

ДЖУМАБАЕВ МУРАТ ДАВЛЕТОВИЧ

**ЛЕГКИЙ АРБОЛИТОБЕТОН НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ
ЦЕМЕНТОЗОЛЬНОШЛАМОВЫХ ВЯЖУЩИХ И
ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ (НА ПРИМЕРЕ ПОБОЧНЫХ
ПРОДУКТОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН)**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Иваново -2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет».

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор,
Акулова Марина Владимировна

| | |
|-------------------------------|---|
| Официальные оппоненты: | <p>Логанина Валентина Ивановна, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», заведующая кафедрой «Управления качеством и технология строительного производства»</p> <p>Соков Виктор Николаевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», профессор кафедры «Строительные материалы»</p> |
| Ведущая организация: | федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет», г. Волгоград |

Защита состоится 17 марта 2017 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.355.01 при ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153037, Иваново, ул. 8 Марта, 20, ИВГПУ, главный корпус, ауд. 204.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» по адресу: 153037, Иваново, ул. 8 Марта, 20 (www.ivgpu.com).

Автореферат разослан « ___ » _____ 201__ г.

Ученый секретарь
к.т.н., доцент



Н.В. Заянчуковская

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Рост жилищного и промышленно-гражданского строительства в странах Центральной Азии с каждым годом вызывает все возрастающую потребность в строительных материалах. В регионах с жарким климатом наибольшее распространение получает арболитобетон. Он сочетает в себе легкость, экологичность, высокие теплоизоляционные качества и может содержать в своем составе растительные отходы сельского хозяйства, которыми богаты степные районы. В настоящее время кроме традиционных органических сырьевых материалов – хлопчатника, тростника в Центрально-Азиатском регионе скопились огромные запасы твердых органических отходов пищевой промышленности в виде скорлупы грецкого ореха. Измельченная скорлупа имеет преимущество перед растительными стеблями – она твердая, плотная, поэтому использование ее в производстве арболитобетонов позволит получить конструктивно-теплоизоляционные изделия широкого профиля, что является актуальным. Для производства арболитов на местном органическом сырье хорошо зарекомендовали себя композиционные вяжущие на основе отходов металлургической и топливной промышленности. Они имеют хорошее сцепление с органическим заполнителем и устойчивы к цементным «ядам». Использование отходов промышленности в качестве цементнозольношламовых вяжущих, обладающих высокой активностью и приводящих к возникновению структурообразующих элементов, должно привести к повышению прочностных характеристик, долговечности и биологической стойкости арболита.

Данное диссертационное исследование выполнено в соответствии с Законом Республики Казахстан № 259-V ЗРК «О республиканском бюджете на 2015–2017 годы» от 28.11. 2014 г., Законом Республики Казахстан № 407-IV ЗРК «О науке» от 18.02.2011 г., Постановлением Правительства Республики Казахстан № 1300 «О реализации Закона Республики Казахстан “О республиканском бюджете на 2015–2017 годы”» от 11.12. 2014 года, Постановлением Правительства Республики Казахстан № 575 «Об утверждении Правил базового, грантового, программно-целевого финансирования научной и (или) научно-технической деятельности» от 25.05. 2011 года, решением Национального научного совета о грантовом финансировании «Рациональное использование природных ресурсов, переработка сырья и продукции» (протокол № 2 от 23.01. 2015 года), приказом Председателя Комитета науки № 8-нж от 02.02. 2015 года.

Степень разработанности темы исследования. В ходе выполнения диссертационной работы был проведен научно-технический обзор литературы по технологии получения арболитов, режимам комплексной механохимической активации его компонентов, видам минеральных и пластифицирующих добавок на основе цементнозольношламовых вяжущих, используемых в составах арболитобетонов.

Теоретическими основами диссертации стали исследования отечественных и зарубежных ученых, посвященные вопросам структурообразования, технологиям получения и оптимизации составов арболитобетонных материалов, способам модифицирования дисперсных вяжущих систем и бетонов с различными минеральными пластифицирующими добавками и изучению их свойств.

Развитию науки и технологии в производстве арболитобетонов огромное влияние оказали фундаментальные труды А. А. Акчабаева, Ю. М. Баженова, М. В. Балахнина, А. Т. Баранова, Г. А. Батырбаева, А. А. Безверхия, К. А. Бисенова, И. С. Бобика, П. И. Боженова, П. П. Будникова, Г. А. Бужевича, Ю. С. Бутова, Ю. М. Бутта, Б. Н. Виноградова, А. В. Волженского, Х. С. Воробьева, А. Е. Галибина, Е. А. Галибиной, В. Д. Глуховского, Ю. П. Горлова, Г. И. Горчакова, К. Э. Горяйнова, Г. Д. Диброва, В. Г. Довжика, Г. Е. Евсеева, И. А. Иванова, И. К. Касимова, В. Х. Кикаса, М. И. Клименко, В. К. Козлова, В. И. Логаниной, Л. А. Малининой, Е. Н. Малинского, В. М. Медведева, В. А. Мелентьева, А. П. Меркина, И. П. Мещерякова, В. Ф. Мигачева, А. И. Минаса, И. Х. Наназашвили, К. Д. Некрасова, В. Г. Пантелеева, Н. А. Попова, В. И. Романова, В. Н. Россовского, И. А. Рыбьева, Г. В. Румына, В. И. Савина, Г. П. Сахарова, А. М. Сергеева, Т. Е. Сергеева, Г. Н. Сиверцева, Р. Б. Сироткина, В. Н. Сокова, Ю. А. Соколовой, Н. Я. Спивака, В. В. Стольников, В. Б. Судакова, А. А. Тулаганова, С. В. Федосова, Н. И. Федынина, Г. П. Чеблыкина, М. Ф. Чебукова, А. С. Щербакова, В. М. Хрулева, М. В. Акуловой, Исакулова Б. Р. и др. Благодаря этим исследованиям в производстве арболитобетонов широко используются отходы промышленности и сельского хозяйства растительного происхождения.

Анализ мирового опыта свидетельствует о том, что большие возможности для строительной отрасли открываются с использованием цементов и бетонов из минеральных вторичных ресурсов промышленности и органических растительных отходов. В данном исследовании использованы теоретические и методологические наработки предшественников, но внимание акцентировано на нерешенных проблемах повышения качества арболита с использованием различных отходов промышленности и сельского хозяйства.

Цели и задачи исследования. Целью диссертационного исследования является получение легкого арболитобетона на основе композиционных цементно-зольношламовых вяжущих, разработка научных основ формирования их структуры, состава и свойства при использовании в качестве заполнителя твердых органических отходов из измельченной скорлупы грецкого ореха.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Разработка теоретических принципов получения легкого арболита на основе композиционных цементно-зольношламовых вяжущих и скорлупы грецкого ореха.

2. Исследование возможности получения эффективного вяжущего на основе цемента, высококальциевой золы-уноса и бокситового шлама, повышенной адгезионной способности к органическим компонентам арболитобетона, активированного электромеханическим способом.

3. Разработка составов и исследование свойств цементозольношламового вяжущего на основе цемента, высококальциевой золы-уноса и бокситового шлама, активированного электромеханическим способом.

4. Исследование совместного влияния органического заполнителя на основе измельченной скорлупы грецкого ореха и составляющих цементно-зольношламового вяжущего на формирование микроструктуры и прочностные характеристики арболитобетона.

5. Разработка составов и исследование свойств цементозольношламового легкого арболита с использованием твердых органических отходов скорлупы

грецкого ореха.

6. Техничко-экономическая оценка технологий производства цементозольношламового арболита на основе твердых органических отходов скорлупы грецкого ореха при изготовлении стеновых блоков.

Научная новизна исследования. Основные результаты, полученные автором и составляющие научную новизну диссертации, заключаются в следующем:

- впервые исследована возможность получения вяжущего повышенной адгезионной способности к органическому заполнителю на основе цементозольношламового вяжущего. Проведены измерения электрокинетического потенциала вяжущей смеси при использовании для измельчения обычного помола, мокрого помола и комплексной электромеханической активации;

- выявлены закономерности получения цементозольношламовых вяжущих, активированных комплексным электромеханическим способом с добавкой высококальциевой золы-уноса и бокситового шлама повышенной адгезионной способности к органическим волокнистым материалам арболитобетона.

