

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский Московский
государственный строительный
университет»

доктор технических наук, доцент

Тер-Мартиросян А.З.

«26» мая 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» на диссертационную работу **Рябчевского Игоря Сергеевича** на тему: **«Теплоизоляционные пенобетоны на основе сухих смесей»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

1. Актуальность темы исследования

Современная строительная индустрия сталкивается с необходимостью внедрения материалов, сочетающих экологичность, энергосберегающие свойства и технологическую эффективность. В условиях повышения требований к энергоэффективности зданий и снижению воздействия на окружающую среду создание материалов с высокими теплоизоляционными свойствами становится стратегическим приоритетом. Пенобетоны марок по средней плотности $D300$ и ниже обладают значительным потенциалом для снижения материало- и энергозатрат на всех этапах жизненного цикла зданий, а также для реализации принципов «зеленого» строительства.

Теплоизоляционные пенобетоны, получаемые на основе сухих смесей, способны существенно повысить энергоэффективность зданий и снизить материалоемкость строительных конструкций. Однако для их широкого применения требуется обеспечить стабильность структуры и эксплуатационных свойств, что напрямую связано с совершенствованием состава, технологии производства и методов контроля и оценки качества макропористой структуры материала.

Особую актуальность приобретает разработка новых технологических решений, позволяющих формировать однородную пористую структуру пенобетона и обеспечивать заданные физико-механические характеристики. Внедрение механоактивированных минеральных добавок и стабилизация

пены на основе переведенного в сухое состояние жидкого пенообразователя бентонитовой глиной способствуют получению эффективных теплоизоляционных пенобетонов на основе сухих смесей, что соответствует современным государственным программам по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

Кроме того, развитие систем контроля и оценки качества структуры пенобетонов, включая внедрение методов фрактального анализа, позволяет повысить качество материала, что способствует снижению эксплуатационных затрат на отопление и охлаждение зданий. Решение указанных научно-технических задач обеспечивает повышение технико-экономической эффективности производства и применения теплоизоляционных пенобетонов на основе сухих смесей, что делает данное направление исследований крайне востребованным для современной строительной отрасли.

Таким образом, диссертационная работа Рябчевского И.С., посвященная разработке научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего получение теплоизоляционных пенобетонов на основе сухих смесей за счет рационального подбора сырьевых компонентов, их предварительной механоактивации, перевода жидкого пенообразователя в сухое состояние, применения бентонитовой глины в качестве стабилизатора пены, представляется весьма актуальной.

2. Структура и содержание работы

Представленная диссертация Рябчевского И.С. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, приложений. Результаты изложены на 217 страницах машинописного текста, включающего 38 таблиц, 58 рисунков, список литературы из 208 источников, 8 приложений.

Во введении приведены актуальность, цель и задачи исследований, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе представлен анализ современного состояния и тенденций в области производства теплоизоляционных материалов, рассмотрены теоретические основы формирования пористой структуры и способы повышения эксплуатационных характеристик материалов на основе различных видов сырья. Особое внимание уделено анализу существующих технологий контроля и оценки качества пористой структуры ячеистых бетонов и необходимости создания новых материалов, обладающих низкой теплопроводностью и высокой прочностью.

Вторая глава посвящена характеристике применяемых материалов и методам исследований. Описаны свойства используемых компонентов, методы исследования состава, структуры и свойств сырья, а также методы оценки физико-механических характеристик и макропористой структуры теплоизоляционных пенобетонов. Представлены подходы к анализу изображений и количественной оценке параметров пористости, а также методы фрактального анализа структуры материалов.

В третьей главе обоснован выбор компонентов для создания сухих пенобетонных смесей. Проведена оценка эффективности различных пенообразователей, влияние модификаторов на кратность и стабильность пен, а также исследовано влияние режимов механоактивации сырьевых компонентов на свойства смесей и затвердевшего материала. Рассмотрены процессы структурообразования и свойства цементного камня, обусловленные применением микрокремнезема и вспученного перлитового песка.

Четвертая глава содержит экспериментальные данные по составам и свойствам теплоизоляционных пенобетонов на основе сухих смесей. Приведены результаты проектирования рецептурно-технологических факторов, исследования микроструктуры материалов, оптимизации методов анализа изображений для оценки параметров макропористости пенобетонов, а также результаты фрактального анализа структуры. Выявлены закономерности влияния минеральных добавок на микроструктуру пенобетонов и установлена корреляция между морфологией пор и фрактальной размерностью структуры.

