

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «Национальный  
исследовательский Московский  
государственный строительный  
университет»  
доктор технических наук



Тер-Мартиросян А.З.  
*А.З. Тер-Мартиросян* 2024 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» на диссертационную работу **Панарина Игоря Ивановича** на тему: **«Композиционные цементы, активированные обогащенными золошлаковыми смесями, и торкрет-бетоны на их основе»**, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

### 1. Актуальность темы исследования

Актуальность представленной работы обоснована необходимостью разработки новых научно-обоснованных способов регулирования процессов структурообразования с позиций фундаментального применения возможностей тонкодисперсных многокомпонентных смесей, с использованием техногенного сырья. Тематика диссертации Панарина И.И. коррелирует с современной идеей, представляющей совокупность задач проектирования и эксплуатации композиционных материалов, не учитываемых в классических подходах при производстве материалов и строительных изделий из стандартных цементных бетонов. Строительная отрасль требует применения эффективных материалов, обеспечивающих возрастающие требования при проектировании, строительстве, эксплуатации и ремонте зданий и сооружений различного назначения. Также при этом необходимо решать проблемы, связанные с экологической безопасностью за счет привлечения для производства строительных материалов различных отходов, в том числе техногенных, к которым относятся золошлаковые смеси.

В настоящее время широкое применение получили торкрет-бетоны, позволяющие в кратчайшие сроки обеспечить ремонт и обновление зданий и сооружений. В качестве вяжущего для изготовления торкрет-бетонов традиционно используется цемент, однако, с учетом значительной экологической нагрузки от цементной промышленности, достижение улучшенных эксплуатационных характеристик можно добиться только в случае применения композиционных вяжущих материалов с учетом рационально подобранных водовяжущего отношения и гранулометрии компонентов. Поэтому создание составов и технологии торкрет-бетонов на базе композиционных цементов с улучшенным набором свойств, позволяющим обеспечить быстрое и надежное обновление существующих зданий и сооружений, является актуальной научной задачей, что

свидетельствует о соответствии работы требованиям ВАК к диссертациям, представленным на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Диссертационное исследование проведено в рамках работы над темой ФНИ Минстроя РФ и РААСН 3.1.2.8. «Разработка теоретических и технологических основ получения бетонов повышенной долговечности», при финансовой поддержке гранта РФФ 22-19-20115 «Научно-технические основы производства строительных материалов нового поколения для улучшения среды обитания человека с использованием промышленных отходов».

## **2. Структура и содержание работы**

Для отзыва представлены автореферат и диссертация, состоящая из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 162 страницах машинописного текста, включающего 21 таблицу и 69 рисунков, список литературы из 142 наименований источников работ отечественных и зарубежных авторов, 4 приложений.

В главе 1 диссертации автором на основании анализа значительного объема отечественной и зарубежной литературы сформулированы научно-технологические проблемы современной технологии цементных композиционных материалов, обоснована цель и задачи исследования. В обзоре литературы достаточно подробно освещены вопросы эволюция сырьевых ресурсов в бетоне. На основании фундаментальных положений о влиянии активных компонентов на процессы структурообразования минеральных вяжущих, классифицированы и проанализированы физические, химические и физико-химические способы активации сырья для строительных материалов.

Для торкретирования необходимы цементные композиты, модифицированные с позиции трансдисциплинарных положений и многокомпонентности состава с учетом микромеханики композиционных сред, что олицетворяет новый этап в проектировании строительных материалов. За счет комплекса прочностных свойств и специальных эксплуатационных характеристик, а также технологичности, экономичности и экологичности в результате применения техногенного сырья, модифицированные цементные композиты являются эффективными строительными материалами для усиления железобетонных сооружений, обеспечивающих их эксплуатацию в экстремальных условиях, и направленных на сохранение жизни, здоровья и поддержание комфорта человека.

Выявлена необходимость расширения номенклатуры техногенного сырья для получения цементных композитов с различными заданными характеристиками, что важно для получения эффективных торкрет-бетонов.

