

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Ивановский государственный политехнический университет

На правах рукописи

ДЖУМАБАЕВ Мурат Давлетович

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

Специальность 05.23.05- Строительные материалы и изделия

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель:
советник РААСН, д. т. н., профессор
Акулова Марина Владимировна

Иваново 2016

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. Разработка теоретических принципов получения легкого арболита на основе композиционных цементнозольношламовых вяжущих и скорлупы грецкого ореха	14
1.1 Теоретические и практические предпосылки создания арболитобетонов на основе минеральных и органических отходов промышленности и сельского хозяйства	14
1.2 Арболитобетон, его виды, состав и свойства	17
1.3 Виды вяжущих веществ и добавок, используемых в арболитобетонах и их влияние на свойства бетонного камня	31
1.4 Разновидности органических заполнителей, применяемых при производстве арболитобетона и их влияние на свойства материала	36
1.5 Теоретические и практические предпосылки разработки и исследования арболитобетонов на основе местных отходов промышленности и сельского хозяйства	42
1.6 Технологические особенности получения цементнозольношламовых (ЦЗШ) вяжущих веществ	45
1.7 Теоретические основы и принципы активации ЦЗШ вяжущих материалов	47
Выводы по главе 1	58
Глава 2. Методика разработки и сырьевые смеси для получения эффективного вяжущего на основе цементнозольной смеси с добавками бокситового шлама	59
2.1 Сырьевые материалы, применяемые в работе и их характеристика	59
2.2 Методика испытаний для получения цементнозольношламовых вяжущих составов	62
2.3 Измельчение органического заполнителя на основе скорлупы грецкого ореха	67
Выводы по главе 2	69

Глава 3. Разработка составов и исследование свойств цементнозольношламового легкого арболита с использованием твердых органических отходов скорлупы грецкого ореха	70
3.1 Разработка цементозольношламового вяжущего состава методом комплексной электромеханической активации для легких арболитобетонов	70
3.1.1 Исследование механизма активации цементнозольношламовой вяжущей смеси при комплексном электромеханическом воздействии	77
3.1.2 Исследование процессов взаимодействия и образования фазового состава комплексных вяжущих композиций с золошламовыми добавками	79
3.2 Разработка арболитобетона на основе цементнозольношламовой смеси и измельченной скорлупы грецкого ореха	87
3.3 Разработка состава цементнозольношламового вяжущего с помощью метода регрессионного анализа	90
3.4 Исследование свойств цементнозольношламового арболитобетона на основе органического заполнителя из измельченной скорлупы грецкого ореха.....	98
3.4.1 Влияние органических заполнителей на основе измельченной скорлупы грецкого ореха и вяжущих на физико-механические характеристики и технологические особенности получения цементнозольношламового арболита	98
3.4.2 Анализ химического состава органического заполнителя и его адгезионной способности с цементнозолошламовым вяжущим	100
3.4.3 Технологическая схема нейтрализации экстрактивных веществ из скорлупы грецкого ореха	103
3.4.4 Определение факторов, влияющих на физико-механические характеристики цементнозолошламового арболита на измельченной скорлупе грецкого ореха	104
Выводы по главе 3.	114

ГЛАВА 4. Производственное внедрение результатов исследований и технико-экономическая оценка технологий производства цементнозольношламового арболита при изготовлении стеновых блоков	116
4.1 Технология цементнозольношламового арболита на вяжущей смеси, активированной комплексным электромеханическим способом, и заполнителе из измельченной скорлупы грецкого ореха	116
4.2 Производственное внедрение цементнозольношламового арболита на заполнителе из измельченной скорлупы грецкого ореха и его технико-экономическая эффективность	118
Выводы по главе 4	126
Заключение.....	127
Список использованной литературы	130
Приложения.....	145

ВВЕДЕНИЕ

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 конструкционно-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 наполнителем 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. Бурова, 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 цементнозольношламовых 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 цементнозольношламовых 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 цементнозольношламового 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 цементнозольношламового 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 цементнозольношламовых 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 цементнозольношламовых 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 наполнителем 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 наполнителе 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 цементнозольношламовых 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 цементнозольношламовых вяжущих;
- закономерности получения цементнозольношламовых вяжущих активированных комплексным электромеханическим способом с добавкой высококальциевой золы-уноса и бокситового шлама повышенной адгезионной способности к органическим заполнителям арболитобетона;
- установленные возможности повышения прочностных свойств цементнозольношламовых 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 цементнозольношламового арболита;
- процессы, происходящие при обработке органического заполнителя минерализующимися растворами, приводящие к улучшению прочностных свойств органического компонента в составе арболита;
- результаты производственных испытаний и внедрения, разработанных цементнозольношламовых мелкозернистых 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».

Глава 1. РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЛЕГКОГО АРБОЛИТА НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ЦЕМЕНТОЗОЛЬНОШЛАМОВЫХ ВЯЖУЩИХ И СКОРЛУПЫ ГРЕЦКОГО ОРЕХА

1.1. Теоретические и практические предпосылки создания арболитобетонов основе минеральных и органических отходов промышленности и сельского хозяйства

Охрана окружающей среды является одной из глобальных проблем, стоящих перед человечеством. Эта проблема тесно связана с вопросом использования в строительной индустрии отходов различных отраслей промышленности, накапливающихся в отвалах. Несмотря на высокую технико-экономическую эффективность, объем применения отходов при изготовлении легких бетонов составляет лишь 27% от общего их выпуска. Проблема утилизации отходов приобретает еще большую актуальность в связи с высокими темпами развития металлургических, энергетических, химических и горнодобывающих производств, в которых конечный продукт составляет лишь незначительную часть переработанного сырья. В результате отвалы образующихся при этом отходов занимают большие площади, в том числе пригодные к использованию для сельскохозяйственных и народнохозяйственных потребностей, а на их удаление затрачиваются значительные средства [72].

В последнее время все большее внимание уделяется разработке технологических процессов и схем, внедрение которых позволило бы уменьшить количество промышленных отходов и обеспечить их максимальную утилизацию, в том числе в промышленности строительных материалов. Это особенно важно для тех регионов, где нет достаточного количества сырьевых ресурсов, но в избытке имеются промышленные отходы металлургических, энергетических и горнодобывающих производств [72].

По своему химическому составу и свойствам промышленные отходы близки к природному сырью, используемому в промышленности строительных

материалов, а иногда даже превосходят его. Поэтому они могут служить полноценным и экономичным его заменителем [72].

Так как многие отходы применяются в промышленности строительных материалов в недостаточной степени, задача комплексного использования промышленных отходов для получения строительных материалов на их основе весьма актуальна. Особенно, если учесть, что не во всех регионах имеются ресурсы природных кварцевых песков, пригодных для производства автоклавных легких бетонов. Например, в большинстве районов Сибири, Кавказа, Средней Азии и Казахстана запасы кварцевых песков невелики, но зато имеются большие запасы промышленных отходов, которые могут служить сырьем для производства эффективных строительных материалов. Поэтому большое значение приобретает их технологическая оценка с целью применения промышленных отходов в производстве легких бетонов [72].

Республики Центральной Азии располагают огромными ресурсами промышленных отходов, которые в значительной степени могут быть использованы в наиболее материалоемкой отрасли промышленного производства, каким является производство бетонов. Современные требования строительного рынка диктуют необходимость изыскания новых источников сырья, в частности, для производства местных вяжущих веществ [72].

К таким сырьевым ресурсам в Республиках Центральной Азии можно отнести следующие материалы [2,72]:

- зола – унос Экибастузской и Нукусской ТЭС и Ангренский ГРЭС;
- золошлаки литейного производства Павлодарского тракторного и Бекабадского электросталеплавильного заводов;
- электротермофосфорный шлак Ново – Джамбульского фосфорного завода;
- ферро шлак Актюбинского завода ферросплавов;
- гранулированный доменный шлак Карагандинского металлургического завода;
- фосфорный шлак Чимкентского производственного объединения «Фосфор»;

- бокситовый шлам Кустанайского горнорудного месторождения и другие отходы горнодобывающих производств Средней Азии и Казахстана.

Разработки и работы в области технологии композитных материалов, позволяющие улучшить свойства строительных материалов, получили отражение в трудах Н. И. Абраменко, А. А. Акчабаева, Г. А. Батырбаева, К. А. Бисенова, Ю. М. Баженова, П. И. Боженова, Г. А. Бужевича, Ю. М. Бутта, С. В. Федосова, А. В. Волженского, В. Д. Глуховского, М. В. Акуловой, Б. Р. Исакулова, И. К. Касымова, К. С. Макешева, М. А. Маменова, Ю. Г. Мещерякова, А. И. Миноса, В. В. Некрасова, А. В. Нехорошева, О. Н. Петропавловского, В. В. Попова, Ш. М. Рахимбаева, И. А. Рыбьева, В. И. Савина, С. И. Сулейменова, А. А. Тулаганова и других [3,7,8,10,12,14, 22,23,24,30,32,37,39,47,60,61,63,72,73,74,79,80,90,93,102, 105,107,108,110,113, 139,140,144].

Благодаря их исследованиям, в производстве арболитобетонов широко используются отходы горнодобывающей и топливно-энергетической отраслей [72].

Расширение объемов строительства в странах СНГ и зарубежья вызывает всевозрастающую потребность в строительных материалах. Одним из путей решения этой проблемы является создание на основе местных ресурсов и отходов производств высокоэффективных материалов для изготовления строительных материалов и конструкций различного назначения. В связи с этим создание конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов с применением вторичных ресурсов на сегодняшний день является наиболее актуальным [1, 3- 6, 11, 12,73]. К таким материалам относятся арболитобетонные композиционные материалы на заполнителях растительного происхождения [72].

В республиках Центральной Азии строительство, как отрасль народного хозяйства, занимает одно из первых мест по использованию материальных ресурсов. В настоящее время в этом регионе в связи с ростом строительства ощущается большая потребность в строительных материалах и изделиях, в частности бетона. В свою очередь это требует большого объема экспорта дорогостоящего цемента. Поэтому в странах этого региона остро стоит вопрос

снижения расхода цемента за счет применения местных отходов различных отраслей промышленности и сельского хозяйства в виде наполнителей и добавок [1,9].

Регион Центральной Азии испытывает огромный дефицит в минеральных пористых заполнителях и древесных материалах. В этих условиях наиболее актуальна замена вышеуказанных материалов новыми материалами, более эффективными с использованием органических растительных отходов, таких как стебли хлопчатника, стеблей тростника камыша, рисовая солома и лузга, костры кенафа и конопли, твердые органические отходы сельского хозяйства и другие. Тем более что они ежегодно восстанавливаются с их воспроизводством. Выполненные в различных научно – исследовательских и учебных институтах исследования подтвердили принципиальную возможность получения легких бетонов пористой и плотной структуры с использованием различных отходов промышленности и растительности [72,73].

1.2 Арболитобетон, его виды, состав и свойства

В настоящее время имеются различные виды арболитобетонов, которые отличаются видом вяжущих составов, органических заполнителей и химических добавок. Арболит (ГОСТ 19222 «Арболит и изделия из него») относится к группе легких бетонов-конгломератов с композитной волокнистой структурой, основными компонентами которой являются стружки древесного органического заполнителя и минеральное вяжущее вещество [1–6, 9-14]. В странах СНГ, в том числе России, более 60 научных, проектных и учебных организаций занимаются исследовательскими и проектными работами в области арболита, а более 30 предприятий, в том числе в регионах Центральной Азии, производят изделия и конструкции из арболита. Построено множество жилых домов, административно-управленческих зданий, зданий производственного назначения, школ, лечебных учреждений, механических и ремонтных мастерских. В сельскохозяйственном строительстве Краснодарского и Красноярского краев, Архангельской, Владимирской, Нижегородской, Орловской, Саратовской и ряда других областей

широко применяются конструкции из арболита. Их применение оказалось эффективным даже в суровых условиях Якутии, Сибири, Заполярного края и Антарктиды [15,16,112,76,72].

Увеличение объемов выпуска легких бетонов на сегодняшний день является одним из основных задач, стоящих перед производителями строительных материалов. Это обусловлено необходимостью снижения массы современных зданий и сооружений.

Так, возникла потребность получения и широкого внедрения в производство высокопрочных легких арболитобетонов с прочностью при сжатии от 3 до 6 МПа и более при плотности не более 700 кг/м³ [22]. По прогнозам зарубежных ученых, к 2020 году будут изготавливаться легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны с плотностью от 800–1200 кг/м³ и прочностью при сжатии от 25 до 70 МПа, использование которых позволит сооружать железобетонные здания высотой более 100 этажей [102].

В строительстве арболит применяется как утеплитель и стеновой материал в виде мелкогазобетонных блоков и панелей в малоэтажном строительстве и как материал для перегородок, навесных стеновых панелей и плит перекрытий под небольшие нагрузки также и в многоэтажном строительстве [1–6,9-14]. Одной из отличительных свойств арболита является его способность поддерживать нормальный микроклимат в помещении, исключая образование конденсата на поверхности ограждающих конструкций.

Легкие пористые частицы заполнителя снижают плотность, коэффициент теплопроводности, хрупкость изделий, улучшают теплозащитные, гигиенические и эксплуатационные свойства материала, а также позволяют распиливать и обрабатывать арболит различным инструментом [1,2,15–18]. Минеральное вяжущее придает арболиту прочность, биологическую стойкость, огнестойкость, морозостойкость и другие свойства, увеличивающие долговечность.

На прочность и структуру арболита влияют предел прочности частиц заполнителя, количество водорастворимых, экстрактивных веществ, противодействующих схватыванию и твердению вяжущего, форма, размеры

частиц заполнителя, степень их водонасыщения и усушки, а также показатели удобоукладываемости арболитовой смеси, которые выявляются в процессе уплотнения и формования готовых изделий [15,32].

От влажности зависит предел прочности арболита. И это наиболее заметно в диапазоне влажности от 0 до 60%. При этом арболит с равновесной влажностью 16,5–17% имеет наибольшую прочность, а образцы абсолютно сухого арболита и с влажностью более 70% – наименьшую прочность [1,3, 10,11]. Это объясняется тем, что частицы органического заполнителя, находящегося в арболите, при изменении влажности от 30 % (от точки насыщения клеток растительного волокна) до 0% уменьшаются в объеме из-за сушки в среднем на 12–15%, вследствие чего нарушается сцепление их с цементным камнем. Увеличение влажности арболита также приводит к снижению его прочности из-за набухания частиц заполнителя и снижения их связи с затвердевшим цементным камнем [16,19]. Прочностные свойства арболита находятся в обратной зависимости от количественного содержания коры в древесном заполнителе. Прочность отрыва от арболита отделочного слоя из цементно-песчаного раствора составляет 1,4–1,8 МПа после циклов попеременного замораживания и оттаивания, что удовлетворяет требованиям инструкций ГОСТ 25820, ГОСТ 7473, ГОСТ 10060.0, ГОСТ 10060.1, СН-277 [73].

В зависимости от профиля поверхности стержней (гладкие, рифленые) и вида защитной обмазки на 7-е сутки величина сцепления арболита с металлической арматурой равна 0,1–0,3 МПа [41,46].

Водопоглощение незащищенного покрытием арболита, в среднем составляет 60% по массе. Уменьшить водопоглощение арболита в конструкциях можно путем его офактуривания и нанесения на его поверхность различных гидрофобных пленок.

Показатели морозостойкости изделий из арболита зависят от прочности арболита и его наружных отделочных слоев. Они должны быть [5,60,62–63]:

- для конструкционно-теплоизоляционных изделий, применяемых в зданиях с относительной влажностью воздуха помещений менее 60%, – не менее 25 циклов;

- для конструкционно-теплоизоляционных изделий, применяемых в зданиях с относительной влажностью 60–70%, – не менее 35 циклов;

- для раствора или бетона наружного отделочного слоя – не менее 50 циклов.

Величина сорбционного увлажнения арболита, изготовленного на портландцементе, зависит от его плотности, видов применяемого органического заполнителя и минерализатора. Его величина колеблется от 4,5 до 12% к массе сухого материала при температуре воздуха 20°C и относительной влажности 40–90 % [73].

Коэффициент паропроницаемости равен 0,11 мг/(мчПа) при плотности арболита 700 кг/м³, влажности воздуха 60% и температуре 23 °C [73].

Коэффициент воздухопроницаемости арболита, определенный на образцах в зависимости от скорости ветра, согласно ГОСТ 31167 и ГОСТ 26602.2, составляет 0,5 кг/м²ч [5,60,63].

Согласно ГОСТ 19222 «Арболит и изделия из него», влажность арболита в изделиях при отгрузке их потребителю не должна превышать 25% по массе. Величина усадки арболита по мере его высыхания равна в среднем 0,5%. Арболитовые изделия до монтажа строительных конструкций должны иметь минимальную влажность из-за повышенной его усадки. В воде набухание арболита составляет 0,25–2%. Поэтому материал из арболита во влажных помещениях должен иметь гидроизоляцию поверхности [5,41,60,63].

В зависимости от плотности материала удельная теплоемкость арболита в сухом состоянии колеблется в пределах 1720–1045 Дж.

Теплофизические свойства арболита зависят:

- от плотности;
- вида заполнителя и характера расположения его частиц;
- количества цемента;
- пористости материала и других факторов.

По сравнению с минеральными материалами удельная теплоемкость арболитов в 2–3 раза выше. Коэффициенты теплоусвоения и зависящие от них характеристики тепловой инерции у легких бетонов на органических

заполнителях почти в 2 раза выше, чем у бетонов с минеральными составляющими. Это может иметь большое значение для поддержания устойчивых тепловых режимов в помещениях в условиях холодных районов, при нерегулируемых автономных средствах систем отопления. Изготовленные арболитовые конструкции наружных стен удовлетворяют требованиям СНиП по теплозащите и теплоустойчивости [20,21,23].

Исследованиями Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций им. В.А. Кучеренко установлено, что при соблюдении строительных норм и правил арболит – биостойкий материал, трудно заражаемый грибами. По степени биостойкости он относится к V группе и обеспечивает достаточную долговечность зданий, в то время как плитные древесные материалы (ДВП, ДСП) относятся к VI–VII группам.

Арболит относится к трудно сгораемым материалам. У арболитовых панелей толщиной 200 мм и плотностью 400 кг/м³ предел огнестойкости 0,75 ч. [5, 66]. При фактической плотности 620–650 кг/м³ у оштукатуренного двумя слоями цементно-песчаного раствора толщиной 25 мм арболита огнестойкость достигает 1,5 ч. [5,63,73].

Использованием эффективных технологических приемов, введением поверхностно-активных и минеральных добавок и т.п. в ряде случаев можно достигнуть повышения прочности арболита и улучшения других его свойств.

Арболит по своим строительным, экономическим и эксплуатационным свойствам является эффективным строительным материалом. Об этом свидетельствует отечественный и зарубежный опыт применения этого материала. Однако возросшие требования к качеству арболита ставят задачу по дальнейшему повышению прочностных показателей этого вида материала с оптимальной структурой. Поэтому в настоящее время разрабатываются новые и совершенствуются известные составы и способы изготовления арболитовых изделий и конструкций [72,73].

1. Арболитобетон на древесном заполнителе. За рубежом использование отходов деревообработки для получения строительных материалов как арболит на

минеральном вяжущем и органическом заполнителе получило широкое распространение. Это «Велокс» в Австрии, «Вундстроун» в США, «Дурипанель» в Германии, «Дюризол» в Швейцарии, «Пилинобетон» в Чехии, «Честери-Боад» в Японии. Эти материалы хорошо себя зарекомендовали и широко применяются при возведении одноэтажных и высотных зданий различного назначения [15,91,111,133].

В Голландии в начале 30-х годов XX века впервые в виде изоляционных плит был изготовлен материал «элтазол» или «арболит». С применением их в наружных стенах в оштукатуренном виде было построено здание, которое в настоящее время служит в качестве испытательного объекта для этого материала [72].

Основатели швейцарской фирмы «Дюризол» А.Шнелл и Боснард в 1937 году наладили производство этого материала в Бельгии с аналогичным названием [72]. В Швейцарии в городе Диэтикон в 1939 году был основан лицензионный завод мощностью 50 тыс. м³ в год, который вскоре принял на себя руководство Бельгийскими предприятиями. Дюризол, в связи с большой потребностью административных и военных зданий, госпиталей, казарм и других, во время войны применялся совместно с конструкцией, состоящей из деревянного каркаса и панелей. В таких зданиях Дюризол используется для оснований, покрытий и наружных стен. Хотя они в свое время предусматривались только для временной эксплуатации, большая часть этих сооружений еще существует [2,72].

В последние годы по лицензии фирмы «Дюризол» работают 20 заводов в 12 странах, таких как Германия, Индия, Индонезия, Канада, Франция Япония и другие. Мощность действующих заводов по производству Дюризол только в Европе составляет около 2 млн. м³ изделий в год [15].

В бывшем СССР с 1959 года по инициативе Ф.Л. Вароксина, П.Н.Ершова и Е. Ю. Кобцева начали изготавливать арболит [91]. Физико-механические свойства и расход компонентов различных видов арболитобетона на древесном заполнителе приведены в Таблице 1.1 [92].

Физико-механические свойства и расход компонентов различных видов арболитобетона на древесном заполнителе

Физико-механические свойства и расход компонентов арболитовых композиций	Виды арболитобетонов на древесном заполнителе			
	Дюризол (Швейцария)	Велокс (Австрия)	Пилонобетон (Чехия)	Арболитобетон (СНГ)
Плотность, кг/м ³	600 - 700	550 - 600	600 - 700	500 - 800
Предел прочности при сжатии, МПа	1,5 – 3,5	-	1,97	1,0 – 3,5
Предел прочности при изгибе, МПа	0,9 – 1,2	1,2 – 2,2	1,45	0,5 – 0,95
Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	-	-	-	0,16
Морозостойкость, цикл	-	-	-	25 - 35
Расход компонентов, кг на 1 м ³ арболитобетона:				
- древесный заполнитель	200 – 230	366 – 414	166	180 – 240
- цемент	325 – 350	200	411	280 – 400
- химические добавки	37	16	16,5	8
- вода	70 - 100	150	284	300 - 400

Зависимость плотности арболитобетона на разных древесных заполнителях от его прочности приведена в Таблице 1.2 [73].

Таблица 1.2

Зависимость плотности арболитобетона на разных древесных заполнителях от его прочности

Предел прочности арболита при сжатии, МПа	Плотность арболита, кг/м ³	
	на древесной дробленке и отходах	на одубине
1,0	400/500	550
1,5	500/550	600
2,0	600/650	700
2,5	650/700	750
3,5	700/750	800

Показатели арболита на различных видах древесной дробленки приведены в Таблице 1.3 [73].