- разработан состав вяжущего на основе цемента, золы и бокситового шлама с увеличенной адгезионной способностью к твердым органическим отходам при использовании метода комплексной электромеханической активации;

- впервые предложен состав легкого арболитобетона на цементозольношламовом вяжущем с органическим заполнителем на основе измельченной скорлупы грецкого ореха фракциями 2,5-5 мм в соотношении 1: 0,73 соответственно, соответствующий требованиям ГОСТа к легким бетонам и санитарно-эпидемиологическим нормам;

- для проведения процесса комплексной электромеханической активации вяжущего состава разработана установка на базе барабанной мельницы МШЛ-1П. Электрическое поле внутри установки создается за счет двух электродов, выполненных из нержавеющей металла в виде двух круглых пластин, диаметр которых совпадает с внутренним диаметром цилиндра барабанной мельницы;

- разработана принципиальная технологическая схема производства арболита на цементозольношламовом вяжущем и заполнителе из измельченной скорлупы грецкого ореха. Разработанная схема отличается от традиционной схемы получения арболитов добавлением стадии комплексной электромеханической активации при помоле, исключением процесса принудительного прессования при формовании изделия и заменой тепловой обработки полученных изделий на тепловлажностную.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования.

Теоретическая значимость работы состоит в использовании фундаментальных научных исследований в области структурообразования модифицированных композиционных арболитобетонов на основе цементозольношламовых вяжущих и отходов сельского хозяйства.

С помощью методов системного анализа разработаны теоретические принципы получения легкого высокопрочного арболитобетона на основе композиционных бокситошламовых и цементозолосодержащих вяжущих, методологически обоснована целесообразность комплексного регионального использования промышленных и сельскохозяйственных отходов. Проведен комплексный анализ особенностей структуры и свойств арболита в зависимости от его состава. Исследована возможность получения вяжущего повышенной адгезионной способности

к органическому заполнителю на основе цементозольного вяжущего и бокситового шлама.

Проведены измерения электрокинетического потенциала вяжущей смеси при использовании для измельчения обычного помола, мокрого помола и комплексной электромеханической активации. Найдены зависимости уменьшения ζ – потенциала при способе комплексной электромеханической активации, что сказывается на повышении активности вяжущей смеси. Установлено влияние 1% хлористого бария на процесс комплексной электромеханической активации.

Исследованы процессы взаимодействия и образования фазового состава комплексных вяжущих композиций с золошламовыми добавками. Результаты рентгенофазового, термографического анализа цементозольношламового камня вяжущего и ИК – спектроскопии показывают присутствие в образцах гидроалюмината, портландита, кальцита, барита, алита, гидросиликата, кварца. Определено влияние тепловлажностной обработки на формирование структуры арболита.

Практическая значимость заключается в:

- разработке нового цементозольношламового вяжущего с увеличенной адгезионной способностью к твердым органическим отходам при использовании метода комплексной электромеханической активации;

- разработке состава легкого арболитобетона на цементозольношламовом вяжущем с органическим заполнителем на основе измельченной скорлупы грецкого ореха, соответствующего требованиям ГОСТа и санитарно-эпидемиологическим нормам для использования в производстве стеновых блоков для жилых зданий;

- разработке технологической схемы производства арболита на цементозольношламовом вяжущем и заполнителе из измельченной скорлупы грецкого ореха, отличающейся добавлением стадии комплексной электромеханической активации при помоле, исключением процесса принудительного прессования при формовании изделия и заменой тепловой обработки изделий на тепловлажностную. Предлагаемая технология для получения легкого арболита позволит сократить время и энергозатраты при приготовлении арболитовой смеси в 1,5-1,9 раза, время укладки и уплотнения смеси в 2-2,5 раза, длительность цикла твердения изделий в 6-7 раз, удельную металлоемкость производства в 1,8-2,3 раза, что при производительности 2000 м³ арболитовых изделий в год позволит получить экономический эффект в 204470 руб. в год.

Методология и методы диссертационного исследования. Методологической основой диссертационного исследования послужили современные положения теории и практики создания, разработки легкого арболитобетона на основе композиционных цементозольношламовых вяжущих. При проведении научных исследований использовались стандартные средства измерений и методы анализа физико-механических характеристик арболитовых композитов, полученных с применением современных методов рентгенофазового, дифференциально-термического анализа и испытательного оборудования.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретические и методологические принципы получения легких арболитобетонов на основе композиционных цементозольношламовых вяжущих;

- закономерности получения цементозольношламовых вяжущих активированных комплексным электромеханическим способом с добавкой высококальцие-

вой золы-уноса и бокситового шлама повышенной адгезионной способности к органическим заполнителям арболитобетона;

- установленные возможности повышения прочностных свойств цементно-зольношламовых вяжущих с активированными комплексными добавками на основе высококальциевой золы-уноса и бокситового шлама;

- выявленные закономерности цементнозольношламовых вяжущих зависимостей их фазового состава от вида и содержания комплексных добавок;

- закономерности влияния добавок на основе высококальциевой золы-уноса и бокситового шлама на структурообразование и физико-химические свойства композиционных вяжущих для получения конструкционных арболитобетонов повышенной прочности;

- полученные диаграммы графической интерпретации результатов многофакторных экспериментальных исследований, позволяющие оптимизировать составы вяжущих растворов в широких пределах;

- разработанные составы цементнозольношламовых легких арболитовых композиций;

- полученные зависимости скорости набора прочности цементнозольношламовых легких арболитовых композиций от их состава и технологии получения;

- выявленные закономерности комплексного влияния целлюлозных органических заполнителей на основе измельченных органических отходов и вяжущих составляющих на формирование микроструктуры и прочностные характеристики цементозольношламового арболита;

- процессы, происходящие при обработке органического заполнителя минерализирующимися растворами, приводящие к улучшению прочностных свойств органического компонента в составе арболита;

- результаты производственных испытаний и внедрения, разработанных цементнозольношламовых легких арболитов на основе измельченной скорлупы грецкого ореха при изготовлении стеновых блоков.

Степень достоверности и апробация результатов.

Степень достоверности результатов диссертационного исследования и выводов по работе подтверждена сходимостью большого числа экспериментальных данных, полученных с применением комплекса стандартных и высокоинформативных методов исследования, их непротиворечивостью известным закономерностям. Выводы и рекомендации работы получили положительную апробацию и внедрены в строительную практику.

Основные положения и результаты диссертационной работы автора докладывались и обсуждались на: VIII международной научно-практической конференции «Найновите научни постижения – 2012» (София, 2012); VIII международной научно-практической конференции Naukowaprzestrzen Europy – 2012 (Przemysl, 2012); международной научно-практической конференции «Информационная среда вуза» (Иваново, 2012); международной научно-практической конференции «Новейшие достижения науки – 2013» (София, 2013); международной научно-практической конференции «Дни науки – 2013» (Прага, 2013). Результаты исследования нашли практическое применение на Актюбинском заводе по выпуску строительных материалов ТОО «ЖБИ-25». Теоретические положения диссертационной работы, а также результаты экспериментальных исследований используются в учебном процессе Актюбинского университета имени С. Баишева при

подготовке бакалавров по профилю «Промышленное и гражданское строительство».

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано двенадцать научных статей общим объемом 5,9 печ. л., из них авторский вклад – 3,6 печ. л., из них четыре статьи общим объемом 2,4 печ. л. – в рецензируемых научных журналах и изданиях, авторский вклад – 1,2 печ. л.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 144 страницах машинописного текста, содержит 21 рисунок, 32 таблицы. Список использованной литературы включает 159 наименований.

