

На правах рукописи



**МОРОЗОВА МАРИНА ВЛАДИМИРОВНА**

**МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
САПОНИТ-СОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

**Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия**

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

**Пенза – 2018**

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

Научный руководитель: кандидат химических наук, доцент  
**Фролова Мария Аркадьевна**

Официальные оппоненты: **Чулкова Ирина Львовна**,  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет»,  
заведующий кафедрой «Строительные материалы и специальные технологии»  
**Толстой Александр Дмитриевич**,  
кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»,  
доцент кафедры «Строительное материаловедение, изделия и конструкции»  
Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

Защита состоится 08 февраля 2019 года в 13:00 на заседании диссертационного совета Д 212.184.01, созданного на базе Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, по адресу: 440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Пензенского государственного университета архитектуры и строительства и на сайте <http://dissovet.pguas.ru/index.php/contact-us/d-212-184-01/98-21-morozova-marina-vladimirovna>.

Автореферат разослан 08 декабря 2018 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Бакушев  
Сергей Васильевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Одним из наиболее востребованных строительных материалов является мелкозернистый бетон, производство которого по экономическим соображениям должно базироваться на локально распространенной сырьевой базе. Важной задачей является получение композита с высокими эксплуатационными характеристиками. С этой целью применяют различные химические добавки, в состав которых входят такие вредные вещества как: формальдегид, меламиноформальдегидные смолы, неорганические кислоты и др. Вследствие высокой стоимости и сложности получения суперпластификаторов, все чаще возникает необходимость разработки других, более дешёвых добавок, улучшающих физико-механические, реологические и деформационные свойства бетона.

Одним из способов повышения эксплуатационных характеристик бетонов является использование высокоактивных добавок различного состава и генезиса как микро-, так и нанодисперсного уровня, которые способствуют оптимизации процессов структурообразования за счет инициирования формирования гидратных соединений.

В настоящее время, с точки зрения экономической целесообразности, в качестве сырья стало выгодно использовать многотоннажные отходы производств.

В 2002 году началась промышленная разработка трубки «Архангельская» месторождения алмазов имени М.В. Ломоносова. В процессе обогащения кимберлитовых руд в хвостохранилище ежегодно складировается до 1 млн. тонн отходов (пустые песчано-глинистые породы). Особенностью данного месторождения является его масштабная сапонитизация (60 ... 70 %). Такое скопление отходов приводит к постоянному увеличению площади хвостохранилища и значительно усиливает антропогенную нагрузку на экосистему региона.

Данная проблема, связанная с утилизацией отходов алмазодобывающей промышленности, может быть решена за счёт использования сапонита в качестве компонента при получении высокопрочных мелкозернистых бетонов. Это позволит не только раскрыть потенциал уникальных свойств сапонит-содержащих материалов, но и будет способствовать развитию сырьевой базы строительной индустрии региона.

Ожидается, что введение сапонита в состав мелкозернистого бетона окажет комплексное воздействие на свойства смеси (регулирование подвижности, плотности, повышение прочности, морозостойкости), снизит стоимость конечной продукции, а также позволит применять разработанные составы в таких областях как ремонтные работы (заделка трещин и соединительных швов), изготовление арочных конструкций, тонкостенных и густоармированных изделий и пр.

Кроме того, использование сапонит-содержащего материала в качестве одного из компонентов бетонной смеси позволит выделить новое направление утилизации отходов обогащения кимберлитовых руд.

Работа выполнена при финансовой поддержке: ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России», соглашение 14.A18.21.1108 (2015 – 2016 гг.); программы развития «САФУ имени М.В. Ломоносова»; базовой части Госзадания (проект №3636).

**Степень разработанности темы исследования.** Проблемам повышения эксплуатационных характеристик бетонов посвящено большое количество работ как российских, так и зарубежных ученых (Баженов Ю.М., Калашников В.И., Лесовик В.С., Логанина В.И., Тараканов О.В., Тейлор Х., Чулкова И.Л. и др.) Для повышения этих характеристик используют пуццолановые и высокоактивные компоненты. Возможность применения сапонит-содержащих отходов в качестве компонента бетонной смеси не была изучена в полной мере. В ранее проведенных исследованиях предлагалось использование сапонит-содержащих отходов в качестве компонента органоминерального нанодисперсного модификатора (ОНМ), получаемого комплексным помолом цемента, кварцевого песка, сапонит-содержащего материала (4 %) и гиперпластификатора. Введение 7,5 % ОНМ позволило повысить физико-механические характеристики бетонной смеси. Для получения такого модификатора разработан способ выделения сапонит-содержащего материала (ССМ) из оборотной воды хвостохранилища методом электролитной коагуляции. Однако, предложенные теоретические предпосылки по использованию ССМ (не более 1,6 кг на 1 м<sup>3</sup> смеси) не позволяют масштабировать решение, связанную с утилизацией отходов и оценить технологические и потенциальные возможности использования ССМ.

**Цель исследования** заключается в разработке составов мелкозернистого бетона с высокими физико-механическими характеристиками путем использования сапонит-содержащих отходов алмазодобывающей промышленности.

**Задачи исследования:**

1. Обосновать эффективность использования сапонит-содержащих отходов алмазодобывающей промышленности в качестве минерального компонента при получении мелкозернистых бетонов;
2. Изучить механизм действия минерального компонента и оптимизировать условия его применения для получения мелкозернистого бетона с улучшенными физико-механическими характеристиками и морозостойкостью;
3. Разработать составы эффективного мелкозернистого бетона, изготовить опытные образцы, определить их физико-механические, деформационные характеристики, морозостойкость;
4. Разработать нормативно-техническую документацию, провести внедрение результатов исследования путём выпуска опытно-промышленной партии мелкозернистого бетона с использованием сапонит-содержащего отхода.

### **Научная новизна работы:**

1. Обоснована возможность создания модифицированных мелкозернистых бетонов с повышенными эксплуатационными показателями за счет проявления водносорбционных-десорбционных свойств высокодисперсным компонентом на основе сапонит-содержащего отхода обогащения кимберлитовых руд алмазодобывающей промышленности. Состав и объемно-поверхностные характеристики сапонит-содержащего компонента обеспечивают: снижение В/Ц отношения, пластифицирование бетонной смеси, образование гидросиликатов дополнительной генерации, формирование рациональной поровой структуры композита и, как следствие, повышение эксплуатационных свойств мелкозернистого бетона.

2. Установлены зависимости влияния основных рецептурных и технологических факторов на параметры структуры и эксплуатационные свойства мелкозернистого бетона с высокодисперсным сапонит-содержащим компонентом, позволяющие установить рациональные границы варьирования рецептурно-технологических факторов. Полученные составы мелкозернистых бетонов обладают повышенными показателями прочности, морозостойкости, водонепроницаемости.

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

1. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена эффективность применения сапонит-содержащего отхода обогащения кимберлитовых руд алмазодобывающей промышленности в качестве модифицирующего компонента при получении мелкозернистого бетона, позволяющего управлять процессами структурообразования на различных технологических этапах его производства, выступая в качестве сорбционно-десорбционного и пуццоланового компонента твердеющей системы.

2. Разработан способ определения величины водопоглощения сыпучих материалов, позволяющий изучить кинетику данного процесса для сапонит-содержащего материала и оптимизировать его характеристики как высокодисперсного компонента бетонной смеси.

3. Разработаны составы и технология производства мелкозернистого бетона с использованием минерального высокодисперсного сапонит-содержащего компонента, позволяющего получить изделия с: плотностью – 2000 – 2020 кг/м<sup>3</sup>, пределом прочности при сжатии – 41,30 – 73,70 МПа, модулем упругости – 27800 – 44170 МПа, общей пористостью – 4,90 – 16,78 %, морозостойкостью – F<sub>1</sub>100 – F<sub>1</sub>400, водопоглощением по массе – 3,65 – 4,35 %, водонепроницаемостью – W<sub>6</sub> – W<sub>10</sub>. При этом полученные изделия соответствуют требованиям ГОСТ 26633-2015: маркам по плотности D2000 – D2200, классу по прочности B30 – B55.

**Реализация результатов исследований.** Результаты экспериментальных исследований и теоретические положения, полученные при выполнении диссертационной работы, используются кафедрой «Композиционных материалов и строительной экологии» ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» в учебном процессе при подготовке

бакалавров и магистров по направлениям: 08.03.01 «Строительство» профили «Производство и применение строительных материалов, изделий и конструкций» и «Экологическая безопасность строительства»; 08.04.01 «Строительство» магистерская программа «Промышленное и гражданское строительство в холодном климате».