Показатели арболита на различных видах древесной дробленки

Вид арболита	Плотность в сухом состоянии, кг/м ³	Влажность, %	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)
На хвойной дробленке	520–720	6,2–12,4	0,11–0,20
На березовой дробленке	590–710	8,1–12,7	0,13–0,22
На буковой дробленке	660–770	9,4–16,0	0,12–0,26
На осиновой дробленке	440–650	7,8–9,2	0,08–0,19

Сочетающий в себе органический наполнитель и цементный камень арболит почти не поддается микробиологической коррозии. Это объясняется тем, что древесный наполнитель обрабатывается различными химическими добавками, которые одновременно играют роль антисептиков, а сами древесные частицы покрыты слоем затвердевшего цементного клея [5,19,20].

2. Шлакощелочной арболитобетон. В работах [15–17] установлено, что при использовании в качестве древесного наполнителя материалов, получаемых из отходов деревообработки, можно получить шлакощелочной теплоизоляционно-конструкционный и конструкционный арболит, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 19222 и ГОСТ 25820, а при использовании опилок – теплоизоляционный арболит. Получение арболитовых изделий из кальциевых, цементных, шлакощелочных вяжущих и древесных отходов научно обосновано и подтверждено практикой строительного производства [1,3,10,11].

В зависимости от типа наполнителя прочность шлакощелочного арболита возрастает в ряду: опилки – стружка – дробленка. Для шлакощелочного арболита на основе шлака оптимальным щелочным компонентом является дисиликат натрия, который обеспечивает наибольшую прочность материала. Шлакощелочной арболит в течение длительного хранения характеризуется стабильной прочностью, имеющей тенденцию к возрастанию. Прочность

арболита на шлаке больше, чем арболита на портландцементе: на никелевом шлаке – в среднем в 1,5 раза; на доменных шлаках – в 2 раза [17]. Прочность шлакощелочного арболита возрастает с увеличением расхода вяжущего и плотности арболита.

В работе [40] рассматриваются вопросы создания конструкционного арболита из шлака плотностью 450–500 кг/м³, раствора щелочного компонента плотностью 1250–1300 кг/м³ – 300–360 л/м³ и органического заполнителя плотностью 100–140 кг/м³ с уплотнением смеси под давлением 0,2–0,4 МПа. Также рекомендуется проводить тепловую обработку изделий при изотермической выдержке при температуре 353°К.

3. Гипсопуццолановый арболит. В арболите на основе гипсопуццоланового вяжущего в качестве органического заполнителя могут быть использованы измельченные стружки древесины и гипсопуццолановое вяжущее. Эта технология:

- улучшает качество изделий, повышает однородность;
- уменьшает плотность;
- увеличивает морозостойкость;
- снижает коэффициент теплопроводности.

Получение гипсопуццоланового арболита осуществляется по типовой схеме, аналогичной изготовлению бетонных изделий. Составы и свойства гипсопуццоланового арболита показаны в Таблице 1.4 [5,73,134].

4. Поризованный арболитобетон. Проведенные в НИИЖБ исследования, показали, что повысить эффективность производства, упростить технологию изготовления изделий из арболита и улучшить свойства материала можно целенаправленным изменением свойств и структуры арболитовой смеси путем поризации и добавлением промышленных отходов. Исследования указывают на повышенную деформативность этого материала, что требует постановки дополнительных опытных работ [15,101].

Составы и свойства гипсопуццоланового арболита

Наименование показателей	Ед. изм.	Величина показателей для арболита в зависимости от класса				
		В 0,75	В 1,0	В 1,5	В 2,5	В 3,5
Расход пуццоланового цемента марки 400	кг/м ³	250	280	300	325	350
Расход гипса марки 100	кг/м ³	100	100	100	110	120
Расход сухих органических заполнителей	кг/м ³	175	195	215	235	250
Расход воды при сухих органических заполнителях	л/м ³	270	300	325	350	370
Расход молотого песка	кг/м ³	75	80	85	90	95
Расход минерализаторов:						
- жидкое стекло	кг/м ³	10	10	12	12	12
- хлористый кальций	кг/м ³	6	6	6	6	8
Плотность	кг/м ³	400– 430	450– 460	500– 540	540– 590	590– 640
Предел прочности при сжатии	МПа	0,3	0,6	0,95	1,65	2,1
Водопоглощение, масс.	%	95	85	75	67	45
Морозостойкость	цикл	5	20	35	50	75
Коэффициент теплопроводности	Вт/м ² К	0,05	0,065	0,085	0,10	0,135

Поризованный арболитобетон относится к легким бетонам - конгломератам. Введение на стадии приготовления технической пены способствует образованию в арболитовой смеси высокодисперсной эмульсии воздуха. В результате этого устраняется непосредственное трение твердых частиц арболитовой смеси, а это способствует их равномерному распределению при перемешивании вместе с цементом и плотной упаковке при формировании изделий. В качестве органического заполнителя по этой технологии могут быть использованы измельченные стружки древесины. Способ поризации [73]:

- улучшает качество изделий;
- повышает однородность структуры;

- уменьшает плотность;
- увеличивает морозостойкость;
- снижает коэффициент теплопроводности.

Получение поризованного арболита осуществляется по типовой схеме, но с добавлением пеногенератора, соединенного с двумя накопительными баками и электромотором мощностью 8–12 кВт и не менее 3000 об/мин. [73]. Путем поризации смеси технической пеной в сочетании с ускорителями твердения и замедлителя твердения – гипса, в период формирования выполняющего роль стабилизатора пены, достигается улучшение свойств и структуры арболита. Смесь поризованного арболита включает древесные дробленки, цемент, гипс, химические добавки и пенообразующую жидкость [22–24]. Для минерализации органического заполнителя и ускорения процесса твердения, вяжущего целесообразно применять комплексные добавки, состоящие из жидкого стекла, водных растворов хлорида кальция [73]. Первичные и вторичные алкидсульфаты, а также жидко стекольный пенообразователь и гидролизованная кровь (ГК), имеющаяся в большом количестве на мясокомбинатах, рекомендуются для получения устойчивости пены [73]. Для создания устойчивой пены жидкостный состав пенообразователей совместно с водным раствором калия прогоняют в системе замкнутого цикла пеногенератора в течение 20–30 минут и после этого с компонентами арболитовой смеси подают в пенобетонмешалку [73]. Поризованная арболитовая смесь отличается высокой связанностью, повышенной влажностью и удобоукладываемостью. Поэтому применение такой смеси значительно упрощает процессы формирования изделий. Поризованная смесь формируется в течение 10 минут изготовления. После на виброплощадках с помощью площадочных вибраторов, вибронасадок и т.д. смесь уплотняется вибрацией (без пригруза). Так как поризованный арболит имеет слитное строение с упорядоченной замкнутой пористостью, то при этом могут изготавливаться конструкции любой конфигурации (глухие, с оконными или дверными проемами и т.д.) с высоким качеством всех поверхностей изделий. При изготовлении панелей наружных стен в горизонтальных формах лицевой поверхностью вверх

их можно формировать без внутреннего (нижнего) фактурного слоя, так как благодаря слитному строению поризованная арболитовая смесь обеспечивает гладкую, не требующую штукатурки поверхность. После уплотнения смеси она подвергается тепловой обработке. Изделие прогревается при температуре 50–60° и относительной влажности воздуха 60–80%. Составы и свойства поризованного арболита приведены в Таблице 1.5 [73].

Таблица 1.5

Составы и свойства поризованного арболита

Наименование показателей	Ед. изм.	Величина показателей для арболита в зависимости от класса				
		В 0,75	В 1,0	В 1,5	В 2,5	В 3,5
1. Расход цемента марки 400	кг/м ³	250	280	300	325	350
3. Расход сухой дробленки	кг/м ³	175	195	215	235	250
4. Расход воды при сухих органических заполнителях	л/м ³	270	300	325	350	370
5. Расход жидкости в пенообразном состоянии	л/м ³	60	60	60	80	90
6. Расход молотого песка	кг/м ³	75	80	85	90	95
7. Расход мраморной пыли	кг/м ³	5	6	6,5	7	7,5
8. Расход жидкого стекла	кг/м ³	10	10	12	12	12
9. Расход хлористого кальция	кг/м ³	6	6	6	6	8
10. Расход закрепителя пены во взвешенном состоянии	г/л	10–12	11–13	12–14	13–15	15–16
11. Плотность в высушенном состоянии	кг/м ³	400–430	450–460	500–540	540–590	660–650
12. Предел прочности при сжатии	МПа	0,3	0,6	0,95	1,65	2,1
13. Водопоглощение по массе	%	95	85	75	67	45
14. Морозостойкость	цикл	5	20	35	50	75
15. Коэффициент теплопроводности	Вт/м ² К	0,05	0,065	0,085	0,10	0,135

5. Арболитобетон на основе растительных отходов. В зависимости от региона для получения арболитовой смеси применяют различные органические заполнители, минеральные вяжущие вещества, водные растворы различных химических добавок и воду [73].

Применяемый в производстве арболита органический заполнитель может быть двух основных видов:

- древесный. Исходным сырьем для него служат низкокачественная древесина, а также отходы ее производства [121];
- отходы сельскохозяйственного производства (костра льна, рисовая солома, стебли хлопчатника, тростника и т.п.) [15,25].

В Алма-Атинском НИИстройпроекте Министерства промышленности стройматериалов Казахстана была изучена возможность изготовления арболита на измельченных стеблях хлопчатника и рисовой лузги на цементном вяжущем классов В 1,0-1,5. На их основе на опытно-экспериментальном предприятии этого института выпущены панели размером 3,0 x 1,5 x 0,2 м. Они по прочности отвечают требованиям ГОСТ 19222 «Арболит и изделия из него» и могут быть использованы в качестве теплоизоляционного и конструкционного материала [35,86].

Одним из важных требований, влияющих на качество арболита на измельченных стеблях хлопчатника, является подготовка органического заполнителя, то есть сбор, пакетирование, транспортирование и хранение стеблей хлопчатника, растворение и частичная промывка водозэкстрактивных веществ заполнителя для устранения их вредного действия на твердение вяжущего.

В составе арболита портландцемент является основным связующим элементом, а добавки нейтрализуют вредное действие водозэкстрактивных веществ заполнителя на твердение цемента, ускоряют и усиливают его связующую способность. Технология приготовления заполнителей из однолетних растений включает измельчение и фракционирование состава частиц на решетке с диаметрами отверстий 10,15,18,20,28,35 мм [73].

В работах [24,34,38] исследователями предложены арболитовые составы на тонкомолотых шлаках и технология их изготовления виброштампованием. Для изготовления арболитовых изделий тонкомолотый фосфорный шлак перемешивался с дробленными стеблями хлопчатника или рисовой лузгой и с водным раствором жидкого стекла. Отмечено, что замена портландцемента шлакощелочным вяжущим исключает из технологии операции вымачивания заполнителя, поскольку при твердении системы «шлакощелочное вяжущее – органический заполнитель» не образуются соединения, вредно влияющие на твердение арболита. Кроме того, при этом исключается применение и химических добавок: минерализаторов и ускорителей твердения портландцементного арболита.

Научный и практический интерес вызывают работы [3,29,41], направленные на разработку и исследование органоминеральных композиционных материалов на основе безобжиговых щелочных вяжущих и отходов сельского хозяйства.

В работах [22,26,39,96] показано, что на основе отходов сельского хозяйства можно получить эффективный арболит при помощи высокотемпературной (до 80°C) тепловой обработки, позволяющей производить распалубку изделий.

В работах [22,42] доказано, что на основе костры кенафа, рисовой лузги и стеблей хлопчатника можно получить конструкционный арболит с прочностью 1,5–6 МПа при плотности 600–950 кг/м³.

Таким образом, специфической особенностью арболита является его структура, поэтому для получения высокопрочного арболита необходимо учитывать, что органический заполнитель имеет высокое водопоглощение. Кроме того, для создания арболита на сельскохозяйственных отходах первоочередной задачей является изучение экстрактивных веществ, от содержания которых зависят показатели получаемого материала [73].

1.3 Виды вяжущих веществ и добавок, используемых в арболитобетонах и их влияние на свойства бетонного камня

Рост индивидуального строительства в республиках Центральной Азии вызывает возрастающую потребность в строительных материалах. Поэтому наличие в каждом регионе ресурсов для получения местных вяжущих и материалов на их основе, отвечающих высоким техническим требованиям и способствующих сохранению окружающей среды, является актуальным в современных условиях [72,73]. А использование в получении местных вяжущих промышленных отходов способствует решению следующих задач:

- утилизации местных отходов в производстве строительных материалов;
- улучшению экологической ситуации в регионе;
- уменьшению объемов ввоза в регион дорогостоящих строительных материалов и тем самым удешевлению строительства.

В настоящее время в производстве используются различные виды вяжущих веществ, как:

1. Шлакощелочное вяжущее. Это гидравлическое вяжущее вещество, твердеющее в воде и на воздухе. До середины 50-х годов использование соединений щелочных металлов допускалось только как воздушных вяжущих, способных твердеть не в процессе гидратации, а за счет химического взаимодействия с различными веществами, в результате которого происходит связывание едких щелочей в растворимые соли и коагуляция геля кремниевой кислоты [72].

Экспериментами было доказано, что свойства гидравлических вяжущих веществ, наряду с соединениями щелочноземельных металлов, присущи соединениям щелочных металлов [55,62,72].

Установлено, что в продуктах синтеза вяжущих систем на основе каолинита или монтмориллонита и гидроксида натрия или силиката натрия с $M_c = 1-2$ в естественных условиях и при пропаривании формируется цеолитоподобный продукт в составе нефелин-гидрата $Na_2OAl_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$, по структуре

аналогичный природным минералам типа содалитов. Показано, что такое же соединение образуется на основе каолинита и при низкотемпературной (373 – 573 К) термальной обработке в случае использования в качестве щелочного компонента несиликатных солей соединения щелочных металлов, дающих щелочную реакцию, например, карбоната натрия [123,125,72].

На базе установленных закономерностей разработаны принципиально новые гидравлические вяжущие вещества на основе соединений щелочных металлов, технология их получения, физико-механические, эксплуатационные и специальные свойства которых хорошо известны [72].

В работах [123,125] показано, что состав продуктов гидратации шлакощелочного вяжущего вещества определяется минералогическим и химическим составом шлаков, природой щелочного компонента, условиями твердения.

Активность шлакощелочных вяжущих при испытании в растворе 1:3 изменяется в пределах 30 – 140 МПа [55,56,72].

Анализ данных, полученных исследователями, работающими в области шлакощелочных вяжущих, свидетельствует о том, что одной из особенностей этих вяжущих веществ является возможность использования в материалах на их основе веществ, представляющих собой некондиционное сырье различного минералогического состава искусственного и природного происхождения [62,123,125,72].

На основе шлакощелочных вяжущих получены все виды бетонов [78, 287, 288], в том числе бетоны на органических заполнителях, то есть арболит. В работах [78,79,87,88,124] приведены исследования арболитовых композиций на основе сельскохозяйственных отходов.

Таким образом, теоретические основы щелочных гидравлических вяжущих реализованы в новых видах вяжущих веществ. Эти вещества принципиально отличаются от традиционных тем, что в их составе отсутствует известь и отщепляющий ее цемент, а синтез прочности искусственного камня обусловлен формированием в продуктах твердения щелочных алюмосиликатных

новообразований. Эти новообразования по вещественному составу моделируют природные минералы типа слюд и цеолитов, по аналогии с последними, определяющими его водостойкость и долговечность [72].

Щелочные вяжущие вещества в корне изменили представление о роли щелочных оксидов в синтезе искусственного камня и на десятилетия определили современные пути создания новых высокоэффективных вяжущих систем и коренного совершенствования свойств традиционных цементов [72].

2. Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее. Наиболее распространенной продукцией, изготавливаемой на основе смешанных вяжущих веществ, по - прежнему остаются бетоны. Для этих конгломератов используются те же компоненты, что и для обычных бетонов. Однако следует отметить и некоторую специфику взаимодействия соответствующих смешанных вяжущих веществ с водой [72].

В этой связи особый интерес представляют гипсоцементно-пуццолановые вяжущие (ГЦПВ) вещества. В них содержится до 75 % (по массе) строительного полуводного гипса, а смешанное вяжущее вещество, тем не менее, становится гидравлическим. В состоянии теста оно способно твердеть как во влажной, так и в водной среде, причем оно быстро схватывается и набирает прочность в ранние сроки подобно гипсу [72].

ГЦПВ, в отличие от гипса, имеет повышенную прочность, улучшенные деформативные характеристики, увеличенную водо – и морозостойкость. В сравнении с портландцементом ГЦПВ более сульфатостойкий и менее чувствительный к воздействию некоторых органических кислот вещество. Особенно на основе α – полугидрата гипсоцементно-пуццолановый камень приобретает большую плотность и прочность, улучшенные показатели водо – морозо – и атмосферостойкости. На формирование структуры и свойства гипсоцементно-пуццоланового камня и соответствующих конгломератов существенное влияние оказывает разновидность портландцемента как компонента ГЦПВ, его химико-минералогический состав. Как известно, при взаимодействии с водой портландцемент выделяет свободный гидроксид кальция. Он вступает в

химический контакт с кислой активной минеральной добавкой типа природного пуццоланизирующего вещества. В результате образуются силикаты кальция, а с алюминатной частью вяжущего вещества – гидросульфоалюминаты кальция [72].

Поэтому для ГЦПВ из цементных вяжущих предпочтительнее использовать некоторые пуццолановые и шлаковые портландцементы, а также низкоалюминатные цементы. Из активных минеральных добавок предпочтительнее вещества осадочного происхождения, например, высокоактивные трепела и некоторые виды опок, а также кислый шлак, керамзитовая пыль. Активные минеральные добавки снижают концентрацию гидрооксида кальция в водном растворе до пределов, при которых гидросульфоалюминат кальция возникает преимущественно в водной среде, а не на поверхности цементных частиц, что способствует упрочнению структуры цементного камня. Во-вторых, они химически связывают сульфаты, алюминаты и ферриты кальция в комплексные соединения, менее растворимые в воде по сравнению с исходными веществами. Это способствует гидравлическому твердению гипсоцементных композиций и повышают прочность и водостойкость гипсоцементно-пуццоланового камня и бетона. При применении в качестве минеральных добавок доменных шлаков целесообразно изготовление и применение в бетонах гипсошлакоцементного вяжущего (ГШЦВ) вещества с содержанием полуводного гипса или ангидрита примерно 40 – 65 %, 30 – 50 % кислого доменного шлака и 5 – 8 % портландцемента. Портландцемент в этой смеси играет роль щелочного активизатора шлаков. При повышенной активности доменных шлаков рекомендуется также добавлять 10 - 15 % пуццолановых добавок для снижения концентрации гидрооксида кальция до безопасных пределов с получением ГШЦПВ [72].

Формирование ГШЦВ – камня и ГШЦПВ – камня начинается сразу же после затворения вяжущего водой. Происходит гидратация полуводного гипса с образованием кристаллов двуводного гипса. Одновременно протекает реакция взаимодействия портландцементного клинкера с водой. Возникающие новообразования вступают в химический контакт с гипсом с образованием

кристаллов этtringита. Игольчатые кристаллы этtringита как бы армируют структуру камня и способствуют дополнительному уплотнению и упрочнению формирующегося каркаса из двухводного гипса в виде кристаллического сростка [72].

Следует отметить, что щелочность среды в этот период понижена за счет взаимодействий свободного гидроксида с активным минеральным веществом в виде пуццолановых (в ГЦПВ) или шлаковых (в ГШЦПВ) добавок. Поэтому снижается устойчивость кристаллической фазы высокоосновного гидроалюмината кальция, частично разлагается этtringит с переходом в более стабильную фазу [72].

В композициях, содержащих портландцемент, активные минеральные добавки, сульфаты кальция и воду, наряду с гидросульфалюминатом кальция и низкоосновными силикатами могут образоваться также гидрогранаты состава $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot (6-2)\text{H}_2\text{O}$, как было установлено Н. А. Тороповым и др. Могут образоваться также гидросиликаты и гидроалюминаты кальция состава $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSiO}_3 \cdot (12-13)\text{H}_2\text{O}$, или $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSiO}_3 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$, как это было отмечено в исследованиях Ляфюма, Флинта, Уэльса и др. Соединения подобного рода при их возникновении в гипсоцементных системах могут обуславливать упрочнение структуры затвердевшего камня, повышение его расчетной активности, и следовательно, прочности бетонов на его основе [72].

ГЦПВ обладает коротким сроком схватывания (4 – 7 минут), что вызывает иногда необходимость введения замедлителей процессов структурообразования. Выбор вида и количества ингибитора оказывает влияние на свойства камня. Сильнодействующими замедлителями схватывания являются коллоидные растворы органических веществ как казеин, кератин и др., которые, адсорбируясь на кристаллах гипса, препятствуют их контакту с водой. Например, добавление клеееизвесткового или кератинового замедлителя в малых количествах (0,2 – 0,4 %) отодвигает начало схватывания гипсового теста на 30 – 35 % без снижения прочности камня. Замедлители оказывают также пластифицирующие действия,

что позволяет снижать водопотребность гипсоцементно-пуццоланового вяжущего вещества [72].

Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие вещества на основе строительного гипса, изготовленного из природного гипсового камня, характеризуются сравнительно низкой активностью. Эти вяжущие целесообразно применять для изготовления легких теплоизоляционных и конструкционно-теплоизоляционных бетонов, например, для наружных стен малоэтажных зданий. На основе быстротвердеющих ГЦПВ получены арболиты марок 25-35, выдерживающие 25 и более циклов при стандартном испытании на морозостойкость [72]. В состав этих бетонов входит до 90 – 100 кг/м³ портландцемента марок 400 – 600. Портландцемент в смешанных вяжущих веществах и бетонах можно заменить попутными продуктами промышленности – доменными гранулированными шлаками, шламами хромитовых руд и др. [2, 72].

1.4 Разновидности органических заполнителей, применяемых при производстве арболитобетона и их влияние на свойства материала

В республиках Центральной Азии одно из первых мест по объему использования материальных ресурсов занимает строительный комплекс. Современный его размах ставит задачу решения вопросов экономного и рационального использования материальных ресурсов и требует новых высокоэффективных строительных материалов. Удешевление производства строительных материалов за счет использования местного сырья, в том числе различных отходов промышленности и сельского хозяйства, является одним из путей снижения себестоимости строительства. Решение этих вопросов приводит к экономии дорогостоящих материальных ресурсов, уменьшению объемов их ввоза в Центральную Азию из других регионов и улучшению местной экологической ситуации [72].

Внимание многих ученых привлекают вопросы получения конструкционно - теплоизоляционных материалов, которые представляют собой

органоминеральные композиции, где в качестве составляющих применяются минеральное вяжущее и органический наполнитель. Таким наполнителем могут служить широко распространенные древесные отходы [72].

1. Древесные отходы. Получение арболитовых изделий из кальциевых вяжущих и древесных отходов научно обосновано и доказано практикой строительного производства. Так как наполнителем для арболита являются древесные отходы, то он является весьма выгодным и эффективным как в промышленном, так и в экономическом плане материалом [2,15].