В пятой главе приведены технологические схемы производства сухих смесей и теплоизоляционных пенобетонов на их основе, проведено технико-экономическое обоснование эффективности предложенных решений, описано внедрение и апробация результатов исследований на производстве.

Результаты исследований Рябчевского И.С. прошли производственную апробацию на предприятии ООО «СТРОЙТЕХНОЛОГИЯ» (г. Белгород).

Разработан ряд нормативных документов: стандарт организации СТО 02066339-077-2024 «Сухие пенобетонные смеси» и Рекомендации по производству сухих пенобетонных смесей.

В заключении приводятся выводы по работе.

Содержание глав полностью соответствует выносимым на защиту положениям.

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

Основные научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в работе, являются теоретически обоснованными и экспериментально подтвержденными. Исследования, проведенные автором в рамках заявленной в диссертации темы, являются достаточными по объему и составу, содержат аргументацию выбора варианта решения на каждом этапе работы. Результаты диссертационной работы согласуются с фундаментальными основами строительного материаловедения.

Результаты диссертационной работы докладывались на международных и региональных конференциях, основные положения диссертации изложены в 20 публикациях, в том числе: 2 статьи в российском журнале, входящем в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ.

Получен 1 патент на изобретение и 3 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Работа Рябчевского И.С. была выполнена в рамках: Программы развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова до 2021 года, НИР А54/20; Программы развития БГТУ им. В.Г. Шухова «Приоритет 2030» на 2021-2030 гг., № Пр-10/22; при финансовой поддержке в форме гранта Фонда содействия инновациям по программе «УМНИК» проект № 17343ГУ/2022.

4. Научная новизна

Соискателем обосновано и экспериментально подтверждено технологическое решение, обеспечивающее получение теплоизоляционных пенобетонов на основе сухих смесей за счет рационального подбора сырьевых компонентов (цемента, минеральных добавок – микрокремнезема и вспученного перлитового песка), их предварительной механоактивации для достижения удельной поверхности $700\text{--}850\text{ м}^2/\text{кг}$, перевода жидкого пенообразователя в сухое состояние гидратационным методом, применения бентонитовой глины в качестве стабилизатора пены, а также формирования однородной пористой структуры теплоизоляционных пенобетонов с полидисперсным распределением пор при создании полифазной системы композиции вяжущего и стабилизированного пенообразующего компонента, что обеспечивает низкую среднюю плотность ($202\text{--}296\text{ кг/м}^3$) и теплопроводность ($0,06\text{--}0,07\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$) материала при достаточной прочности на сжатие ($0,50\text{--}1,17\text{ МПа}$).

Установлены закономерности влияния минеральных добавок на микроструктуру цементного камня: перлит формирует механически закреплённую систему за счет проникновения гидратных новообразований в его поры, исключая дефекты расслоения; микрокремнезем индуцирует образование низкоосновного C-S-H геля повышенной плотности, снижая содержание портландита. Совместное использование микрокремнезема и вспученного перлитового песка в цементной матрице создает полифазную систему (этtringит, C-S-H гель), что повышает прочность цементного камня.

Развита система контроля и оценки качества макропористой структуры теплоизоляционных пенобетонов, в том числе с использованием методов фрактального анализа, основанная на применении аморфного углерода в качестве контрастного агента для заполнения пор, включающий бинаризацию цифровых изображений поверхности материала, где поры, заполненные углеродом, идентифицируются по интенсивности пикселей при определении параметров пористости материала. Выявлена функциональная взаимосвязь между распределением пор по размерам, их морфологией, пространственной организацией и фрактальной размерностью, позволяющие количественно оценивать степень лакуарности пористой структуры теплоизоляционных пенобетонов.

5. Теоретическая и практическая значимость диссертации

Автором выполнен значительный объем теоретических и экспериментальных исследований по изучению особенностей формирования структуры и свойств теплоизоляционных пенобетонов на основе сухих смесей. Развита теоретическая представления о процессах структурообразования теплоизоляционных пенобетонов на основе сухих смесей с применением минеральных добавок и стабилизированных пенообразующих компонентов.

Дополнены теоретические представления о применении методов фрактального анализа для оценки качества пористой структуры теплоизоляционных пенобетонов, а также о корреляции фрактальной размерности со степенью лакуарности систем моно- и гетеродисперсной упаковки пор.