**Методологической основой** диссертационного исследования послужили стандартные методы испытаний и исследований свойств сырьевых материалов и бетонов на их основе. Для исследования структуры и свойств опытных образцов применялись современные наукоемкие методы анализа: фотонно-корреляционная спектроскопия, инфракрасная спектроскопия, рентгенофазный анализ, электронная микроскопия и пр.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Обоснование эффективности использования минерального компонента на основе отходов алмазодобывающей промышленности для получения высокоэффективных мелкозернистых бетонов;

2. Результаты исследования кинетики процесса водопоглощения ССМ и механизм его действия при формировании структуры композита;

3. Результаты определения деформативных, прочностных характеристик и морозостойкости мелкозернистого бетона с использованием высокодисперсного ССМ;

4. Составы высокоэффективных мелкозернистых бетонов и результаты их внедрения.

**Область исследования** соответствует паспорту научной специальности 05.23.05 – Строительные материалы и изделия, п. 7 «Разработка составов и принципов производства эффективных строительных материалов с использованием местного сырья и отходов промышленности».

**Степень достоверности результатов работы.** Достоверность результатов исследований определена использованием в работе государственных стандартов, нормативных документов, широкого спектра методов исследований с применением сертифицированного и поверенного научно-исследовательского оборудования, применением современных методов исследования, сходимостью теоретических и экспериментальных исследований и воспроизводимостью результатов при большом объеме экспериментов.

**Апробация результатов работы.** Основные положения и результаты диссертационной работы обсуждены и одобрены на следующих научных конференциях: Ежегодной Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых «Строительство – формирование среды жизнедеятельности» (Москва, 2014 – 2016 гг.); Первой всероссийской конференции с международным участием «Инновационные материалы и технологии для строительства в экстремальных климатических условиях» (Архангельск, 2014 г); Пятнадцатой и шестнадцатой Международной многопрофильной научной конференции «Нано-, био- и зеленые технологии для устойчивого будущего» (Болгария, 2015 – 2016 гг.); Научной

конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова «Развитие северо-арктического региона: проблемы и решения» (Архангельск, 2015 – 2016 гг.); Пятом Международном семинаре-конкурсе молодых ученых и аспирантов, работающих в области вяжущих веществ, бетонов и сухих смесей «Алит Информ» (Москва, 2015 г.); Международной конференции «Интеллектуальные композиты для зеленого строительства» (Белгород, 2016 г.); Международной молодежной конференции «Физика.СПб/2016, 2017» (Санкт-Петербург, 2016 – 2017 гг.); Международном online – конгрессе «Фундаментальные основы строительного материаловедения» (Белгород, 2017 г.); Российской онлайн-конференции, посвященной дню Российской науки «Теоретические основы создания эффективных композитов» (Белгород, 2018 г.).

**Внедрение результатов исследований.** Разработаны нормативные документы: стандарт организации СТО 10-27.1.5-2018 «Минеральная добавка. Технические условия» и СТО 11-27.1.5-2018 «Мелкозернистые бетоны с использованием минеральной высокодисперсной добавки. Технические условия».

Изготовлена опытная партия бетонного раствора, использовавшегося для заделки внутренних стыков и соединительных швов при монтаже стеновых панелей зданий на предприятии ООО «Динамика». Проведённые натурные испытания показали высокую эффективность использования мелкозернистого бетона с модифицирующим компонентом из сапонит-содержащего отхода обогащения кимберлитовых руд.

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 28 работ, в том числе шесть работ в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и систем цитирования Web of Science, Scopus, и семь работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК. Новизна исследований подтверждена патентом на полезную модель №156792 и ноу-хау № КТ 2017-01.

**Структура и объем диссертационной работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы и приложений. Работа представлена на 169 страницах машинописного текста, содержит 47 рисунков, 52 таблицы, 11 приложений (изложены на 15 страницах), содержит список литературы из 188 наименований.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первой главе** сформулированы цель и задачи исследований. Рассмотрено состояние и перспективы развития производства строительных материалов в Архангельской области. Приведены данные по природно-климатическим условиям и минерально-сырьевым ресурсам области. Сделан обзор отечественной и зарубежной научно-технической литературы по особенностям проектирования мелкозернистых бетонов и повышению их

эффективности за счёт использования пластификаторов, а также нанодобавок природного и техногенного происхождения.

Описаны исследования различных авторов по возможности использования многотонажных отходов производств в качестве добавок, повышающих эксплуатационные характеристики материалов.

Известно, что большое влияние на структурообразование бетона оказывает водоцементное отношение. Возможность его регулирования в процессе приготовления, укладки смеси, а также при наборе прочности (твердении), является одним из главных условий для получения высококачественного мелкозернистого бетона.

В связи с этим **рабочей гипотезой** исследования явилось положение о возможности повышения эксплуатационных свойств мелкозернистого бетона за счёт введения сапонит-содержащих отходов, позволяющих изменить содержание водной фазы при твердении бетона, химически взаимодействовать с гидроксидом кальция, выделяющимся при гидратации клинкерных минералов с образованием гидросиликатов кальция второй генерации.

**Во второй главе** представлены характеристики применяемых материалов и методики лабораторных и натуральных исследований. Для приготовления мелкозернистого бетона использовали портландцемент компании «Мордовцемент», строительный песок месторождения «Кеницы» и минеральный компонент на основе сапонит-содержащего материала (ССМ).

Представлена основная инструментальная база и методики подготовки высокодисперсного компонента на основе ССМ. Разработан способ, сконструирована и запатентована установка по определению величины водопоглощения высокодисперсных систем (патент на изобретение №156792). При исследовании мелкозернистых бетонов с высокодисперсным сапонит-содержащим отходом рассматривали следующие физико-механические свойства: реология смеси (подвижность, удобоукладываемость), средняя плотность материала, класс прочности на сжатие, морозостойкость, водонепроницаемость, водопоглощение, истираемость.

**В третьей главе** приведено теоретическое обоснование использования сапонит-содержащего материала, выделенного из отходов алмазодобывающей промышленности, в качестве высокодисперсного минерального компонента для получения высокоэффективных мелкозернистых бетонов. Определены основные характеристики и рассмотрен механизм действия ССМ, влияющий на процессы структурообразования композита. Произведен подбор оптимального количества ССМ и получены опытные образцы мелкозернистого бетона.

В настоящее время не существует четкой методики для определения водопоглощения сыпучих глинистых или глиноподобных материалов, а также позволяющей определить изменение этой величины со временем.

Поэтому для экспериментального определения величины водопоглощения твердой фазой сапонит-содержащего материала с разной степенью дисперсности была разработана оригинальная методика, заключающаяся в определении



изменения объема жидкости при контакте с анализируемой пробой путем оптической фиксации изменения границ раздела жидкой и твердой фаз во времени.

Основным измеряемым экспериментальным параметром являлась величина  $q$  (удельное массовое значение изменения объемов реакционной смеси «ССМ-жидкость»), рассчитываемая как отношение изменения объема системы после фиксированного времени выдержки (10, 20, 30, 40 и 50 мин) к массе опытной пробы ( $q = \Delta V/m$ , м<sup>3</sup>/кг). Данная величина принималась как удельное водопоглощение материала.

Для реализации этого метода сконструировали экспериментальную установку. С целью подтверждения корректности полученных данных в качестве опытного образца был взят силикагель с известной величиной водопоглощения.

Так, для марки силикагеля КСМГ установлено, что величина влагоемкости составляет 25%. В пересчете на величину удельного водопоглощения навески (масса 0,1 кг) она составит  $2,5 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/кг. Полученные экспериментальные значения для силикагеля показали, что удельное водопоглощение равно  $q = 2,7 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/кг. Хорошее совпадение литературных и экспериментальных данных позволяет говорить о корректности значений, получаемых на предлагаемой экспериментальной установке.

На основании исследований энергетических свойств поверхности в качестве компонента для получения бетонов был выбран сапонит-содержащий материал, выделяемый из оборотной воды методом электролитной коагуляции. Опытные пробы пульпы отбирались в десяти случайно выбранных точках на разной глубине хвостохранилища.

Методом рентгенографического излучения (РФА) в ЦКП «Центр высоких технологий», БГТУ им. В.Г. Шухова был определен состав ССМ, который показал, что основным минералом является сапонит (61 – 63 %), а второстепенными: кварц (7,6%), монтмориллонит (7,3%), палыгорскит (6,8%), флогопит (4,1%), клинохлор (3,7%), тальк (3,0%), коллинсит (2,7%), доломит (2,0%).

Химический анализ состава образца ССМ показал, что основными элементами исследуемого образца (в пересчете на оксиды) являются: SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO и K<sub>2</sub>O. Содержание вышеперечисленных элементов составило для сапонит-содержащего материала – 97,4 %.