На прочность и другие механические характеристики арболита большое влияние оказывают не только механические свойства вяжущего и наполнителя, но и физика – механические процессы, происходящие при его изготовлении и твердении [15,17,94].

Наряду с ценными свойствами древесного наполнителя как малая плотность, недефицитность, хорошая смачиваемость, легкость обработки, в частности дробления и другие, имеются и отрицательные качества, затрудняющие получение материала высокой прочности из высокопрочных компонентов [72].

Одним из специфических особенностей древесного наполнителя является наличие в нем легкогидролизуемых и экстрактивных вредных веществ, так называемых «цементных ядов», отрицательно влияющих на свойства цементного камня.

Анализируя пятидесятикратное действие цемента на древесные образцы, Рудге еще в 1933 году обнаружил сильные повреждения древесины портландцементом в присутствии воды в зоне контакта с древесиной. Исследуя эту зону, он сделал вывод, что важнейшей агрессивной составной частью цемента в отношении древесины, является гидроксид кальция. Значительное разложение древесины достигалось интенсивным выщелачиванием ее водными растворами портландцемента. Одновременно наблюдалось значительное уменьшение щелочности раствора, что объяснялось возникновением органических кислот из углеводов под действием быстро переходящей в раствор гидроокиси кальция. Механизм действия углеводов на процессы гидратации и твердения цемента до

настоящего времени точно не выяснен. Существует ряд теорий, иногда весьма противоречивы [72].

Сахар в водной фазе цемента, по утверждению ученого Форзена, превращается в сахарат кальция, который слабо диссоциирует и повышает растворимость алюминия в воде. Поэтому вокруг цементных частиц образуется пленка из геля силиката алюминия, который сильно замедляет гидратацию цемента. В то же время он утверждает, что сахараты кальция вредного воздействия на цемент не оказывают. Есть мнение, что добавление сахара в цементные системы ведет к возникновению сахаратов кальция, вследствие чего концентрация ионов кальция в растворе уменьшается, что является причиной нарушения процесса схватывания [72].

Что щелочная среда цементного теста способствует выделению экстрактивных веществ древесины указывается в работах [27,93,94,72]. Эти экстрактивные вещества древесины осаждаются на поверхности частичек минералов цемента C_3S и C_3A и образуют тончайшие оболочки, которые затрудняют ход процессов гидратации цемента.

В работах [14,122,127,130] ряд ученых, соглашаясь с мнениями зарубежных и отечественных исследователей, выдвигают гипотезу о том, что входящие в состав древесины углеводы и дубильные вещества по отношению к цементу являются поверхностно – активными гидрофилирующими веществами. Они, при введении их в цементные системы с водой затворения, в результате адсорбции и под влиянием молекулярных сил сцепления ориентируются вокруг цементных зерен и образуют тончайшее покрытие – адсорбционный слой. Покрытые таким защитным слоем цементные частицы теряют способность сцепляться друг с другом под влиянием молекулярных сил. При этом образовавшийся слой затрудняет доступ воды к цементным зернам и отвод продуктов к торможению гидролиза и гидратации цемента, а при определенных концентрациях углеводов - к их прекращению. Для борьбы с этим явлением предложено несколько методов [15,17,94].

Первый метод – это минерализация заполнителя, то есть обработка его различными веществами, с помощью которых можно закрыть капилляры, по которым из заполнителя выделяются экстрактивные вещества [17].

Второй метод – ускорение твердения растворной части арболита с тем, чтобы экстрактивные вещества не успели выделиться в достаточно больших количествах для существенного снижения прочности цементного теста и контактной зоны [15,17]. Для этого применяют как традиционные ускорители твердения в виде добавляемых в раствор хлористого кальция, сернокислого алюминия, гипса, жидкого стекла и другие, так и различные технологические процессы, связанные с локализацией экстрактивных веществ.

Третий метод - это связывание выделяющихся вредных веществ в нерастворимые соединения, не оказывающие влияния на твердение цемента. Этот метод почти не применяется, так как полностью определить вид и количество выделяющихся вредных веществ практически невозможно [72].

Наличие древесных смол в хвойных породах, причем такого состава, что они являются естественными минерализаторами древесины, увеличивают прочность арболита на хвойных породах заполнителя по сравнению с лиственными породами заполнителя.

2. Растительные отходы. К ним относятся стебли хлопчатника и тростника, костра конопли, льна, кенафа, рисовая солома, виноградной лозы, лоза риса, подсолнечника и ряд других. Эти материалы, являясь малоиспользуемыми отходами, представляют собой весьма перспективное сырье для производства арболита [72].

В безлесных районах республик Центральной Азии много растительных отходов сельского хозяйства, которые почти не утилизируются. Это делает целесообразным их применение в качестве органического заполнителя вместо древесины при производстве арболита.

Однако до настоящего времени разработке, применению и промышленному освоению производства арболита на базе растительных сельскохозяйственных отходов, уделялось незначительное внимание. Работы по изучению аспектов этой

проблемы носили эпизодический лабораторно – прикладной характер и не имели широкого распространения в практике. Это связано в большей степени и тем, что имеющаяся неограниченные ресурсы возможная сырьевая база сельскохозяйственных отходов из однолетнего растения как стебли хлопчатника, рисовая солома, рисовая шелуха, костры конопли и кенафа, по качеству значительно уступает традиционно применяемому органическому древесному заполнителю. В случае промышленного производства арболита на подобном заполнителе все это требовало высоких расходов высокомарочного портландцемента или порождало значительные проблемы при организации технологии его изготовления [72,73]. А вопрос использования твердых органических отходов как косточки и скорлупа абрикоса, вишни, сливы, персика, различных орехов и других в качестве органического заполнителя для производства арболитобетонов вообще не рассматривался.

В Алма – Атинском НИИстройпроекте была определена принципиальная возможность использования дробленых стеблей хлопчатника в качестве заполнителя в изготовлении арболита. Авторами исследованы основные физика – механические свойства арболита на стеблях хлопчатника и предложена технология измельчения и изготовления арболита из стеблей хлопчатника. Однако предложенная технология требует развитого прессового хозяйства, причем для выпуска большеразмерных изделий требуются прессы большой мощности [72].

В работах [1,2,3,4,5,10,12,14,15,73] предлагается предварительное вымачивание дробленых стеблей хлопчатника в воде при температуре 333К. Причем прочность арболита на стеблях хлопчатника остается ниже, чем прочность арболита на основе древесной дробленки. Кроме того, проведенные исследования по вымачиванию перед замесом при получении арболита на портландцементе, не дают ожидаемого результата. Прочность арболита после тепловой обработки становится меньше, чем прочность арболита на основе необработанной дробленки – на 10-24% [72,73].

Уже доказано, что рисовую и другую солому можно использовать при производстве арболита. Некоторые авторы считают, что рисовую солому как наполнитель целесообразно использовать при производстве теплоизоляционных материалов [72].

Известны также работы по исследованию арболита с использованием отходов лубяных культур: костры кенафа, конопли, льна и другие. Отходы лубяных культур не оказывают вредного воздействия на цемент, как, например, отходы хвойных пород. Это связано с тем, что перед поступлением на переработку они подвергаются специальной обработке с целью отделения волокна луба от древесины. Необходимым этапом такой подготовки является их вымачивание в течение 20-30 суток в естественных водоемах или наполненных водой ямах или в специальных бассейнах с горячей водой на пенькообрабатывающих предприятиях [72].

Основываясь на этом, исследователи утверждают, что при изготовлении арболита из костры лубяных культур часто нет необходимости предварительно замачивать костру с применением химических добавок. Отмечается также, что арболитовые изделия на основе костры конопли, которые часто изготавливают без минерализаторов, не биостойки и могут быть поражены грибом. Поэтому изделия из такого арболита рекомендуют обязательно защитить от увлажнения с помощью слоя цементного раствора.

В работах [9,80,81,82,88] исследователями предложены шлакощелочные арболитовые составы и технология их изготовления виброштампованием.

В работах [88,72] исследованиями получен арболит на шлакощелочном вяжущем и дробленных стеблях хлопчатника с прочностью при сжатии до 4,0 МПа. Однако эти исследования носили постановочный характер и требуют дальнейшего развития.

1.5 Теоретические и практические предпосылки разработки и исследования арболитобетонов на основе местных отходов промышленности и сельского хозяйства

Одним из путей снижения себестоимости строительства является удешевление производства строительных материалов за счет использования местного сырья, в том числе различных отходов промышленности и сельского хозяйства.

На протяжении многих лет в странах СНГ проводятся научно – исследовательские работы, посвященные проблемам развития сырьевой базы, разработки легких бетонов и изучению их свойств, а также модификации составов и получения различных материалов на основе безобжиговых цементов и др. [72].

Мировой опыт показывает, что широкие возможности в решении этого комплекса проблем открываются с применением безобжиговых цементов и бетонов на их основе, обладающих рядом физика-механических и технико-эксплуатационных характеристик, значительно превышающих аналогичные свойства многих других минеральных вяжущих и композитов на их основе [72].

В регионе Центральной Азии для их изготовления имеются сырьевые ресурсы в виде многотонных отходов горнодобывающей и топливно-энергетической промышленности, а также растительные отходы сельского хозяйства. Универсальностью этих материалов является большой диапазон прочности при сжатии вяжущих от 20 до 180 МПа, бетонов от 0,5 до 150 МПа со средней плотностью 200 – 3500 кг/м³ [6].

Перспективность применения этих вяжущих определяется тем, что их производство базируется на использовании отходов, попутных продуктов, таких, как все гранулированные и отвальные шлаки, золы – уноса и золошламовых смесей, а также щелочесодержащих отходов и других [72].

Так как в регионе Центральной Азии древесина является дефицитным и долго восполняемым сырьем, органическим наполнителем при производстве

арболита могут служить однолетние отходы сельского хозяйства и твердые органические отходы сельского хозяйства [72].

В работе [15] авторы рекомендуют, что при производстве арболита на основе портландцемента лучше всего использовать быстротвердеющие, особо быстротвердеющие портландцементы, а также белитошламовые цементы высоких марок.

В работе [94] в качестве вяжущего вещества использовались глиноцементный, полимер фосфогипсовый, гипсовые и гипсоцементные вяжущие вещества.

В работах [55,56,60,61,62] установлено, что в качестве заполнителя в композициях на шлакощелочных вяжущих можно применять также и органические вещества. Одной из отличных черт шлакощелочных вяжущих является то, что вводимые в их состав как щелочной компонент и присутствующие в них при протекании процессов гидратации едкие щелочи взаимодействуют не только со шлаками, но и с заполнителями, реакционная способность которых в сочетании с таким вяжущим повышается.

В шлакощелочном арболите, в отличие от портландцементного арболита, используются древесные отходы не только хвойных пород, но и лиственных. В составе таких материалов может присутствовать и кора [78].

Для получения шлакощелочного арболита рекомендуется применять тепловлажностную обработку. Как утверждают, это приводит к 7 – 8 кратному сокращению длительности цикла отвердения изделий.

В работе [48,65] приведены разработанные Новосибирскими учеными составы лигнодеревобетона, который состоит из гидролизного лигнина, древесной дробленки и шлакощелочного вяжущего. При изготовлении изделий из деревобетона используются дробленки из хвойных пород. Предел прочности при сжатии лигнодеревобетона составляет 0,25-8,2 МПа соответственно при плотности изделий 350-1200 кг/м³.

Научный и практический интерес вызывают работы [80,81], направленные на разработку и исследование органоминеральных композиционных материалов на

основе безобжиговых щелочных вяжущих и отходов сельского хозяйства, в частности арболита.

Возможность получения эффективного арболита на основе шлакощелочного вяжущего и отходов сельского хозяйства раскрыта авторами работ [80,81]. При этом установлена принципиальная возможность использования для ускорения твердения изделий высокотемпературной (до 80°C) тепловой обработки, позволяющей производить распалубку изделий.

Анализ работ в области органоминеральных композиционных материалов на основе заполнителя растительного происхождения свидетельствует о принципиальной возможности получения теплоизоляционного и теплоизоляционного - конструкционного арболита на основе отходов сельского хозяйства. Для создания материала с хорошими строительно-техническими свойствами необходимо учитывать специфику составляющих [72].

Учитывая все вышеизложенное можно сделать вывод, что при создании арболита на основе сельскохозяйственных отходов, необходимо учитывать все факторы, влияющие на основные показатели готового материала.

В странах европейской части СНГ (Россия, Беларусь, Украина) в качестве органического заполнителя при производстве арболита в основном используются отходы древесины, которыми богаты эти страны. А в странах Центрально-Азиатского региона СНГ, где ресурсы древесины ограничены, при производстве арболита в качестве органического заполнителя используются отходы местного сельского хозяйства и растениеводства (стебли хлопчатника, рисовая лузга, тростник камыша, костра конопли, пшеничная и рисовая солома) [7].

Кроме вышеперечисленных органических отходов в регионе Центральной Азии ежегодно накапливаются большие объемы твердых органических отходов сельского хозяйства в виде косточек и скорлупы абрикоса, вишни, сливы, персика, различных орехов и других. Лишь незначительная часть их используется в производстве кормов для животноводческой отрасли, а другая часть закапывается в землю или сжигается, тем самым загрязняя окружающую среду. Эти отходы составляют 55-59 процентов от веса валового сбора этих

фруктов. Ежегодное производство грецких орехов в Центральной Азии достигает около 900 тысяч тонн и наблюдается тенденция к ежегодному его увеличению. На сегодня мировое производство грецких орехов возросло до 1,8 млн. тонн [135].

Анализ исследований и опубликованных научных работ по технологии получения арболитобетона показывает, что разработанные технологии производства арболита из отходов сельского хозяйства как стебли хлопчатника, рисовая лузга, тростник камыша, костра конопли, пшеничная и рисовая солома, основаны на применении в качестве органического заполнителя относительно мягких и упруго-пластичных волокнистых органических материалов, в производстве которых требуется принудительное прессование [8,10,13,70,73,74,135]. Учитывая относительно лучшие свойства твердых органических отходов как твердость, прочность, легкость, меньшую упругопластичность и предварительные результаты технико-экономических показателей предполагаемого арболита на их основе, встает необходимость рассмотреть вопрос использования твердых органических отходов в качестве заполнителя при производстве арболитобетона, который актуален для региона Центральной Азии [7].

1.6 Технологические особенности получения цементнозольношламовых (ЦЗШ) вяжущих веществ

В настоящее время намечены направления к снижению расхода цемента за счет применения отходов различных отраслей промышленности [34,81,83,89].

Экономия портландцемента за счет применения отходов промышленности в виде шламов и золы ТЭЦ сухого отбора не превышает 15-20 % без потери их прочности [34,41,50,75].

В работе [113] исследовано повышенное количество содержания наполнителей и добавок (50, 60 и 70 %), вводимой взамен цемента. Однако из-за недостаточной прочности смешанных вяжущих и дефицита высокоактивных портландцементов такое содержание наполнителей не нашло широкого

применения. Наиболее оптимальным при этом признано 40 процентное содержание зол и шламов в составе цементозольношламового вяжущего (ЦЗШВ). При использовании высоких дозировок в смешанных вяжущих смесях главной задачей является повышение реакционной способности золы-уноса и шлама. Повышение реакционной способности золы-уноса и шлама достигается путем совместного измельчения с портландцементом в присутствии химических добавок [64].

В работе [57] приведены особенности технологического процесса при использовании золы-уноса как вяжущего. Причем ее гидравлическая активность повышается за счет дополнительного размола.

Для повышения прочности цементозольношламового камня, золу и шлам с портландцементом подвергают комплексной электромеханической активации, то есть совместному помолу в различных измельчителях [115]. При этом их количество в составах цементозольношламовых смесей подбирается с учетом применения условий среды и требований по эксплуатации.

Исследованию свойств активированного цементозольношламового вяжущего (ЦЗШВА) посвящена работа [134]. Отмечено, что «комплексная электромеханическая активация значительно повышает химическую активность золошламов».

Анализ вышеизложенного позволяет констатировать, что важным технологическим фактором, который предопределяет прочность вяжущей смеси из цемента, золы и шлама, является применение активированного вяжущего, что способствует улучшению условий адгезии в системе «органический наполнитель + минеральное вяжущее», то есть упрочнению зоны их контакта [10].

В связи с анализом вышеизложенных работ встают следующие задачи:

- исследование механизма активации при КЭМА воздействии на систему «вяжущее вещество + вода»;
- изучение особенностей активированного цементозольношламового вяжущего вещества и исследование основных свойств арболита на его основе.

1. 7 Теоретические основы и принципы активации цементнозольношламовых вяжущих материалов

В трудах [9,22,37,41,43,47,48,51,52,55,56,60-62,78,79,89,90,105,106,116] показана возможность получения бетонных изделий с улучшенными физико-техническими свойствами. Этого можно достичь различными способами дополнительной активации вяжущего, позволяющими сократить расход цемента за счет замены его части отходами промышленности.

И.А. Рыбьев в своих работах указал, что важную роль в раскрытии потенциальных свойств сырьевых компонентов искусственного строительного конгломерата (ИСК) выполняют подготовительные операции.

Кроме изложенного в известных концепциях бетоноведения вопрос регулирования физико - химическими процессами твердения минеральных вяжущих на стадии гидратации и далее трансформации неустойчивой структуры теста вяжущей смеси в устойчивую структуру выполняется следующими способами:

- введением химических добавок;
- механической активизацией;
- электромагнитной обработкой.

В работах [22,33,43,42] указаны результаты реализации указанных способов регулирования физико-химическими процессами твердения вяжущих и механизм их твердения.

Вместе с тем по Ратинову В.Б. и Иванову Ф.М. [103] для полноты химических реакций требуется также преодолеть потенциальный энергетический барьер E (или E'). Его сущность трактуется так, как показано на модельном изображении (Рисунок 1).

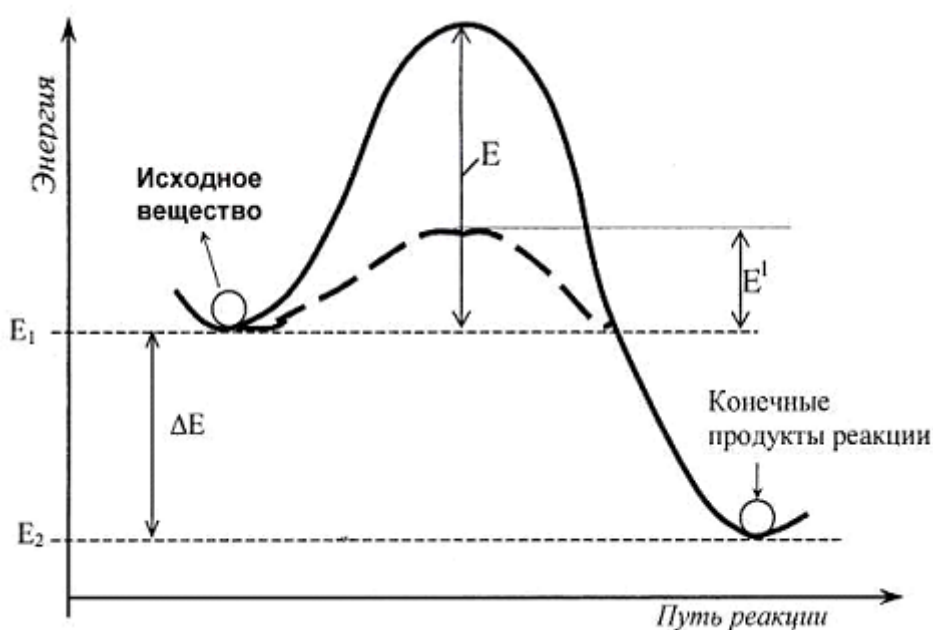


Рис. 1 Схема, объясняющая понятие потенциального барьера E и E'

Разность $\Delta E = E_1 - E_2$ между величиной суммарной энергии системы до реакции E_1 и после реакции E_2 характеризует условия, необходимые для самопроизвольного протекания химической реакции. Его можно регулировать как термодинамическим путем, так и путем электромагнитной поляризации.

На практике вопрос преодоления потенциального энергетического барьера выполняется добавлением в твердеющую систему различных интенсификаторов твердения, то есть химических добавок.

Более 400 видов химических добавок различного назначения применяется в практике строительных материалов для придания и улучшения разных свойств, вяжущих смесей, в том числе бетонов. В основном добавки - это отходы различного производства или это индивидуальные добавки в виде электролитов. В технологии бетонных работ использование данных добавок значительно расширилось за последние годы и их применение в будущем, будет возрастать.

Химические добавки по механизму действия делятся на четыре класса:

первый - это добавки, которые изменяют растворимость вяжущих веществ и не вступают с ними в химическую реакцию;

второй - это добавки, которые реагируют с вяжущими веществами с образованием трудно растворимых или мало диссоциирующих соединений;

третий - это добавки, которые являются готовыми центрами кристаллизации; четвертый – это добавки в виде поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые адсорбируются на зернах вяжущих.

Также используются комплексные добавки. Применение этих комплексных добавок обусловлено их эффективностью в отношении:

- полифункциональности действия, то есть способности влиять сразу на несколько характеристик бетона, причем часто не связанных друг с другом (и даже «дозировать» соотношения между ними в бетоне, а в некоторых случаях - придавать им новые свойства, например, гидрофобность);

- возможности с помощью комплексных добавок существенно усилить и углубить какой-либо эффект, предельно достигаемый при введении однокомпонентной добавки;

- резкого уменьшения или практически полного устранения нежелательного действия каждой составляющей комплексной добавки.

Глубокий анализ последних достижений в области применения химических добавок дает возможность сделать выводы, что их применение представляет собой трудную задачу вследствие большого количества исследований, проведения технологических опытов и многообразия используемых продуктов. При этом не представляется возможным претендовать на общий все исчерпывающий анализ по применению и механизму действия добавок к вяжущим системам. В данной работе рассматривается только узкий диапазон химических добавок, повышающих электрическую проводимость цементных дисперсных систем.

Структуру цементного камня как «микробетон» в своей работе [132] рассматривает В.Н. Юнг, при этом «заполнителями» являются непрогидратированные остатки цементных частиц ядра. На практике для полного использования клинкерного фонда используется мокрый домол вяжущего.

Наиболее распространенным способом активации является повышение удельной поверхности частиц цемента. При этом существуют два пути измельчения: сухой помол и мокрый домол вяжущего.

В работах [103,104] отмечается, что сухой помол производится до определенного предела, так как дальнейшее диспергирование приводит не к измельчению, а, наоборот, к агрегированию мельчайших частиц к мелющим телам из-за их электризации в процессе измельчения. Тонкое (коллоидное) диспергирование невозможно в отсутствие поверхностно-активной среды и адсорбирующихся добавок, которую можно вводить как при сухом, так и при мокром помоле. При последнем способе активации увеличивается дисперсность частиц вяжущего вещества в жидкой фазе, а химический и минералогический составы не изменяются, между тем активность его повышается.

