

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научно-

исследовательской деятельности КГАСУ,

доцент, кандидат технических наук

_____ Е. А. Вдовин

_____ 10 _____ 2025 г.



ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Фроловой Марии Аркадьевны на тему:

«Физико-химические основы получения и рационального использования механоактивированного сапонитсодержащего порошка при производстве строительных композитов», представленную на соискание ученой степени

доктора технических наук по специальности

2.1.5. Строительные материалы и изделия

Диссертация Фроловой М.А. направлена на решение важной научной проблемы, связанной с созданием единой научной концепции получения, оценки качества и рационального применения механоактивированного минерального сырья для повышения эффективности строительных композитов различного функционального назначения, получаемых с использованием порошковых систем, как структуроформирующего элемента. **Актуальность** темы исследования продиктована существующей экологической и экономической повесткой Российской Федерации, направленной на поиск путей наиболее рационального использования природных ресурсов, расширение минерально-сырьевой базы строительной индустрии, создание композитов с улучшенными эксплуатационными характеристиками и пр. Внедрение таких инновационных решений позволяет не только снизить себестоимость конечной продукции за счет сокращения затрат на первичное сырье и утилизацию отходов, но и значительно улучшить

ее эксплуатационные характеристики, такие как прочность, долговечность и морозостойкость. Это, в свою очередь, способствует продлению срока службы строительных объектов и снижению потребности в их ремонте и реконструкции, что является прямым вкладом в повышение качества жизни населения. Поэтому разработка технологических (технических) решений, направленных на использование многотоннажных сапонитсодержащих отходов, образующихся в процессе добычи алмазов на АО «Севералмаз», находится в полном соответствии с современными индустриальными задачами: сохранение природных ресурсов, повышение экономической эффективности производства, снижение экологического ущерба, связанного с разработкой или увеличением площади карьеров для складирования техногенного сырья.

Известно, что механоактивация при размоле приводит к изменению структуры твердых тел, уменьшению размера частиц, появлению активных центров на вновь образованной поверхности и т. д. Такая модификация, в случае, например, получения минеральных дисперсий, влечет за собой изменения в энергетическом потенциале получаемой системы. Поэтому целенаправленное управление физико-химическими процессами получения активных порошков должно способствовать повышению их химической активности, что в конечном итоге увеличивает эффективность их применения.

Из вышеизложенного следует, что **цель исследования**, сформулированная автором, «Разработка физико-химических основ получения и рационального использования механоактивированного сапонитсодержащего порошка при производстве строительных композитов различного назначения с учетом энергетических параметров активированной поверхности сырьевых материалов» является актуальной в научном и практическом плане.

Общие сведения о работе.

По своей структуре диссертационная работа включает следующие разделы: введение, восемь глав, список литературы и 16 приложений.

Диссертация изложена на 433 страницах машинописного текста, библиографический список литературы состоит из 516 наименований.

Во введении обозначена актуальность выбранной темы исследования. Сформулированы цели и задачи диссертации, выделена научная новизна и практическая значимость исследования. Приведена информация об апробации и реализации полученных результатов.

В первой главе представлены результаты анализа минерально-сырьевой базы Архангельской области, выявлено, что регион обладает значительным, но неэффективно используемым потенциалом минеральных ресурсов для производства строительных материалов. Основные проблемы заключаются в труднодоступности месторождений, неразвитой логистике и ограниченном количестве производств, использующих местное сырье. Ключевым фактором эффективности использования минерального сырья в производстве строительных материалов является его способность к измельчению и механоактивации. Эта способность зависит от физико-механических, физико-химических и энергетических характеристик сырья. Так, показано, что базальты месторождения «Мяндуха» и полиминеральные пески месторождений «Кеница» и «Краснофлотский-Запад» выделяются как перспективное сырье благодаря своей высокой энергоплотности. Для оценки и классификации сырьевых материалов предложена многоуровневая иерархическая модель энергетической классификации горных пород, основанная на определении их энергоплотности с учетом минерального (вещественного) состава и структурных особенностей. Введено новое понятие «активность поверхности дисперсной системы», которое предложено использовать как интегральный критерий оценки эффективности процесса механоактивации. Таким образом, исследование предлагает научно обоснованный подход к оценке и использованию минеральных ресурсов Архангельской области для создания новых, более эффективных строительных материалов, с акцентом на механоактивацию и энергетические характеристики сырья.

