции
11.	Магнитная восприимчивость ЦКИМ (по методу Квинке)	-	Самостоятельно изготовленное устройство
12.	Газо- (воздухопроницаемость) ЦКИМ	Кубы 100х100х100	Микроманометр ММН, газосчетчик ГСБ-400

Качество инъекционных работ, в результате которого создается герметичный контур в железобетонных конструкциях, определялся с помощью методики исследования воздухопроницаемости мест заделки трещин инъекционными материалами с учетом следующей научной гипотезы. При фиксированных ламинарных параметрах фильтрации количество газа  $V$ , проходящего через площадь  $A$  гомогенного материала (толщиной  $\delta$ ) за время  $t$  при перепаде давления

с обеих сторон ограждения  $\Delta p$ , можно определить по закону Ланга: 
$$V_a = \frac{K_{qp} \Delta p A t}{\delta}$$

, где  $k_{\text{пр}}$  – коэффициент воздухопроницаемости,  $\text{м}^3/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{даПа})$ . Тогда коэффициент воздухопроницаемости можно определить из зависимости:  $K_{\text{сп}} = \frac{V_a \delta}{\Delta p \Delta t}$

Экспериментально коэффициент воздухопроницаемости определялся на установке, которая представлена на рис. 3.

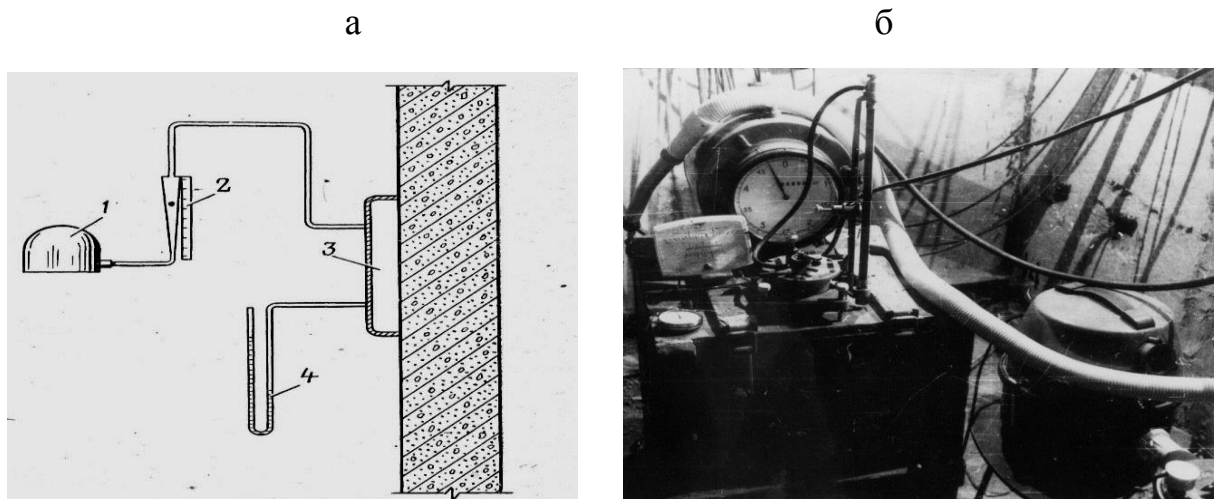


Рисунок 3 – Оборудование для определения газопроницаемости мест инъекционного уплотнения трещин в конструкции: а – схема прибора; б – общий вид установки, где 1 – воздуходувка; 2 – ГСБ-400 - газосчетчик; 3 – вакуумная камера; 4 – ММН-250 – манометр.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований свойств ЦКИМ. Активация воды и систем твердения осуществлялась с помощью специально сконструированного и изготовленного устройства (рис. 4).