В работе [47] также отмечается, что измельчение кристаллов минерала с химической связью ионно-ковалентного характера сопровождается разрывом старой и созданием новой электрвалентной связи. На новой поверхности при этом появляются ненасыщенные валентные связи типа свободных радикалов.

В работах [104,105] приводится эффективность помола в водной среде, что способствует лучшему диспергированию зерен цемента благодаря адсорбционному понижению их твердости. В результате тонкого помола ускоряются процессы структурообразования цементного геля, а его критическая пластическая прочность повышается. При этом в коагуляционном структурообразовании участвует большее число дисперсных частиц с построением коагуляционных контактов системы. По многим литературным источникам это связано с увеличением количества центров кристаллизации.

В работе [47] Ю.М. Бутт и другие отмечают, что «активированные механическим воздействием поверхности вяжущего характеризуются изменением в строении кристаллической решетки, а также в момент разрушения появляется заметное число атомов с некомпенсированными связями, насыщение которых происходит или за счет соседних атомов, или в результате перестройки атомных оболочек». Кроме того, при измельчении происходит разрыв и деформирование молекулярных связей, при этом меняется не атомное строение тела, а надатомное (субатомное) строение. Наличие дефектов определяет локальные перенапряжения

в субатомной структуре, а также связанное с указанной причиной увеличение реакционной способности новообразовавшихся поверхностей твердого тела.

Для диспергирования частиц материалов, кроме механических способов, применяется также явление кавитации. Здесь измельчение происходит вследствие ударов жидкости о поверхность твердого тела.

При акустической кавитации цементного теста происходит процесс дезагрегации и диспергирования слипшихся частиц, их равномерная сольватация, которая способствует получению гомогенной смеси [10].

В работах [47,117,128] исследователи сходятся во мнении, что установление оптимальной структуры цементного камня определяется ее физической структурой и количеством гидратных новообразований, участвующих в процессе гидратации. Они играют роль связующего в цементно-песчаном растворе, в результате которых прочность бетона повышается.

Зарубежные исследователи [113] сходятся во мнении, что вяжущие свойства материалов зависят от поверхностной энергии, причем величины поверхностных сил определяются природой и размером поверхности.

В процессах структурообразования к одним из основополагающих факторов относятся электрохимические явления и их роль в системе «вяжущее вещество + вода». При этом структурообразование можно разделить на следующие периоды: гидратация, растворение, коагуляция и кристаллизация, в течение них преобладают те или иные процессы. Причем в работе [120] цементный раствор рассматривается с точки зрения коллоидной системы.

Единой устоявшейся классификации межмолекулярного взаимодействия веществ, при помощи которой можно было бы более полно описать механизм взаимодействия компонентов, входящих, например, в вещественный состав строительных материалов с конгломератным типом структуры, в настоящее время не существует. Согласно известным научным концепциям межмолекулярное взаимодействие веществ подразделяют на физические, определяемые физическими характеристиками взаимодействия молекул, и химические, приводящие к образованию направленных химических и квазихимических связей,

а также на универсальные и специфические [118]. В тоже время считается, что электростатические и электродинамические механизмы взаимодействия ядер, электронов и атомов составляют основу взаимодействия молекул.

По концепции физико-химической механики дисперсных структур академика П.А. Ребиндера, структурообразование означает «смысл синтеза прочности», а прочность, в свою очередь, связана с силами взаимодействия между молекулами, атомами и их упаковкой по отношению друг другу и выражается формулой по [131]:

$$P_c \approx \chi \rho, \quad (1)$$

где ρ – средняя прочность контактов; χ – характеристика, определяемая «геометрией» системы, прежде всего размером частиц r и плотностью их упаковки.

По физико-химической механике [45] дисперсных систем структурообразование - это процессы, протекающие самопроизвольно за счет сил сцепления между отдельными частицами, которые, в конечном счете, характеризуют механическую прочность.

Согласно теории Дерягина – Ландау – Фервея – Овербека (ДЛФО), между любыми частицами при их сближении возникает расклинивающее давление в результате действия сил притяжения и энергии отталкивания. Причем состояние системы зависит от баланса энергии притяжения и отталкивания. Преобладание энергии отталкивания приводит к устойчивости дисперсной системы, энергия притяжения вызывает нарушение агрегативной устойчивости, то есть коагуляцию [68].

Все теории коагуляции можно подразделить на две группы: адсорбционные и электростатические.

По адсорбционной теории коагуляции Г. Фрейндлиха коагуляция наступает при одинаковом понижении ζ – потенциала, то есть при гомогенизации зарядов ДЭС. Правило Шульца- Гарди гласит, что коагуляция происходит, когда заряд

иона коагулятора противоположен заряду гранулы, причем коагулирующее действие тем сильнее, чем выше заряд иона коагулятора [68].

Наряду с традиционными способами активации минеральных вяжущих веществ немаловажную роль играет поляризация дисперсных систем под воздействием электрического или магнитных полей. В исследованиях [65,71] отмечены процессы, сопутствующие механизму твердения вяжущих систем, но пути направленного структурообразования дисперсных систем не указаны.

В работе [71] отмечено влияние деформации двойного электрического поля (ДЭС) при наложении внешнего электрического поля (эффекта релаксации) на скорость электрофоретического движения частиц, что, в конечном счете, сказывается при определении электрокинетического потенциала (z - потенциала).

В работе [19] автор констатирует, что «электрокинетический потенциал играет важную роль при формировании коагуляционной структуры цементного геля, а именно, определяет сущность электрокинетических явлений (связанное с проводимостью цементных частиц) и физико-химических процессов, обуславливающих возникновение кристаллогидратной структуры цементного камня».

В работе [23] указана эффективность применения электрического поля для диспергирования твердых частиц с помощью воды, при этом разрыв на мелкие частицы облегчается за счет напряжений, создаваемых силовыми линиями.

В.Д. Глуховский и другие в работе [10,109] отмечают целесообразность использования электрических полей, не учитывая при этом, что твердение-процесс перехода дисперсной системы в конденсированное состояние за счет «сильных» взаимодействий на агрегативном (не атомарном или молекулярном) уровне.

В работе [71] высказаны предположения о существенной роли поляризованной дисперсионной среды в создании механической прочности вяжущих смесей, при этом приводится, что внедрение частиц в жидкую среду сопровождается поляризацией молекул, в результате которой образуется цепочка взаимосвязанных молекул, укрепляющих систему.

Авторами в работе [66] констатируется возникновение поляризационных структур на ранних стадиях структурообразования, причем максимум поляризуемости совпадает с началом схватывания.

В работе [85] автор отмечает, что для качественной оценки природы связи наиболее приемлемы поляризационные представления, учитывающие влияние поляризуемости аниона и поляризующее действие катиона на свойство камня. При этом «в электрическом поле кроме усиления ориентации полярных групп происходит индуцирование полярностей, что ускоряет образование и упрочнение структуры на ранних стадиях твердения и набора прочности».

Отмечается, что в случае направления «усилий исследователей на разработку методов, обеспечивающих поверхностям заполнителей иной электрический заряд, чем тот, который имеет цементирующее вещество», за счет наибольшего контакта обнаруживается повышение прочности, морозостойкости и долговечности. При этом одним из путей достижения предлагается создание электрического поля в процессе приготовления сырьевой смеси [48].

Как отмечает Тимашев В.В., в формировании аутогезионных контактов частиц принимают участие молекулярные (ван-дер-ваальсовы), электрические, механические и кулоновские силы. При сближении частиц кроме слабых контактов возникают еще и фазовые (когезионные), которые обусловлены электрическими (валентными) силами, за счет вскрытия активных центров.

Благодаря электрическому полю, также можно ускорить процесс твердения бетона. Это доказано экспериментальными работами В.П. Ганина, Б.А. Крылова [84].

Работы [114,129] посвящены активации цементных и бетонных смесей искровыми разрядами, способствующими увеличению кинетической энергии частиц. В связи с этим интенсифицируются процессы гидратации цементных частиц и их взаимодействия с поверхностью заполнителя.

В последнее время учеными применительно к концентрированным системам развивается теория поляризации тонкого двойного электрического слоя (ДЭС). С повышением объемной доли дисперсной фазы уменьшается степень

концентрационной поляризации тонкого ДЭС, и за счет этого электропроводность дисперсной системы в режиме поляризации ДЭС оказывается минимальной [72]. Наличие ДЭС приводит к увеличению удельной электропроводности растворов за счет увеличения концентрации и количества противоионов в элементарном объеме.

В системе «коллоидные частицы - раствор электролита» носителями электрического заряда являются ионы. Причем для прочного сцепления на поверхности твердой фазы они должны либо достраивать кристаллическую решетку, либо образовывать с ионами решетки трудно растворимые соединения. Поверхность раздела фаз бывает различной геометрической формы, например, плоские, цилиндрические и сложные. Следовательно, и объемная конфигурация ДЭС подобна ей, кроме того, соответственно изменяется тип ДЭС и от вида приложенного силового поля.

Теория поляризации была распространена в 70-е годы применительно к анизотропным частицам. Также стала развиваться теория коагуляции дисперсных частиц в электрическом поле [24,65].

В работах [45,67] отмечено формирование структурированных дисперсных систем в электрическом и магнитном полях. При этом возможно образование двух типов структур: коагуляционных и конденсационно-кристаллизационных.

Электрокоагуляционные структуры образуются за счет поляризационного взаимодействия частиц-индуцированных диполей. При этом, воздействие магнитных и электрических полей оказывает значительное влияние на технологические, в том числе на реологические, свойства дисперсных систем. По мнению авторов работы [67], причина повышения вязкости дисперсных систем связана с ориентацией частиц, деформацией двойных электрических слоев, межэлектродной осцилляцией частиц и структурообразованием. Химические реакции сопровождаются в определенных условиях генерацией в колебательном контуре высокочастотной э.д.с. и тока.

В период растворения происходят физико-химические процессы с возникновением постоянных электрических полей вокруг коллоидных частиц при

их структурообразовании. При взаимодействии коллоидных систем на стадии диспергирования и кристаллизации обнаружены электрическое поле, э. д. с. и ток. По мнению А.В. Нехорошева и других отмечено, что возникновение электрического поля связано с динамикой движения коллоидных частиц, динамикой формирования новых структур или динамикой диспергирования. В работах [19,95] отмечается, что одним из важных процессов, возникающих в период растворения, являются электростатические взаимодействия. При этом с момента гидратации в определенное время наблюдаются колебания ζ -потенциала. Это показывает о выделении гидратных новообразований в жидкой фазе. Коллоидные частицы, кроме диспергирования и растворения, получают также реактивное поступательное и вращательное ускорение, приводящее, таким образом, к колебаниям электрохимического потенциала и возникновению электромагнитного поля [95].

Для исследования какого-либо электродинамического явления частиц необходимо рассматривать электростатику элементарных частиц [54]. К индукционному периоду относится период кристаллизации, то есть образование кристаллических зародышей в пересыщенных растворах. Он представляет собой сложный процесс, состоящий из нескольких стадий. Причем образование пересыщенных растворов обусловлено за счет сил электрического происхождения, а представление о природе этих сил для определения пресыщения исследовано недостаточно [19]. Однако общего мнения исследователей на счет механизма кристаллизации, протекающего в индукционный период, нет. Установлено, что возникновению центров кристаллизации в ионных растворах способствуют различные силовые поля и излучения [19,97].

Ю.М. Баженов [24] отмечает, что на поверхности кристаллических материалов обычно возникают электрические заряды, а в мельчайших частицах они играют доминирующую роль, способствуя образованию флоккул, возникающих за счет притяжения положительных и отрицательных зарядов.

Как отмечается в работах [99,102], управление процессом кристаллизации, исключая предварительное напряжение при срастании кристаллов, могло бы привести к увеличению количества методов управления свойствами дисперсных структур, независимо от их назначения. Причем управление процессом кристаллизации зависит от глубокого понимания механизма гидратации и структурообразования.

Анализ литературных данных позволяет предположить, что процесс дополнительной активации происходит с участием следующих факторов:

1. увеличения энергии активации химической реакции процесса твердения [131];
2. повышения средней прочности контактов активированных частиц за счет притяжения их между собой [131];
3. повышения химического потенциала минералов цемента и усиления интенсивностей сил притяжения между отдельными кристаллическими агрегатами и кристаллогидратами;
4. преодоления расклинивающего давления ДЛФО и сближением частиц до малых расстояний, которые приводят к электрокоагуляции дисперсной системы;
5. заряд иона коагулятора должен быть противоположен заряду гранулы, причем коагулирующее действие тем сильнее, чем выше заряд иона коагулятора.

В целом активация вяжущих веществ достигается следующим образом:

- введением в систему «вяжущее вещество + вода» химических добавок. При этом не удастся регулировать удельную поверхность компонентов вяжущего вещества, что является одним из существенных факторов активации;

- тонким измельчением, которое является необходимым, но недостаточным условием повышения активности вяжущих веществ;

- воздействием электрических полей в цементные системы различного состава. В ее стационарном состоянии не представляется возможным изменить кинетику активации, так как достигается полная электрическая проводимость жидкой фазы через внутренние участки зерен вяжущего вещества, хотя в известных концепциях бетоноведения отмечается положительная роль

электрического поля на механизмы структурообразования и ускорения твердения арболита.

Выводы по главе 1:

1. Проанализированы современные тенденции применения минеральных и органических отходов в производстве строительных материалов. Приведены современные виды арболитобетонов, их составы и свойства.
2. Выявлено, что в регионе Центральной и Средней Азии, где древесные отходы являются дефицитным материалом, наиболее эффективным вяжущим в производстве арболитобетонов из органических отходов сельского хозяйства, которым богат этот регион, является композитное вяжущее на основе портландцемента с различными активными минеральными добавками, активированное электромеханическим способом.
3. Найдено, что одним из наиболее перспективных заполнителей для производства арболитов является измельченная скорлупа грецкого ореха, которая имеется в большом количестве как отход сельскохозяйственного производства и обладает необходимой твердостью и прочностью для производства конструкционно-теплоизоляционных бетонов.
4. Приведены теоретические и практические предпосылки разработки и исследования арболитобетонов на основе комплексного электромеханически активированного вяжущего из портландцемента и активных минеральных добавок.

Глава 2. МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ И СЫРЬЕВЫЕ СМЕСИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТОЗОЛЬНОЙ СМЕСИ С ДОБАВКАМИ БОКСИТОВОГО ШЛАМА

В связи с увеличением роста жилищного и промышленно-гражданского строительства в республиках Центральной Азии, в частности в регионе республики Казахстан, повышается спрос потребности в недорогих и доступных строительных материалах. Одним из решений этого вопроса является производство арболитобетонов из местных отходов промышленности и сельского хозяйства. Однако в существующих видах арболита применяются относительно мягкие и упругопластичные волокнистые органические заполнители, которые при формовании требуют принудительного прессования. А твердые органические отходы сельского хозяйства как косточки и скорлупа абрикоса, вишни, сливы, персика, различных орехов и другие по сравнению с волокнистыми органическими заполнителями более тверды, прочны, легки и менее упругопластичны. Такие характеристики твердых органических заполнителей дают нам возможность предположить, что их можно использовать в качестве заполнителя в составе легких арболитобетонов без принудительного прессования при формовании арболитовых изделий. Но для этого нужна разработка эффективного вяжущего с улучшенной адгезионной способностью к твердым органическим заполнителям.

2.1 Сырьевые материалы, применяемые в работе и их характеристика

Для решения этой актуальной задачи нами проводились работы по исследованию возможности получения эффективных вяжущих составов на основе портландцемента и местных отходов горнорудной и топливно-энергетической промышленности Республики Казахстан.

При проведении экспериментальных работ были использованы портландцемент, зола-унос и бокситовый шлам.

Портландцемент. В экспериментальных работах применялся портландцемент марки 400 Навоинского цементного завода. Химический состав и физико-механические свойства портландцемента приведены в Таблицах 2.1 и 2.2.

Таблица 2.1

Химический состав цемента, % масс

CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	R ₂ O	п.п.п	Σ
61,48	23,38	6,09	6,38	1,09	0,60	0,38	0,60	100,00

Таблица 2.2

Физика – механические свойства цемента Навоинского цементного завода

Нормальная густота теста	Начало схватывания	Конец схватывания	Предел прочности при сжатии, R _{сж} , МПа	Предел прочности при изгибе, R _{изг} , МПа
25,2%	2ч – 39 мин	4ч – 29 мин	42,7	5,7

Шлам. В работе также использовался Краснооктябрьский бокситовый шлам Кустанайского горного месторождения. Шлам применялся в виде порошков, молотых до удельной поверхности по ПСК-2 (320–330 м² /кг) в соответствии с ГОСТ 13015.0, ГОСТ 3476, ГОСТ 10180, ГОСТ 7076, ОСТ 67-11. Бокситовые шламы являются попутным продуктом производства глинозема. По внешнему виду бокситовый шлам представляет собой бежевато-бурого цвета среднезернистый песок с включениями легко рассыпающихся различной величины комьев. Влажность проб бокситового шлама должна быть в пределах 20 - 30%, плотность - 2,60 - 2,86 г/см³, насыпная плотность в разрыхленном состоянии - от 1,1 до 1,3 г/см³ [136]. Применяемый при проведениях экспериментов Краснооктябрьский бокситовый шлам Кустанайского горного месторождения по своим характеристикам отвечает этим требованиям. Химический состав бокситового шлама приведен в Таблице 2.3.

Таблица 2.3

Химический состав бокситового шлама

Потери при прокалива-	Содержание оксидов, масс. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NaO ₂ +K ₂ O	п.п.п

нии, масс. %							
7,3	18-22	40,8 ± 2,2	23-27	2,9-5,0	0,2	0,5	0,7

Для нейтрализации сахарозы в составе органического заполнителя применялся хлорид бария.

Хлорид бария ($BaCl_2$) - порошок белого цвета, сухой технический, удовлетворяющий требованиям ГОСТ742.

Зола-унос. Для получения вяжущего вещества также использовалась зола-унос Нукусской ТЭЦ. Она применялась в качестве активной минеральной добавки. Зола-унос удовлетворяет требованиям ГОСТ 10181 и ГОСТ 25592. Согласно требованиям, ГОСТ 23464 «Вяжущие материалы, добавки неорганические и добавки для бетона и растворов» в состав золы должно входить не менее 40 % кремнезема. Количество ангидрида серной кислоты не должно превышать 3%, потери при прокаливании не более 10%. Зола-унос Нукусской ТЭЦ удовлетворяет вышеуказанным требованиям и имеет следующие характеристики:

- удельная поверхность – 2530 см²/г;
- активность по поглощению – 31 мг/г;
- истинная плотность – 2050кг/м³;
- насыпная плотность – 950 кг/м³.

Химический состав золы-уноса представлен в Таблице 2.4

Таблица 2.4

Химический состав золы-уноса

Потери при прокаливании, масс. %	Содержание оксидов, масс. %							п.п.п.
	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NaO ₂	SO ₂	
7,33	48,53	23,92	5,94	9,00	1,90	0,18	0,52	2,68

Вода. Для приготовления вяжущей смеси использовалась водопроводная вода питьевая, соответствующая требованиям ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и растворов».

Органический наполнитель. В экспериментальных работах в качестве органического наполнителя использовались измельчённая скорлупа грецкого, а для сравнения – земляного орехов. Скорлупа грецкого ореха серовато-коричневая, деревянистая, с более или менее бугорчатой поверхностью и двумя, обычно хорошо развитыми, ребрами. Она пропускает воду. Толщина скорлупы разная в зависимости от сорта ореха. По размеру они могут быть мелкими, средними и крупными. Форма скорлупы-круглая, овальная, продолговатая, яйцевидная, обратнойяйцевидная и др. Поверхность скорлупы почти гладкая, мелко- и крупно морщинистая, иногда бугристая с многочисленными ячейками с достаточной твердостью. 49-50% от массы ореха составляет его скорлупа. Скорлупа земляного ореха по сравнению со скорлупой грецкого ореха более волокнистая и мягкая. Химический состав скорлупы грецкого и для сравнения земляного орехов приведен в Таблице 2.5 и 2.6.

Таблица 2.5

Химический состав наполнителя – скорлупы грецкого ореха

Содержание компонентов, %			
целлюлоза	лигнин	пентозан	водорастворимые вещества
45,7	23,2	26,4	4,7

Таблица 2.6

Химический состав наполнителя – скорлупы земляного ореха

Содержание компонентов, %			
целлюлоза	лигнин	пентозан	водорастворимые вещества
52,6	25,3	15,7	6,4

2.2 Методика испытаний для получения цементозольношламовых вяжущих составов

С целью управления процессами структурообразования вяжущих составов работа проводилась в следующей технологической последовательности:

- подготовка наполнителей по гранулометрическому составу;
- подготовка и дозирование цементозольного вяжущего;
- приготовление и перемешивание определенного количества воды (масса которой соответствует массе золошлама) с хлоридом бария, взятой в количестве 1% от общей массы вяжущего;

- загрузка в барабанную электрополяризационную мельницу отдозированных количеств воды с химической добавкой (электролитом), золы и шлама при $V/Z = 1,0$;

- пропускание электрического тока через вяжущее в процессе мокрого помола через каждые 5 мин. Общая продолжительность процесса активации 20 мин. Параметры создаваемого электрического поля в лабораторной электрополяризационной мельнице составляет напряжение в пределах от 30 до 60 В;

- по истечении указанного времени активации к смеси золы и шлама добавление 55% цемента от общей массы вяжущего и недостающее количество воды до достижения $V/C 0,6$;

- совместный помол в течение 10 мин с одновременным пропусканием электрического тока через цементнозольношламовое (ЦЗШ) вяжущее с интервалом в 2 минуты;

- остановка мельницы и выгрузка готового материала.

Применяемый при проведениях экспериментов Краснооктябрьский бокситовый шлам Кустанайского горного месторождения и зола-унос Нукусской ТЭЦ были измельчены до удельной поверхности по ПСК-2 ($320-330 \text{ м}^2 / \text{кг}$) в соответствии с ГОСТ 13015, ГОСТ 3476, ГОСТ 10180, ГОСТ 7076, ОСТ 67-11 в шаровой лабораторной мельнице МШЛ-1П.

Нормальную плотность, сроки схватывания определяли по ГОСТ 25820. Прочность вяжущей смеси определяли согласно с ГОСТ 3476, ГОСТ 7473. Нормальную плотность, сроки схватывания определяли по ГОСТ 25820.

Испытания вяжущего проведены в соответствии с ГОСТ 310.1, 310.2, 310.3, 310.4, 25820, 10060.3. Образцы уплотняли в течение 3 минут на виброплощадке ВС-1. Исследование проводили на образцах после пропаривания и после тепловлажностной обработки.

Предел прочности при сжатии (при изгибе) определяли на образцах-кубах с ребрами 10 см по стандартной методике и в соответствии с ГОСТ 10180.