Диссертационная работа выполнялась на кафедре «Строительное материаловедение, специальные технологии и технологические комплексы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» в соответствии с паспортом специальности 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия» и, в частности, с формулой специальности «Строительные материалы и изделия» – областью науки и техники, занимающейся разработкой научных основ получения строительных материалов различного назначения и природы, включая выбор сырья, проектирование состава, управление физико-химическими процессами структурообразования и технологией, обеспечивающими высокие эксплуатационные свойства изделий и конструкций при механическом нагружении и воздействии окружающей среды, пунктами области исследования:

п. 1. Разработка теоретических основ получения различных строительных материалов с заданным комплексом эксплуатационных свойств;

п. 6. Создание теоретических основ получения строительных композитов гидратационного твердения и композиционных вяжущих веществ и бетонов;

п. 7. Разработка составов и принципов производства эффективных строительных материалов с использованием местного сырья и отходов промышленности.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении содержится обоснование актуальности темы, степень разработанности темы исследования, цель и задачи исследований, научная новизна и практическая значимость работы, ее структура.

В первой главе проанализированы современные тенденции применения в строительстве минеральных и органических отходов; арболитобетоны, их виды, составы и свойства; виды вяжущих веществ и добавок, применяемых в арболитобетонах и их влияние на свойства бетонного камня; разновидности органических заполнителей, применяемых в производстве арболитобетона и их влияние на прочность и долговечность материала; теоретические и практические предпосылки разработки и исследования арболитобетонов на основе местных отходов промышленности и сельского хозяйства; технологические особенности получения цементозольношламовых вяжущих веществ; теоретические основы и принципы активации цементозольношламовых вяжущих веществ.

Во второй главе предложена научная гипотеза возможности получения эффективного многокомпонентного вяжущего состава из цемента, высококальциевой золы-уноса и бокситового шлама методом комплексной электромеханической активации (КЭМА) вяжущего для применения в производстве арболита с органи-

ческим заполнителем из измельченной скорлупы грецкого ореха, рассмотрены сырьевые материалы, применяемые в работе и их характеристики; методика испытаний для получения цементнозольношламовых вяжущих составов для применения в составе легкого арболита с органическим заполнителем из измельченной скорлупы грецкого ореха; предложена методика измельчения органического заполнителя на основе скорлупы грецкого ореха; методика разработки и сырьевые смеси для получения эффективного вяжущего на основе цементнозольной смеси с добавками бокситового шлама.

В третьей главе раскрыты вопросы разработки составов и проведено исследование свойств цементнозольношламового легкого арболита с использованием твердых органических отходов из измельченной скорлупы грецкого ореха. Измельчение компонентов вяжущего проводилось в барабанной шаровой мельнице МШЛ-1П. Комплексная электромеханическая активация (КЭМА) многокомпонентного вяжущего состава осуществлялось в разработанной лабораторной установке. С целью увеличения площади соприкосновения с цементным тестом для создания наибольшего электрического поля в цементном тесте, конструкция электродов была выполнена в виде пластин из тонкого нержавеющей металла. Электрическое поле создавалось с помощью выпрямителя постоянного тока и лабораторного трансформатора переменного тока. Напряжение создаваемого электрического тока изменялось в пределах от 10 до 30 В. Рациональный состав определялся по пределу прочности при сжатии камня вяжущего. Наилучшие прочностные характеристики показал состав многокомпонентного вяжущего (в %) цемент: зола: шлам - 55:35:10 (таблица 1).

Таблица 1

Прочность при сжатии ЦЗШВ (цементозольношламового вяжущего) различного состава при разных технологических методах

| № состава | Состав материала, % | Вид активации | Прочность при сжатии, МПа |
|-----------|---------------------------------|---------------|---------------------------|
| 1. | Цемент : зола : шлам (60:40:0) | без обработки | 29,8 |
| 2. | Цемент : зола : шлам (60:35:5) | мокрый домол | 44,2 |
| 3. | Цемент : зола : шлам (60:30:10) | КЭМА | 49,4 |
| 4. | Цемент : зола : шлам (55:40:5) | без обработки | 28,5 |
| 5. | Цемент: зола: шлам (55:35:10) | мокрый домол | 43,72 |
| 6. | Цемент : зола : шла (55:35:10) | КЭМА | 50,1 |
| 7. | Цемент : зола : шлам (50:45:5) | без обработки | 28,2 |
| 8. | Цемент : зола : шлам (50:40:10) | мокрый домол | 40,4 |
| 9. | Цемент : зола : шлам (50:35:15) | КЭМА | 48,5 |

Примечание: КЭМА – комплексная электромеханическая активация.

В данной работе исследовалось влияние добавок хлорида натрия, кальция и бария на предел прочности при сжатии камня комплексного вяжущего. Одновременно изучалось влияние характеристик КЭМА – времени помола, вида электрического тока, напряжения на прочность камня вяжущего состава (таблица 2). Установлено, что процесс комплексной электромеханической активации протекает наиболее эффективно при добавлении 1% хлористого бария, который усиливает процесс структурообразование вяжущей системы и увеличивает прочность при сжатии

композитного камня до 50,6 МПа при переменном токе и 51,4 МПа при постоянном токе активации.

Таблица 2

Влияние химических добавок на механические свойства ЦЗШВ

| Добавки, % от массы вяжущего | В/Ц | Время помола | Вид электрического поля | Напряжение, В | Результаты испытаний образцов ЦЗШ камня на прочность при сжатии, МПа, через суток | | |
|------------------------------|-----|--------------|-------------------------|---------------|--|------|------|
| | | | | | 7 | 14 | 28 |
| Без добавок | 0,6 | 10 | - | - | 8,1 | 11,1 | 28,7 |
| | 0,6 | 10 | Постоянный | 25 | 9,8 | 12,1 | 31,1 |
| | 0,6 | 10 | Переменный | 25 | 9,3 | 11,3 | 30,2 |
| Хлорид натрия 1% | 0,6 | 10 | - | - | 9,9 | 19,6 | 30,7 |
| | 0,6 | 10 | Постоянный | 25 | 11,7 | 22,8 | 37,9 |
| | 0,6 | 10 | Переменный | 25 | 10,6 | 21,4 | 37,1 |
| Хлорид кальция 1% | 0,6 | 10 | - | - | 9,9 | 20,5 | 31,4 |
| | 0,6 | 10 | Постоянный | 25 | 12,0 | 23,9 | 40,8 |
| | 0,6 | 10 | Переменный | 25 | 11,4 | 23,2 | 39,5 |
| Хлорид бария 1% | 0,6 | 10 | - | - | 11,1 | 21,3 | 33,2 |
| | 0,6 | 10 | Постоянный | 25 | 15,7 | 31,2 | 51,4 |
| | 0,6 | 10 | Переменный | 25 | 14,2 | 26,4 | 50,6 |

Были исследованы процессы взаимодействия и образования фазового состава комплексных вяжущих композиций с золошламовыми добавками методом рентгенофазового анализа. Дифрактометрическое исследование цементозольных вяжущих с добавкой бокситового шлама проведено для образцов обычного помола и помола, совмещенного с комплексной электромеханической активацией.