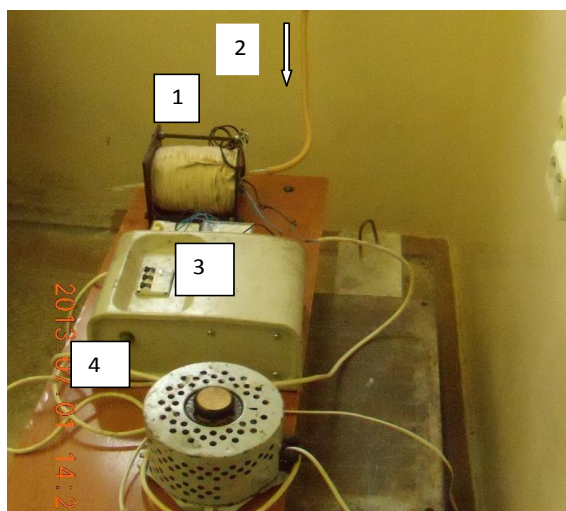


Рисунок 4 – Устройство для активации воды и систем твердения ЦКИМ:

1 – катушка электромагнита с обмоткой из провода ПЭВ диаметром 1,2 мм (1200 витков); 2 – транспортный трубопровод от системы водоснабжения; 3 – преобразователь переменного тока в постоянный; 4 – автотрансформатор (Латр-1М).

В пилотных экспериментах (рис. 5) было установлено оптимальное значение индукции магнитного поля -  $B = 0,378$  мТл (критерием оптимизации являлись реологические свойства ЦКИМ).

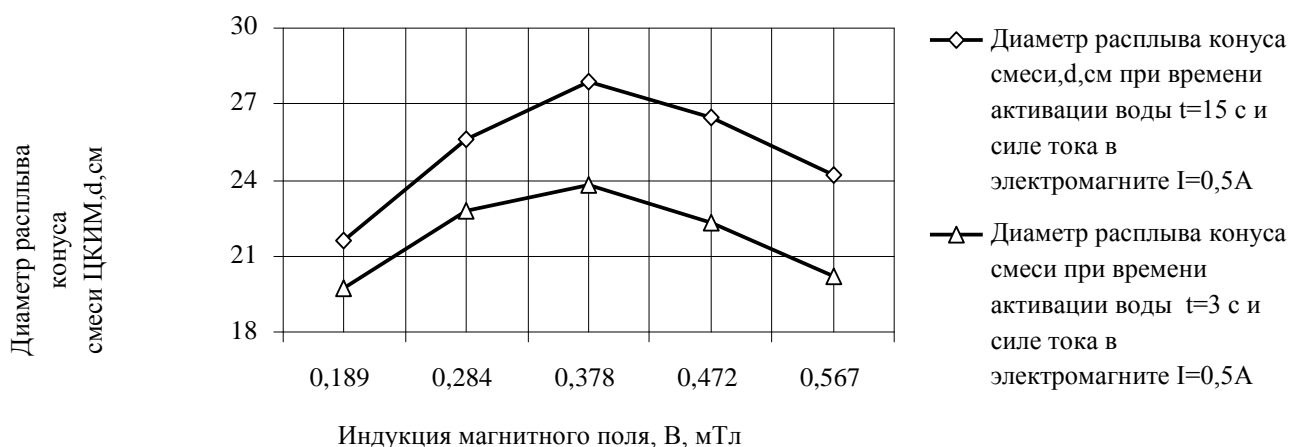


Рисунок 5 – Зависимость расплава конуса от индукции магнитного поля в процессе активации воды и систем твердения ЦКИМ

Результаты экспериментального определения свойств ЦКИМ с наполнителем из шлака приведены в таблице 2, а из продуктов обточки – в таблице 3.

Таблица 2 – Строительно-технические свойства ЦКИМ (шлаковый наполнитель)

Номер серии	Составы ЦКИМ (соотношение компонентов)		Параметры активации		Прочность на сжатие, R <sub>c</sub> , МПа	Модуль упру- гости, E, МПа	Величина сцепления ЦКИМ металлом, кПа
	В/Ц	наполни- тель/це- мент	время, t, с	импульс, It, А·с			
1	0,50	0,10	20	10	16,31	962,8	86,83
2	0,75				10,92	634,3	57,53
3	0,50	0,20			13,20	849,4	69,68
4	0,75				9,08	419,3	66,05
5	0,50	0,10	60	30	26,30	1403,3	140,34
6	0,75				13,75	749,7	73,01
7	0,50	0,20			18,24	1098,5	96,73
8	0,75				9,24	487,3	46,75