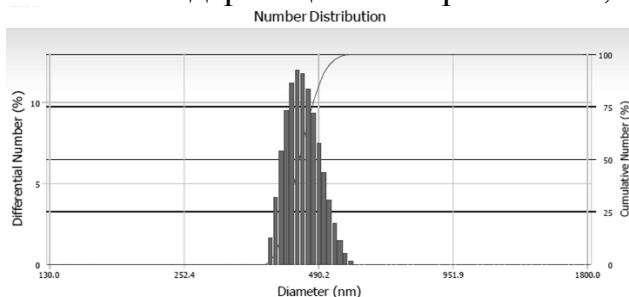


Рисунок 1 – Размерное распределение фракции ССМ со средним размером частиц ( $445 \pm 40$ ) нм

Высокодисперсный материал в диапазоне размера частиц от 1100 нм до 400 нм получали путем механического диспергирования. Методом фотонно-корреляционной спектроскопии для каждого размерного ряда получено фракционное распределение частиц (рисунок 1).

Для всех фракций на экспериментальной установке была определена величина удельного водопоглощения –  $q$  (таблица 1). Исследование структуры сапонит-содержащего материала проводилось методом растровой электронной микроскопии (ЦКП «Арктика») (рисунок 2).

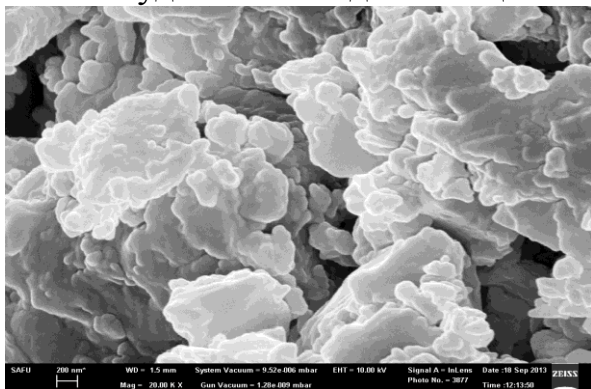


Рисунок 2 – Микроструктура высокодисперсного ССМ

Установлено, что материал имеет слоистую структуру с многочисленными пустотами, которые способны заполняться водой. В связи с этим для его характеристики лучше использовать не размерные параметры, а величину удельной поверхности.

Поэтому высокодисперсные образцы охарактеризовали методом сорбции азота по величине удельной поверхности  $S_{уд}$  (таблица 1).

Таблица 1 – Время диспергирования и характеристики образцов ССМ

№ образца	Время диспергирования проб, мин.	Средний размер частиц, нм	Удельная поверхность $S_{уд}$ , м <sup>2</sup> /кг	$q \cdot 10^{-4}$ , м <sup>3</sup> /кг
1	5	1113±23	18610	2,5
2	10	827±52	19810	3,1
3	30	764±43	21210	4,8
4	60	591±28	35280	7,0
5	90	445±40	50670	7,5
6	110	447±34	50672	7,4
7	120	517±22	30359	7,0

Полученные данные позволили установить функциональную зависимость величины водопоглощения от удельной поверхности (1)

$$q = -0,012 \cdot \left(\frac{1}{S_{уд}} \cdot 10^5\right)^3 + 0,079 \cdot \left(\frac{1}{S_{уд}} \cdot 10^5\right)^2 - 0,197 \cdot \frac{1}{S_{уд}} \cdot 10^5 + 0,919, \quad R^2 = 0,99. \quad (1)$$

Зависимость величины водопоглощения от  $S_{уд}$  проб показала, что максимальным водопоглощением обладают образцы с величиной удельной поверхности более 35 тыс. м<sup>2</sup>/кг. В дальнейших исследованиях в качестве высокодисперсного компонента в бетонную смесь добавлялась фракция сапонит-содержащего материала с  $S_{уд} = 50670$  м<sup>2</sup>/кг.

Изучение кинетики водопоглощения высокодисперсного ССМ показало, что его можно использовать в качестве дополнительного компонента в мелкозернистом бетоне, позволяющего оптимизировать структурообразование смеси в процессе твердения за счет стабилизации степени пересыщения композиции водной фазой.

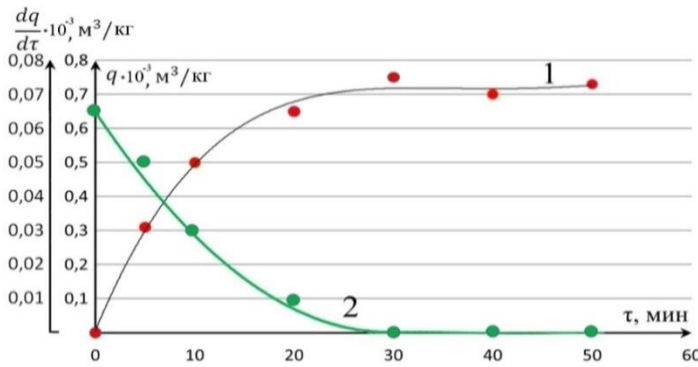


Рисунок 3 – Функциональные зависимости вида:

$$1 - q = f(\tau); 2 - dq/d\tau = f(\tau)$$

( $R^2$ ) во временном интервале от 0 до 30 мин имеет полином третьей степени (2)

$$q_5 = 2 \cdot 10^{-5} \tau^3 - 2 \cdot 10^{-3} \tau^2 + 6,58 \cdot 10^{-2} \tau, \quad R^2 = 0,99. \quad (2)$$

Дифференцирование выражения (2) по времени приводим к математическому выражению (3) для расчета скорости процесса водопоглощения образцов ССМ

$$\frac{dq}{d\tau} = 6 \cdot 10^{-5} \tau^2 - 4 \cdot 10^{-3} \tau + 6,58 \cdot 10^{-2}. \quad (3)$$

Проведенные эксперименты позволили получить зависимость величины максимального водопоглощения материала от времени ( $dq/d\tau = f(\tau)$ ) (рисунок 3), которая показала, что после 30 минут от начала эксперимента частицы сапонит-содержащего материала практически полностью насыщаются водой и процесс сорбции достигает своего максимума.

Исходя из рабочей гипотезы, водопоглощение является основным процессом, оптимизирующим содержание водной фазы в системе.

Способность минерального компонента отдавать несвязанную воду при твердении бетона может быть установлена путем изучения сорбционных и десорбционных процессов, протекающих с участием ССМ.

Для изучения процесса сорбции-десорбции влаги материалом его навеску последовательно помещали в эксикатор над слоем дистиллированной воды (процесс сорбции), а затем влагонасыщенный образец над слоем хлорида кальция (процесс десорбции). При этом влагопоглощение характеризовалось изменением массы образца, которая определялась через заданные промежутки времени.

Результаты этих исследований (рисунок 4) показали наличие в системе «ССМ–водяной пар» адсорбционно-десорбционного гистерезиса. Отмеченный при этом дисбаланс в массе исходного материала и образца после десорбции связан с увеличением содержания связанной воды после механоактивации кремнезема.

Результаты ИК-спектроскопии (рисунок 5), полученные для исходных образцов сапонит-содержащего материала и образцов после проведения процесса

Величину максимального водопоглощения материала рассчитывали на основе значений водопоглощения ( $q$ ) и времени выдержки суспензии ( $\tau$ ) (рисунок 3).

Аппроксимация полученных зависимостей полиномами разных степеней показала, что наиболее высокое значение коэффициента достоверности аппроксимации

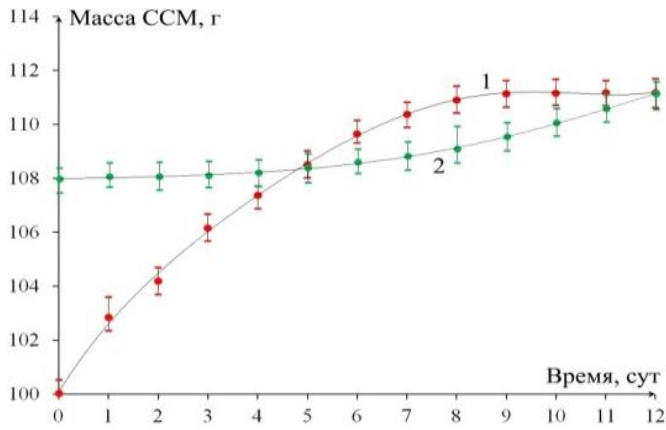


Рисунок 4 – Зависимость влагопоглощения сапонит-содержащего материала от времени:

1 – процесс адсорбции; 2 – процесс десорбции

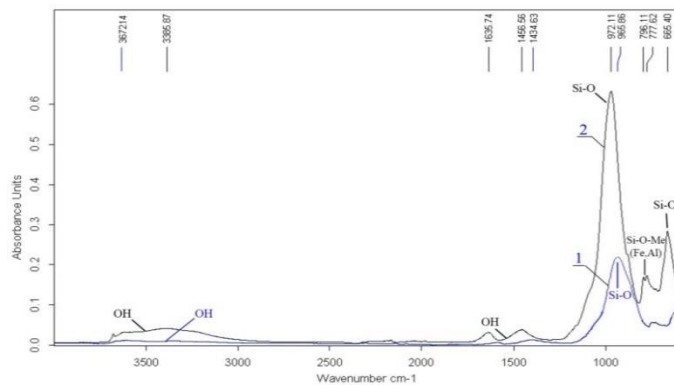


Рисунок 5 – ИК-спектр образца ССМ:

1 – исходного; 2 – после десорбции

Исследования фазово-структурной гетерогенности опытных образцов сапонит-содержащего материала методом рентгеновской дифрактометрии, до и после механоактивации (рисунок 6), подтвердили данные ИК-спектроскопии.

