

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

**доктора технических наук, профессора Пухаренко Юрия  
Владимировича**

**на диссертационную работу Фроловой Марии Аркадьевны  
по теме: «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**

### **Актуальность темы исследования**

Известно, что отходы большинства горно-перерабатывающих предприятий представляют собой уникальный источник ценных полезных ископаемых, способный стать одним из ключевых направлений стратегии недропользования в части получения качественных и экономически выгодных продуктов из техногенных скоплений. В этой связи разработка эффективных технологических приемов, связанных с сохранением природных ресурсов за счет вовлечения в производственные процессы технологических отходов, является важной с научной и практической точек зрения задачей. При этом, предлагаемые технологические решения должны базироваться на глубоком понимании процессов направленной модификации вторичных ресурсов, которая неизбежно связана с физико-химической трансформацией используемого сырья.

Диссертационная работа Фроловой Марии Аркадьевны посвящена использованию многотоннажного сапонитсодержащего отхода, образующегося в процессе переработки алмазоносной породы, при производстве строительных материалов различного назначения. При этом важной особенностью исследований является глубокая научная и инженерная проработка предлагаемых технологических решений с привлечением фундаментальных базовых принципов физической и коллоидной химии, адаптированных к реальному объекту исследования и разработанным новым научным положениям. Учитывая это, направление, тему и цель диссертационных исследований, которая заключается в разработке физико-химических основ получения и рационального использования механоактивированного сапонитсодержащего порошка при производстве строительных композитов различного назначения с учетом энергетических параметров активированной поверхности сырьевых материалов, следует считать весьма актуальными.

## **Новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы**

Необходимо отметить, что сформулированные в работе положения *научной новизны* проведенных исследований достаточно полно отражены автором в диссертации и автореферате. Вместе с тем хотелось бы отметить следующие наиболее значимые результаты:

- разработаны физико-химические основы получения механоактивированного сапонитсодержащего порошка (МСП), путем механоактивации твердой фазы, выделенной из суспензии оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд. Предложена энергетическая модель оценки эффективности механоактивации по вновь введенным критериям: активности поверхности и фрактальной размерности. Установлена корреляционная зависимость активности поверхности с теплотой гидратации и фазово-структурной неоднородностью (количеством аморфной приповерхностной фазы) материала;

- доказана эффективность использования аналоговой величины постоянной Гамакера как критерия выбора дисперсных компонентов, композиция из которых способствует проявлению системного синергетического эффекта при достижении максимальной консолидации композиции. Разработаны методические приемы экспериментального определения этой характеристики для минеральных порошковых систем, дана динамика изменения данного параметра при проведении процесса механоактивации сапонитсодержащего материала и полиминеральных песков.

- предложены термодинамические модели, определяющие характер функциональной взаимосвязи между степенью измельчения, величиной изменения поверхностной энергии и значением удельной поверхности порошковых минеральных систем. Установлено, что для минеральных систем может существовать область термодинамической совместимости компонентов, которая характеризуется активизацией процессов структурообразования и, как следствие, самопроизвольной консолидацией зерен, например, в системе «клинкерные минералы – вода – модификатор – наполнитель».

- доказана эффективность применения сапонитсодержащего отхода обогащения кимберлитовых руд в качестве сырья для производства строительных композитов различного функционального назначения. Установлено, что механоактивированный сапонитсодержащий порошок, используемый в качестве модификатора для мелкозернистого бетона проявляет свойства пластификатора на этапе приготовления бетонной смеси; связывании  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , выделяющегося при гидратации клинкерных минералов,

с образованием гидросиликатов кальция второй генерации на этапе набора прочности.

- обоснована и экспериментально подтверждена эффективность применения МСП в качестве вяжущего при производстве теплоизоляционных минераловатных изделий и конструкционно-теплоизоляционных композитов, получаемых на основе базальтового волокна.

- выявлены условия и предложен механизм кристаллохимических трансформаций МСП при высокотемпературном воздействии. Перспективность полученных результатов связана с возможностью синтеза магнезиальных вяжущих.

**Теоретическая значимость** результатов, полученных в ходе выполнения диссертации, связана с разработанными физико-химическими основами получения и рационального использования минеральных порошков, базирующихся на модели энергетической активации поверхности компонентов строительных композиционных, что значительно расширяет теоретические подходы к прогнозированию свойств и определению областей применения механоактивированных компонентов, полученных из минерального сырья как природного, так и техногенного происхождения, а также созданию минеральных композиций на их основе, за счет использования методов оценки термодинамической совместимости компонентов.