Таблица 3 – Строительно-технические свойства ЦКИМ с продуктами обточки

Номер серии	Составы ЦКИМ (соотношение компонентов)		Параметры активации		Прочность на сжатие, R <sub>c</sub> , МПа	Модуль упру- гости, E, МПа	Величина сцепления ЦКИМ металлом, кПа
	В/Ц	наполни- тель/це- мент	время, t, с	импульс, It, А·с			
1	0,50	0,10	20	10	12,92	649,8	66,77
2	0,75				7,17	420,2	44,92
3	0,50	0,20			11,04	695,8	57,13
4	0,75				4,85	379,13	52,38
5	0,50	0,10	60	30	15,80	523,38	109,61
6	0,75				11,07	562,4	58,40
7	0,50	0,20			14,14	750,5	78,62
8	0,75				6,01	340,2	37,36

Таким образом, возрастание механических и улучшение других строительно-технических свойств инъекционных систем твердения с шлаковым ферромагнитным наполнителем может быть объяснено и потенциальной активностью шлаков, особенно проявляющейся при магнитной активации. Установлено, что необходимо использовать шлаковые наполнители с удельной поверхностью  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Результаты эксперимента по определению оптимального значения силы тока в обмотке электромагнита (рис. 6) подтвердили, что время воздействия магнитного поля не должно быть более одной минуты, а сила тока в электромагните устройства активации должна быть равна  $0,5 \text{ А}$ .

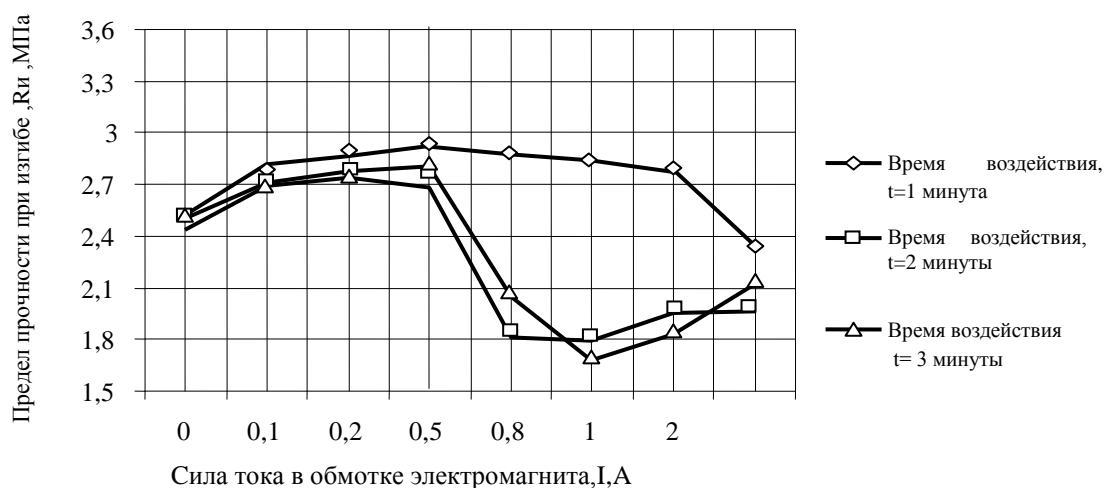


Рисунок 6 – Зависимость прочности ЦКИМ на изгиб от силы тока

Оценка значимости двухэтапной магнитной обработки воды и систем твердения ЦКИМ показала, что прирост прочности составляет 15–20 %.

**В четвертой главе** осуществлялась оптимизация составов цементно-песчаных инъекционных материалов для заделки трещин с шириной раскрытия 1–10 мм. Оптимальным составом по прочности ( $R_c = 54,5 \text{ МПа}$ ) можно считать состав, в котором соотношение масс цемента и песка равно 1:2, массовая доля пластифицирующей добавки СП-3 в водно-цементной системе составляла 0,3 % от массы цемента при В/Ц, равном 0,48. Оптимизация ЦКИМ для заделки узких трещин с шириной раскрытия 0,1 – 1,0 мм показала, что наиболее значимыми факторами, влияющими на прочность ( $R_c = 28,3 \text{ МПа}$ ), являются водо-цементное отношение и параметры магнитной обработки воды.