Для проведения экспериментальных работ по исследованию электромеханической активации вяжущего состава была собрана лабораторная установка и проведены рекогносцировочные работы по имитации «принципа комплексной электромеханической активации (КЭМА)» упрощенным способом (Рисунок 2).

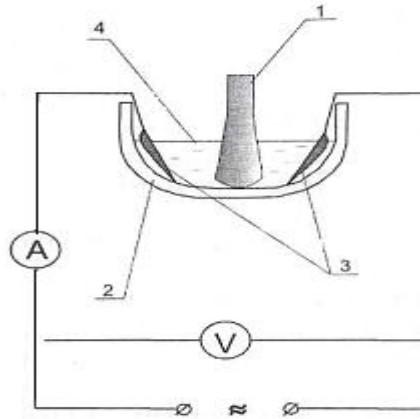


Рисунок 2. Электрическая схема цепи для КЭМА вяжущего ручным способом. 1- фарфоровый пестик; 2- фарфоровая ступка; 3- электроды; 4- цементное тесто

В экспериментальных работах источником электрического тока для создания электрического поля был принят лабораторный трансформатор ЛАТР-1М (рис. 3).

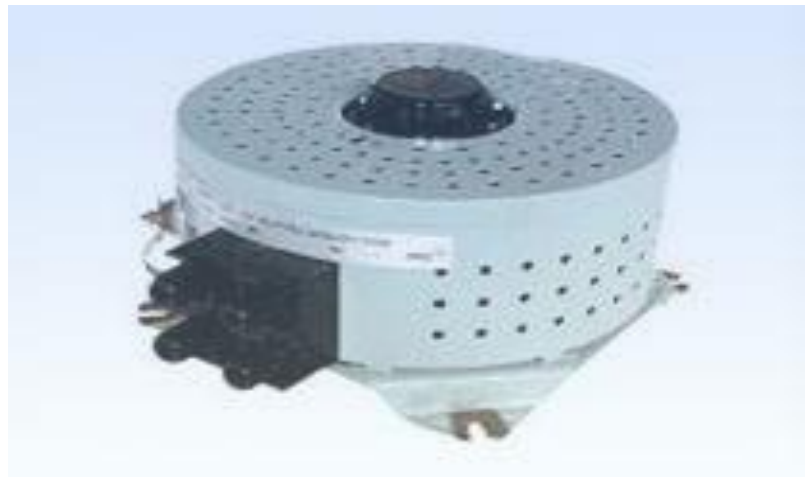


Рисунок 3 Лабораторный трансформатор ЛАТР-1М

Необходимые электрические выходные параметры для создания условий КЭМА - напряжение и силу тока – измеряли приборами вольт и амперметр лабораторный М 2051 [7, 72].

Рентгенофазовый анализ. Фазовый состав активированного цементозольного вяжущего определяли с помощью рентгенофазового анализа. Рентгенографическая съемка выполнялась на дифрактометре «ДРОН-3» (Рисунок 4).



Рисунок 4. Дифрактометр «ДРОН-3»

Условия съемки таковы: анодный ток рентгеновской трубки – 20 мА, напряжение на трубке - 36кВ, скорость углового движения счетчика 2 грд/мин, постоянные времени записи -1 сек, диапазон записей интенсивности 3×10^3 имп /сек.

Подготовка исследуемого образца производилась в виде тонких порошков оптимальной массы с дальнейшим нанесением тонким слоем на поверхность матового стекла [102]. При проведении съемки был выбран интервал углов дифракции от 2 до 32°.

Расшифровка рентгенограмм осуществлялась на основании эталонных рентгенограмм составляющих минералов. Данные работы выполнены в лаборатории строительных материалов Актюбинского университета имени С. Баишева.

Дифференциально-термический анализ (ДТА) гидратированных цементных порошков (проходящих через сито с 10 тыс. отв./см²-100%) проводили

на фоторегистрирующем дериватографе фирмы MOM Будапешт (Венгрия) (DERIVATOGRAPH Q- 1500 DSYSTEM) «F/ Paulik, J. Paulik, Д, Erdey» по методике, описанной в работе [13]. Запись вели при скорости нагрева 8 - 10°C в минуту с постоянными навесками, величину которых подбирали в зависимости от глубины термических эффектов. Информация о степени гидратации получена по кривым потерь массы при нагревании (кривые ДТГ и ТГ). Работа выполнена в лабораториях Актюбинского института Запказгеология.

Электронно-микроскопические методы анализа проводили с целью исследования состояния контактной зоны и продуктов гидратации контрольных и активированных образцов цементозольношламового камня на сканирующем растровом электронном микроскопе РЭМ-200. Перед просмотром образцов (представленных небольшими кусочками цементного камня с площадью около 0,5см²) в сканирующем электронном микроскопе в соответствии с методикой их поверхность предварительно покрывали тонким слоем серебра, напыление производили с помощью вакуумной установки ВЧТ-2К.

В соответствии с методическими разработками ученых стран СНГ для **определения g – потенциала** при растворении цемента в воде, а также в водных растворах различных химических веществ и минеральных добавок (в растворах солей хлорида бария и золы-уноса) были проведены опыты методом электрофореза. Опыты по измерению электрокинетического потенциала проведены в лаборатории кафедры «Строительство и ОЭТ» Актюбинского университета имени С. Баишева на приборе, схема которого показана на Рисунке 5.

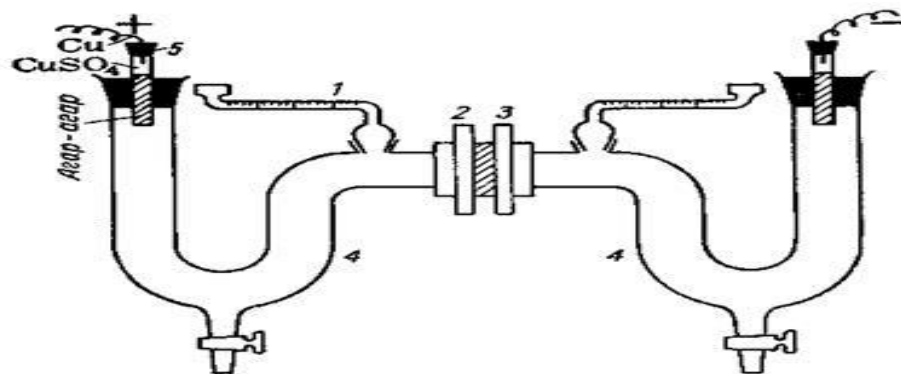


Рис. 5 Схема прибора для определения электрокинетического потенциала

Учитывая степень сложности экспериментального моделирования изучаемой системы, был использован **метод математического планирования эксперимента**. В основу планирования экспериментов положена традиционная методика, в которой каждый параметр исследуемого фактора изменялся по отдельности. К переменным факторам относятся: температура; соотношения заполнитель:вода и продолжительность предварительной обработки заполнителя; химические добавки; водовяжущее отношение; продолжительность и параметры (сила тока, напряжение), необходимые для протекания условий КЭМА обработки вяжущей смеси. Основным критерием оценки эффективности исследуемых факторов принят предел прочности при сжатии.

Статистическая обработка результатов исследований производилась по ГОСТ 180115 (Бетоны, контроль и оценка однородности и прочности) с определением средней арифметической прочности, характеристики дисперсии, среднего квадратического отклонения и коэффициента вариации.

Экстрагирование водорастворимых веществ из заполнителя осуществляли путем вымачивания измельченной скорлупы в воде при определенном соотношении заполнитель: вода (З: В) и продолжительности облагораживания [7].

Предел прочности при сжатии (при изгибе) арболитовых образцов определяли на образцах- кубах с ребрами 10 см по стандартной методике и в соответствии с ГОСТ 10180.

2.3 Измельчение органического заполнителя на основе скорлупы грецкого ореха

Для измельчения строительных материалов имеется много видов устройств, агрегатов и оборудований. Анализ их принципов работы позволяет констатировать, что в промышленности строительных материалов среди известных конструкций измельчителей наиболее распространены шаровые и вибрационные мельницы [73].

Измельчение скорлупы орехов производилось в барабанной мельнице МШЛ-1П (мельница шаровая лабораторная) (Рисунок 6а) [7]. Мельницы лабораторные

шаровые предназначены для сухого или мокрого помола с помощью мелющих тел проб материалов твердостью до 7 единиц по шкале Мооса. Помол материала в барабане производился мелющими телами в форме шаров из уралита или нержавеющей стали ШХ-18. Диаметр мелющих шаров от 10 до 30мм. Принцип работы мельницы лабораторной заключается в использовании ударно-истирающих воздействий мелющих тел и стенок размольного барабана на измельчаемый материал. Мельница шаровая лабораторная МШЛ-1П имеет следующие технические характеристики:

- число оборотов –60-100 об. /мин.;
- установленная мощность двигателя – 0,55 кВт;
- число барабанов – 1 штук;
- емкость барабана – 16 л;
- наименьшая фракция после помола – 7,0 микрон;
- габаритные размеры 70 x 38 x 50 см.

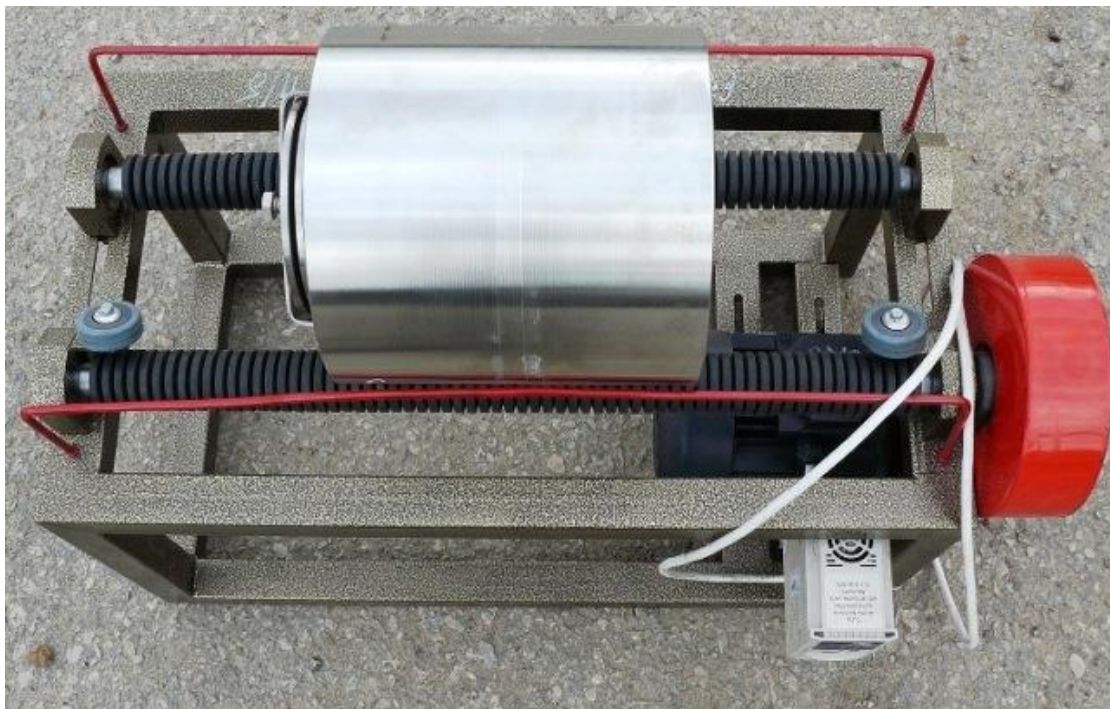


Рисунок. 6а Мельница шаровая лабораторная МШЛ – 1

Измельчение скорлупы орехов производилось в течение 10-15 минут до получения фракций размером 1,25;1,5;2,5;5 и 10 мм. Для определения

фракционного состава измельченная и высушенная скорлупа орехов была просеяна через сита с отверстиями 1,25;1,5;2,5; 5 и 10 мм [7]. Полученные фракционные составы орехов приведены в Таблицах 3.5 и 3.6 главы 3.

Учитывая вышеизложенное, можно констатировать, что из цемента, золы-уноса и бокситового шлама соответствующих пропорций можно получить эффективную вяжущую смесь для применения в производстве арболита, а лучшим видом измельчителя для органического заполнителя в виде скорлупы грецкого ореха является барабанная шаровая мельница МШЛ-1П. При измельчении скорлупы грецкого ореха в шаровой барабанной мельнице полученные фракции органического заполнителя получаются с острыми гранями, что улучшает схватывание с вяжущим составом.

Выводы по главе 2:

1. Дана характеристики применяемых в работе сырьевых материалов. Показано, что из портландцемента с добавкой высококальциевой золы-уноса и бокситового шлама можно получить эффективную вяжущую смесь для применения в производстве арболитобетонов с органическим заполнителем из измельченной скорлупы грецкого ореха.
2. Для активации и улучшения прочностных характеристик цементозольного вяжущего с добавкой бокситового шлама эффективным методом предложена методика комплексной электромеханической активации вяжущего в барабанной мельнице.
3. Рассмотрена методика измельчения органического заполнителя в виде скорлупы грецкого ореха в барабанной шаровой мельнице МШЛ-1П. Измельченные в барабанной шаровой мельнице МШЛ-1П полученные фракции органического заполнителя из скорлупы грецкого ореха получаются с острыми гранями, что улучшает схватывание с вяжущим составом.
4. Рассмотрены методы тонкого анализа для определения структуры цементозольношламового вяжущего и арболита, приведены ГОСТы для определения физических и физико-механических свойств арболитобетонов.

Глава 3. РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТОЗОЛЬНОШЛАМОВОГО ЛЕГКОГО АРБОЛИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЕРДЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ СКОРЛУПЫ ГРЕЦКОГО ОРЕХА

3.1 Разработка цементозольношламового вяжущего состава методом КЭМА для легких арболитобетонов

Первым этапом получения легкого арболитобетона на основе композиционных цементозольношламовых вяжущих и заполнителя из измельченной скорлупы грецкого ореха проводилось исследование возможности получения эффективного вяжущего на основе цемента, высококальциевой золы-уноса и бокситового шлама, повышенной адгезионной способности к органическим компонентам арболитобетона, активированного электромеханическим способом.

Разработка эффективного вяжущего состава с высокой адгезионной способностью к твердым органическим отходам проводилась с использованием метода комплексной электромеханической активацией (рис. 2). Состав комплексной электромеханической активированной вяжущей смеси включает в себя портландцемент марки 400 в количестве 50 - 60%, золу-унос в количестве 30 - 40%, бокситовый шлам в количестве 5 – 15% и хлорид бария в количестве 1% от общей массы вяжущего [8].

В качестве вяжущего принят цементозольный состав Ц: З = 55:35 при В/Ц=0,6. Для пропускания электрического тока через цементное тесто применили фарфоровую ступку вместимостью 1л, а в качестве измельчителя – фарфоровый пестик (рис.2). Измельчение происходило вручную за счет истирающих и ударных воздействий. Для создания наибольшего электрического поля в цементном тесте, конструкция электродов выполнена в виде пластин из тонкого нержавеющей металла толщиной 0,5 мм. Это было сделано с целью увеличения площади соприкосновения с цементным тестом. Электрическое поле создавалось с помощью выпрямителя постоянного тока и лабораторного трансформатора

переменного тока. Численное значение параметров создаваемого электрического тока принято в пределах от 10 до 30 В. Комплексная электромеханическая активация вяжущих составов проводилась по стандартной методике [8,10,74,140].

Для определения влияния комплексной электромеханической активации проводилось исследование физико-механических характеристик камня вяжущего. Физико-механические характеристики определялись по пределу прочности при сжатии камня вяжущего различных составов при использовании традиционной методики получения комплексного вяжущего с помощью совместного помола и при использовании метода комплексной электромеханической активации (КЭМА) при помоле. Результаты испытаний образцов различного состава при 28-суточном сроке твердения и разных технологических методах активации приведены в Таблице 3.1 [139].

Таблица 3.1

**Прочность при сжатии цементозольношламового (ЦЗШВ) 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 : шлам (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.

Как показали экспериментальные данные состав № 6 цемент : зола : шлам (55 : 35 : 10) с использованием КЭМА показал предел прочности при сжатии в 1,7 раза выше по сравнению с пределом прочности обычного цементозольного вяжущего без добавки шлама и КЭМА. Замена 5 % золы на шлам повышает предел прочности камня вяжущего в 1,5 раза, а дополнительная обработка КЭМА увеличивает его еще на 20%. Поэтому для дальнейших исследований было принято ЦЗШВ состава № 6 с дополнительной обработкой КЭМА (Таблица 3.1).

Как показали результаты анализа литературных данных улучшение физико-механических характеристик комплексного вяжущего с использованием золы и шлама можно достичь при использовании химических добавок. Поэтому 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 №6 (Таблица 3.2) [139].

Таблица 3.2

Влияние химических добавок и режимов КЭМА на предел прочности при сжатии камня 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

Как показали экспериментальные данные процесс комплексной электромеханической активации протекает наиболее эффективно при добавлении хлористого бария (Таблица 3.2), который является инициатором физико-химического процесса коагуляции вяжущей смеси. В результате электрокоагуляции дисперсные частицы вяжущей смеси поляризуются, и происходит их взаимопротяжение. А это усиливает структурообразование вяжущей системы [8,10,113].

Также установлено, что добавка хлорида бария в количестве 1% от общей массы вяжущего в состав №6 увеличивает прочность при сжатии композитного камня до 50,6 МПа при переменном токе и 51,4 МПа при постоянном токе активации (Таблица 3.2).

Также установлено, что при комплексной электромеханической активации наблюдается увеличение электропроводности цементного теста от 200 до 400 мА [8]. При комплексной электромеханической активации вяжущего (Таблица 3.1) наблюдается повышение прочности вяжущих составов на 50-60 % соответственно при создаваемом напряжении в массе вяжущей смеси 30-40 В.

Также установлено, что процесс КЭМА частиц композитного вяжущего в электрическом поле постоянного тока происходит эффективнее, чем при переменном токе (Таблица 3.2) [7].

Таким образом полученные экспериментальные результаты подтвердили гипотезу возможности получения высокопрочного комплексного вяжущего с использованием КЭМА Это послужило основанием для дальнейшей разработки реального способа, базирующегося на выдвигаемом принципе.

Следующим этапом исследований было совершенствование способа комплексной электромеханической активации и конструкции устройства для получения цементозольношламового вяжущего.

На основании экспериментальных результатов проверок выдвигаемого принципа активации разработан способ совмещения двух операций (процессов помола и электрической поляризации) с помощью модернизированной шаровой мельницы (Рисунок 6б) [10,12].

Для протекания КЭМА эффекта требовалось сконструировать лабораторную мельницу специальной конструкции. Среди существующих конструкций измельчителей была выбрана конструкция шаровой мельницы. Для осуществления режима КЭМА была проведена модернизация конструкции мельницы. Главное требование к конструкции мельницы - это корпус мельницы, который должен представлять собой диэлектрический материал, чтобы не пропускать электрический ток. Электроды были выполнены из нержавеющей металла с возможно низким сопротивлением, необходимым для эффективного протекания электрического тока через дисперсионную среду.

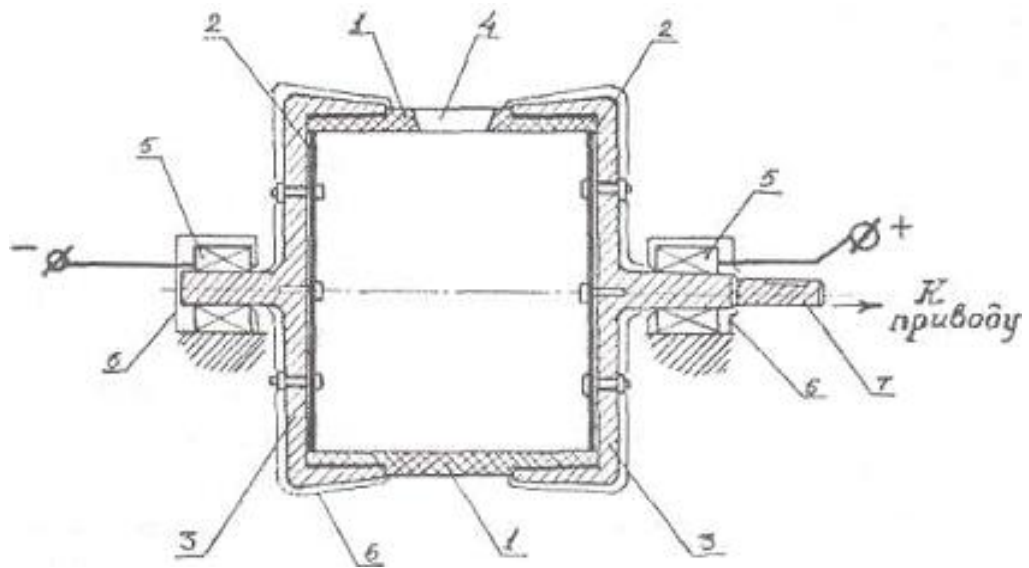


Рисунок.6б. Схема модернизированной барабанной шаровой мельницы:
1- корпус барабана; 2 - электроды; 3 - вертикальные стенки; 4 - люк для загрузки и выгрузки материалов; 5 - опоры; 6 - электрозащитный кожух; 7 - вал мельницы

Известная конструкция шаровой мельницы (Рисунок 6б) модернизирована следующим образом: корпус барабана выполнен в виде сквозного горизонтального цилиндра 1 из диэлектрического материала. С торцевых сторон к цилиндру 1 барабана крепятся вертикальные стенки, насаживаемые на цилиндр 1 за счет обечайек 3. Вертикальная стенка с обечайкой соединена в виде цельной конструкции. Внутренний диаметр обечайки 3 совпадает с наружным диаметром цилиндра 1. Электроды 2 выполнены из нержавеющей металла в виде круглых пластин, диаметр которых совпадает с внутренним диаметром цилиндра 1. Они

крепятся к вертикальным торцевым стенкам через изолированное от электрического тока болтовое соединение.

Как видно из Рисунка 6б, электрическое поле создается за счет двух электродов 2. Подвод электрического тока к электродам 2 осуществляется через две торцевые обечайки 3. Далее, в свою очередь, к обечайкам электрический ток подключается через опоры 5, соединенные через вал мельницы.

Процесс работы мельницы новой конструкции заключается в следующем. Барабан 1 приводят во вращение вокруг продольной оси приводом. Подлежащий измельчению отдозированные компоненты вяжущего и жидкость попадают в барабан 1 через люк 4. Внутри барабана создают электрическое поле за счет электрического тока, проходящего через материал. Электрическое поле создается за счет источников тока (выпрямительного устройства и лабораторного трансформатора), причем подаваемое напряжение регулируется. В целях электрической безопасности две торцевые вертикальные стенки - обечайки 3 и опоры отдельно закрыты электрорезиновым кожухом 6.

Через определенное время измельчения материала барабан останавливают, одновременно отключается создаваемое электрическое поле, готовый шлам выгружают через люк.