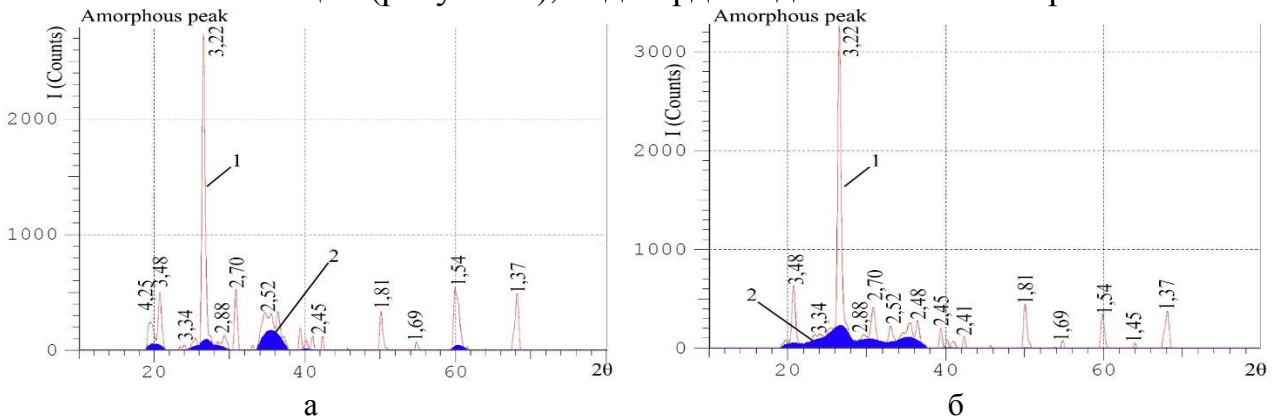


Рисунок 6 – Дифрактограмма образца ССМ: 1 – кристаллическая часть;

2 – аморфная часть (темным); а – исходный ССМ; б – образец ССМ после механоактивации

Установлено, что содержание аморфной фазы после диспергирования увеличилось в 2 раза по сравнению с исходным образцом (с 20 до 40%).

десорбции и удаления из них остаточной влаги, показали наличие в материалах новообразований в виде аморфных (связанных с водой) силикатных групп ( $975 \text{ см}^{-1}$ ).

Однако, для исходного ССМ интенсивность колебаний, при тех же волновых числах, в несколько раз ниже, чем у образцов после десорбции.

Кроме того, в ИК-спектрах отмечены характеристические полосы, соответствующие колебаниям следующих функциональных групп (связей): валентные колебания Si-O ( $900 - 1000 \text{ см}^{-1}$ ); OH-группы ( $3500 - 3700 \text{ см}^{-1}$ ), подтверждающие наличие структурно-связанной воды; валентные колебания Si-O и связи Si-O-Me (Al, Fe) в области  $670 - 1100 \text{ см}^{-1}$  характерны для образца после десорбции; OH-группы адсорбированной воды ( $1400-1600 \text{ см}^{-1}$ ).

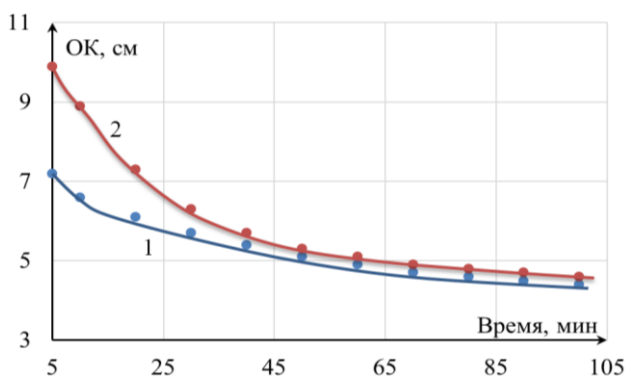


Рисунок 7 – Изменение подвижности смеси составов: 1 – контрольного («цемент-вода»); 2 – опытного («цемент-ССМ-вода»)

Установлено, что сапонит-содержащий материал, выделенный из суспензии оборотной воды алмазодобывающего производства, способен проявлять свойства сорбента и регулировать содержание водной фазы в системе. Это дает возможность проектировать бетонные смеси с заданными реологическими характеристиками на стадии её приготовления, что положительно скажется на процессе структурообразования и приведет к повышению эксплуатационных характеристик композита.

Известно, что при гидратации клинкерных минералов образуются коллоидно-дисперсные фазы (реакция конденсации) гидросиликатов кальция разной основности. Процесс конденсации, при котором получают частицы коллоидных размеров, возможен только при определенных условиях. Так, чтобы в системе могла произойти конденсация данного вещества, она должна быть пересыщена этим веществом. Зародыши новой фазы возникают при определенной степени пересыщения раствора. Таким образом, образование коллоидных систем управляется скоростью образования зародышей и скоростью их роста. В свою очередь, скорость образования зародышей новой фазы (гидросиликаты кальция) пропорциональна степени пересыщения раствора. Используя данный подход, можно стабилизировать степень пересыщения системы относительно новообразований гидросиликатов. Это приводит к равномерному распределению продуктов реакции гидратации клинкерных минералов по всему объему образца.

В продолжение исследований были изготовлены образцы с контрольным (исходным) и механоактивированным сапонит-содержащим материалом следующего состава: песок – 55%, ССМ – 30%, вода – 15%.

Электронные микрофотографии анализируемых объектов (рисунок 8, а, б) показали, что микроструктура образцов представлена в виде губчатых кристаллов.

Для подтверждения гипотезы о способности сапонит-содержащего материала оптимизировать содержание водной фазы в системе были изготовлены смеси на основе портландцемента составов: контрольного ( $V/C = 0,38$ ) и опытного (13,8 % – ССМ,  $V/C = 0,50$ ).

Изучение реологических свойств смесей показало, что высокодисперсный минеральный компонент способен регулировать её подвижность (рисунок 7).



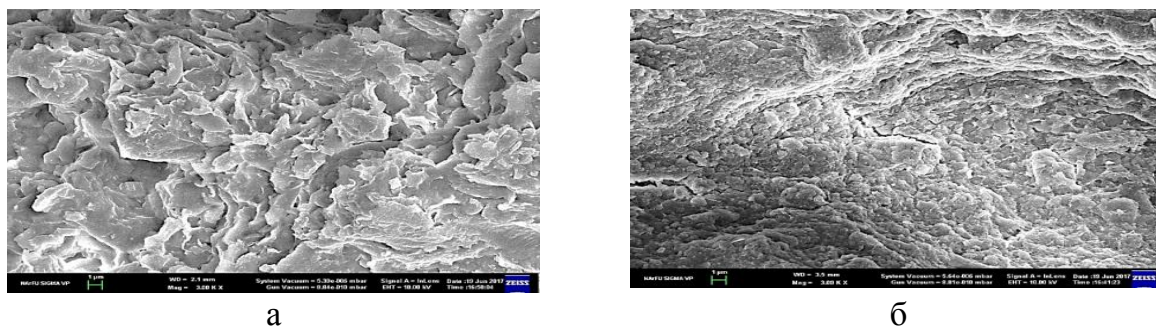


Рисунок 8 – Микроструктура образцов: а – контрольного (средний размер частиц ССМ – 1 мм); б – опытного (средний размер частиц ССМ – 445 нм)

В контрольных пробах преобладают многочисленные пустоты (рисунок 8,а), а в опытных с активированным ССМ структура более плотная и равномерная (рисунок 8,б).

Данный факт подтверждается увеличением средней плотности ( $\rho_{cp} = 2100 \text{ кг/м}^3$ ) и прочности на сжатие ( $R_c = 0,85 \text{ МПа}$ ) опытных образцов по сравнению с контрольными –  $\rho_{cp} = 1820 \text{ кг/м}^3$ ,  $R_c = 0,34 \text{ МПа}$ .

Сапонит имеет трехслойную структуру с разбухающей кристаллической решеткой. Слоистость минерала представлена двумя слоями кремнекислородных тетраэдров с расположенными между ними алюмокислородными октаэдрическими слоями. Такие особенности строения оказывают определяющее влияние на свойства сапонита после механического диспергирования. В процессе механоактивации минерала происходит разрушение его слоистой структуры. Выделяющийся при этом диоксид кремния способен взаимодействовать с гидроксидом кальция, который образуется в процессе гидратации клинкерных минералов.