Далее уточнялись технологические и строительно-технологические свойства систем твердения на шлаковых наполнителях для заделки узких дефектов, как наиболее актуальные и сложные из рассматриваемых систем. Удалось получить наибольший диаметр расплыва ( $D=41$  см) и минимальное напряжение сдвига ( $\tau=100$  Па). Усадочные деформации определялись через 30, 60, 90 и 120 суток твердения. Результаты эксперимента показали, что процесс усадки во времени носит логарифмический характер. Результаты эксперимента, посвященного исследованиям параметров магнитного поля в контактной зоне металл-бетон показали, что предельные допустимые параметры индукции внешнего локального поля обеспечиваются магнитными устройствами, в которых обмотка электромагнита выполнена из провода ПЭВ диаметром 1,2 мм с числом витков не менее 1200.

В пятой главе были предложены различные варианты технологии заполнения трещин. Активирование воды магнитным полем на первом этапе магнитной обработки, которая транспортируется из системы водоснабжения в растворосмеситель, производилось путем пропуска трубопровода через полость катушки электромагнита. Таким же образом производилась магнитная обработка водных систем смесей ЦКИМ. Время воздействия магнитного поля регулировалось их скоростью движения по трубопроводам. Параметры магнитного поля (индукция и напряженность) оценивались по величине силы тока, протекающего через катушку электромагнита. Технологические схемы заполнения трещин инъекционными смесями представлены на рисунке 7.

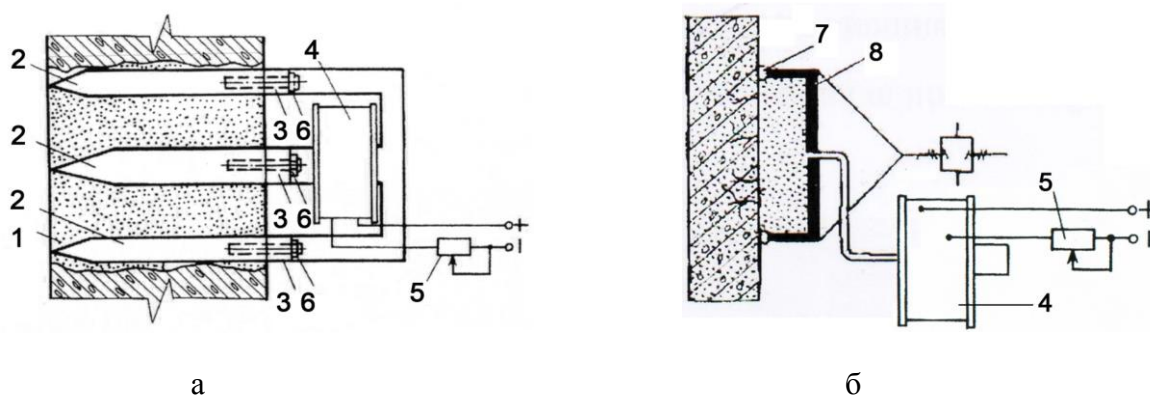


Рисунок 7 – Устройства для инъекционного уплотнения трещин в бетоне ограждающих конструкций сооружений: а – при помощи штырей; б – жесткая прижимная камера с телескопическим упором: 1 – трещина; 2 – штыри; 3 – полюсные наконечники; 4 – электромагнит; 5 – реостат; 6 – болты; 7 – герметик; 8 – прижимная камера

Заполнение в бетонных конструкциях отдельных широких трещин смесями ЦКИМ производится специальными шприцами. Заделка многочисленных трещин, сосредоточенных в одном месте, производится через прижимные камеры с их полным заполнением инъекционной смесью. Технология заделки трещин в бетоне на контактных поверхностях с металлическими конструкциями входов (герметичные двери и люки защитных сооружений) и вводов в сооружения инженерных коммуникаций имеет свои особенности. Нагнетание смесей в трещины производится через специальные штуцера, равномерно установленные по периметру комингса дверей или по окружности фланца трубчатого ввода коммуникаций. Штуцера располагают посередине между двумя П-образными стойками электромагнита, последовательно переставляемого снизу- вверх. Смесью в нижний штуцер закачивается под первоначальным давлением 200 кПа до тех пор, пока она не покажется в следующем по высоте штуцере.

Таким образом, при более высокой прочности ЦКИМ и меньшей воздухопроницаемости применение предлагаемого варианта состава ЦКИМ дает экономический эффект 3088,9 руб. на 1 м<sup>3</sup> смеси.