Предложены режимы механоактивации сырьевых компонентов сухих смесей, направленные на повышение реакционной способности сырья и однородности структуры. По совокупности факторов проведено ранжирование помольных агрегатов по степени повышения эффективности их использования: вибрационная мельница → вихревая струйная мельница → роторно-шаровая мельница. Экспериментально подтверждено, что применение роторно-шаровой мельницы обеспечивает достижение удельной поверхности сырьевых компонентов теплоизоляционных пенобетонов 700–850 м²/кг при минимальной продолжительности помола.

Обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность и эффективность применения 10 % микрокремнезема и 5 % вспученного перлитового песка в качестве минеральной добавки для теплоизоляционного пенобетона марки по средней плотности *D*300; 5 % микрокремнезема и 10 % вспученного перлитового песка в качестве минеральных добавок для теплоизоляционного пенобетона марок по средней плотности *D*200 и *D*250, рекомендуемых для утепления стен с несущим каркасом, чердачных перекрытий, полов по лагам, плоских кровель и мансард.

Предложены технологическая схема производства сухих пенобетонных смесей, основанная на совместном помоле компонентов в роторно-шаровой мельнице, и технологическая схема производства теплоизоляционных пенобетонов на основе разработанных сухих смесей, особенностью которой является затворение сухой смеси водой без использования пеногенератора, что упрощает процесс заливки пенобетона в производственных условиях.

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки

Развита теоретическая представления о процессах структурообразования теплоизоляционных пенобетонов на основе сухих смесей с применением минеральных добавок и стабилизированных пенообразующих компонентов.

7. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Соискателем предложены технологическая схема производства сухих пенобетонных смесей, основанная на совместном помоле компонентов в роторно-шаровой мельнице, и технологическая схема производства теплоизоляционных пенобетонов на основе разработанных сухих смесей.

Методы и подходы, использованные в диссертационном исследовании, а также результаты и выводы могут быть рекомендованы для внедрения в практику деятельности предприятий по производству сухих пенобетонных смесей и изделий на их основе.

Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований предлагается использовать в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистрантов по направлению «Строительство».

8. Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы

1. В тексте диссертации и автореферата автором не отражены методы определения стабильности пены на основе переведенных в сухое состояние жидких пенообразователей.

2. В тексте диссертации в таблице 4.13 на странице 145, а также в тексте автореферата в таблице 4 на странице 13 приведены результаты определения пористости пенобетонов, однако неясно, как были получены данные фактической пористости образцов пенобетонов, а также как обрабатывались артефакты изображений (например, шумы, блики) перед анализом пористости.

3. В тексте диссертации не обосновано применение аморфного углерода в качестве заполнителя пор при определении поверхностной пористости, описанной в п. 4.4.2. текста диссертации, и какой именно аморфный углерод применялся в исследовании.

4. Отсутствуют данные о возможных сроках и условиях хранения сухих пенобетонных смесей.

5. Из п. 5.2 главы 5 текста диссертации неясно, в ценах какого года ведется оценка экономической эффективности.

Отмеченные замечания не снижают значимости представленных автором результатов и общей положительной оценки работы Рябчевского И.С.

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

Анализ работы позволяет сделать обоснованный вывод, что диссертация Рябчевского Игоря Сергеевича на тему «Теплоизоляционные пенобетоны на основе сухих смесей» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение нового научно обоснованного технологического решения по получению теплоизоляционных пенобетонов на основе сухих смесей. Работа обладает

научной новизной, теоретической и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют значение для развития отрасли знаний в области получения теплоизоляционных пенобетонов. Диссертационная работа полностью соответствует паспорту специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия и 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 технических наук, а ее автор, Рябчевский Игорь Сергеевич, заслуживает присуждение ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия.

Отзыв на диссертацию рассмотрен и одобрен на расширенном заседании кафедры строительного материаловедения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», протокол заседания № 20 от «23» мая 2025 г.

Доктор технических наук по специальности 05.17.11 – «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов», профессор, заведующий кафедрой строительного материаловедения ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Телефон 8 (916) 915-70-44
SamchenkoSV@mgsu.ru

Самченко
Светлана Васильевна

«23» мая 2025 г.

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

129337, ЦФО, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Телефон: +7 (495) 781-80-07

E-mail: kanz@mgsu.ru

Сайт: <https://mgsu.ru>