Во второй главе приведены основные методические подходы к термодинамическому описанию процессов, происходящих на границе раздела фаз в сложных минеральных композициях, рассматриваемых в качестве «модельных систем». Основной акцент делается на энергетическом состоянии дисперсий (которое оценивается через поверхностную энергию E_s) как ключевом факторе, определяющем ее способность к трансформационным превращениям и, как следствие, эффективность применения в строительных композитах. Предложена модель оценки эффективности протекания процессов механоактивации, а также применены классические положения кристаллохимии, позволившие рассчитать физико-химические показатели кристаллической структуры минералов. Разработан подход и предложены параметры позволяющие, на основе изучения термодинамической совместимости компонентов порошковых минеральных систем, определить рациональный состав исследуемой смеси. Введены новые параметры и разработаны методические приемы количественного определения состояния дисперсных систем, такие как: удельная поверхностная энергия (численно равная поверхностному натяжению), аналоговая постоянная Гамакера. Установлено, что данные характеристики позволяют оптимизировать выбор сырьевых материалов. Практическое применение разработанных положений позволяет создавать функциональные композиты строительного назначения на основе природного и техногенного сырья Архангельской области. В целом, материал, представленный в данной главе, подчеркивает важность комплексного энергетического подхода к оптимизации минеральных композиций, используя введенные физико-химические параметры и разработанные прогнозные модели управления свойствами.

В третьей главе представленные исследования демонстрируют перспективность использования сапонитсодержащих отходов в качестве сырья для индустрии строительных материалов. Разработанный способ выделения и концентрирования сапонитсодержащей твердой фазы из оборотной воды, а также ее активация механическим помолем, позволяют

получить активный минеральный порошок. Важным аспектом является установленная структурная модификация сапонита в процессе механического помола, приводящая к изменению кристаллической решетки и образованию новых минералов (серпентина, форстерита и магнезита), что может влиять на свойства конечного продукта и расширять возможности его применения в строительстве.

В четвертой главе установлено, что механоактивированный сапонитсодержащий порошок при контакте с водой проявляет свойства дополнительного связующего агента (за счет увеличения содержания активной аморфной фазовой составляющей и роста параметра активности поверхности). Данный факт делает целесообразным применение МСП в качестве добавки в цементы, что убедительно показано автором в этой главе. Для определения активности создаваемого композита разработан метод экспресс-оценки этого параметра на основе изменения поверхностных характеристик образцов смеси от степени полноты протекания реакции гидратации в цементном тесте. Кроме того, предложен новый потенциометрический метод определения сорбционной емкости по отношению к оксиду кальция, который может быть использован в качестве экспресс-способа для количественного определения коэффициента гидравлической активности механоактивированного сапонитсодержащего порошка и оценки влияния на данный показатель временного фактора.

В пятой главе, на основании изучения водно-физических свойств МСП и с учетом установленных закономерностей трансформационных превращений сапонитовых дисперсий, определено оптимальное содержание МСП в составе бетонной смеси. Введение МСП обуславливает значительное увеличение прочности композита и морозостойкости материала, что достигается посредством регуляции структурного формирования цементного комплекса за счёт стабилизации уровня пресыщения водной фазы, позволяющей, в свою очередь, улучшить микроструктуру затвердевшей матрицы и повысить долговечность бетона. Кроме того, установлено, что при

введении МСП в бетонную смесь, он способствует дополнительному синтезу гидросиликатов кальция (тоберморита), что упрочняет структуру бетона. Разработаны и предложены рецептуры морозостойких мелкозернистых бетонов, использующих высокодисперсную минеральную добавку, полученную на основе сапонитсодержащих отходов алмазодобывающей промышленности (МСП), что способствует улучшению эксплуатационных характеристик композиционного материала.