#### **Итоги выполненного исследования:**

1. Получены результаты теоретических и экспериментальных исследований, обосновывающие возможность использования ферромагнитных наполнителей из отходов производств в виде тонкомолотого конвертерного шлака и продуктов обработки металлов абразивными материалами для создания эффективных структурированных цементных композиционных инъекционных материалов (ЦКИМ), активированных двухэтапной магнитной обработкой воды и водно-цементных систем, с требуемыми прочностными и реологическими свойствами для качественного инъекционного уплотнения трещин на поверхности раздела «бетон-бетон» в стыках крупнопанельных зданий и «металл-бетон» в железобетонных ограждающих конструкциях защитных сооружений специального строительства.

2. Созданы оптимальные составы ЦКИМ, активированные двухэтапной магнитной обработкой воды и водно-цементных систем для эффективной инъекционной заделки узких и широких трещин в железобетонных конструкциях зданий и сооружений.

3. Определена магнитная проницаемость металлов конструкций защитно-герметических входов и вводов инженерных коммуникаций защитных сооружений (ЗС) толщиной 0,6–1,0 см при воздействии на них внешнего локального магнитного поля от специального источника – технологического магнитного устройства (патент РФ № 2550712, 2015 г.).

4. Определена магнитная восприимчивость смесей составов ЦКИМ, активированных двухэтапной магнитной обработкой (воды и водно-цементных систем смесей) для инъекционного уплотнения узких и широких трещин в железобетонных конструкциях.

5. Установлены граничные параметры внешнего локального магнитного поля и давления нагнетания тампонажных смесей ЦКИМ, активированных двухэтапной магнитной обработкой для инъекционной заделки узких и широких трещин в железобетонных конструкциях на контактных поверхностях «металл-бетон» и «бетон-бетон».

6. Разработана технология инъекционного уплотнения трещин на поверхности раздела «металл-бетон» в железобетонных конструкциях ЗС и «бетон-бетон» в вертикальных стыках крупнопанельных зданий и сооружений составами ЦКИМ, активированными двухэтапной магнитной обработкой под воздействием внешнего локального магнитного поля на основе выполненного анализа процесса трещинообразования в бетоне на контактных поверхностях «металл-бетон» в местах установки в железобетонных ограждающих конструкциях защитных сооружений металлических изделий в виде защитно-герметичных входов и вводов инженерных коммуникаций, а также «бетон-бетон» в материалах заполнения полостей вертикальных стыков между сборными конструкциями крупнопанельных зданий и сооружений.

7. На основе существующей теории проницаемости пористых тел выполнено теоретическое обоснование оценки проницаемости воздухопроницаемости мест инъекционной заделки трещин составами ЦКИМ и определены параметры контроля качества тампонажных работ по воздухопроницанию уплотненных мест.

8. Разработана методика оценки качества тампонажных работ инъекционного уплотнения трещин активированными двухэтапной магнитной обработкой составами ЦКИМ по установленным в процессе экспериментальных

исследований значениями коэффициента воздухопроницаемости материалов уплотнения.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **Публикации в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях:**

1. Гончарова, М.А. Композиционные материалы на основе цементно-водных активированных систем для инъекционного уплотнения бетона ограждающих конструкций / М.А. Гончарова, А.С. Бочарников, А.В. Комаричев // Строительные материалы. – 2015. – № 5. – С. 31–35. (3с./1с.)

2. Гончарова, М.А. Воздухопроницаемость как параметр оценки качества инъекционной заделки трещин в бетонных ограждающих конструкциях / М.А. Гончарова, А.С. Бочарников, А.В. Комаричев, Н.А. Каширина // Жилищное строительство. – 2015. – № 11. – С. 14–17. (3с./1с.)

3. Комаричев, А.В. Сухие строительные смеси с использованием отходов металлургического производства / А.В. Комаричев, М.А. Гончарова, В.В. Крохотин // Строительные материалы. – 2013. – № 5. – С. 66–67. (2с./1с.)

4. Гончарова, М.А. Оптимизация строительно-технических свойств асфальтобетонов с применением отходов металлургического производства / М.А. Гончарова, А.Д. Корнеев, С.А. Андриянцева, А.В. Комаричев // Фундаментальные исследования. – 2015. – №2-8. – С. 1620–1625. (5с./2с.)