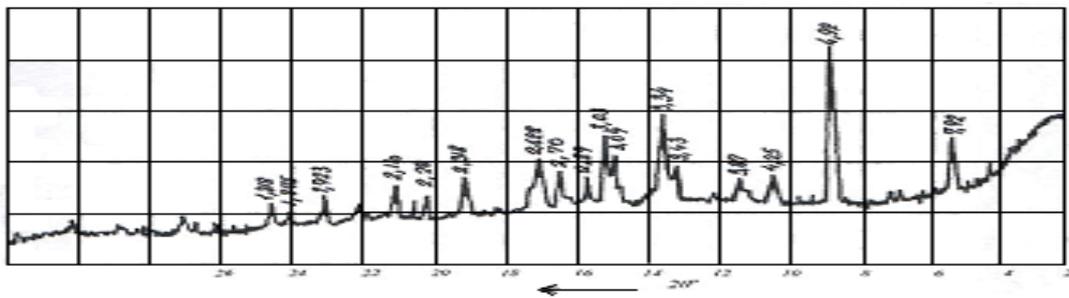


Рисунок 1а. Рентгенограмма цементозольношламового камня образцов нормально-влажностного твердения: а - без активации

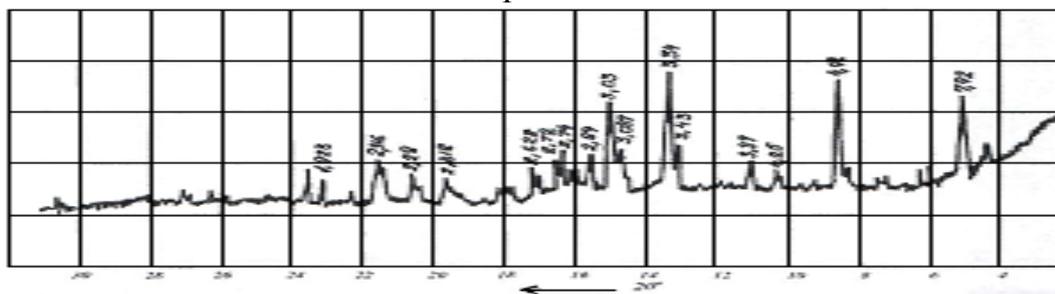


Рисунок 1б. Рентгенограмма цементозольношламового камня образцов нормально-влажностного твердения: б – с КЭМА

Исследован и определен фазовый состав новообразований в цементозолошламовых образцах, активированных способом комплексной электромеханической ак-

тивации, и в образцах без активации (рисунок 1а, 1б). Результаты рентгенофазового, термографического анализа цементозольношламового камня вяжущего и ИК – спектроскопии показывают присутствие в образцах гидроалюмината, портландита, кальцита, барита, алита, гидросиликата, кварца. Согласно полученным результатам в образце из плотного раствора без добавки золошлама в качестве основных цементирующих минералов образуются минералы тоберморитовой группы. Повышение относительного содержания 1,1-нм тоберморита в составе цементного камня при введении добавок золы, согласно существующим представлениям, может быть обусловлено образованием большего количества его «аномальной» разновидности, для получения которого требуется значительно меньше энергии по сравнению с таковым показателем для «нормальных» (стехиометрических) соединений. Это объясняется тем, что, согласно представлениям Виноградова Б.Н., он по степени кристаллизации очень близок к гидросиликатам типа CSH(I) и может быть легко получен из них при соответствующих условиях. Сравнение образцов КЭМА с образцами без активации показывает уменьшение дифракционных пиков портландита и увеличение содержания гидроалюминатов линии $d = 7,92 \cdot 10^{-10}$ м и кальцита линии $d = 3,87-3,03-2,093-1,873 \cdot 10^{-10}$ м, что может указывать на несколько повышенную степень карбонизации цементозольношламового камня и ускорение процессов кристаллизации гидросиликатов.

Определение состава новообразований при твердении композиции, состоящей из золы-уноса, проведенное с помощью рентгенофазового анализа, в целом согласуется с результатами термографического анализа.

Оптимизация составов цементозольношламового вяжущего выполнялась методом математического планирования эксперимента. Для этого предусмотрели реализацию трехфакторного эксперимента на трех уровнях по ортогональному плану полного факторного эксперимента 2^3 (рис.2а, 2б).

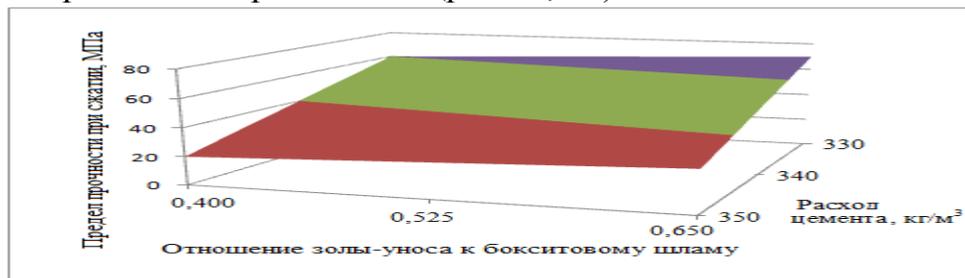


Рисунок 2а. Зависимость предела прочности цементозольношламового вяжущего при сжатии от расхода цемента и золы-уноса к бокситовому шламу

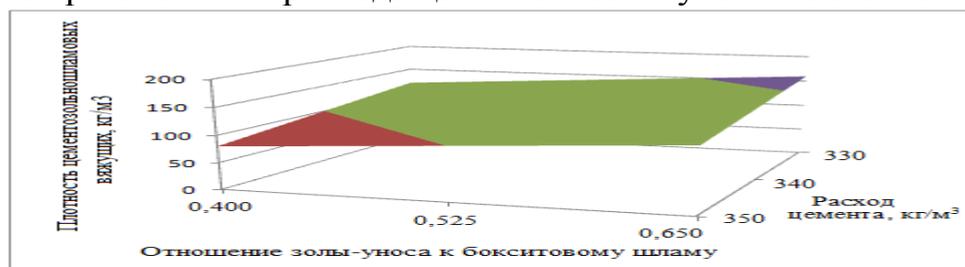


Рисунок 2б. Зависимость плотности цементозольношламового вяжущего от расхода цемента и золы-уноса к бокситовому шламу

В качестве параметров оптимизации приняты основные показатели цементозольношламового вяжущего – прочность при сжатии и плотность образцов в сухом состоянии. При выборе переменных факторов учитывалось влияние состава зо-

лошламосодержащего вяжущего на его физические и физико-механические характеристики. Поэтому переменными величинами приняты: расход цемента (X_1), расход золы-уноса (X_2) и отношение бокситового шлама к золе-уносу (X_3). Центр эксперимента и интервалы варьирования переменных приведены в таблице 3.

Таблица 3

Центр экспериментов и натуральные значения переменных

| Переменные факторы | Код | Уровни варьирования | | | Интервал | Звездные точки | |
|--|-------|---------------------|-------|-------|----------|----------------|--------|
| | | -1 | 0 | +1 | | -1,215 | +1,215 |
| Расход цемента, кг/м ³ | X_1 | 330 | 340 | 350 | 10 | 309 | 361 |
| Расход золы-уноса, кг/м ³ | X_2 | 68 | 70 | 72 | 2 | 47 | 93 |
| Отношение бокситового шлама к золе-уносу | X_3 | 0,400 | 0,525 | 0,650 | 0,125 | 0,380 | 0,670 |

Опытные замесы приготавливали согласно кодовой матрицы планирования дважды, сначала в одном направлении, затем в обратном. Фиксирование X_1 , X_2 , X_3 , на постоянных уровнях достигалось дозировкой необходимого количества компонентов золошламосодержащего вяжущего с добавлением воды затворения, обеспечивающей жесткость вяжущей смеси.

Статистический анализ результатов позволил получить уравнение регрессии, описывающее параметры оптимизации с 95%-ной доверительной вероятностью:

$$U_1(R_{сж}) = 24,88 + 8,83X_1 - 4,48X_2 - 1,02X_1^2 - 0,8X_2^2 - 2,98X_3^2 \text{ (МПа)}; \quad (1)$$

$$U_2(P) = 1610 + 59,3X_1 - 139,6X_2 - 51,3X_3 - 9,9X_1^2 - 13,3X_2^2 + 6,17X_3^2 \text{ (кг/м}^3\text{)} \quad (2)$$

При проверке пригодности приведенных уравнений по критерию Фишера оба они оказались адекватными. Каждой аналитической модели соответствует определенный геометрический образ. Следовательно, уравнения, определяющие зависимости прочности и плотности золошламосодержащих вяжущих от переменных факторов могут быть представлены и графически. Анализ полученной модели прочности цементозольношламового вяжущего показывает, что: наиболее значимым фактором, влияющим на прочность состава цементозольношламового вяжущего, является фактор X_1 - расход цемента, так как коэффициент при X_1 (+8,83) оказался наибольшим по абсолютной величине. С повышением расхода цемента прочность цементозольношламового вяжущего возрастает и за пределами исследуемой области, но незначительно; вторым по значимости фактором, влияющим на прочность цементозольношламового вяжущего, является X_2 – расход золы-уноса. С увеличением содержания золы-уноса прочность цементозольношламового вяжущего падает за пределами исследуемой области, но с большой интенсивностью; менее значимо отношение золы-уноса к бокситовому шламу (X_3). Отсутствие коэффициента при X_3 свидетельствует о том, что центр эксперимента выбран в области оптимума. Оптимальным отношением золы-уноса к бокситовому шламу является значение фактора X_3 , равное 0,525.