Для увеличения электропроводности системы «вяжущее вещество + вода» добавлялся электролит - хлорид бария, который увеличивает электрическую проводимость цементного теста и способствует эффективному диспергированию. Также было исследовано влияние электрического поля во время мокрого помола цементно-золяношламового вяжущего (Таблица 3.3) [7]. При способе мокрого помола реакционная способность компонентов вяжущего увеличивается как за счет повышения дисперсности в жидкой фазе, так и за счет изменения кристаллической структуры и формы частиц вяжущей смеси. Это является предпосылкой интенсификаций процесса коагуляции вяжущей смеси. В Таблице 3.3 приведены данные по исследованию влияния вида электрического поля, напряжения, продолжительности помола, количества химической добавки,

удельной поверхности и состава цементозольношламового вяжущего на предел прочности камня вяжущего при сжатии.

Таблица 3.3

Влияние режимов КЭМА, состава и удельной поверхности на предел прочности при сжатии цементозольношламового вяжущего мокрого домола

Состав ЦЗШВ (цемент: зола: бокситовый шлам), % по массе	Добавка ($V\alpha\text{Cl}_2$), %, от массы вяжущего	Вид электрического поля	Водо-твердое отношение, В/Т	Удельная поверхность ЦЗШВ, $\text{см}^2/\text{г}$	Продолжительность мокрого помола, минут	Напряжение тока, В	Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте 28 суток
55:40:5%	1 %	пер. ток	0,6	4220	-	-	28,5
55:38:7%	1 %	пер. ток	0,6	4425	30	-	43,7
55:35:10 %	1 %	пер. ток	0,6	4820	30	30	50,6
55:35:10 %	1 %	пост. ток	0,6	4820	30	30	51,4
55:32:18%	1 %	пер. ток	0,6	4905	30	40	49,6

Процесс коагуляции вяжущего интенсифицируется путем совмещения роста удельной поверхности частиц и эффекта уменьшения электрокинетического потенциала, а также гомогенизации зарядов ДЭС.

Как видно из приведенных данных при способе мокрого домола вновь обнажающиеся поверхности частиц вяжущей смеси взаимодействуют друг с другом, происходит увеличение электрического заряда частиц [8,139]. Анализируя полученные результаты можно отметить, что при комплексной электромеханической активации повышаются силы ионных притяжений за счет электрических зарядов и при их сближении возникают поверхностные валентные силы. Это обстоятельство в образовании коагуляционной структуры цементозольного геля и упрочнении системы являются одними из решающих факторов.

3.1.1 Исследование механизма активации цементнозолюшламовой вяжущей смеси при комплексном электромеханическом воздействии

Повышение реакционной способности компонентов вяжущего способом мокрого помола достигается не только за счет повышения дисперсности в жидкой фазе, но и изменением кристаллической структуры, формы частиц, что является предпосылкой интенсификаций процесса коагуляции цементозолошламовой смеси. Химический и минералогический состав исходного вяжущего при этом остаются неизменными [8].

Механизм активации цементнозолюшламовой смеси комплексным электромеханическим воздействием осуществляется за счет эффективного вскрытия потенциальных свойств частиц вяжущего с эффектом роста удельной поверхности и одновременным пропусканием электрического тока на внутренние участки измельчаемых частиц. В результате этого усиливается процесс помола, что увеличивает реакционную способность и активность вяжущего [8,10,113,140].

В предлагаемом нами способе одним из условий повышения вяжущих свойств сырьевых компонентов является поляризация частиц во время измельчения, при этом происходит активное взаимодействие активированных дисперсных частиц вяжущего вещества.

Для исследования механизма повышения активности вяжущего при способе комплексной электромеханической активации проведены измерения электрокинетического потенциала активируемой смеси. Для этого отбирались пробы вяжущей смеси обычного помола, а также после мокрого помола и КЭМА (Таблица 3.4). Из Таблицы 3.4 видно, что при способе комплексной электромеханической активации вяжущего значение ζ – потенциала меньше, по сравнению с обычным помолом и мокрым помолом, что сказывается на повышении активности вяжущей смеси, а, следовательно, прочности цементозольшламового камня и арболита на его основе. Снижение величины электрокинетического потенциала происходит вследствие более активного взаимодействия многозарядных анионов с отрицательными зарядами -

продуктами гидратации вяжущего и перехода противоионов из диффузного слоя в адсорбционный.

Таблица 3.4

Электрокинетический потенциал вяжущих смесей различного состава и способа помола

№	Состав вяжущего, %	Вид активации	Количество химической добавки	Время помола, с	ζ – потенциал, мВ
1.	Цемент : зола : шлам (55:35:10)	Без обработки	-	41,5	42,2
2.	Цемент : зола : шлам (55:35:10)	Мокрый домол	1% BaCl ₂ от общ. массы вяжущего	55,4	33
3.	Цемент : зола : шлам (55:35:10)	КЭМА	1% BaCl ₂ от общ. массы вяжущего	60,5	30,5

Кроме того, уменьшению ζ – потенциала, по-видимому, способствует частичная аморфизация поверхности активированного вяжущего. Воздействие электрического поля в процессе мокрого домола приводит к интенсификации процессов ионообмена вследствие увеличения количества мицеллообразующих частиц с определенным зарядом атомов, молекул и ионов в элементарном объеме.

Поляризуемость ионов за счет воздействия электрического поля приводит к повышению величины электрических зарядов, которые увеличивают активность их переноса, а также перегруппировку высвобождаемых электронов и ионов с преодолением энергетического барьера. Кроме этого, при эффекте комплексной электромеханической активации, очевидно, по теории Г. Фрейндлиха происходит гомогенизация зарядов по всему объему цементно-зольной смеси и нарушение агрегативной устойчивости системы за счет преобладания энергии притяжения, то есть преодоление расклинивающего давления (теория ДЛФО). Благодаря этому, интенсифицируется процесс коагуляции вяжущей смеси и интенсивное образование каркаса кристаллической решетки за счет образования кристаллогидратов [139].

Анализируя вышесказанное, можно отметить, что механизм комплексной электромеханической активации заключается в повышении сил ионных

притяжений за счет электрических зарядов и возникновении поверхностных валентных сил при их сближении.

3.1.2 Исследование процессов взаимодействия и образования фазового состава комплексных вяжущих композиций с золошламовыми добавками

Рентгенофазовый анализ. Дифрактометрическое исследование цементозолошламовых вяжущих проведено для образцов обычного помола и помола, совмещенного с комплексной электромеханической активацией (Рисунки 7а, 7б).

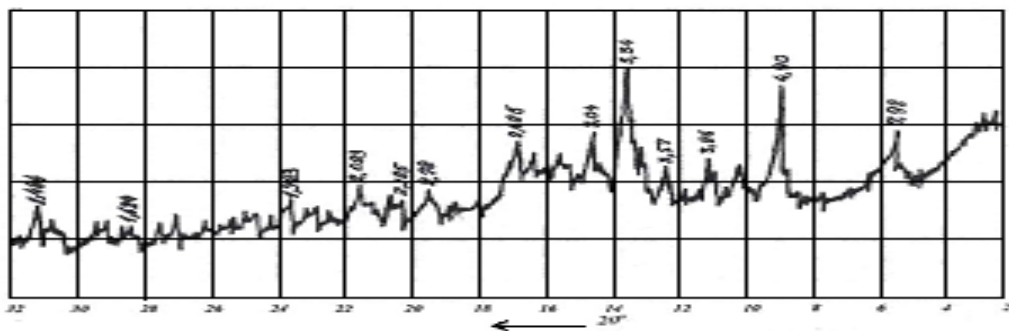


Рисунок 7а. Рентгенограмма цементозольношламового камня образцов нормально-влажностного твердения: а - без активации

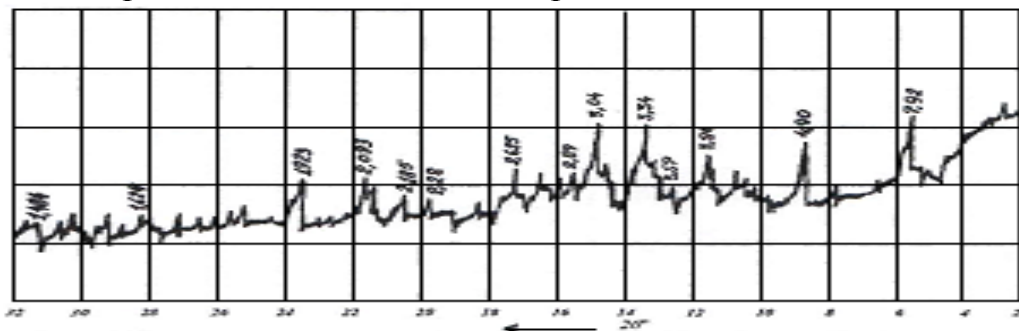


Рисунок 7б. Рентгенограмма цементозольношламового камня образцов нормально-влажностного твердения: б – с КЭМА

Рентгенограммы снимали на приборе ДРОН-3 после гидратации образцов в 28 - суточном возрасте. Исследуемый образец вяжущего камня тщательно измельчался и наносился тонким порошком на матовое стекло. Стекло закрепляли на столике в центре камеры и подвергали воздействию рентгеновских лучей. Дифракционная картина записывалась на перфокарте. Сущность рентгенофазового анализа (РФА) основывается на том, что порошковая

рентгенограмма гетерогенного образца представляет собой сумму рентгенограмм отдельных фаз. Каждая фаза характеризуется своим набором линий межплоскостных расстояний (d), индексов, отражающих плоскостей (h, k, l), интенсивности дифракционных линий (1). Качественный анализ сводится к сравнению с эталонными рентгенограммами из справочных материалов.

Навоинский цемент, из которого изготовлены образцы для рентгенофазового анализа, состоит из алита (C_3S) с $d = 3,029 - 2,744 - 2,181 - 1,761 \cdot 10^{-10}$ м; белита (C_2S) с $d = 2,81 - 2,691 - 1,97 - 1,759 - 1,627 \cdot 10^{-10}$ м; алюмината (C_3A) с $d = 2,81 - 2,70 - 1,906 - 1,556 \cdot 10^{-10}$ м; феррита (C_2F) с $d = 2,69 - 2,07 - 1,95 - 1,844 \cdot 10^{-10}$ м; гипса-полугидрата (бассанит – $CaSO_4 \cdot 0,5 H_2O$) с $d = 6,01 - 3,45 - 2,181 - 1,844 \cdot 10^{-10}$ м; периклаза (MgO) с $d = 2,438 - 2,108 - 1,488 \cdot 10^{-10}$ м и примесей; св. CaO с $d = 2,39 - 1,69 \cdot 10^{-10}$ м, а также $CaSO_4$ - ангидрита – $2,327 \cdot 10^{-10}$ м. Как видно, ряд рефлексов минералов накладываются друг на друга. Согласно полученным результатам, в образце с добавками из золошлама в качестве основных цементирующих минералов образуются минералы тоберморитовой группы (линии $d = 5,35 - 3,41 - 2,696 - 2,52 - 2,205 - 1,52 \cdot 10^{-10}$ м,) и низкоосновные гидросиликаты (линии $d = 4,25 - 3,34 - 2,457 - 2,28 - 1,818 - 1,541 \cdot 10^{-10}$ м), а также значительное количество аморфной фазы, которая, вероятно, представлена гелеобразными гидросиликатами, так как они относятся к плохо закристаллизованным минералам переменного состава и могут не создавать четких дифракционных отражений.

Согласно полученным результатам в образце из плотного раствора без добавки золошлама в качестве основных цементирующих минералов образуются минералы тоберморитовой группы: 1,1-нм тоберморит ($c1 = 1,126; 0,5459; 0,3079; 0,2969; 0,2281$ нм) и низкоосновные гидросиликаты ($\ddot{e} = 0,5040; 0,3041; 0,2803; 0,2427$ нм), а также значительное количество аморфной фазы, которая, вероятно, представлена гелеобразными гидросиликатами типа $C_8H(1)$, так как они относятся к плохо закристаллизованным минералам переменного состава и могут не создавать четких дифракционных отражений. Кроме того, в составе цементного камня обнаруживается присутствие минералов исходных компонентов: в значительном количестве кварца ($c1 = 0,4252; 0,3342; 0,2281;$

0,1820; 0,1669 нм) и в меньшей степени кальцита ($\gamma = 0,3844; 0,3024; 0,2490; 0,2090$ нм). Минеральный состав цементного камня образцов с добавкой золошлама в различном количестве представлен теми же минералами, что и цементный камень без добавки золошлама. Однако при этом наблюдается значительное изменение характера дифракционных отражений гидросиликатов, что позволяет предположить их фазовое и количественное изменение. Так в образце с добавкой золошлама в количестве 1,0 % относительное содержание тоберморита на 43 % выше, чем в исходном образце, что позволяет предположить формирование в структуре цементного камня большего количества данного минерала. На повышение содержания тоберморита указывает также увеличение интенсивности его дифракционных максимумов ($1 = 1,146; 0,5459; 0,3086$ нм). Увеличение ширины основания данных пиков, а также снижение расчетных значений размера ОКР тоберморита на 32 % в образце с добавкой золошлама, в сравнении с исходным образцом, указывает на снижение степени кристалличности данного минерала, что позволяет предположить преобладание в структуре материала кристаллов тоберморита меньшего размера. При этом содержание аморфной фазы увеличилось на 3,8%. В образце с добавкой золошлама в количестве 2 % относительное содержание тоберморита выше на 31 %, однако значение размера ОКР ниже на 42 %, а содержание аморфной фазы увеличивается на 8,8 %.

В образце с добавкой золошлама в количестве 4 % относительное содержание тоберморита выше на 11 %, чем в образце без добавки золошлама, в то время как значение размера ОКР снижается на 48 %. Относительное содержание аморфной фазы при этом выше на 16 %. В образцах с добавкой золошлама в количестве 2 и 4 % значительно увеличилась интенсивность дифракционного максимума при $d = 0,3041$, который согласно представлениям Клаусека [100] характеризует присутствие относительно хорошо закристаллизованных гидросиликатов типа CSH(I), что позволяет предположить повышение степени их закристаллизованности и относительного содержания при увеличении добавки золошлама.

Повышение относительного содержания 1,1-нм тоберморита в составе цементного камня при введении добавок золошлама, согласно существующим представлениям [57], 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, в результате того, что, согласно представлениям Виноградова Б.Н. [100], он по степени кристаллизации очень близок к гидросиликатам типа CSH(I) и может быть легко получен из них при соответствующих условиях.

На образование «аномальной» разновидности 1,1-нм тоберморита указывает смещение базисных расстояний основного дифракционного максимума характерного для него в сторону увеличения с 1,123 нм (контрольный образец) до 1,146 и 1,157 нм (в образцах с добавкой золошлама в количестве 1, 2 и 4 % соответственно), а также сближение базисных расстояний 0,5459 нм и 0,5040 нм, характерного для CSH(I). При этом, как указывают Хара и Иноу [108], «аномальные» разновидности 1,1-нм тоберморита имеют тенденцию образовывать меньшие по размерам кристаллы.

Рентгенофазовый анализ (рис.8), проведенный при помощи прибора ДРОН-3 на монохроматизированном кобальтовом излучении, показал, что в образцах цементозолошламовых вяжущих присутствует: гидроалюминат $C_4A H_{13}$ (линии $d = 7,9-2,989 \cdot 10^{-10}$ м), портландит (линии $d = 4,9 - 2,625 - 1,923 - 1,484 \cdot 10^{-10}$ м), кальцит (линии $d = 3,86 - 3,04 - 2,28-2,093-1,873-1,624 \cdot 10^{-10}$ м), барит (линии $d = 4,33-3,569-3,43-3,088-2,28 \cdot 10^{-10}$ м), алит (линии $d = 2,775-2,607-2,185 \cdot 10^{-10}$ м), гидросиликат C_2SH (A) (линии $d = 3,34-2,625 \cdot 10^{-10}$ м), гидросиликат $C_2 SH$ (C) (линии $d = 3,04-2,89 \cdot 10^{-10}$ м), кварц (линии $d = 3,34 \cdot 10^{-10}$ м). Воздействие атмосферной двуокиси углерода привело к частичной карбонизации проб образцов и образованию кальцита.

Сравнение полученных рентгенограмм не позволило выявить наличие в образцах вяжущих, активированных способом комплексной электромеханической активации, новых фаз, которые могли бы образоваться в них при воздействии

электромеханического измельчения. Степень гидратации алита в образце, активированном способом комплексной электромеханической активации, по сравнению с интенсивностью аналогичной линии в образце без активации выше, на что указывает уменьшение дифракционного пика алита $d = 2,185 \cdot 10^{-10}$ м.

Фазовый состав цементнозольношламовых образцов, содержащий в составе пыль золы в количестве 0,20% (Рисунок 8а, б), состоит из гидроалюмината $C_4 AH_{13}$ ($d = 7,92 - 2,89 \cdot 10^{-10}$), портландита (линии $d = 4,92 - 2,628 - 1,923 - 1,484 \cdot 10^{-10}$ м), кальцита (линии $d = 3,87 - 3,03 - 2,28 - 2,093 - 1,873 - 1,624 \cdot 10^{-10}$), барита (линии $d = 3,43 - 3,087 - 2,28 \cdot 10^{-10}$), алита (линии $d = 2,775 - 2,607 - 2,185 \cdot 10^{-10}$ м), гидросиликата $C_2 SH$ (А) (линии $d = 3,34 - 2,625 \cdot 10^{-10}$ м), гидросиликата $C_2 SH$ (С) (линии $d = 3,03 - 2,89 \cdot 10^{-10}$ м), кварца (линии $d = 4,25 - 3,34 - 2,28 \cdot 10^{-10}$ м).

Если сравнивать образцы композиционного вяжущего с КЭМА с образцами обычного помола, то можно заметить 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. Помимо этого, во всех КЭМА образцах вяжущего отмечено снижение содержания барита $d = 4,33 - 3,43 - 3,087 - 2,28 \cdot 10^{-10}$ м.

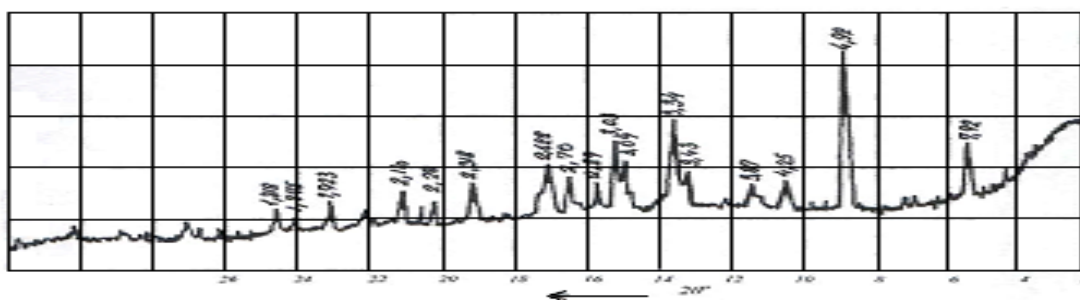


Рисунок. 8а. Рентгенограмма цементозольношламового камня образцов нормально-влажностного твердения: а) обычного помола

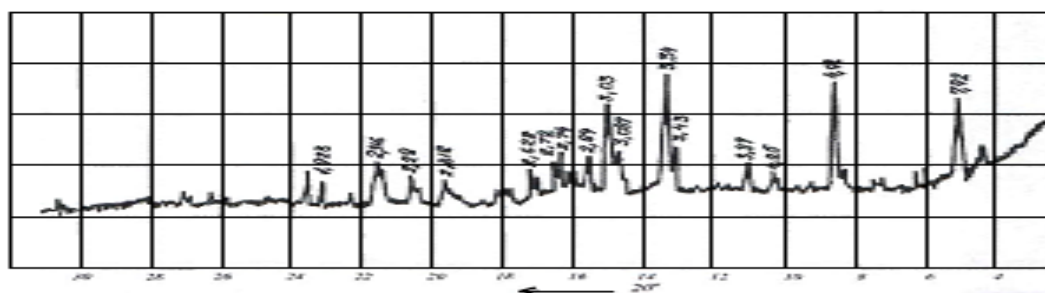


Рисунок. 8б. Рентгенограмма цементозольношламового камня образцов нормально-влажностного твердения: б) – помол с применением КЭМА.

Термографический анализ. Как показали проведенные исследования результаты термографического анализа цементозольношламового камня вяжущего подтверждают данные рентгенофазового анализа. Так, эндотермические эффекты на кривых ДТА при температуре 413 °К соответствуют удалению гидратной и цеолитной воды, а эндотермические эффекты при 823 и 973 °К – полиморфным превращениям, экзотермический эффект при 1063 °К отражает кристаллизацию волластонита и кристоболита (Рисунок. 9, кр. 3).

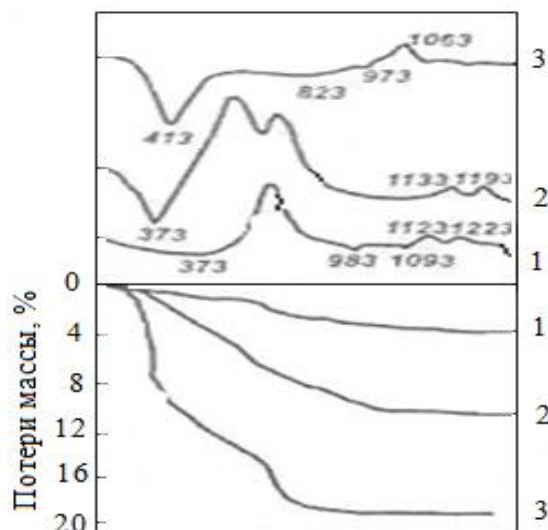


Рисунок 9. Термограммы:

- 1 – исходной высококальцевой золы-уноса;
- 2 – гидратированного вяжущего на основе высококальцевой золы-уноса с использованием бокситового шлама;
- 3 – на основе цементозольного вяжущего и с добавками бокситового шлама

О глубоких изменениях, происходящих в изучаемой вяжущей композиции цементозольношламового камня вяжущего, свидетельствуют данные ИК-

спектроскопии, согласно которым резко возрастает интенсивность полос поглощения в области 1450 и 878, 895 см^{-1} , происходит изменение формы основной полосы валентных колебаний Si-O связей. Также исчезает высокочастотный максимум при 1096 см^{-1} , полоса смещается от 1030 до 1010 см^{-1} , становятся незначительными или совсем исчезают дополнительные максимумы, кроме полосы при 516 см^{-1} , интенсивность, которой, наоборот, возрастает, а максимум смещается до 520 см^{-1} (рис. 10).

Перечисленные ИК-спектроскопические изменения отражают значительное увеличение содержания карбонатов и уменьшение количества таких кристаллических силикатных фаз, как кварц. Полученная фаза характеризуется довольно высокой степенью полимеризации кремнекислородных тетраэдров и, вероятно, большим числом ионов алюминия, выполняющих роль катионов в шестерной координации (полоса при 520 см^{-1}) (Рисунок 10, кр. 2).