Во второй главе диссертантом выполнены описания экспериментов, в которых в качестве компонентов композиционного цемента применялись портландцементный клинкер, гипс и алюмосиликатная составляющая (АСС), полученная по авторской технологии из золошлаковых смесей Приморской ГРЭС путем обогащения флотацией и магнитной сепарацией, а также бетонный лом, взятый из фрагментов ремонтируемых зданий и сооружений.

В третьей главе разработаны составы композиционных цементов. В качестве добавки для регулирования процессов структурообразования использовалась алюмосиликатная составляющая (АСС), полученная путем обогащения золошлаковых смесей с помощью флотации и магнитной сепарации (патент №2806396 от 30.05.2023 г.). Показано, что разработанная алюмосиликатная составляющая характеризуется таким

гранулометрическим, химическим и минеральным составом, который перспективен для использования в роли полиминеральной добавки в композиционном цементе. Приведены результаты, подтверждающие техническую эффективность использования разработанного композиционного цемента с достижением высоких значений физико-механических свойств цементного камня в разном возрасте.

В четвертой главе приведено теоретическое и экспериментальное обоснование вопросов разработки материалов для усиления стен. Разработана широкая номенклатура торкрет-бетонов из композиционных цементов, измельчённых до удельной поверхности  $450 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Высокая прочность ремонтного состава и уплотнение контактной зоны являются результатом использования материалов с высокой прочностью и применения принципов закона сродства структур при разработке ремонтных материалов, что привело к увеличению адгезии композита в 1,5 раза. Ремонт с применением разработанных материалов для торкрет-бетонного усиления конструкций позволяет подготовить существующие сооружения для продолжения их эффективной эксплуатации, увеличивая их прочность и долговечность.

Пятая глава посвящена усовершенствованию методологических основ модернизации технологической линии производства композиционного цемента, а также торкрет-бетона на его основе, которая базируется на традиционном промышленном процессе изготовления бетонной смеси и строительных изделий. Результаты расчета условно-годовой экономии с учётом максимальной производительности технологической линии 25 тысяч кубических метров бетонной смеси в год подтверждают значительный экономический эффект от внедрения разработанных материалов, который составляет 44 млн. руб. При этом затраты на производство АСС составляют 50 кВт-ч на  $1 \text{ м}^3$ , что в 2 раза ниже (120 кВт-ч без учета обжига), чем для портландцемента. Энергозатраты на производство  $1 \text{ м}^3$  композиционного цемента составляют 61 кВт-ч, а на изготовление  $1 \text{ м}^3$  торкрет-бетонной смеси - 76 кВт-ч (0,0262 т условного топлива).

Широкомасштабное внедрение результатов диссертационной работы позволит получить значительный экономический эффект и защитить человека от негативного воздействия природных и техногенных процессов.

В заключении сформулированы итоги выполненного исследования, а также даны рекомендации и дальнейшие перспективы исследований в данном направлении.

Автореферат соответствует тексту диссертации, а публикации автора полно и всесторонне отражают содержание рецензируемой работы.

### **3. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций**

Для обоснования цели и задач исследований автор провел анализ классической отечественной литературы по теме диссертационной работы, а также существенный объем зарубежных рейтинговых источников. Основное внимание автор уделяет обобщенным принципам управления процессами структурообразования материалов при использовании механоактивированного вещества как структуроформирующего элемента матрицы на всех технологических этапах производства, что обеспечивает получение торкрет-бетонов с повышенными эксплуатационными свойствами при сниженных материальных затратах.

Достоверность результатов обеспечена большим объемом использованных современных физико-химических методов и высокоточных приборов, а анализ полученных с их помощью результатов свидетельствуют об обоснованности основных

положений и выводов, сформулированных соискателем. Заключение диссертационной работы в полной мере отражает основные результаты исследования, обоснованы пути дальнейшего развития темы.

#### 4. Научная новизна.

Соискателем решена важная научная задача, заключающаяся в разработке составов и технологии получения композиционного цемента и торкрет-бетона на его основе с использованием местного сырья и отходов промышленности (золошлаковых отходов ТЭЦ и бетонного лома).