В качестве важных результатов исследований, имеющих **практическое значение** следует отметить прежде всего разработку методов и критериев оценки эффективности физико-химических процессов, протекающих при механоактивации компонентов, и математических моделей, описывающих параметры структуры сырьевых материалов, определяющие свойства строительных композитов. Диссертантом разработана и внедрена на АО «Севералмаз» технология получения из суспензии оборотной воды механоактивированного сапонитсодержащего порошка с заданными характеристиками. Кроме того, предложены составы мелкозернистых бетонов с использованием МСП в качестве минеральной модифицирующей добавки, позволяющие получать бетоны с пределом прочности при сжатии до 73 МПа, морозостойкостью не ниже F<sub>1300</sub> и водонепроницаемостью до W10; разработаны рецептурно-технологические параметры получения сапонит-базальтовых минеральных материалов на основе базальтового волокна, позволяющие получать теплоизоляционный композит с плотностью 40–43 кг/м<sup>3</sup>, коэффициентом теплопроводности 0,039–0,040 Вт/(м·К), сжимаемостью 22–25%, влажностью не более 1% и конструкционно-теплоизоляционный композит с плотностью 679–835 кг/м<sup>3</sup>, прочностью на сжатие 1,6–3,8 МПа,

коэффициентом теплопроводности 0,104–0,137 Вт/(м·К), водопоглощением 25–27%, морозостойкостью 25–35 циклов.

### **Структура диссертационной работы.**

Диссертация изложена на 433 страницах машинописного текста и включает введение, восемь глав, список литературы из 516 наименований и 16 приложений.

### **Содержание диссертационной работы.**

Во *введении* обоснована актуальность направления и темы исследований, сформулированы научная проблема и рабочая гипотеза, а также цель и задачи исследований, реализация которых позволяет получить планируемый результат. Указываются положения выносимые на защиту, научная, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

*Глава 1* посвящена обоснованию критериев выбора минеральных компонентов, которые исходя из представленной энергетической классификации позволяют решить поставленные в работе задачи. Дается характеристика способа повышения эффективности минеральных компонентов в состоянии механоактивированных порошков, вводится понятие активности поверхности высокодисперсных систем.

*Глава 2* содержит результаты анализа функциональной взаимосвязи объемно-поверхностных свойств и прочности контактов в композите, что дает возможность управлять контактным взаимодействием на границе раздела фаз, используя поверхностную энергию дисперсных систем. На этой основе разрабатывается энергетическая модель активации поверхности минеральных компонентов композиционных материалов. Важным разделом этой главы является материал, связанный с кристаллохимическими параметрами, сопровождающими процесс трансформации кристаллической структуры минеральных веществ, который позволяет сделать вывод о преимущественной направленности процессов в случае механохимической активации обрабатываемого материала. В данной главе вводится понятие области термодинамической совместимости минеральных компонентов, которая позволяет оптимизировать составы сухих смесей, дается математическая модель расчета и результаты ее практической апробации для смесей минеральных порошков с сапонитсодержащим компонентом. Продолжая теоретические изыскания, диссертант дополняет материалы этой главы новыми параметрами состояния дисперсных систем: удельная поверхностная энергия (численно равная поверхностному натяжению), аналоговая постоянная Гамакера, которые позволяют оптимизировать выбор сырьевых материалов, даются разработанные методические приемы количественного определения этих параметров. Завершает главу раздел, посвященный

предлагаемой концепции определения кинетических характеристик твердофазных реакций с учетом энергетических параметров взаимодействующих компонентов.

*Глава 3* содержит результаты исследований, связанных с разработкой способа выделения сапонитсодержащей твердой фазы из оборотной воды, ее концентрированием и получением активного минерального порошка способом механического помола. При этом отмечается структурная модификация сапонитсодержащего материала, устанавливается механизм превращения трехслойной кристаллической решетки сапонита в двухслойную, характерную для серпентина и далее (с учетом температурного фактора) образование форстерита и магнезита.

*Глава 4* посвящена изучению механизма проявления вяжущих свойств МСП, связанного с образованием гидросиликатов кальция группы тоберморитов за счет реакции взаимодействия с гидроксидом кальция. Представлен метод определения активности цементных смесей, защищенный патентом на изобретение. Для определения гидравлической активности МСП предлагается использование потенциометрического метода определения с применением ион-селективного электрода.

*Глава 5* дает характеристику бетонам, применяемым для строительства в Арктических и приарктических регионах России, высокодисперсным добавкам-модификаторам, повышающим морозостойкость бетона. Представлены результаты изучения водно-физических свойств МСП, обосновывается его применения в качестве высокодисперсной добавки при изготовлении бетонных смесей, представлены разработанные составы бетонов с добавками МСП и области для их практического применения.