В шестой главе доказана перспективность использования сапонит-базальтового сырья Архангельской области для производства тепло- и звукоизоляционных материалов. Установлено, что модифицированный сапонитсодержащий порошок (МСП) может выступать в качестве самостоятельного вяжущего при различных температурных режимах. Разработаны рецептуры и технологии для создания теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов на основе волокон, полученных из базальтов месторождения «Мяндуха», а также изучены их звукоизолирующие и теплофизические свойства.

Седьмая глава посвящена оценке перспективности использования механоактивированного сапонитсодержащего порошка (МСП) для получения различных строительных композитов, например в синтезе магнезиального вяжущего и огнеупорной керамики.

В восьмой главе изложена разработанная технология производства механоактивированного сапонитсодержащего порошка, которая успешно внедрена на АО «Севералмаз», кроме того, автором в материалах главы приведено технико-экономическое обоснование производства данного порошка.

В заключении подведены итоги исследования, четко выделяя его ключевые научные и практические результаты.

**Научная новизна, достоверность и обоснованность положений,
выводов и рекомендаций.**

Необходимо отметить, что сформулированные в работе положения научной новизны проведенных исследований достаточно полно отражены автором в материалах диссертации и автореферата. В результате проведенного исследования обоснована и экспериментально подтверждена эффективность использования сапонитсодержащего отхода обогащения кимберлитовых руд в качестве сырья для производства строительных композитов. Разработаны физико-химические основы получения и применения механоактивированного сапонитсодержащего порошка (МСП), включая оценку энергетических параметров и характеристик компонентов, влияющих на структурообразование. Предложены модели, описывающие взаимосвязь между степенью измельчения, изменением поверхностной энергии и удельной поверхностью порошковых систем. Установлено, что МСП, как минеральный модификатор, влияет на процессы структурообразования в бетонах, улучшая их свойства. Также доказана его эффективность в производстве теплоизоляционных материалов и конструкционно-теплоизоляционных композитов на основе базальтового волокна. Исследованы кристаллохимические трансформации МСП при высоких температурах, что открывает новые возможности для его использования в производстве магнезиального цемента.

Достоверность и обоснованность разработанных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается за счет использования комплексного и системного подходов к исследованию, теоретического обоснования решений, применения современных методов и стандартных методик, использования аттестованного оборудования, достаточного количества экспериментов для подтверждения результатов, а также их обсуждения на конференциях различного уровня и их положительной апробацией в промышленных условиях.

Кроме того, актуальность и достоверность полученных результатов подчеркивается поддержкой выполненных и выполняемых в настоящий момент грантов: ГК № 14.518.11.7018 в рамках ФЦП «Исследования и

разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы»; РНФ 22-23-00047, 23-13-20013; Соглашения в рамках постановления Правительства РФ от 9 апреля 2010 года № 218 № 124-10-22-СА от 19.10.2022.

Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки.

Результаты диссертации имеют значительную теоретическую и практическую ценность, так как они основаны на разработке физико-химических основ получения и использования минеральных порошков, что расширяет возможности прогнозирования свойств и применения механоактивированных компонентов. Важными достижениями являются методы оценки эффективности процессов механоактивации, математические модели, а также технологии получения сапонитсодержащих порошков и составы высокопрочных бетонов. Разработанные рецептурно-технологические параметры позволяют создавать теплоизоляционные и конструкционно-теплоизоляционные композиты с заданными характеристиками, что открывает новые перспективы для применения минеральных материалов в строительстве.

Рекомендации по использованию результатов и основных выводов, представленных в диссертации.

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к внедрению на предприятиях горнодобывающего и перерабатывающего комплексов для утилизации отходов обогащения руд и организации замкнутого цикла водопользования. Полученный механоактивированный сапонитсодержащий порошок целесообразно использовать на заводах по производству строительных материалов: предприятиях по изготовлению бетонных смесей и железобетонных изделий в качестве активной минеральной добавки, а также на производствах теплоизоляционных материалов в качестве самостоятельного вяжущего. Выводы работы также представляют интерес для

научно-исследовательских и проектных институтов строительного профиля. Разработанные физико-химические модели и методики оценки энергетического состояния дисперсных систем могут быть применены для прогнозирования свойств новых композиционных материалов.