Анализ математической модели плотности цементозольношламового вяжущего свидетельствует, что наиболее значимым фактором состава, влияющим на плотность цементозольношламового вяжущего, является фактор X_2 - расход бокситового шлама, т.к. коэффициенты при X_2 (-139,6) и X_2^2 (+13,3) оказались наибольшим по абсолютной величине. По графическому материалу и математиче-

ским моделям прочности и плотности цементозольношламового вяжущего, также данным, полученным в ходе реализации активного эксперимента, выполнен расчет оптимальных составов цементозольношламового вяжущего, которые приведены в таблице 4.

Таблица 4

**Свойства цементозольношламовых
вяжущих составов при различных соотношениях компонентов**

| Состав вяжущего, по массе, % (цемент: зола : шлам) | Плотность в сухом состоянии, кг/м ³ | Предел прочности при сжатии, МПа |
|--|---|--|
| 60: 40: 0 | 1580 | 39,8 |
| 60: 35: 5 | 1580 | 44,2 |
| 60:30:10 | 1600 | 50,2 |
| 55:40:5 | 1590 | 38,5 |
| 55:38:7 | 1580 | 43,7 |
| 55:35:10 | 1590 | 51,4 |
| 50:45:5 | 1600 | 38,2 |
| 50:40:10 | 1590 | 40,4 |
| 50:35:15 | 1580 | 48,5 |

Из данных, приведенных в таблице 4 видно, что на всем диапазоне изменения предела прочности при сжатии цементозольношламового вяжущего расходы цемента существенно ниже нормируемых значений соответствующего класса вяжущего. Как видно из рис. 2а, 2б и таблицы 4, введение добавки шлама в количестве 8 - 13 % обеспечивает требуемое значение предела прочности при сжатии цементозольношламового вяжущего от 38,2 до 51,4 МПа, при плотности 1590 кг/м³ и при содержании цемента в составе цементозольношламовой смеси в количестве 55 % (по массе). Оптимальными составами золошламосодержащих вяжущих являются, масс. %: цемент 55% : зола-унос 35 % : бокситовый шлам 10%.

Полученные данные свидетельствуют о том, что снижение расхода портландцемента за счет его частичной замены отходом бокситового шлама горнодобывающей промышленности является весьма перспективным, экологически и экономически выгодным при производстве цементозольношламовых арболитов.

В работе проведены исследования по определению рационального соотношения вяжущей смеси и органического заполнителя арболитобетона (таблица 5). Установлено увеличение предела прочности при различных сроках твердения от 3,68 МПа при соотношении № 4 до 3,90 МПа при соотношении № 3. Нами из экономической целесообразности было выбрано соотношение № 3 как наиболее экономичное по расходу КЭМА вяжущего и наилучшее по прочностным показателям.

Таблица 5

Определение оптимального соотношения активированной вяжущей смеси и органического заполнителя

| № состава | Содержание, кг | | Соотношение вяжущего к органическому заполнителю | Предел прочности при сжатии при различных сроках твердения, МПа | | | Плотность, кг/м ³ |
|-----------|------------------|-------------------------------|--|---|------|------|------------------------------|
| | КЭМА* вяжущее | Органический заполнитель** | | 14 | 28 | 90 | |
| | | | | | | | |
| 1. | 345 | 235 | 1: 0,68 | 2,31 | 3,35 | 3,71 | 670 |
| 2. | 340 | 240 | 1: 0,71 | 2,45 | 3,42 | 3,82 | 660 |
| 3. | 335 | 245 | 1: 0,73 | 2,50 | 3,50 | 3,90 | 650 |
| 4. | 330 | 250 | 1: 0,75 | 2,30 | 3,34 | 3,68 | 640 |

*КЭМА** – комплексная электромеханическая активация; **** органический заполнитель – измельченная скорлупа грецкого ореха

В результате проведенных исследований (таблица 5) установлено увеличение предела прочности при различных сроках твердения от 3,68 МПа при соотношении № 4 до 3,90 МПа при соотношении № 3.

Для исследования адгезии в контактном слое цементозольношламового камня со скорлупой грецкого и для сравнения земляного орехов определялась адгезионная прочность при разрыве склеенных между собой эпоксидной смолой исследуемых образцов арболита – цилиндров. Изготовленные образцы подвергались испытанию на растяжение под действием нормальной отрывающей силы. Прочность при растяжении, получаемая как частное деления величины разрывного усилия на площадь образца, принималась за условную прочность (таблица 6; рисунок 3).

Таблица 6

Влияние способов активации ЦЗШ вяжущего на адгезионную прочность арболита на основе скорлупы грецкого и земляного орехов

| Расход материалов на 1 м ³ арболита | | Прочность при растяжении в зависимости от способа активации ЦЗШВ, МПа (в 28-суточном возрасте) | | | | |
|---|----------------------------------|--|--------------------------------|--------------|-------------------------------|-------|
| ЦЗШВ (состава цемент: зола: шлам 55:35:10%), кг | Расход органического заполнителя | Обычный помол | Обычный помол с хлоридом бария | Мокрый домол | Мокрый домол с хлоридом бария | *КЭМА |
| На скорлупе грецкого ореха | | | | | | |
| 335 | 245 | 0,05 | 0,09 | 0,12 | 0,17 | 0,28 |
| На скорлупе земляного ореха | | | | | | |
| 335 | 245 | 0,03 | 0,06 | 0,09 | 0,14 | 0,21 |

На основании данных таблицы 6 построена диаграмма (Рис. 3).

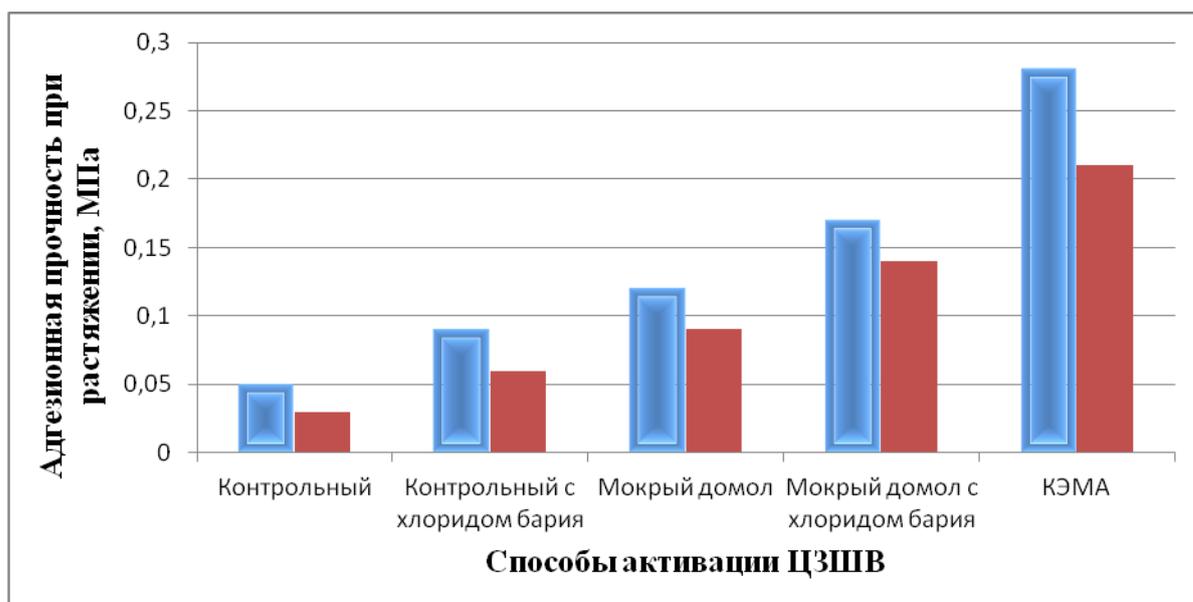


Рисунок 3 Адгезионная прочность образцов арболита в зависимости от способов активации ЦЗШВ: ■ - арболит на скорлупе грецкого ореха; ■ – арболит на скорлупе земляного ореха

Для определения эксплуатационных свойств арболита на цементозолошламовом вяжущем и заполнителе на основе измельченного грецкого ореха исследовались его водопоглощение и набухание. Испытания на водопоглощение проводили на образцах-кубах в соответствии с ГОСТом, по результатам испытания получены усредненные кривые (рисунок 4).