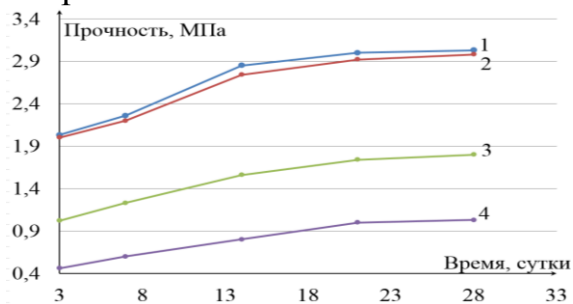


Рисунок 9 – Прочность при сжатии образцов «известь-ССМ» с процентным соотношением компонентов: 1 – 95:5; 2 – 90:10; 3 – 80:20; 4 – известь

Для подтверждения данной гипотезы нами были изготовлены опытные образцы композиций состава «известь-ССМ» с содержанием механоактивированного сапонит-содержащего материала по массе от 0 до 20%.

После затворения водой были определены прочностные характеристики исследуемых композиций (рисунок 9), показавшие, что минеральный компонент способен повышать прочность образцов на сжатие.

Однако, введение в состав более 10% ССМ приводит к снижению показателя прочности.

Данный факт связан с активными сорбционными свойствами минерала, за счет которых в системе возникает недостаток воды, необходимой для полного гашения извести.

В продолжение исследований были проведены рентгенофазовый и дифференциально-термический анализы (ДТА) образцов состава «известь-ССМ».

Анализ образцов извести показал, что минералогический состав представлен следующими гидратными образованиями: портландит ( $d, (\text{Å}) = 4.93, 2.62, 2.28$ ), кальцит  $\text{CaCO}_3$  ( $d, (\text{Å}) = 3.87, 2.75, 2.42, 2.18, 2.08, 1.86$ ) (рисунок 10).

Минералогический состав образцов извести с ССМ представлен такими минералами, как портландит ( $d, (\text{Å}) = 4.93, 4.63, 2.62, 2.28$ ), тоберморит ( $d, (\text{Å}) = 6.00, 3.27, 3.03, 2.96, 2.76, 2.43, 2.40, 2.39, 2.38, 2.14, 2.05, 1.89, 1.80, 1.60, 1.52, 1.49$ ), кальцит  $\text{CaCO}_3$  ( $d, (\text{Å}) = 3.88, 2.75, 2.42, 2.18, 2.08, 1.86$ ) (рисунок 11).

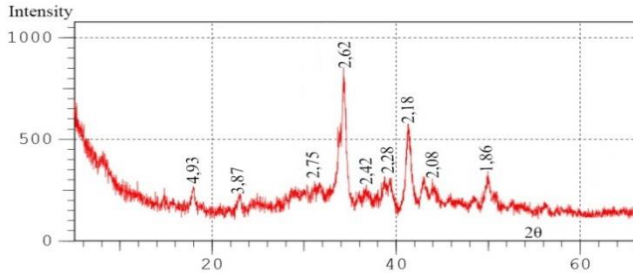


Рисунок 10 – Рентгенограмма  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (гашеная известь)

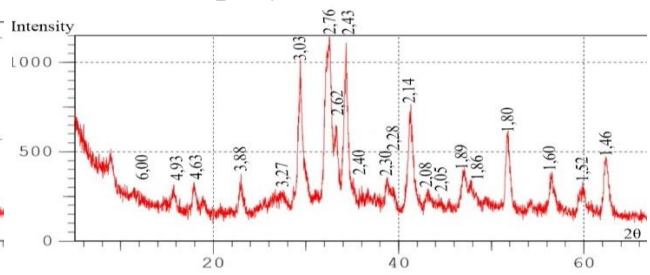


Рисунок 11 – Рентгенограмма образцов состава «известь-ССМ»

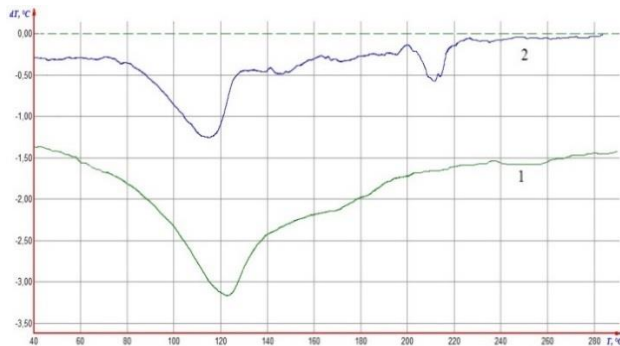
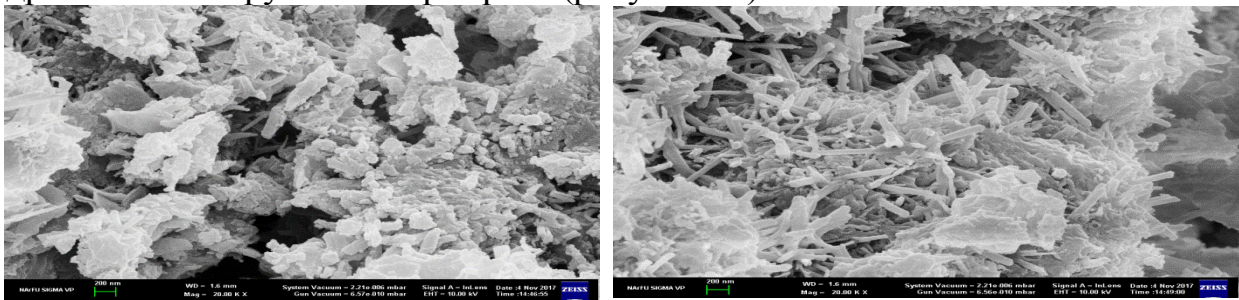


Рисунок 12 – ДТА образцов:

1 – извести; 2 – состава «известь-ССМ»

Проведенный дифференциально-термический анализ (ДТА) (рисунок 12) подтвердил результаты, полученные при анализе данных РФА. Так, наличие эндоэффекта в области температур  $205 \dots 220^\circ\text{C}$  свидетельствует об образовании, при контакте механоактивированного ССМ с известью, кристаллов тоберморита (эндоэффекты в интервале температур  $60 - 140^\circ\text{C}$  связаны с удалением свободной гигроскопичной воды). Сделанные электронные фотографии микроструктуры опытных образцов также подтвердили образование гидросиликатов группы тоберморита (рисунок 13).



а

б

Рисунок 13 – Микроструктура образцов: а – контрольного (продукт гидратации извести); б – опытного состава: 90% извести и 10% ССМ

Данные РЭМ показали, что после 28 суточной выдержки в контрольной пробе отсутствуют кристаллы тоберморита (рисунок 13,а), а структура характеризуется рыхлой поверхностью.

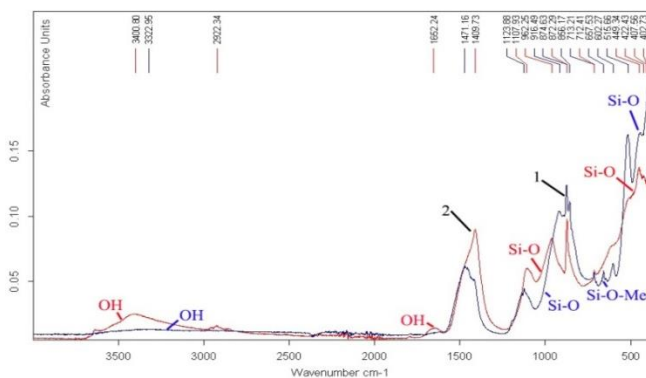


Рисунок 14 – ИК-спектры цементных образцов состава: 1 – опытного с ССМ; 2 – контрольного

дидли образование гидросиликатов дополнительной генерации за счет реакции гидратации минерального компонента (рисунок 14).

Согласно данным РЭМ, образовавшиеся гидросиликаты представляют собой агрегаты частиц, размер зерен которых колеблется от 2 до 20 мкм. Частицы имеют различную форму, но в основном можно выделить два типа частиц: губчатые (рисунок 15,а) с развитой микропористой поверхностью, имеющие размеры от 5 до 10 мкм; игольчатые (рисунок 15,б) с длиной от 0,5 до 5 мкм (диаметр иголок примерно 0,5 мкм).

Причем в контрольном образце присутствуют только частицы первого типа, а в опытном, с сапонит-содержащим материалом, наблюдается образование двух типов частиц.