*Глава 6* устанавливает возможность применения МСП в качестве самостоятельного вяжущего при обычных и повышенных температурных режимах обработки. Для создания теплоизоляционных структур изучены технологические характеристики базальтов месторождения «Мяндуха» Архангельской области, разработаны рецептурно-технологические факторы получения теплоизоляционного и конструкционно-теплоизоляционного материалов, изучены их звукоизолирующие и теплофизические свойства.

*Глава 7* определяет перспективные направления использования механоактивированного сапонитсодержащего порошка в индустрии строительных материалов. В этом плане показаны результаты значительного научного задела по использованию МСП для синтеза магнезиального вяжущего и керамических материалов (огнеупорной керамики). Получены опытные образцы и приведены данные об их основных эксплуатационных характеристиках, что подтверждает возможность расширения области эффективного применения МСП.

*Глава 8* содержит сведения о внедрении и промышленной апробации результатов диссертационной работы. В материалах главы представлены

техника и технология выделения сапонитсодержащей твердой фазы и промышленного получения механоактивированного сапонитсодержащего порошка, внедренная на АО «Севералмаз» с экономическим обоснованием. Представлены разработанные составы мелкозернистого бетона с добавкой МСП и технологии производства сапонит-базальтовых теплоизоляционных материалов с расчетом экономической эффективности.

**Заключение** содержит положения, в которых корректно отражены основные научные и практические результаты выполненных исследований.

### **Соответствие автореферата основным положениям диссертации и публикациям**

Автореферат соответствует содержанию диссертации и отражает ее основные результаты. Публикации в полном объеме отражают основные положения диссертации, что в сочетании с выступлениями на научных конференциях представляется достаточной апробацией.

По материалам диссертации опубликовано 132 работы, 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.

### **Степень обоснованности научных положений диссертационной работы.**

Достоверность полученных результатов обеспечивается: комплексным подходом к решению обозначенной проблемы; системным анализом научной литературы (более 500 библиографических ссылок); теоретическим обоснованием предлагаемых решений; методически выверенным комплексом исследований; результатами, полученными с помощью современных методов исследования и стандартных методик; использованием лабораторного метрологически аттестованного испытательного оборудования; необходимым количеством проведенных экспериментов, обеспечивающим адекватность и воспроизводимость результатов; обсуждением результатов исследований на конференциях различного уровня и их положительной апробацией в промышленных условиях.

Кроме того, актуальность и достоверность полученных результатов подчеркивается поддержкой успешно выполненных грантов: ГК № 14.518.11.7018 в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы»; РФФ 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.

### **Замечания и рекомендации.**

1. При реализации представленной энергетической модели механоактивации в качестве одного из параметров для расчета величины критериев необходимо определять поверхностное натяжения порошков. С этой целью готовятся компакты (запрессовки) при избыточном давлении. Данный прием пробоподготовки неизбежно приводит к изменению структуры порошка. Учитывается ли данный факт при определении величины предлагаемых критериев или эта погрешность каким-то образом нивелируется?

2. Постоянная Гамакера – известная константа, которая определяет природу вещества. В диссертационной работе введено понятие «аналоговая величина постоянной Гамакера». В этой связи, требует дополнительного пояснения отличие этих двух величин в физическом смысле.

3. В диссертационной работе не освещен вопрос, связанный с сезонными (а, следовательно, и температурными) колебаниями в содержании взвешенных веществ в суспензии. Сказывается ли данный факт на концентрации сапонита в получаемой твердой фазе (кеке)?

4. При расчете количества добавки сапонитсодержащего материала для получения опытных образцов бетона автор учитывал только водно-сорбционные свойства добавки?

5. В заключении указано, что полученный конструкционно-теплоизоляционный материал сохраняет стабильность структуры и свойств при температуре эксплуатации до 1000°C. Непонятно, чем обосновано данное значение, так как экспериментального подтверждения этого не приведено.

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

Представленные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации Фроловой Марии Аркадьевны на тему «Физико-химические основы получения и рационального использования механоактивированного сапонитсодержащего порошка при производстве строительных композитов», в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области строительного материаловедения, а также изложены новые научно-обоснованные технологические решения, которые вносят значительный вклад в развитие отрасли, связанной с производством строительных материалов.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертационная работа по своей актуальности, сформулированным целям и задачам, научной новизне, обоснованности основных положений, достоверности, теоретической и практической значимости 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.

**Официальный оппонент:**

доктор технических наук  
по специальности 05.23.05 – Строительные материалы и изделия, профессор, профессор-консультант кафедры Технологии строительных материалов и метрологии СПбГАСУ

Пухаренко Юрий  
Владимирович

« 28 » 10 2025 г.

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

Адрес университета: 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Тел.: +7 (921) 324-59-08

E-mail: [tsik54@yandex.ru](mailto:tsik54@yandex.ru)