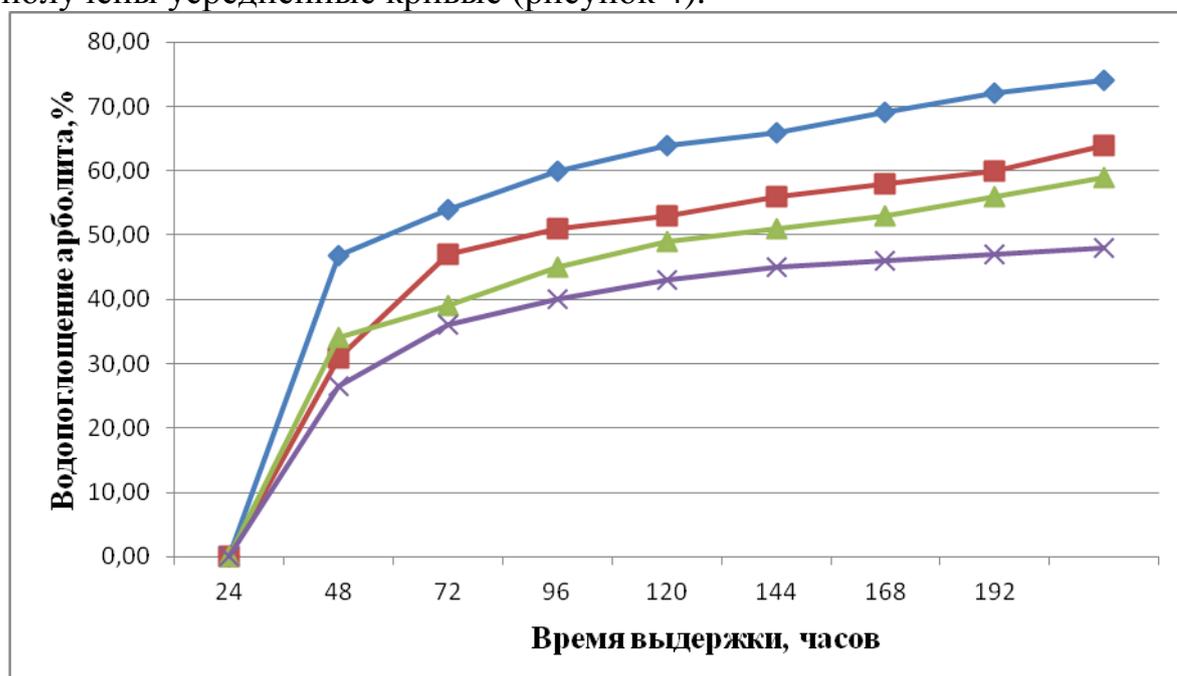


Рисунок 4. Кинетика водопоглощения арболита на скорлупе грецкого ореха в зависимости от способов активации цементозольношламового вяжущего: ◇ - обычный помол; ■ - мокрый домол; Δ – мокрый домол с BaCl₂; x - КЭМА

Водопоглощение образцов арболита с вяжущим, активированным комплексной электромеханической активацией, после 120 часов выдержки в воде составило 43%.

Водостойкость арболитовых образцов определяли по ГОСТу по коэффициенту размягчения после 48 - часовой выдержки в воде. Для арболитовых образцов, изготовленных на основе комплексной электромеханической активации цементозольно-

зольношламового вяжущего коэффициент размягчения (отношение прочности образцов, хранившихся в воде, к прочности сухих образцов) арболитовых образцов на основе КЭМА вяжущего составил 0,62 - 0,75.

Одним из основных факторов, определяющих долговечность арболита при длительной эксплуатации в естественных условиях, является его морозостойкость. Заполнение поровой структуры заполнителя арболита комплексной электромеханически активированной цементозольношламовой вяжущей смесью высокой дисперсности значительно снижает водопоглощающую способность материала, чем и объясняется повышение его сопротивляемости к попеременному замораживанию и оттаиванию в насыщенном водой состоянии. Основной причиной, вызывающей разрушение арболита в условиях попеременного замораживания и оттаивания, является давление на стенки пор и устья микротрещин, создаваемое замерзающей водой, «термической несовместимостью» - различием коэффициентов линейного расширения составляющих арболита и образующегося льда. Зависимость коэффициента морозостойкости $K_{\text{мрз}}$ арболита от способов активации вяжущего определялась в соответствии с ГОСТом и представлена в таблице 7.

Таблица 7

Зависимость коэффициента морозостойкости $K_{\text{мрз}}$ арболита от способов активации цементозольношламового вяжущего

| № | Способ помола вяжущего | Коэффициент морозостойкости, $K_{\text{мрз}}$ | | |
|---|--------------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | | через 15 циклов | через 25 циклов | через 35 циклов |
| 1 | Обычный помол | 0,61 | 0,34 | - |
| 2 | Мокрый домол | 0,88 | 0,69 | 0,51 |
| 3 | Мокрый домол с BaCl_2 | 0,91 | 0,79 | 0,65 |
| 4 | *КЭМА | 0,94 | 0,89 | 0,75 |

На рисунке 5 приведена зависимость прочности при сжатии ЦЗШ арболита от способов активации и морозостойкости ЦЗШВ.

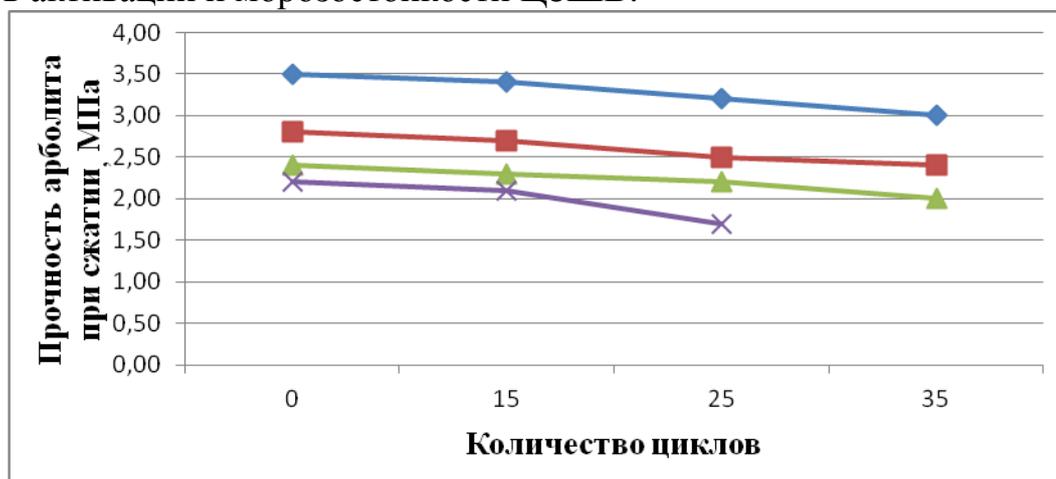


Рисунок 5. Зависимость предела прочности при сжатии цементозольношламового арболита с заполнителем на основе измельченного грецкого ореха от количества циклов замораживания и оттаивания и способов помола ЦЗШВ: х – обычный помол; ■ – мокрый домол с BaCl_2 ; Δ - мокрый домол; ◇ - комплексная электромеханическая активация

По ГОСТ 19222 потеря прочности испытанных на морозостойкость образцов арболита не должна превышать 15% прочности контрольных образцов, не подвергающихся испытанию на морозостойкость, а потеря массы не должна превышать 5%. Из приведенных данных видно, что уже к 25 циклам арболит на цементозольношламовом вяжущем обычного помола и заполнителе – измельченном грецком орехе имеет меньшую морозостойкость по сравнению с арболитовыми образцами на цементозольношламовом вяжущем с мокрым домолом и с хлоридом бария. Морозостойкость арболита на цементозольношламовом вяжущем, активированном способом комплексной электромеханической активации, составляет более 35 циклов.