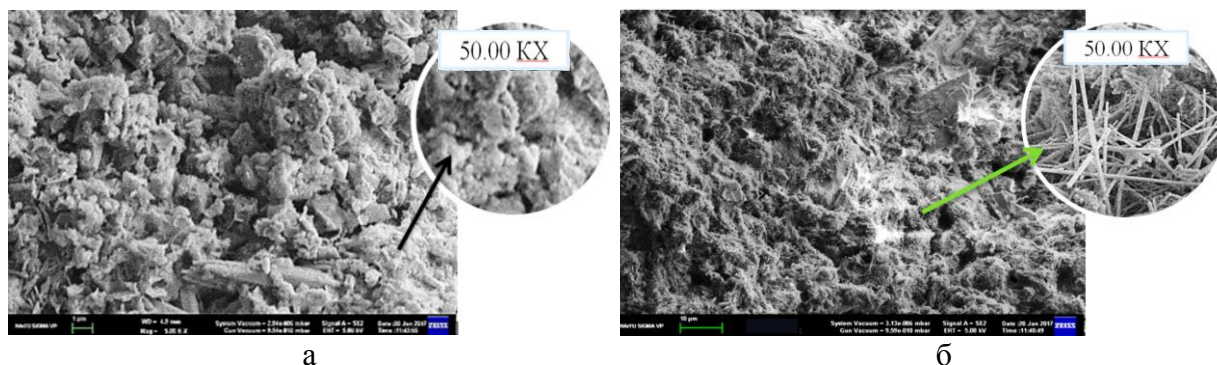


Рисунок 15 – Микроструктура образца состава: а – контрольного; б – опытного с ССМ

Сопоставление результатов РЭМ и ИК-спектроскопии образцов цемента после гидратации (рисунки 14 и 15) показало, что наличие максимумов поглощения в ИК-области при  $1400-1600 \text{ см}^{-1}$  и широкой полосы при  $3300-3500 \text{ см}^{-1}$ , а также образование в образце с ССМ кристаллов игольчатой формы, указывают на присутствие субмикрочастиц гидросиликатов группы тоберморита. Последние способствуют дополнительному уплотнению структуры в процессе твердения цемента.

Полученные данные по формам, размерам частиц и спектральным характеристикам гидросиликатов хорошо согласуются с литературными источниками.

Введение сапонит-содержащего компонента способствует образованию кристаллов тоберморита (рисунок 13,б), которые представляют собой игольчатые кристаллы в виде многогранников с 5 – 6 гранями, длиной 1,2...1,4 мкм.

Записанные ИК-спектры образцов вяжущего на основе портландцемента (контрольные) и с сапонит-содержащим материалом (опытные) подтвер-



Таким образом, данные исследований позволяют рассматривать сапонит-содержащий материал не только как сорбент, оптимизирующий путем сорбции водной фазы пластичность и структурообразование, но и как активный минеральный компонент в вяжущих композициях гидратационного типа твердения.

Для изготовления контрольных образцов мелкозернистого бетона использовали вяжущее (портландцемент) и заполнитель – песок месторождения «Кеницы» Архангельской области. Опытные образцы готовили с высокодисперсным компонентом на основе ССМ, количество которого рассчитывали на основе результатов кинетических исследований процесса водопоглощения материала из условия, что сапонит-содержащий материал за 30 минут изменит В/Ц отношение смеси с 0,5 до 0,38.

Испытания полученных образцов на прочность путём сжатия проводили на прессе ИП-1250. Морозостойкость определяли третьим, ускоренным методом, по ГОСТ 10060. Для замораживания использовали камеру тепла и холода «ГХВ-64» (таблица 2).

Таблица 2 – Прочностные характеристики и морозостойкость опытных образцов мелкозернистого бетона класса В30

Количество циклов попеременного замораживания и оттаивания	Прочность на сжатие образцов, МПа	
	контрольного	опытного
0	22,96	44,99
75	23,08	44,88
100	23,04	45,18
150	18,57	45,30

Полученные результаты показали, что модифицирующий высокодисперсный компонент на основе сапонит-содержащего материала повышает прочность опытных образцов в 2 раза по сравнению с контрольными. При этом композит выдерживает не менее 150 циклов попеременного замораживания и оттаивания, в то время как контрольные образцы – 100 циклов.

По результатам РЭМ структура мелкозернистого бетона контрольного состава в основном представляет собой развитую микропористую поверхность с раскристаллизованными рентгеноаморфными новообразованиями (гидросиликаты губчатой формы) (рисунок 16,а).

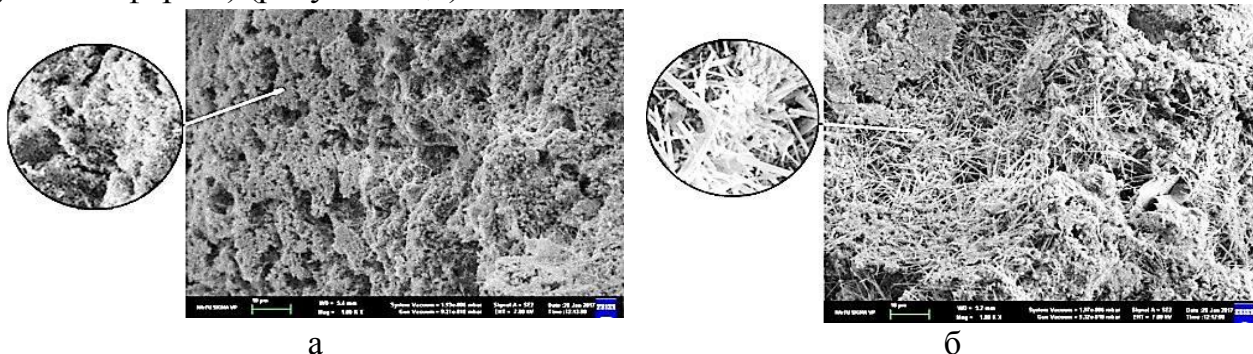


Рисунок 16 – Микроструктура бетонных образцов состава: а – контрольного; б – опытного с высокодисперсным ССМ

При введении высокодисперсного компонента в структуре композита помимо губчатых образуются гидросиликаты дополнительной генерации, которые представляют собой кристаллы игольчатой формы длиной от 5 до 10 нм (рисунок 16,б). Присутствие в образце различных форм кристаллов позволяет заполнить анизометричные и изометричные поры.

Кроме того, наличие скрытокристаллических гидросиликатов кальция и тоберморита, растущих во всех направлениях, способствует уплотнению бетонной матрицы, снижению ее пористости и омоноличиванию структуры.

Эффект повышения прочности и морозостойкости прежде всего связан с образованием плотной и равномерной структуры композита, которая достигается путем оптимизации В/Ц отношения в процессе приготовления и твердения бетона, и пуццоланового эффекта, связанного с присутствием в смеси компонента на основе сапонит-содержащего материала.

**В четвертой главе** приведены физико-механические и деформационные характеристики разработанных составов высокоэффективного мелкозернистого бетона с сапонит-содержащим материалом. Показано, что использование ССМ позволяет регулировать сроки схватывания, подвижность и удобоукладываемость бетонной смеси.

Полученные данные по срокам схватывания цемента показали, что начало и конец его схватывания составляет 168 и 236 минут, соответственно. Опытный образец состава «цемент-ССМ» за счет реакции гидратации последнего имеет начало схватывания 162 минуты, а конец схватывания наблюдается на 224 минуте.

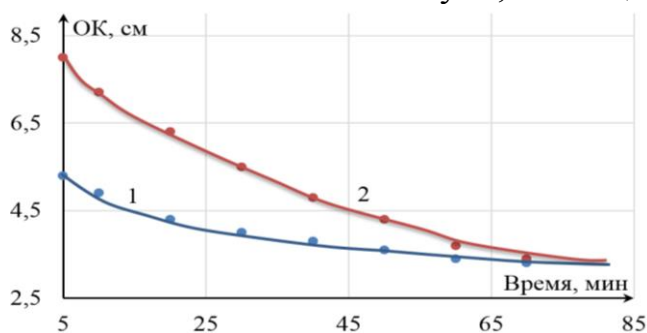


Рисунок 17 – Сохраняемость бетонных смесей:  
1 – контрольного состава; 2 – опытного состава

Для определения реологических характеристик были изготовлены образцы мелкозернистого бетона ( $150 \times 150 \times 150$  мм) следующих составов (на  $1 \text{ м}^3$ ): контрольный (цемент – 560 кг, песок – 1400 кг, В/Ц = 0,38) и опытный (цемент – 560 кг, песок – 1310 кг, ССМ – 90 кг, В/Ц = 0,50).

Реологические свойства (рисунок 17) бетонной смеси улучшаются при введении высокодисперсного компонента. Осадка конуса (ОК) для исходной смеси составляет 3,8 см, что характеризует ее как малоподвижную (П1). При изучении реологии опытной бетонной смеси наблюдается изменение во времени ОК от 8 см (в начальный момент времени) до 3,8 см (спустя 50 мин. после затворения смеси водой). Данные изменения отражают непосредственное действие сапонит-содержащего материала, который после полного водонасыщения изменяет подвижность смеси с П2 на П1.

Определение прочностных характеристик (таблица 3) показало, что при введении в бетонную смесь минерального компонента на основе сапонит-содержащего материала прочность опытных образцов повышается в 1,6 раза по сравнению с контрольными.