Предложено научно обоснованное технологическое решение получения торкрет-бетона на композиционном цементе, заключающееся в применении техногенных ресурсов на основе отходов промышленности (золошлаковых смесей) и строительства (бетонного лома от разборки зданий и сооружений), активированных и гомогенизированных в вибрационной мельнице, которое позволяет управлять процессами структурообразования за счет сродства структур и формирования высокопрочных новообразований. Разработанная торкрет-бетонная смесь с низким значением отскока (<8%) обеспечивает уплотнение и упрочнение адгезионной контактной зоны с базовым материалом бетонной стены, приводя к более эффективной передаче нагрузок между слоями и увеличивая общую несущую способность всей конструкции.

Установлено, что введение алюмосиликатной составляющей золошлаковой смеси, полученной ее двухступенчатым обогащением, в состав композиционного цемента, вследствие пуццолановой реакции (на наноуровне - до 50 нм), формирования центров кристаллизации новообразований (на микроуровне - 50-100 нм) и коагуляции мезо- и макропор (на макроуровне - 0,1-1 мкм) способствует управлению структурообразованием цементного камня с формированием его высокопрочной микроструктуры.

Обоснован механизм управления структурообразованием высокоплотного (показатель средней размерности открытых капиллярных пор  $\lambda=0,052$ , показатель однородности размеров открытых капиллярных пор  $\alpha=0,856$ ) бетонного композита, основанный на комплексном эффекте компонентов композиционного цемента (алюмосиликатной составляющей и бетонного лома, подобранных и подготовленных по авторской технологии) рационального состава и гранулометрии. При усилении несущих железобетонных стен торкрет-бетоном на композиционных цементах адгезия между базовым и ремонтным слоями стены возрастает в 1,5 раза по сравнению с традиционным торкрет-бетоном.

Впервые выявлены закономерности влияния различных факторов (состава и пропорции исходных компонентов, параметров их помола) на повышение комплекса эксплуатационных характеристик ремонтных материалов: марки по водонепроницаемости до W16, водопоглощения менее 6 мас. %, марки по морозостойкости выше F<sub>1300</sub>. Научно обоснованы зависимости между количеством введенных алюмосиликатов из обогащенной золошлаковой смеси (до 35 мас. %), физико-механическими свойствами и характеристиками поровой структуры цементных композитов, в частности снижается показатель средней размерности открытых капиллярных пор в 4 раза и повышается показатель однородности размеров открытых капиллярных пор в 3 раза, что способствует существенному повышению прочностных свойств и эксплуатационных характеристик торкрет-бетонов.

## **5. Теоретическая и практическая значимость диссертации**

В развитие теории бетоноведения получены новые данные о технологических способах получения торкрет-бетонных смесей на основе композиционных цементов посредством энергосберегающих технологических процессов (усовершенствованы параметры флотации, магнитной сепарации и измельчения).

Разработаны композиционные цементы класса ЦЕМ V 52.5 с использованием обогащённой золошлаковой смеси, замещающей портландцементный клинкер до 65 мас. %.

Предложены составы торкрет-бетонных смесей на основе композиционных цементов с применением ранее не используемых сырьевых ресурсов (алюмосиликатной составляющей обогащенной золошлаковой смеси, полученной по разработанной технологии), обеспечивающих создание высокоплотной упаковки гидратных новообразований, что в свою очередь способствует росту ранней прочности торкрет-бетонов на сжатие до 62%, на растяжение при изгибе – до 49%, коэффициента ударной вязкости – до 80%.

Предложена энергоэффективная технология (50 кВт·ч на 1 м<sup>3</sup>) получения алюмосиликатной составляющей КЦ путем обогащения золошлаковой смеси, включающего ее флотацию и магнитную сепарацию. При замещении обогащенной золошлаковой смесью портландцементного клинкера более 35 мас. %, она является регулятором структурообразования композиционного цемента, повышая физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики композитов на его основе.

Теоретические, практические и экспериментальные исследования автора позволили усовершенствовать научно-технологические основы создания цементных композиционных материалов для специальных сооружений. Основные результаты обсуждались на многочисленных международных конференциях, опубликованы в 12 статьях, в том числе в 3 статьях в центральных рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, 3 статьях из научных баз Web of Science и Scopus. Получено 3 патента РФ на изобретения.