Результаты работы представлялись на международных и всероссийских научно-технических конференциях, симпозиумах и конгрессах. Основные положения работы изложены в 132 публикациях, в том числе: 32 – в российских журналах, входящих в перечни рецензируемых научных изданий и международных реферативных баз, рекомендованных ВАК РФ; 24 – в зарубежных изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science. Получено 5 патентов на изобретения. Опубликовано 3 монографии.

По работе имеются несколько вопросов и замечаний:

1. Каким образом введение избыточного количества сапонитсодержащей добавки (стр. 164, 165 рис. 3.3.1.6) приводит к снижению эффективности роста количества кристаллов тоберморита в эксперименте со смесью гашеной извести и МСП?

2. В диссертации активно используются полиминеральные пески двух месторождений Архангельской области («Кеницы» и «Краснофлотский Запад»). Однако на основании проведенного автором анализа минерально-сырьевой базы регион имеет более 20 месторождений строительных песков (стр. 24 диссертации). Может быть пески других месторождений являются более эффективными минеральными системами, позволяющими решать поставленные задачи?

3. Автор работы предлагает использование разработанных составов, делая акцент на местном сырье Архангельской области. Будет ли экономически выгодно транспортирование механоактивированного сапонитсодержащего порошка в другие регионы Российской Федерации и (в этой связи), как долго сохраняются активные (необходимые) свойства этого порошка?

4. Для сравнительной оценки разработанных теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов с ближайшими аналогами, в диссертации помимо приводимых физико-механических и теплофизических показателей полученных опытных образцов (например, табл. 6.3.2.1 на стр. 276, стр. 279, 280) целесообразно было бы провести их сравнение и по коэффициенту конструктивного качества. (отношение показателя прочности к объемной массе или к плотности).

5. Замечания по автореферату редакционного характера: некоторые рисунки имеют плохо читаемые поясняющие подписи.

Отмеченные вопросы и замечания не снижают общее положительное мнение о диссертационной работе, представленной на отзыв.

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

Диссертационная работа Фроловой Марии Аркадьевны на тему «Физико-химические основы получения и рационального использования механоактивированного сапонитсодержащего порошка при производстве строительных композитов» представляет собой законченную научную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение и изложены новые научно-обоснованные технологические решения, которые вносят значительный вклад в развитие строительного материаловедения и отрасли, связанной с производством строительных материалов.

На основании вышеизложенного, диссертационная работа своей актуальностью, сформулированной научно-обоснованной гипотезой, задачами, научной новизной, доказательностью основных положений, достоверностью, теоретической и практической значимостью полученных результатов в полной мере соответствует требованиям п.п. 9-11, 13, 14, установленным Положением о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г., в действующей редакции) для

диссертаций, представленных на соискание ученой степени доктора технических наук, а ее автор, **Фролова Мария Аркадьевна**, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры «Строительные материалы» Института строительных технологий и инженерно-экологических систем ФГБОУ ВО «КГАСУ» (Протокол № 3 от «23» октября 2025 г.). Присутствовало: 6 чел. Голосовали: «за» - 6 чел., «против» - нет, «воздержались» - нет.

Сведения о ведущей организации.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет».

420043, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Зеленая, 1

Телефон: +7 (843) 510-46-01; 526-93-11; 510-46-22

E-mail: info@kgasu.ru

Сайт: [https:// www.kgasu.ru](https://www.kgasu.ru)

Заведующий кафедрой «Строительные материалы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», доктор технических наук, (2.1.5.«Строительные материалы и изделия»)

профессор

Сулейманов

Альфред Мидхатович

Подпись профессора А.М. Сулейманова заверяю:



Собственноручную подпись <i>А.М. Сулейманова</i>
удостоверяю
Начальник Отдела кадров <i>С.И. Шильманова М.И.</i>
« 09 » 10 2025 г.