### **Статьи в изданиях из перечня, индексируемого Scopus**

5. Optimizing the composition of magnetic polymer sealing composites with the application of the slag ferromagnetic filler/ Margarita A. Goncharova, Artem V. Komarichev, Sergey V. Maklakov, Olga V. Karaseva // Journal of chemical technology and metallurgy. – Volume 52. Issue 4, 2017. – S. 636 -641. (5с./1с.)

### **Публикации в других изданиях:**

6. Программа для ЭВМ «Расчетно-экспериментальный способ подбора состава архитектурного бетона с оптимальными параметрами» / Гончарова М.А., Ивашкин А.Н., Комаричев А.В., Суханов А.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016611524. Заявка № 2015662325. Дата поступления 16 декабря 2015 г. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 04 февраля 2016 г.

7. Гончарова, М.А. Магнитные цементные тампонажные композиционные материалы: монография / М.А. Гончарова, А.С. Бочарников, А.В. Комаричев. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2015. – 140 с. (140 с./52 с.)

8. Ивашкин, А.Н. Современные способы устройства высококачественных декоративных бетонных полов / А.Н. Ивашкин, О.А. Каширская, М.А. Гончарова, А.В. Комаричев // Научные технологии и инновации: сб. докладов Юбилейной Междунар. науч. – практ. конф., посвященной 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – С. 117–121. (4с./1с.)

9. Гончарова, М.А. Методы оценки магнитной восприимчивости цементных инъекционных смесей / М.А. Гончарова, А.С. Бочарников, И.О. Саяхова, А.В. Комаричев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2015. – № 6. – С. 93–99. (6с./2с.)

10. Гончарова, М.А. Выбор добавок – компенсаторов усадки в сухих строительных смесях для устройства наливных полов / М.А. Гончарова, А.Н. Ивашкин, О.А. Ивашкина, А.В. Комаричев // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2015. – №2. – С. 65–69.(4с./1с.)

11. Гончарова, М.А. Конвертерные шлаки – перспективные вторичные сырьевые ресурсы для производства строительных композитов / М.А. Гончарова, А.В. Комаричев, С.В. Маклаков // Современная металлургия нового тысячелетия: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. – 8-11 декабря 2015 г. – Часть2. – Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2015. – С. 121–127. (6с./2с.)

12. Гончарова, М.А. Особенности зернистых конвертерных шлаков и их совмещение с вяжущими системами строительных композитов / М.А. Гончарова, А.В. Комаричев // Инновационные технологии в науке и образовании : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 23 окт. 2015 г.) / ред. кол.: О. Н. Широков [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. – № 3 (3). – С. 187–190. (3 с./1 с.)

13. Бочарников, А.С. Устройство для герметизации мест контакта металл-бетон в конструкциях защитных сооружений / А.С. Бочарников, М.А. Гончарова,

А.В. Комаричев, О.А. Ивашкина // Вестник Липецкого государственного технического университета (Вестник ЛГТУ). 2015. – №4 (26). – С. 52–55. (3 с./1с.)

14. Комаричев, А.В. Проблемы заделки трещин в ограждающих конструкциях защитных сооружений / А.В. Комаричев, В.В. Крохотин, М.А. Гончарова // Проблемы современной науки: сб. научных трудов конф. Липецкого государственного технического университета: Изд-во ЛГТУ, 2016. – С. 93 – 96. (3 с./1с.)

15. Комаричев, А.В. Определение оптимальных параметров при магнитной активации воды и цементных инъекционных материалов / А.В. Комаричев, М.А. Гончарова // Современные проблемы строительной науки: сб. научных трудов международ. научно-практ. конф.) Липецк, 8 – 10 февраля 2017 г.). – С. 35 – 38. (3 с./1с.)

Комаричев Артем Викторович

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ ИНЪЕКЦИОННЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ С ДВУХСТАДИЙНОЙ МАГНИТНОЙ  
ОБРАБОТКОЙ СИСТЕМ ТВЕРДЕНИЯ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 25.12.2017 Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Ризография. Объем \_\_\_\_ п.л. Тираж 100 экз. Заказ №

Полиграфическое подразделение Издательства

Липецкого государственного технического университета.

398600 Липецк, ул. Московская, 30.