## **6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки.**

В диссертационной работе обоснованы подходы к выбору эффективных способов получения высокоактивных дисперсных компонентов полиминерального вяжущего и их оценки с учетом специфики сырья, а также рационального применения с учетом технологических особенностей производства материалов.

В диссертационной работе Панарина Игоря Ивановича на основе выполненных автором экспериментов изложены новые научно обоснованные технологические решения и разработки, имеющие существенное значения для развития отрасли строительного материаловедения Российской Федерации.

## **7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы.**

Предложенная в работе научно-техническая концепция создания материалов плотной структуры может быть использована как методологическая база для проектирования композитов строительного назначения с улучшенными технологическими и эксплуатационными характеристиками. Это позволит эффективно решать прикладные

задачи снижения энерго- и ресурсоемкости производства и повышения качества строительных материалов.

Разработанные подходы рационального выбора сырьевых материалов и технологических решений подготовки некондиционного сырья техногенного происхождения с использованием дезинтеграции, флотации, магнитной сепарации, термической обработки, механоактивации и т.д. могут стать концептуальной основой для синтеза цементных композитов для обеспечения заданных физико-механических и технологических параметров рабочих смесей и консолидированных матриц композитов.

Теоретические положения, результаты научно-исследовательской работы и промышленного внедрения могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство», специалистов по специальности «Строительство уникальных зданий и сооружений» а также являться основой для программ опережающей переподготовки кадров и повышения квалификации персонала образовательных и производственных организаций.

### **8. Замечания.**

1. Насколько рационально применять в промышленных масштабах вибрационные мельницы, которые более энергозатратны по сравнению с шаровыми мельницами? Лабораторная мельница ИВ-4 показала хорошие результаты, а есть ли соответствующие промышленные вибрационные мельницы?

2. В диссертационной работе для композиционных цементов в качестве алюмосиликатного компонента применяется обогащенная золошлаковая смесь. Целесообразно ли для достижения тех же показателей использовать другие алюмосиликатные и кремнеземсодержащие добавки? И насколько энергоэффективно обогащать золошлаковую смесь для получения алюмосиликатного компонента?

3. Не совсем понятно, каким образом производится извлечение бетонного лома из усиливаемых конструкций? Если это отслоившиеся фрагменты, то они являются продуктами коррозии бетона, и вряд ли способны усилить композит.

4. Требуется уточнить, что предпринимается для того чтобы бетонный лом стал эффективным компонентом цемента.

5. По тексту диссертации встречаются опечатки, неудачные выражения и технические погрешности оформления текстового и графического материала.

Указанные замечания не носят принципиального характера и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы Панарина Игоря Ивановича.

### **9. Заключение.**

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Панарина Игоря Ивановича на тему «Композиционные цементы, активированные обогащенными золошлаковыми смесями, и торкрет-бетоны на их основе» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится научно обоснованное технологическое решение, направленное на создание эффективных композиционных цементов, активированных обогащенными золошлаковыми смесями, и торкрет-бетонов на их основе. Работа обладает научной новизной, теоретической и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют значение для развития отрасли знаний в области получения торкрет-бетонных смесей на основе композиционных цементов посредством энергосберегающих технологических процессов. Диссертационная работа полностью соответствует паспорту специальности 2.1.5 –

Строительные материалы и изделия и соответствует критериям пп. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в действующей редакции Правительства Российской Федерации), предъявляемым к работам, представленным на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор, Панарин Игорь Иванович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на заседании кафедры строительного материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ) «13» июня 2024 г., протокол № 23.

доктор технических наук по специальности 05.17.11 – «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов», профессор, заведующий кафедрой «Строительное материаловедение» НИУ МГСУ

Самченко Светлана Васильевна



«13» июня 2024 г.

кандидат технических наук по по специальности 2.1.5 – «Строительные материалы и изделия», доцент кафедры «Строительное материаловедение» НИУ МГСУ

Ларсен Оксана Александровна



«13» июня 2024 г.

**Сведения о ведущей организации:**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)**

129337, Российская Федерация, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Телефон: +7 (495) 781-80-07

E-mail: [kanz@mgsu.ru](mailto:kanz@mgsu.ru)

<http://mgsu.ru>