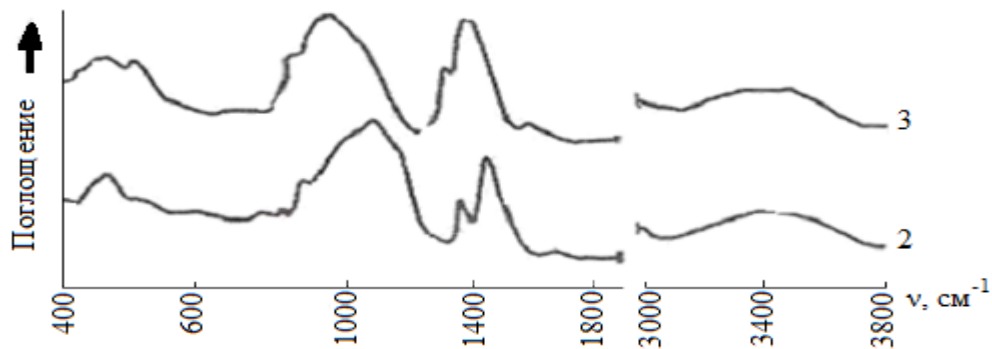


Рисунок 10. ИК-спектрограммы гидратированных вяжущих композиций:
 2– гидратированного вяжущего на основе высококальциевой золы-уноса с использованием бокситового шлама,;
 3– гидратированного цементозольного вяжущего и с использованием бокситового шлама.

Пропаривание изучаемой композиции в течение 250 ч способствует более глубокому протеканию процесса взаимодействия высококальциевой золы-уноса с бокситовым шламом. Об этом свидетельствуют данные рентгенофазового анализа, согласно которому усилились линии новообразований, которые присутствуют в рассматриваемой системе сразу после пропаривания. Наряду с

указанными новообразованиями появляются линии с $d = 5,71; 2,71; 2,18; 1,91\text{Å}$, относящиеся к кальциевому цеолиту-жисмондину.

Таким образом, экспериментальное изучение продуктов взаимодействия шламов в сочетании с высокоосновными добавками, а также композиций на основе высококальциевой золы-уноса показало, что их фазовый состав определяется видом шлама, добавки и условиями твердения.

При изучении фазового состава вяжущих композиций с минеральными активными добавками золы-уноса после тепловлажностной обработки использованы рентгеновские и дериватотермические методы анализа. Из данных рентгенофазового анализа следует, что в случае затворения золы-уноса с бокситовым шламом наблюдаемые на рентгенограмме $d-1,421; 0,53; 0,354; 0,253; 0,245; 0,212$ нм указывают на наличие десяти водного однокальциевого гидроалюмината (Рисунок 10, кр. 3), а линии с $d - 0,424; 0,354; 0,337; 0,253; 0,245; 0,228; 0,212; 0,181$ нм и $d - 0,586; 0,441; 0,305; 0,2936; 0,253; 0,228; 0,136$ нм – на наличие гидrolита и натролита. Определение состава новообразований при твердении композиции, состоящей из золы-уноса и шлама, проведенное с помощью рентгенофазового анализа, в целом согласуется с результатами термографического анализа.

Согласно данным ДТА, эндотермический эффект при температуре 1193 °K соответствует диссоциации кальцита (Рисунок 10, кр. 2), эндоэффект при 873 и 973 °K – дегидратации, экзоэффект при $1073-1173\text{ °K}$ – кристаллизации продукта дегидратации на CS. Эндоэффект при 973 °K и экзоэффект при 1073 °K отражают кристаллизацию воллостанита и кристаболлита.

Таким образом, показано, что композиции на основе золы-уноса обладают вяжущими свойствами, а фазовый состав продуктов твердения определяет характер этих свойств. Подводя итоги эксперимента, и анализируя отличия данных фаз, можно констатировать, что возникающие процессы оказывают существенное влияние при формировании прочностных характеристик, содержащих цемент, золу и шлам образцов и, в конечном счете, арболита, изготовленного на основе содержащих цемент, золу и шлам вяжущих.

3.2 Разработка арболитобетона на основе цементнозолошламовой смеси и измельченной скорлупы грецкого ореха

Для изучения вопроса использования твердых органических отходов сельского хозяйства в составе арболитобетонов проведены исследования по получению легкого арболитобетона с органическим заполнителем на основе измельченной скорлупы грецкого ореха, и для сравнения скорлупы земляного ореха, различной фракций. Химический состав скорлупы грецкого и земляного орехов приведены в Таблицах 2.5 и 2.6 главы 2.

После измельчения органического заполнителя для нейтрализации растворимой сахарозы в составе скорлупы ореха проводились опытные работы по ее двухсуточной водной вытяжке в закрытой емкости, заполненной горячей водой при первоначальной температуре 90°C с естественным охлаждением. После выдержки в водной среде в течение двух суток, изучаемые материалы высушивались до естественного состояния по стандартной методике [7,10,70,73].

Измельчение скорлупы грецкого ореха производилось в барабанной мельнице МШЛ-1П (Мельница шаровая лабораторная) [7].

Для определения фракционного состава измельченная скорлупа грецкого ореха была просеяна через сита с отверстиями 1,25 мм; 1,5 мм; 2,5 мм; 5 мм и 10 мм по методике [7,10]. Полученные результаты приведены в Таблицах 3.5 и 3.6.

Таблица 3.5

Фракционный состав измельченной скорлупы грецкого ореха

Наименование и состояние заполнителей	Остаток в % по массе на ситах с размером ячеек в свету, мм					Прошло через сито с отверстием 1,25 в %
	10	5	2,5	1,5	1,25	
Полные	Скорлупа грецкого ореха					3
	0	15	93	95	97	

Для сравнения был определен фракционный состав скорлупы земляного ореха (Таблица 3.6).

Таблица 3.6

Фракционный состав измельченной скорлупы земляного ореха

Наименование и состояние заполнителей	Остаток в % по массе на ситах с размером ячеек в свету, мм					Прошло через сито с отверстием 1,25 в %
	10	5	2,5	1,5	1,25	
Полные	Скорлупа грецкого ореха					0
	0	61	98	99	100	

Из Таблицы 3.5 видно, что измельченные частицы с размерами фракции 1,25 составляют 3 %, а фракции 10 составляют 15 %. Основная масса полученного материала состоит из частиц фракции 1,5-5 и суммарно они составляют 82%. Такое соотношение фракции измельченной скорлупы ореха по-видимому объясняется тем, что в отличие от стеблей хлопчатника, тростника камыша, костры конопли, пшеничной и рисовой соломы, скорлупа грецкого ореха не имеет волокнистой составляющей и дает более мелкие твердые фракции, что дает возможность получения из них легкого эффективного арболита [7].

Данные Таблицы 3.6 показывают, что измельченные частицы с размерами фракции 1,25-2,5 составляют 2 %, а фракции 5-10 составляют 98 %. Это, по-видимому, объясняется тем, что скорлупа земляного ореха имеет более волокнистую структуру и она является более упруго-пластичным материалом, чем скорлупа грецкого ореха [7].

Для дальнейшего получения оптимального состава органических заполнителей на основе измельченной скорлупы ореха составлено 7 проб со следующим процентным содержанием различной фракции (Таблица 3.7) [7].

Для получения легкого арболитобетона использовалась комплексная электромеханически активированная вяжущая смесь следующего состава: цемент – 55 %, зола – 35 %, бокситовый шлам – 10 %. Для нейтрализации сахарозы в составе целлюлозного органического заполнителя также использована добавка хлорида бария $BaCl_2$ в количестве 1 % от массы вяжущего [139,7].

Процентное содержание различной фракции в составе измельченной скорлупы ореха

№ пробы	Содержание (%) различной фракции (мм)				
	Фракция 1,25 мм	Фракция 1,5 мм	Фракция 2,5 мм	Фракция 5,0 мм	Фракция 10,0 мм
1	10	10	30	40	10
2	5	20	30	30	15
3	10	10	20	20	40
4	10	10	20	50	10
5	10	10	10	60	10
6	5	10	15	60	10
7	10	10	50	20	10

Прочностные характеристики цементного камня определяли на образцах-кубах с ребрами 10 см по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 10180.

Комплексная электромеханическая активация вяжущих составов производилось следующим образом по стандартной методике [8,10,74,139,140]:

- подготовка и дозирование цементозольношламового вяжущего;
- приготовление и перемешивание определенного количества воды с массой, соответствующей массе золы и шлама, с хлоридом бария в количестве 1% от общей массы вяжущего;
- загрузка в барабанную электромеханическую мельницу отдозированного количества воды с химической добавкой (электролитом), золы и шлама при отношении воды к золошламовой добавке В/ЗШ = 1,0;
- процесс мокрого домола с пропуском электрического тока напряжением от 30 до 60 В через вяжущую смесь через каждые 5 минут с общей продолжительностью процесса активации 20 минут;
- после 20 минут активации к смеси золы и шлама добавляем 55% цемента от общей массы вяжущего и недостающее количества воды до достижения В/Ц = 0,6;
- совместный помол в течение 10 минут с одновременным пропуском через цементозольношламовую (ЦЗШ) смесь электрического тока с интервалом в 2 минуты.

Для повышения прочности камня вяжущего различных составов использована методика обычного помола и для сравнения метод комплексной электромеханической активации. Полученные результаты испытаний образцов разного состава при 28-суточном сроке твердения и разных технологических методов приведены в Таблице 3.8.

Таблица 3.8

Прочность при сжатии цементозольношламового вяжущего при различных технологических методах

№ состава	Состав материала, %	Вид* активации	Количество добавки	Предел прочности при сжатии, МПа
1.	Цемент : зола : шлам (60 : 40 : 0)	без обработки	-	29,8
2.	Цемент : зола : шлам (60 : 35 : 5)	мокрый домол	1 % BaCl ₂ от мас. вяжущ.	44,2
3.	Цемент : зола : шлам (60 : 30 : 10)	КЭМА	1 % BaCl ₂ от мас. вяжущ.	50,2
4.	Цемент : зола : шлам (55 : 40 : 5)	без обработки	-	28,5
5.	Цемент : зола : шлам (55 : 38 : 7)	мокрый домол	1 % BaCl ₂ от масс. вяжущ.	43,7
6.	Цемент : зола : шлам (55 : 35 : 10)	КЭМА	1 % BaCl ₂ от масс. вяжущ.	51,4
7.	Цемент : зола : шлам (50 : 45 : 5)	без обработки	-	28,2
8.	Цемент : зола : шлам (50 : 40 : 10)	мокрый домол	1 % BaCl ₂ от масс. вяжущ.	40,4
9.	Цемент : зола : шлам (50 : 35 : 15)	КЭМА	1 % BaCl ₂ от масс. вяжущ.	48,5

*Примечание: КЭМА – комплексная электромеханическая активация, BaCl₂ – хлорид бария

3.3 Разработка состава цементозольношламового вяжущего с помощью метода регрессионного анализа

Исследования показали, что введение добавки из бокситового шлама позволяет повысить прочностные характеристики цементозольного вяжущего,

что создает предпосылки для экономий расхода цемента при обеспечении требуемой прочности не менее 50 МПа.

Оптимизация составов цементозольношламового вяжущего выполняли методом математического планирования эксперимента. Для этого использовался трехфакторный эксперимент на трех уровнях по ортогональному плану полного факторного эксперимента 2^3 . В данных условиях все коэффициенты полинома не только определяются, но и оцениваются независимо друг от друга. Это означает, что если тот или иной коэффициент незначим, то его можно отбросить, не пересчитывая все остальные. 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 золошламосодержащего 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 для реализации запланированных экспериментов приведены в Таблице 3.9.

Таблица 3.9

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

Число экспериментальных точек в плане 15. 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:

$$Y_1(R_{сж}) = 24,88 + 8,83X_1 - 4,48X_2 - 1,02X_1^2 - 0,8X_2^2 - 2,98X_3^2 \text{ (МПа)}; \quad (3.1)$$

$$Y_2(P) = 1610 + 59,3X_1 - 139,6X_2 - 51,3X_3 - 9,9X_1^2 - 13,3X_2^2 + 6,17X_3^2 \text{ (кг/м}^3\text{)} \quad (3.2)$$

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 математическим моделям прочности и плотности цементозольношламового вяжущего, также данным, полученным в ходе реализации активного эксперимента, выполнен расчет оптимальных составов цементозольношламового вяжущего, которые приведены в Таблице 3.10.

Таблица 3.10

**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 табл. 3.10 видно, что на всем диапазоне изменения предела прочности при сжатии цементозольношламового вяжущего расходы цемента существенно ниже нормируемых значений соответствующего класса вяжущего. Как видно из Рисунков 11, 12 и Таблицы 3.10, 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%.

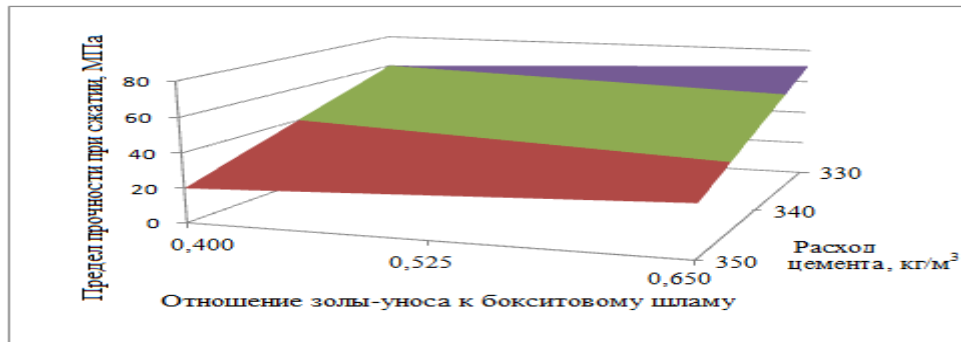


Рис. 11 Зависимость предела прочности цементозольношламового вяжущего при сжатии от расхода цемента и золы-уноса к бокситовому шламу

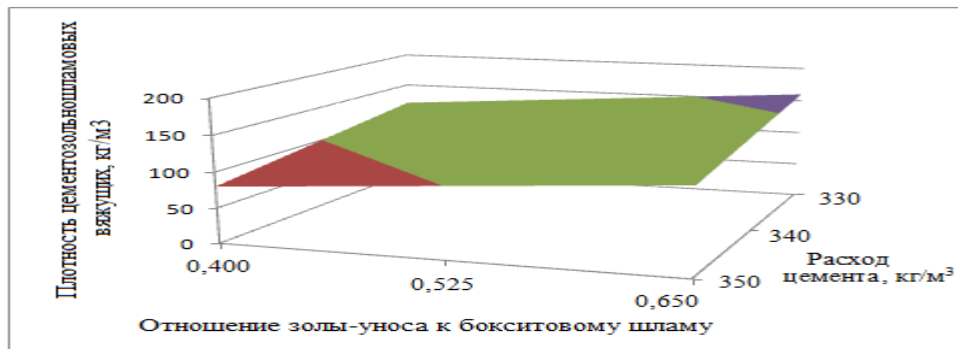


Рис. 12 Зависимость плотности цементозольношламового вяжущего от расхода цемента и золы-уноса к бокситовому шламу

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

В работе также проводились исследования по нейтрализации сахарозы в составе органического заполнителя добавлением хлорида бария $BaCl_2$ различного количества от общей массы вяжущего [74]. По результатам экспериментальных работ установлено, что добавка до 1,0 % вещества с низким рН, таким как хлорид бария, в состав арболитовой смеси на цементозольношламовом вяжущем вместе с нейтрализацией сахарозы в составе заполнителя увеличивает прочность при сжатии арболитовых образцов до 51,4 МПа при постоянном токе (Таблица 3.2). Содержание хлорида бария более 1,0 %, по-видимому, приводит к размягчению скорлупы ореха и его пластичному состоянию, закрывая микропоры в скорлупе,

образовавшиеся после ее водной вытяжки, тем самым затрудняя проникновение в них активированного вяжущего.

Исследования прочности при сжатии образцов вяжущего камня при различных видах активации показали увеличение прочности от 29,8 МПа (состав № 1) при традиционной технологии без химической добавки до 51,4 МПа (состав № 6) при КЭМА с добавкой 1% хлорида бария $BaCl_2$ (Таблица 3.8) [7].

Комплексная электромеханическая активация усиливает процесс помола и увеличивает реакционную способность и активность вяжущего [10,74], а добавка хлорида бария способствует нейтрализации сахарозы в составе органического заполнителя и облагораживает внешнюю поверхность скорлупы грецкого ореха. Для дальнейших исследований нами принято ЦЗЦВ состава № 6 с более предпочтительной прочностной характеристикой (табл. 3.8) [7].

В данной работе также были проведены экспериментальные исследования по определению оптимального соотношения вяжущей смеси и органического заполнителя – измельченной скорлупы грецкого ореха (Таблица 3.11).

Таблица 3.11

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 3.11) установлено увеличение предела прочности при различных сроках твердения от 3,68 МПа при соотношении № 4 до 3,90 МПа при соотношении № 3.

Из экономической целесообразности в качестве базового было выбрано соотношение № 3 как наиболее экономичное по расходу КЭМА вяжущего и наилучшее по прочностным показателям (Таблица 3.11).

Анализ данных Таблицы 3.11 показывает некоторое снижение прочности арболита при соотношении компонентов вяжущего состава к органическому заполнителю 1:0,75. Это, по-видимому, объясняется тем, что большее содержание в них (в единице объема) частиц скорлупы грецкого ореха фракции 5,00 и 10,00 мм оказывает расклинивающее действие на прослойку цементного теста, обволакивающую частицы шероховатой поверхности органического заполнителя [7].

При испытании арболитовых образцов различных сроков твердения установлено, что наиболее оптимальным по прочностным характеристикам является состав пробы 7, его предел прочности при сжатии достигает до 3,90 МПа при 90-суточном возрасте твердения (Таблица 3.12).

Таблица 3.12

Прочность при сжатии арболитобетона в зависимости от фракционного состава измельченного органического заполнителя

Составы арбо-лито-бетона	Предел прочности арболитобетона при сжатии после выдерживания через, МПа				
	7 суток	14 суток	28 суток	60 суток	90 суток
1.	0,60	2,11	3,25	3,40	3,50
2	0,68	2,25	3,34	3,54	3,66
3	0,73	2,33	3,38	3,61	3,72
4	0,71	2,31	3,37	3,67	3,71
5	0,75	2,35	3,40	3,72	3,76
6	0,74	2,36	3,43	3,73	3,75
7	0,74	2,50	3,50	3,82	3,90

В работе также по стандартной методике была определена по ГОСТ 30256 теплопроводность, коэффициент теплопроводности составил 0,015 Вт / м °К [7].

Для определения актуальности и целесообразности изучаемого материала нами по предварительным расчетам установлено, что исследуемый арболит по

своим показателям не уступает арболитам по традиционной технологии и даже по некоторым параметрам превосходит их (табл. 3.13) [7].

Таблица 3.13

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.

3.4 Исследование свойств цементозольношламового арболитобетона на основе органического заполнителя из измельченной скорлупы грецкого ореха

3.4.1 Влияние органических заполнителей на основе измельченной скорлупы грецкого ореха и вяжущих на физико-механические характеристики и технологические особенности получения цементнозольношламового арболита

В связи с тем, что древесина является дефицитным и долго восполняемым сырьем в регионе Центральной Азии, органическим заполнителем при производстве арболита могут служить отходы сельского хозяйства и различной растительности. Хотя древесный заполнитель обладает такими ценными свойствами как малая средняя плотность, недефицитность, хорошая смачиваемость, легкость обработки, в частности дробления и другие, у него имеются и отрицательные качества, затрудняющие получение материала высокой прочности из высокопрочных компонентов [1,15,17,19,73,94].

Наличие в заполнителе легкогидролизуемых и экстрактивных веществ, так называемых «цементных ядов», вредных для цемента, является одной из специфических особенностей древесного заполнителя. Эти «цементные яды» резко замедляют схватывание и набор прочности цементного камня, сильно снижают прочность растворной части арболита. Основная часть этих вредных веществ является легкорастворимыми сахарами. Их концентрация максимальна у поверхности заполнителя, что приводит к очень низкой адгезии и значительному ослаблению контактной зоны [1,4,5,17,19,94]. Поэтому все усилия исследователей и практиков направлены на нейтрализацию такого вредного влияния.

В работах [1,17,19] установлено, что наиболее вредные воздействия оказывают легкорастворимые простейшие сахара как сахароза, глюкоза, фруктоза и часть гемицеллюлозы, способной в определенных условиях перейти в форму таких сахаров, в меньшей степени опасны крахмал, танниды и смолы. Щелочная среда цементного теста способствует выделению «цементных ядов», количество

которых изменяется в значительных пределах в зависимости от породы древесины, условий и сроков хранения.

На некоторых производствах, особенно за рубежом, применяется наполнитель только хвойных пород, так как прочность арболита на основе их выше, чем на лиственных породах. Это объясняется наличием древесных смол в хвойных породах, причем такого состава, что они являются естественными минерализаторами древесины.

В работах [9,12,17,31,34,35,80-82,88,145] авторы предлагают для изготовления арболитовых изделий методом виброштампования из шлакощелочных арболитовых составов тонкомолотый фосфорный шлак перемешивать с дроблеными стеблями хлопчатника или рисовой лузгой и с водным раствором жидкого стекла. Арболитовые образцы изготавливают формованием, используя для этой цели матрицы и замыкающиеся формы. Твердение арболитовых образцов производят при температуре 291-293 К. Полученный при этом материал, имеет марочную прочность 0,1-0,25 МПа. Они же отмечают, при что замене портландцемента шлакощелочной вяжущей смесью из технологии производства исключаются операции по вымачиванию наполнителя. Потому что при твердении системы «шлакощелочное вяжущее – органический наполнитель» не образуются вредно влияющие на твердение арболита соединения. К тому же, при этом исключается применение химических добавок таких как минерализаторы и ускорители твердения портландцементного арболита [73].

Научный и практический интерес вызывают работы [12,17,31,34,35,40,48], направленные на разработку и исследование органоминеральных композиционных материалов на основе безобжиговых щелочных вяжущих и отходов сельского хозяйства, в частности арболитов. На улучшение физико-механических свойств арболита путем пропитки последнего термопластами направлены работы [57,64,65,66]. Специфической особенностью арболита является его структура. Поэтому для создания теплоизоляционного арболита с плотностью менее 500 кг/м³ необходимо учитывать и тот фактор, что применение

тепловлажностной обработки не желательно, так как органический наполнитель имеет высокое водопоглощение. Кроме того, первоочередной задачей для создания арболита на сельскохозяйственных отходах является изучение экстрактивных веществ, от содержания которых зависят показатели получаемого материала [73].

Решение задач при разработке технологии получения цементозольношламового арболита тесно связано также с вопросами расширения их сырьевой базы: с одной стороны исследования должны быть направлены на возможности использования имеющихся местных отходов промышленности, а с другой стороны необходима оценка их пригодности для получения цементнозольношламовых вяжущих веществ.