В работе также произведен анализ химического состава и химической агрессивности растительного заполнителя по отношению к минеральному сырью. Скорлупа грецкого ореха состоит из клетчатки (примерно 69% всей массы скорлупы грецкого ореха стебли), пектозана, водорастворимых веществ и небольшого количества экстрактивных веществ - танинов и жиров. В большинстве своем предложенные способы «минерализации» органического заполнителя требуют многоступенчатой обработки заполнителя различными химикатами с последующим кипячением или промывкой, выдержки в силосах для стабилизации его свойств или сушки и др.

В данной работе «минерализаторами» заполнителя органического происхождения служат высоко кальциевая зола-унос и бокситовый шлам. При взаимодействии находящихся в составе золы-уноса (9%) и бокситового шлама (до 5%) оксида кальция CaO с водой затворения происходит химическая реакция $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$ с образованием гидроксида кальция. Полученный водный раствор характеризуется щелочной реакцией, позволяющей использовать его в качестве минерализатора органического заполнителя. Гидрооксид кальция, поглощая из атмосферы углекислый газ CO_2 , сильно твердеет, превращаясь в кальций карбонат CaCO_3 , что повышает скорость нарастания прочности. Кроме того, гидрооксид кальция обладает дубящими свойствами, что способствует облагораживанию внешней поверхности скорлупы грецкого ореха. Для изучения механических свойств арболита на КЭМА вяжущем нами были проведены опыты по определению предела прочности при сжатии образцов-кубиков в различные сроки твердения. Также получен график зависимости прочности арболита на органическом заполнителе из скорлупы грецкого ореха, приведенный на рисунке 6. Из графиков видно, что по истечении 7 суток твердения арболитовые образцы из скорлупы грецкого ореха на вяжущем, активированном способом комплексной электромеханической активации, набирают адгезионную прочность, равную 0,74 МПа, а к 28 суткам набирают 3,5 МПа. А на скорлупе земляного ореха – соответственно 0,60 и 2,5 МПа.

В итоге совокупность этих свойств увеличивает как несущую способность, так и долговечность конструкций, изготовленных по предлагаемой технологии. На основании полученных результатов разработана технология производства арболита на вяжущей смеси, активированном способом комплексной электромеханической активации.

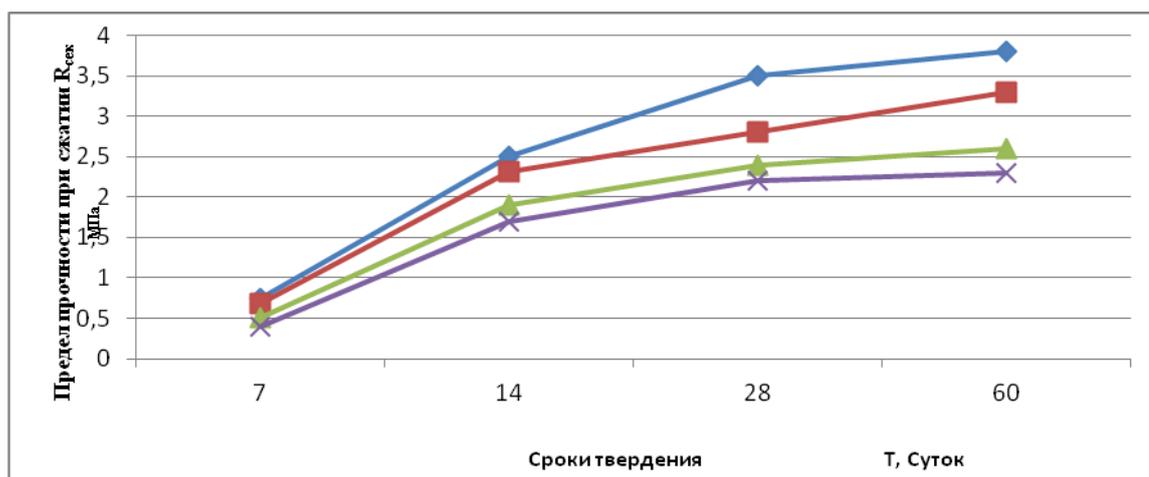


Рис.6 График зависимости предела прочности арболита на скорлупе грецкого ореха от способа активизации ЦЗШВ: x - контрольный домол; Δ - мокрый домол; ■ – мокрый домол с BaCl₂; ◇ - КЭМА

Для определения актуальности и целесообразности изучаемого материала нами по предварительным расчетам установлено, что полученный арболит по своим показателям не уступает арболитам по традиционной технологии и даже по некоторым параметрам превосходит их. В таблице 7 приведены сравнительные показатели арболитов на разных органических заполнителях.

Таблица 7

Показатели арболитов на разных органических заполнителях

| № п/п | Показатели | Арболит с заполнителем из | | |
|-------|---|---------------------------|---------------------|-----------------------------|
| | | древесной щепы | стеблей хлопчатника | измельченной скорлупы ореха |
| 1. | Плотность, кг/м ³ | 500-850 | 630 | 650 |
| 2. | Предел прочности при сжатии, МПа | 0,5-3,5 | 2,5 | 3,5 |
| 3. | Коэффициент теплопроводности, Вт / м ч °К | 0,08-0,17 | 0,015 | 0,015 |
| 4. | Водопоглощение (после обработки), % | 40-85 | 47 | 43 |
| 5. | Морозостойкость, не менее циклов | 25-50 | 25 | 35 |

Принципиальная технологическая схема производства арболита та же, как и при производстве арболита на измельченных стеблях хлопчатника, только при формовании изделия не нужен процесс принудительного прессования, а вместо тепловой обработки изделия используется тепловлажностная обработка арболита.

Выбранная технология для получения легкого арболита по сравнению с традиционными технологиями арболита позволит сократить в 2,2–2,7 раза – время укладки и уплотнения смеси, в 7–8 раз – длительность цикла твердения изделий.

В четвертой главе диссертационного исследования приведено описание технологий производства и расчета технико-экономической эффективности выпуска арболитобетонов на основе отходов промышленности и местных сырьевых ресурсов. Разработаны технологии по производству арболита на основе цементозольных и содержащих бокситовый шлам вяжущих и отходов из измельченной скорлупы грецкого ореха, учитывающие особенности новых композиционных

вяжущих и органического заполнителя. Произведен расчет экономической эффективности применения арболита на цементозольношламовом вяжущем. Показано, что при мощности цеха 2000 м³ арболитовых изделий в год по предлагаемому способу ожидаемый экономический эффект составит 240000 руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С помощью методов системного анализа разработаны теоретические принципы получения легкого высокопрочного арболитобетона на основе композиционных цементозолошламосодержащих вяжущих, методологически обоснована целесообразность комплексного регионального использования промышленных и сельскохозяйственных отходов. Проведен комплексный анализ особенностей структуры и свойств арболита в зависимости от его состава. Исследована возможность получения вяжущего повышенной адгезионной способности к органическому заполнителю на основе цемента, золы и бокситового шлама. Проведены измерения электрокинетического потенциала вяжущей смеси при использовании для измельчения обычного помола, мокрого домола и комплексной электромеханической активации. Найдено, что при способе комплексной электромеханической активации вяжущего значение ζ – потенциала уменьшаются с 42,2 мВ до 30,5 мВ, по сравнению с обычным помолом и мокрым домолом, что сказывается на повышении активности вяжущей смеси, а, следовательно, прочности цементозольношламового камня и арболита на его основе. Установлено, что наиболее эффективно протекает процесс комплексной электромеханической активации при добавлении хлористого бария.