Таблица 3 – Предел прочности при сжатии и плотность образцов (1-3 – контрольный состав; 4-6 – опытный состав с ССМ)

№ образца	Предел прочности, МПа	Модуль упругости $E_b \cdot 10^3$ , МПа	Среднее значение плотности $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Среднее значение, МПа	
				предел прочности	модуль упругости $E_b \cdot 10^3$
1	41,65	28,14	2010	41,33	27,83
2	39,38	25,91			
3	42,96	28,83			
4	60,01	40,50	2018	60,03	40,36
5	60,29	40,03			
6	59,90	40,55			

Измерение величины относительной усадки бетонных образцов в процессе твердения позволило установить, что изменение размеров материала составляет для контрольного 1,2 мм/м, для опытного состава 0,5 мм/м.

Данные по определению морозостойкости ускоренным методом (третий метод) показали, что образцы бетона опытного состава выдерживают не менее 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания, в то время как контрольные – 100 циклов (таблица 4).

Таблица 4 – Прочностные характеристики и морозостойкость опытных образцов мелкозернистого бетона

Количество циклов попеременного замораживания и оттаивания	Прочность на сжатие образцов, МПа	
	контрольного	опытного
0	41,33	65,31
75	49,43	65,41
100	45,19	66,48
150	35,78	66,43
200	11,40	66,36
300	-	66,33

Разработанные составы высокоэффективного мелкозернистого бетона с модификатором приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики морозостойкого мелкозернистого бетона\*

№ п/п	Расход материала на 1 м <sup>3</sup> , кг				Подвижность (ОК), см	Пористость, %	Предел прочности на сжатие, МПа	Призменная прочность, МПа	Предел прочности на изгиб, МПа	Модуль упругости $E_b \cdot 10^3$ , МПа	Истираемость $G$ , г/см <sup>2</sup>	Класс бетона
	цемент	песок	ССМ	вода								
1	560	1400	-	213	4,0	12,04	41,3	30,10	9,68	27,80	0,49	B30
2	560	1310	90	280	3,5	11,76	66,3	46,66	17,40	40,54	0,39	B50
3	460	1428	74	230		6,26	50,3	36,20	13,20	32,38		B35
4	490	1299	78	245		13,89	54,8	39,19	14,39	34,68		B40
5	573	1318	92	287		11,75	72,9	50,82	19,14	43,91		B55

\* Марка по морозостойкости для составов: 1 - F<sub>100</sub>; 2 - 5 - F<sub>1300</sub>; марка по водонепроницаемости для составов: 1 - W<sub>6</sub>; 2 - 5 - W<sub>10</sub>.

Эффект повышения прочности и морозостойкости, прежде всего, связан с образованием плотной структуры композита, которая достигается за счет оптимизации В/Ц отношения в процессе приготовления и твердения бетона и пуццоланового эффекта, связанного с присутствием в смеси компонента на основе сапонит-содержащего материала.

**В пятой главе** проведено опытное внедрение результатов работы на предприятии ООО «Динамика», где опытная партия бетона была использована для заделки внутренних стыков и соединительных швов при монтаже стеновых панелей зданий.

Проведенная при этом оценка массового производства мелкозернистых бетонов с использованием высокодисперсного компонента показала – запасов сапонит-содержащих отходов в хвостохранилище горноперерабатывающего производства достаточно для получения в год 6,8 млн. м<sup>3</sup> смеси бетона класса В50.

Для широкомасштабного внедрения результатов научных исследований разработаны нормативные документы: СТО 10-27.1.5-2018 «Минеральная добавка. Технические условия» и СТО 11-27.1.5-2018 «Мелкозернистые бетоны с использованием минеральной высокодисперсной добавки. Технические условия».

Область применения предлагаемых составов может включать в себя как выполнение ремонтных и гидроизоляционных работ (заделка трещин и соединений), изготовление тротуарной плитки, бордюров, малых и больших архитектурных форм, так и получение массивных конструкций: арочных, густоармированных и др.

На основании разработанных составов мелкозернистого бетона с минеральным компонентом рассчитан ожидаемый экономический эффект от их использования при производстве композита класса В50, который показал снижение стоимости 1 м<sup>3</sup> смеси на 26%. Разница в цене обусловлена использованием местных сырьевых компонентов, положительным действием сапонит-содержащего отхода и отказом от пластифицирующих добавок.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Итоги выполненного исследования**

1. Разработан способ определения величины водопоглощения твердой фазой сапонит-содержащего материала с разной степенью дисперсности, заключающийся в определении изменения объема жидкости при контакте с анализируемой пробой путем оптической фиксации изменения границ раздела жидкой и твердой фаз во времени. Изучена кинетика этого процесса. Показано, что для достижения максимальной величины водопоглощения ССМ необходимо увеличить его удельную поверхность посредством механоактивации до значения не ниже 35000 м<sup>2</sup>/кг.

2. Установлена функциональная взаимосвязь между степенью измельчения модификатора, величиной изменения свободной поверхностной энергии и

значением удельной поверхности частиц, позволяющая прогнозировать условия механоактивации сапонит-содержащего материала.

3. Показано, что ССМ, выделенный из суспензии оборотной воды алмазодобывающего производства, проявляет свойства сорбента, оптимизирующего содержание водной фазы в системе, причем данный процесс характеризуется адсорбционно-десорбционным гистерезисом. Отмеченный при этом дисбаланс в массе исходного материала и образца после десорбции связан с увеличением содержания связанной воды после механоактивации материала.

4. Доказано, что в процессе твердения бетона с высокодисперсным сапонит-содержащим материалом образуются субмикрочастицы гидросиликатов группы тоберморита, которые приводят к дополнительному уплотнению структуры бетона. Это позволяет рассматривать ССМ не только как компонент бетонной смеси, регулирующий путем сорбции водной фазы структурообразование, но и как активный минеральный компонент в вяжущих композициях гидратационного типа твердения.

5. Выявлено, что введение высокодисперсного материала в рецептуру цементного теста приводит к изменениям его реологических свойств: изменению сроков схватывания, подвижности смеси и удобоукладываемости.

6. Разработан состав мелкозернистых бетонов со структурообразующим компонентом на основе отходов алмазодобывающей промышленности. Состав характеризуется повышенными физико-механическими, деформационными и реологическими характеристиками: прочность бетона на сжатие – 73 МПа, морозостойкость не ниже F<sub>1300</sub>, водонепроницаемость – W10, модуль упругости  $44 \cdot 10^3$  МПа. Эффект повышения эксплуатационных характеристик композита достигается путем стабилизации в системе степени пересыщения водной фазой, снижения пористости, получения более плотной упаковки частиц и проявления пуццолановых свойств высокодисперсным минеральным компонентом.

7. Проведено внедрение разработанных составов мелкозернистого бетона с использованием минерального компонента на предприятии ООО «Динамика». Опытная партия бетонной смеси использовалась для заделки внутренних стыков и соединительных швов при монтаже стеновых панелей зданий. Экономический эффект от использования ССМ при производстве 1 м<sup>3</sup> мелкозернистого бетона с повышенными эксплуатационными характеристиками показал снижение стоимости на 26%.

**Рекомендации.** Для широкомасштабного внедрения результатов научных исследований разработаны следующие нормативные документы: СТО 10-27.1.5-2018 «Минеральная добавка. Технические условия» и СТО 11-27.1.5-2018 «Мелкозернистые бетоны с использованием минеральной высокодисперсной добавки. Технические условия».

Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований рекомендуются для использования в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Строительство».

### **Перспективы дальнейшей разработки темы:**

- изучить перспективность использования компонента на основе сапонит-содержащего отхода алмазодобывающей промышленности для получения высокоэффективных бетонов специального назначения;
- проверить возможность использования компонента на основе ССМ в бетонах с использованием сырья различного генезиса;
- проанализировать дальнейшее изменение физико-механических характеристик, а также фазово-структурных преобразований, бетонных изделий с минеральным компонентом в процессе их эксплуатации.

### **Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в российских рецензируемых научных изданиях:**

#### **В изданиях, индексирующихся в базе данных Web of Science, Scopus:**

1. **Morozova, M.V.** Mineral highly dispersed additive to enhance the frost resistance of concrete / M.V. Morozova, A.M. Ayzenshtadt, T.A. Makhova, M. A. Frolova // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM 2015, Nano, bio and green — technologies for a sustainable future, «Micro & nano technologies advances in biotechnology». — Vol. 1 (2015). — P. 135-142
2. **Morozova, M.V.** Sorption properties of mineral modifier for frost resistant concrete / M.V. Morozova, M. A. Frolova, V. S. Lesovik, A.M. Ayzenshtadt // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM 2016, Nano, bio and green — technologies for a sustainable future, «Micro & nano technologies advances in biotechnology». — 2016. — P. 305-311
3. **Morozova, M.V.** Without clinker binders based on highly described saponite-containing waste of the diamond-mining industry / M.V. Morozova, M. A. Frolova, V. S. Lesovik, A.M. Ayzenshtadt // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM 2017, Nano, bio and green — technologies for a sustainable future, «Micro & nano technologies advances in biotechnology». — 2017. — P. 437-443
4. **Morozova, M.V.** Sorption-desorption properties of saponite-containing material / M.V. Morozova, M. A. Frolova, T. A. Makhova // Journal of Physics: Conference Series. — Vol. 1 (2017). — P. 012111
5. **Morozova, M.V.** Phase-structural irregularity of the mechanically activated saponite-containing material surface / M.V. Morozova, M. A. Frolova, T. A. Makhova, V. S. Lesovik // Journal of Physics: Conference Series. — Vol. 1038 (2018). — P. 012139
6. **Morozova, M.V.** Operating characteristics of concrete modified by high-dispersed saponite-containing material / M.V. Morozova, M. A. Frolova, V. S. Lesovik, A.M. Ayzenshtadt // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO SGEM 2018, Nano, bio and green — technologies for a sustainable future, «Micro & nano technologies advances in biotechnology». — 2018. — P. 371-376

#### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:**

7. **Морозова, М.В.** Водопоглощение сапонитсодержащих отходов обогащения кимберлитовых руд / М.В. Морозова, А.М. Айзенштадт, А.С. Тутьгин // Промышленное и гражданское строительство. — 2013. — № 11. — С. 29-31 (0,91 п.л./ 0,32 п.л.; IF 0,590)
8. **Морозова, М.В.** Применение сапонит-содержащего материала для получения морозостойких бетонов / М.В. Морозова, А.М. Айзенштадт, Т.А. Махова // Промышленное и гражданское строительство. — 2015. — № 1. — С. 28-31 (0,82 п.л./ 0,32 п.л.; IF 0,590)
9. **Морозова, М.В.** Использование сапонит-содержащих отходов в качестве компонента сухой строительной смеси для мелкозернистых бетонов с улучшенными эксплуатационными характеристиками / М.В. Морозова, А.М. Айзенштадт, М.А. Фролова, Т.А. Махова // Academia. Архитектура и строительство. — 2015. — №4. — С. 137-141 (0,84 п.л./ 0,42 п.л.; IF 0,438)

10. Фролова, М.А. Алюмосиликатное вяжущее на основе сапонит-содержащих отходов алмазодобывающей промышленности / М.А. Фролова, **М.В. Морозова**, А.М. Айзенштадт, А.С. Тутьгин // Строительные материалы. – 2017. – № 7. – С. 68-71 (0,80 п.л./ 0,45 п.л.; IF 0,837)

11. **Морозова, М.В.** Активность поверхности высокодисперсных систем на основе сапонит-содержащего отхода алмазодобывающей промышленности / М.В. Морозова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. – №2. – С. 5-9 (0,89 п.л./ 0,89 п.л.; IF 0,528)

12. **Морозова, М.В.** Сорбция водной фазы минеральной сапонит-содержащей добавкой в мелкозернистый бетон / М.В. Морозова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2018. – №4. – С. 20-25 (0,94 п.л./ 0,94 п.л.; IF 0,528)

13. **Морозова, М.В.** Эксплуатационные характеристики бетонов модифицированных высокодисперсным сапонит-содержащим материалом / М.В. Морозова // Вестник СибАДИ. – 2018. – 15(2). – С. 269-275 (0,96 п.л./ 0,96 п.л.; IF 0,284)

#### **Объекты интеллектуальной собственности:**

14. Патент № 156792 Российская Федерация, МПК G01N 33/00; G01N 15/08, Устройство для измерения водопоглощения и набухания образцов рыхлых и сыпучих материалов/Данилов В.Е., **Морозова М.В.**, Тутьгин А.С., Айзенштадт А.М.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ). — № 2014142701/15; заявл. 22.11.2014; опубл. 20.11.2015, Бюл. № 32 — с. 3

15. Ноу-хау №КТ 2017-01. Смесь для получения морозостойкого бетона высокого класса прочности / **М.В. Морозова**, А.М. Айзенштадт, М.А. Фролова: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». Дата регистр. 24.01.2017. Срок охраны: 5 лет.

#### **Публикации в других изданиях:**

16. **Морозова, М.В.** Свойства термически модифицированного сапонит-содержащего отхода кимберлитовых руд / **М.В. Морозова**, А.М. Айзенштадт // XXII Slovak-Polish-Russian seminar «Theoretical foundation of civil engineering». – Moscow. – 2013. – P. 573-576

17. **Морозова, М.В.** Водопоглощение и дисперсность сапонит-содержащего материала / М.В. Морозова // Строительство — формирование среды жизнедеятельности: сборник научных трудов XVII международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. – Москва: МГСУ. – 2014. – С. 1004-1007

18. Тутьгин, А.С. Снижение экологических рисков при производстве бетонных композитов / А.С. Тутьгин, А.А. Шинкарук, А.М. Айзенштадт, М.А. Фролова, **М.В. Морозова** // Материалы II Всероссийской конференции с международным участием «Нанотехнология в теории и практике». – Москва, 2014. — С. 161 — 165

19. **Морозова, М.В.** Повышение морозостойкости бетонных композитов / М.В. Морозова, А.М. Айзенштадт, Т.А. Махова, В.А. Богусевич // Юбилейная Международная научно-практическая конференция, посвященная 60-летию БГТУ им. В.Г. Шухова «Наукоемкие технологии и инновации (XXI научные чтения)», 9-10 октября. — Белгород. — 2014 — Ч. 2. — С. 259-263

20. **Морозова, М.В.** Минеральная добавка для повышения морозостойкости бетона / М.В. Морозова, Т.А. Махова // Материалы I Всероссийской конференции с международным участием «Инновационные материалы и технологии для строительства в экстремальных климатических условиях», 2-4 декабря. — Архангельск. — 2014. — С. 135-142

21. **Морозова, М.В.** Повышение прочностных и морозостойких характеристик мелкозернистого бетона / М.В. Морозова // Развитие северо-арктического региона: проблемы и решения. — Архангельск. — САФУ. — 2015. — С. 352-355

22. **Морозова, М.В.** Влияние добавки сапонит-содержащего отхода на прочностные и морозостойкие характеристики мелкозернистого бетона / М.В. Морозова // Строительство — формирование среды жизнедеятельности: сборник научных трудов XVIII международной



межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. — Москва: МГСУ. — 2015 — С. 879-882

23. **Морозова, М.В.** Использование отходов алмазодобывающей промышленности для повышения прочности и морозостойкости бетонных композитов / М.В. Морозова, А.М. Айзенштадт, Т.А. Махова, М.А. Фролова // Материалы международной конференции «Эффективные строительные композиты». — Белгород. — 02-03 апреля 2015. — С. 435-441

24. Дроздук, Т.А. Определение свободной поверхностной энергии высокодисперсных сырьевых составляющих композиционных материалов / Т.А. Дроздук, **М.В. Морозова**, М.А. Фролова, А.М. Айзенштадт // Тезисы докладов международной конференции «Физика. СПб» . — Санкт-Петербург. — ФТИ им. А.Ф. Иоффе. — 2015. — С. 195-197

25. **Морозова, М.В.** Эффективный мелкозернистый бетон для использования в условиях Европейского Севера / М.В. Морозова, А.В. Стрельникова // Материалы VII Международного молодёжного форума «Образование. Наука. Производство»: сборник докладов. — Белгород. — 2015(электронный вариант)

26. **Морозова, М.В.** Сорбционные свойства минерального модификатора для морозостойких бетонов / М.В. Морозов // Развитие северо-арктического региона: проблемы и решения. — Архангельск. — САФУ. — 2016. — С.810-814

27. **Морозова, М.В.** Морозостойкие бетоны на основе высокодисперсного минерального модификатора / М.В. Морозов // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сборник научных трудов XIX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых. — Москва: НИУ МГСУ. — 2016. — С. 853-856

28. **Морозова, М.В.** Морозостойкие бетоны на основе высокодисперсного минерального модификатора / М.В. Морозова, М.А. Фролова // Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика. «Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства». – Белгород. — 2016. — С. 224-230

29. **Морозова, М.В.** Сорбционно-десорбционные свойства сапонит-содержащего материала / М.В. Морозова, М.А. Фролова, Т.А. Махова // Тезисы докладов международной молодежной конференции «Физика. СПб» . — С.-Петербург. — ноябрь. — 2016. — С. 118

30. **Морозова, М.В.** Фазово-структурная неоднородность поверхности механоактивированного сапонит-содержащего материала. / М.В. Морозова, М.А. Фролова, Т.А. Махова, В.С. Лесовик // Тезисы докладов международной молодежной конференции «Физика. СПб» . — С.-Петербург. — октябрь. — 2017. — С. 203

Морозова Марина Владимировна

## МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПОНИТ-СОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

### АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 06 ноября 2018 г. Формат 60×84 1/16.

Печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ № 6248.

Отпечатано с готового оригинал-макета  
В Издательском доме им. В.Н. Булатова САФУ  
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56