2. Исследованы процессы взаимодействия и образования фазового состава комплексных вяжущих композиций с золошламовыми добавками. Рентгенофазовый анализ показал, что в образцах цементозолошламовых вяжущих присутствует: гидроалюминат, портландит, кальцит, барит, алит, гидросиликаты, кварц. Найдено, что степень гидратации алита $d = 2,185 \cdot 10^{-10}$ м в образце вяжущего, активированного способом комплексной электромеханической активации, по сравнению с интенсивностью аналогичной линии в образце вяжущего без активации выше. Это показывает влияние активации на образование высокоосновных силикатов кальция. Полученные выводы подтверждаются результатами термографического анализа цементозольношламового камня вяжущего и ИК – спектроскопией. Найдено, что пропаривание цементозолошламового вяжущего в течение 250 ч способствует более глубокому протеканию процесса взаимодействия высококальциевой золы уноса с бокситовым шламом. Об этом свидетельствуют данные рентгенофазового анализа, согласно которому появляются линии, относящиеся к кальциевому цеолиту-жисмондину.

3. С помощью метода регрессионного анализа разработан вяжущий состав на основе цементозолошламового вяжущего с увеличенной адгезионной способностью к твердым органическим отходам при использовании метода комплексной электромеханической активации. Комплексная электромеханическая активация проводится одновременно при совместном помоле цемента с золой в течение 10 минут в поле постоянного тока напряжением 25-60 В. Для проведения процесса комплексной электромеханической активации вяжущего состава разработана лабораторная установка на базе барабанной мельницы МШЛ-1П. Электрическое поле внутри лабораторной установки создается за счет двух электродов, выполненных из нержавеющей металла в виде двух круглых пластин, диаметр которых

совпадает с внутренним диаметром цилиндра барабанной мельницы. Разработанный состав комплексной электромеханической активированной вяжущей смеси включает в себя портландцемент 50 - 60%, золу-унос 30 - 40%, бокситовый шлак 5 - 15% и хлорид бария в количестве 1% от общей массы вяжущего.

4. Разработан состав легкого арболитобетона на цементозольношламовом вяжущем с органическим наполнителем на основе измельченной скорлупы грецкого ореха фракциями 2,5-5 мм в соотношении 1: 0,73 соответственно. Предел адгезионной прочности вяжущего к измельченной скорлупе грецкого ореха достигает 0,28 МПа. Коэффициент теплопроводности полученного арболита составил 0,015 Вт / м 0К, предел прочности при сжатии 3,5 МПа, коэффициент морозостойкости после 35 циклов составил 0,75, что соответствует требованиям ГОСТа к легким бетонам. Получено санитарно-эпидемиологическое заключение о возможности использования данного состава в производстве стеновых блоков для жилых зданий.

5. Разработана принципиальная технологическая схема производства арболита на цементозольношламовом вяжущем и наполнителе из измельченной скорлупы грецкого ореха. Разработанная схема отличается от традиционной схемы получения арболитов добавлением стадии комплексной электромеханической активации при помоле, исключением процесса принудительного прессования при формовании изделия и заменой тепловой обработки полученных изделий на тепловлажностную. Данная технология для получения легкого арболита по сравнению с традиционными технологиями позволит сократить время и энергозатраты при приготовлении арболитовой смеси в 1,5-1,9 раза, время укладки и уплотнения смеси 2-2,5 раза, длительность цикла твердения изделий в 6-7 раз, удельную металлоемкость производства в 1,8-2,3 раза.

6. Проведено опытно-промышленное апробирование результатов исследований, которое подтвердило эффективность получения арболита на КЭМА цементозольношламовом вяжущем и измельченной скорлупе грецкого ореха. Произведен производственный выпуск цементозольношламовых арболитовых теплоизоляционных блоков с размерами 200x200x400 мм на основе измельченной скорлупы грецкого ореха, которые были использованы при возведении ограждающих конструкций и перегородок жилого дома.

7. Произведен расчет экономической эффективности применения арболита на цементозольношламовом вяжущем с наполнителем на основе измельченной скорлупы грецкого ореха. Показано, что при производительности 2000 м³ арболитовых изделий в год по предлагаемому способу ожидаемый экономический эффект составит 204470 руб. в год.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Статьи в журналах и изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:

1. Акулова, М. В. Получение легкого арболитобетона на основе твердых фруктовых отходов. / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, М. Д. Джумабаев, Т. Ж. Толеуов. // Журнал «Научное обозрение» № 14, гор. Саратов, 2016 г. С. 1-7
2. Акулова, М. В. Получение легкого арболитобетона на основе цементозольношламового вяжущего и органического наполнителя из скорлупы грецкого ореха / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, М. Д. Джумабаев, Т. Ж. Толеуов. // Интернет-журнал «Науковедение», Москва. Том 8, № 4 (35) 2016 г. С. 1-13.

3. Акулова, М. В. Получение цементозольношламового вяжущего состава, активированного методом комплексной электромеханической активации, для применения в составе легких арболитобетонов / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, М. Д. Джумабаев, А. М. Сартова. // Интернет-журнал «Науковедение», Москва. Том 8, № 3 (34) 2016 г. Стр. 1-9.

4. Акулова, М. В. Комплексная электромеханическая активация золошламовых вяжущих для получения легких арболитобетонов / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, М. Д. Джумабаев, А. М. Сартова. // Науч.-техн. вестник Поволжья. Казань, 2014. № 1. С. 45–49.

Статьи в журналах, сборниках и других изданиях:

5. Исакулов, Б. Р. Исследование свойств шлакощелочных вяжущих на основе промышленных отходов Казахстана/ Б. Р. Исакулов, М. Д. Джумабаев, У. К. Акишев, А. М. Сартова// Материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. «Naukowa przestrzen europy - 2012». Przemysl, 2012. С. 58–64.

6. Исакулов, Б. Р. Вертикальные несущие и ограждающие конструкции из серосодержащего арболита для стен малоэтажных и многоэтажных зданий / Б. Р. Исакулов, М. Д. Джумабаев, У. К. Акишев, А. М. Сартова// Материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. «Vedeckypokroknaprelomutysyachalety» - 2012. Praha, 2012. С. 64 – 69.

7. Акулова, М. В. Электромеханическая активация золошламовых вяжущих для получения легких бетонов / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, Ж. Б. Тукашев, М. Д. Джумабаев, А. М. Сартова // материалы Международной научно-практической конференции «Новейшие достижения науки-2013», София, 2013. С. 72-77.

8. Акулова, М. В. Производство строительных материалов на основе отходов промышленности и местных сырьевых ресурсов Западного Казахстана / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, Ж.Б. Тукашев, М. Д. Джумабаев, А. М. Сартова // Материалы Международной научно-практической конференции «Новейшие достижения науки-2013», София, 2013. С. 77-82.

9. Акулова, М. В. Исследование свойств вяжущих на основе отходов нефтегазовой промышленности Казахстана / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, Ж. Б. Тукашев, М. Д. Джумабаев, А. М. Сартова // материалы Международной научно-практической конференции «Дни науки-2013», Прага, 2013. С. 78-83.

10. Акулова, М. В. Разработка и исследование свойств вяжущих на основе отходов промышленности / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, М.Д. Джумабаев, А. М. Сартова // Вестник Российской академии архитектурно-строительных наук, Курск-Воронеж, 2013. С. 256-260.

11. Акулова, М. В. Повышение физико-механических свойств арболита путем пропитки / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, М. Д. Джумабаев, А. М. Сартова // материалы круглого стола посвященного научной школе академика РААСН, доктора технических наук, профессора С.В. Федосова, Ивановского государственного политехнического университета, Иваново, 2013. С. 54- 57.

12. Акулова, М. В. Исследование свойств щелочного вяжущего на основе высококальциевой золы-уноса /М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, М. Д. Джумабаев, А. М. Сартова // Информационная среда вуза: Мат-лы XX Междунар. науч.-техн. конф. – Иваново: ИГАСУ, 2013. - С. 219 – 221.