3.4.2 Анализ химического состава органического наполнителя и его адгезионной способности с цементнозольношламовым вяжущим

Для скорлупы грецкого ореха характерна, в основном, равномерная складчатая структура, что подтверждает сходство скорлупы грецкого ореха и древесины по строению и химическому составу. Это дает возможность использования основных характеристик древесины и для скорлупы грецкого ореха рыхлой структуры.

Скорлупа грецкого ореха состоит из клетчатки (примерно 69% всей массы скорлупы грецкого ореха стебли), пектозана, водорастворимых веществ и небольшого количества экстрактивных веществ - танинов (дубильных и красящих веществ) и жиров [5, 41].

Целлюлоза и лигнин, составляющие основную массу клетчатки, являются достаточно стойкими веществами и вредного влияния на процесс твердения клинкерных цементов не оказывают. Пектозан в скорлупе грецкого ореха представляют собой сложный комплекс олиго- и полисахаридов, способных в щелочной среде гидролизироваться и переходить в водорастворимые сахара. Простейшие водорастворимые сахара (сахароза, глюкоза, фруктоза) содержатся в

скорлупе грецкого ореха в небольшом количестве (0,2 ...0,5% от ее массы) [5,41,145,146].

Благодаря малому размеру молекул, водорастворимые сахара легко вымываются из нее раствором «минерализатора» и попадают в вяжущее цементное тесто.

Экстрактивные вещества - танины имеют большие размеры молекул. Они вымываются из скорлупы грецкого ореха только горячей водой или горячим раствором «минерализатора» и хорошо осаждаются. Вследствие этого танины не оказывают существенного влияния на процесс твердения цемента.

Смолистые вещества, содержащиеся в скорлупе грецкого ореха, не оказывают влияния на процесс твердения цемента. Они, выделяясь из скорлупы грецкого ореха и, при взаимодействии с хлоридом бария в составе вяжущего, нейтрализуются.

Проведенные исследования показали, что скорлупа грецкого ореха содержит легкогидролизуемые и экстрактивные вещества - «цементные яды», вредные для цемента, которые замедляют набор прочности испытываемых образцов [5,15,17,39,41,145,146].

Щелочная среда цементного теста способствует выделению из органического заполнителя так называемых «цементных ядов». В работах [17,39,41,145,146] было выявлено, что воздействие водорастворимых веществ скорлупы грецкого ореха на твердеющий вяжущий состав проявляется в стабилизирующем эффекте аналогично действию поверхностно-активных веществ.

«Цементные яды», состоящие в основном из углеводных групп, осаждаясь на поверхности частичек минералов вяжущего вещества, образуют тончайшие оболочки. Они изолируют частицы вяжущего от воды и замедляют ход процесса гидратации.

Для уменьшения отрицательного влияния водорастворимых экстрактивных и легкогидролизуемых веществ на прочность арболитовых композитов были предложены различные способы и технологические приемы, сущность которых заключалась в частичном удалении этих веществ из растительных отходов и в

ускорении твердения вяжущего состава (т.е. в сокращении времени воздействия сахаров на процесс твердения).

В большинстве своем предложенные способы «минерализации» органического заполнителя требуют его многоступенчатой обработки различными химикатами с последующим кипячением или промывкой, выдержки в силосах для стабилизации его свойств или сушки и др. Из многочисленных добавок, опробованных в отечественной и зарубежной практике, приняты такие, при которых «минерализаторами» заполнителя растительного происхождения служат хлористый кальций и жидкое стекло [42,147].

Хотя применяемые способы «минерализации» растительного заполнителя и повышают скорость нарастания прочности в начальный период, однако все же, не позволяют получать достаточно прочный материал [73].

В данной работе в роли «минерализаторов» водорастворимых веществ скорлупы грецкого ореха 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. Для полученного водного раствора характерна щелочная реакция среды, что позволяет использовать их в качестве минерализатора органического заполнителя. Гидроксид кальция, поглощая из атмосферы углекислый газ CO_2 , твердеет, превращаясь в кальциевый карбонат CaCO_3 , что повышает скорость нарастания прочности.

Кроме того, гидроксид кальция обладает дубящими свойствами, что способствует облагораживанию внешней поверхности скорлупы грецкого ореха.

Исследования, проведенные в работах [3,5,15,17,32,33,147] показали возможность увеличения прочности арболита на 7 - 10% при удалении легкогидролизуемых веществ из заполнителя на основе измельченных стеблей хлопчатника. А при применении в качестве органического заполнителя измельченной скорлупы грецкого ореха – на 8 - 9 % [73].

Таким образом наличие экстрактивных и легкогидролизуемых веществ в заполнителе арболита на основе измельченной скорлупы грецкого ореха должно учитываться при разработке технологии производства арболитобетона [73].

3.4.3 Технологическая схема нейтрализации экстрактивных веществ из скорлупы грецкого ореха

В настоящее время промышленная переработка скорлупы грецкого ореха для получения строительных материалов не проводилась. В то же время, твердые органические отходы как скорлупа грецкого ореха могут стать ценным сырьем в качестве заполнителя и добавок для цементосодержащих композиций. Для производства арболитов на основе растительного сырья обычно применяется прессовой способ производства [95,149].

Сравнение химического состава скорлупы грецкого ореха с составом древесного сырья показывает, что содержание целлюлозы в скорлупе грецкого ореха ниже (45,7%), чем в обычной древесине (48-56%). Однако общее содержание углеводов примерно одинаково. Это обусловлено высоким содержанием гемицеллюлозы, в частности, пентозанов (26,4% в скорлупе против 10-12% в древесине), и пониженным содержанием лигнина в скорлупе грецкого ореха (23,2% в скорлупе против 26-30% в древесине) [7,150]. Поэтому содержание веществ, экстрагируемых раствором щелочи из скорлупы грецкого ореха больше, чем из древесины.

При таком экстрагировании в раствор переходят крахмал, пектины, неорганические соли, некоторые полисахариды, циклические спирты, красители, танины, а также часть гемицеллюлозы, урановые кислоты и низкомолекулярные фракции целлюлозы.

Качественное отличие экстрактов из скорлупы грецкого ореха по сравнению с экстрактами из целлюлозы заключается в том, что гемицеллюлоза скорлупы грецкого ореха состоит в основном из пентозанов, в то время как гемицеллюлоза хвойной древесины является очень сложной смесью полисахаридов, содержащими кроме ксиланов глюкоманнаны и галактоманнаны [7,150].

Увеличение скорости гидратации минералов C_3A ($3CaO-Al_2O_3$) и C_4AF ($4CaO-Al_2O_3-Fe_2O_3$) ускоряет схватывание цементного теста - это проявляется в большей степени для обычных цементов, что было отмечено выше.

Ускорение гидратации алюминат содержащих фаз цемента инициирует реакции гидратации и твердения других минералов. Ввиду большего содержания алюминат содержащих минералов в составе обычных цементов их твердение в присутствии щелочного экстракта скорлупы ореха в ранние сроки возрастает, поэтому прочность бетона может существенно увеличиваться.

Максимальная прочность арболита на основе органического заполнителя из измельченной скорлупы грецкого ореха достигается при содержании высококальциевой золы и шлама 14-15% от смеси.

Щелочной экстракт скорлупы ореха снижает водопотребность цементов и значительно ускоряет скорость процессов структурообразования и гидратации, тем самым повышая прочность композиций на основе цемента, золы и шлама. Водоудерживающая способность экстракта способствует возрастанию полноты гидратации цемента, и зрелая структура цементного камня, содержащего щелочной экстракт, формируется в более раннем возрасте.

3.4.4 Определение факторов, влияющих на физико-механические характеристики цементнозолошламового арболита на измельченной скорлупе грецкого ореха

Повышение прочности и ускорения структурообразования и затвердения арболита являются важными факторами, позволяющими повысить качество и организацию энерго- и металлосберегающей технологии производства цементнозольношламового арболита на измельченной скорлупе ореха.

Известно, что в арболитах на древесной дробленке, костре конопли и льна и других, применяются ряд добавок, а в арболите на измельченной скорлупе ореха, изученном ранее, получен положительный эффект при использовании высококальциевой золы-уноса и бокситового шлама. Исходя из этого, в данной

работе изучена кинетика структурообразования и затвердения вяжущих минералов с целью выявления причин, замедляющих процесс нарастания прочности арболита на измельченной скорлупе ореха и подбора добавок для улучшения качества исследуемого арболита.

Исследование химической активности измельченной скорлупы ореха проводилось по степени и характеру влияния их водозэкстраактивных веществ (ВЭВ) на процессы структурообразования и затвердевания цементнозольношламовых вяжущих.

Влияние водозэкстрактивных веществ скорлупы ореха на структурообразование и затвердевание цементнозольношламовых вяжущих компонентов изучалось следующим образом: скорлупа ореха тонко измельчалась и просеивалась через сито отверстиями 10; 5; 2,5; 1,5 и 1,25 мм, затем смешивалась с цементозолошламовым вяжущим и водой в определенных ранее пропорциях. Из полученной смеси изготавливались образцы размером 10x10x10 мм.

Для изучения механических свойств арболита на активированном вяжущем были проведены опыты по определению прочности при сжатии образцов-кубиков в различные сроки твердения и получены усредненные кривые по результатам испытания. Предел прочности при сжатии определяли через 7, 28 и 60 сут на гидравлическом прессе разрушающим методом

В Таблицах 3.14 и 3.15 приведены данные влияния способов активации цементозольношламового вяжущего на прочность арболита на основе скорлупы грецкого ореха (Таблица 3.14) и для сравнения – на прочность арболита на основе скорлупы земляного ореха (Таблица 3.15). Построен график зависимости прочности арболитов на заполнителях из скорлупы грецкого и земляного орехов от способов активации ЦЗШВ (Рисунки 13а и 13б, соответственно).

**Влияние способов активации ЦЗШ вяжущего на предел прочности арболита
на основе скорлупы грецкого ореха**

Расход материалов на 1 м ³ арболита		Предел прочности арболита при сжатии в зависимости от способа активации ЦЗШВ, МПа (в 28- суточном возрасте)			
ЦЗШВ (состава цемент:зола:шлам 55:35:10%), кг	Скорлупа грецкого ореха, кг	Без обработки	Мокрый домол	Мокрый домол с хлоридом бария	КЭМА
335	245	2,2	2,4	2,8	3,5

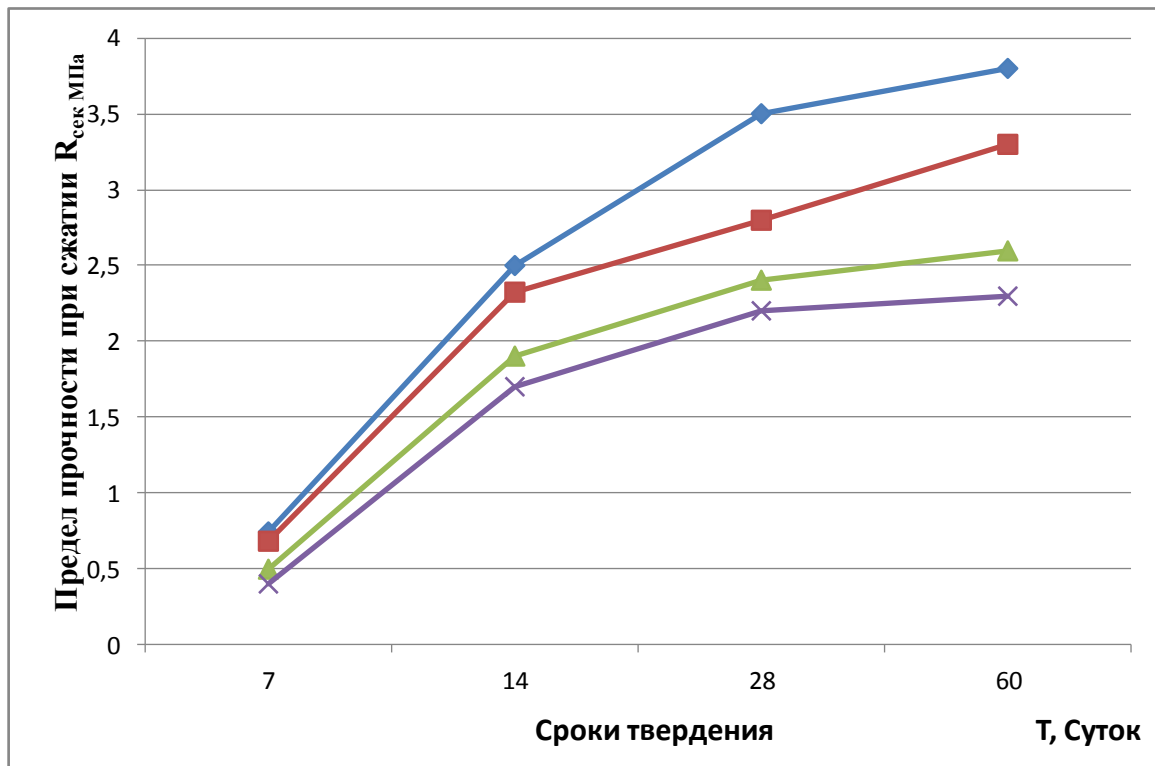


Рисунок 13а. График зависимости предела прочности арболита на скорлупе грецкого ореха от способа активизации ЦЗШВ:

х - контрольный домол; Δ - мокрый домол; ■ – мокрый домол с BaCl₂;
◇ - КЭМА

Как видно из приведенных данных, комплексная электромеханически активированная цементозольношламовая вяжущая смесь является эффективным вяжущим веществом, позволяющим интенсифицировать формирование конгломератной структуры арболита. Кроме того, по-видимому, из-за

присутствия в составе вяжущего хлорида бария одновременно сдерживается гидролиз легкорастворимых экстрактивных веществ.

Таблица 3.15

Влияние способов активации ЦЗШ вяжущего на предел прочности арболита на основе скорлупы земляного ореха

Расход материалов на 1 м ³ арболита		Предел прочности арболита при сжатии в зависимости от способа активации ЦЗШВ, МПа (в 28- суточном возрасте)			
ЦЗШВ (состава цемент:зола:шлам 55:35:10%), кг	Скорлупа земляного ореха, кг	Без обработки	Мокрый домол	Мокрый домол с хлоридом бария	КЭМА
335	245	1,5	1,8	2,1	2,5

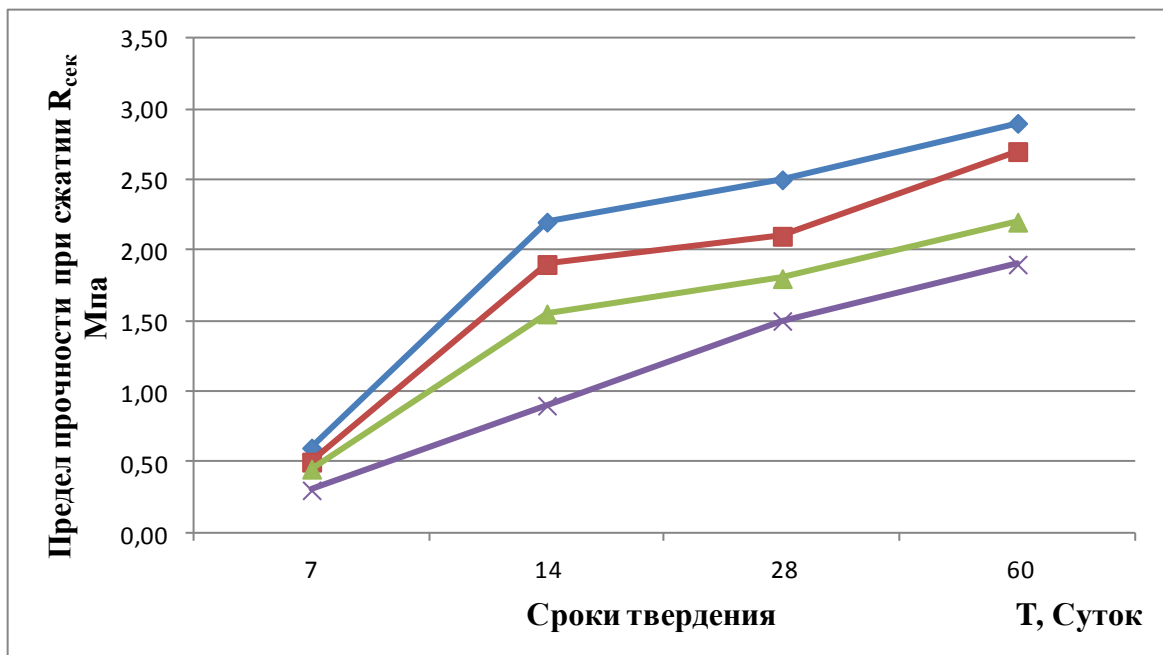


Рис. 13б График зависимости прочности арболита на скорлупе земляного ореха от способа активации ЦЗШВ

x - контрольный домол; Δ - мокрый домол; ■ – мокрый домол с BaCl₂;
◇ - КЭМА

Из графиков, приведенных на Рисунках 13а и 13б и данных Таблиц 3.14, 3.15 видно, что через 7 суток твердения арболитовые образцы на основе скорлупы грецкого ореха на вяжущем, активированном способом комплексной электромеханической активации, набирают прочность, равную 0,74 МПа, а к 28

суткам набирают 3,5 МПа. Арболит на скорлупе земляного ореха – набирает прочность соответственно 0,60 и 2,5 МПа.

По-видимому, это объясняется тем, что скорлупа земляного ореха является более мягким и более упругопластичным материалом, чем скорлупа грецкого ореха. Прочность при сжатии арболитовых образцов на основе скорлупы грецкого ореха на вяжущем, активированном способом комплексной электромеханической активации повысилась на 20-31 % по сравнению с контрольными образцами без поляризации и соответствует прочности предусмотренной ГОСТом 19222 для теплоизоляционно-конструкционных арболитов.

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 (Таблицы 3.16, 3.17; Рисунок 14). Для определения адгезионной прочности готовилась арболитовая смесь разработанного состава. Приготовленная арболитовая смесь укладывалась в пресс – форму, представляющую цилиндр с внутренним диаметром 70 мм, толщиной стенок 8 мм и длиной 80 мм, пуансона и нижней крышки.

Полученные образцы отвечали требованиям однородности по площади и объему. После достижения образцами 28-ми суточного возраста эпоксидной смолой к ним приклеивались стальные диски толщиной 8 мм с приваренными в центре держателями для разрывной универсальной машины.

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. В результате получены следующие показатели (Таблицы 3.16, 3.17 и Рисунок 14).

Таблица 3.16

Влияние способов активации ЦЗШ вяжущего на адгезионную прочность арболита на основе скорлупы грецкого ореха

Расход материалов на 1 м ³ арболита		Прочность при растяжении в зависимости от способа активации ЦЗШВ, МПа (в 28- суточном возрасте)				
ЦЗШВ (состава Ц:З:Ш 55:35:10 %), кг	Скорлупа грецкого ореха, кг	Обычный помол	Обычный помол с хлоридом бария	Мокрый домол	Мокрый домол с хлоридом бария	*КЭМА
335	245	0,05	0,09	0,12	0,17	0,28

*КЭМА – комплексная электромеханическая активация

Таблица 3.17

Влияние способов активации ЦЗШ вяжущего на адгезионную прочность арболита на основе скорлупы земляного ореха

Расход материалов на 1 м ³ арболита		Прочность при растяжении в зависимости от способа активации ЦЗШВ, МПа (в 28- суточном возрасте)				
ЦЗШВ (состава Ц:З:Ш 55:35:10 %), кг	Скорлупа земляного ореха	Обычный помол	Обычный помол с хлоридом бария	Мокрый домол	Мокрый домол с хлоридом бария	*КЭМА
335	245	0,03	0,06	0,09	0,14	0,21

*КЭМА – комплексная электромеханическая активация

При этом установлено, что предел адгезионной прочности с увеличением срока твердения повышается и достигает до 0,28 МПа. По-видимому, это объясняется тем, что по мере твердения происходит испарение влаги из образовавшихся в скорлупе ореха после двухсуточной водной вытяжки микропор и проникновение в них активированного вяжущего вещества.

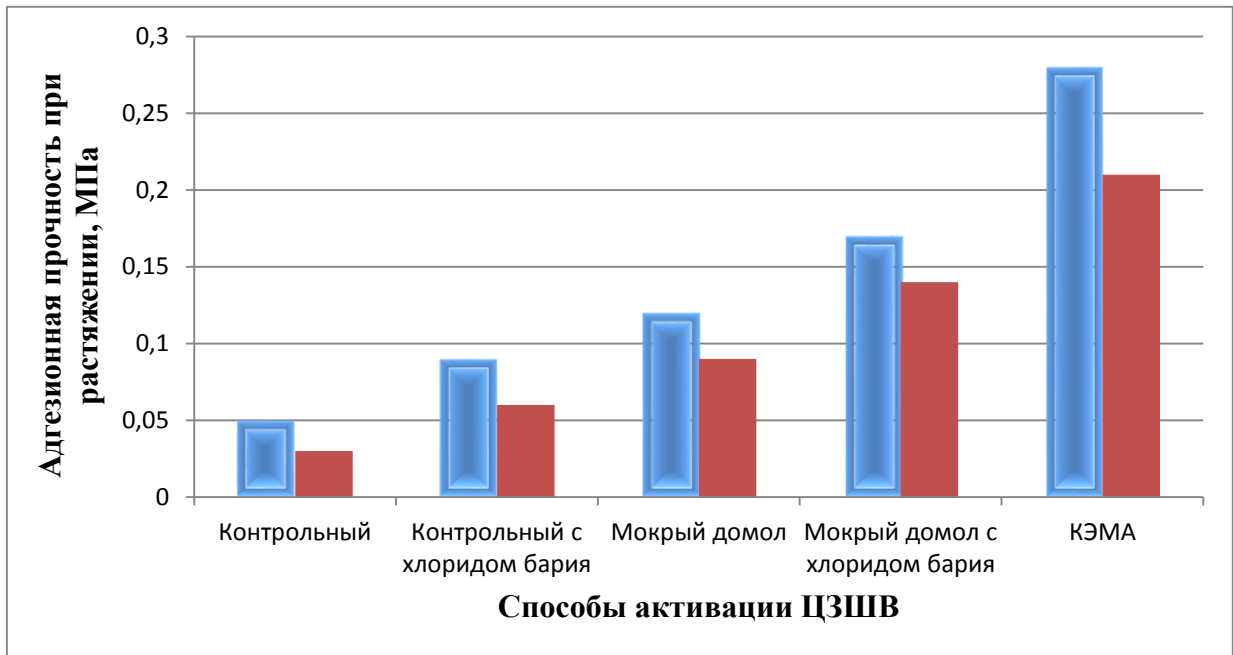


Рис. 14 Адгезионная прочность образцов арболита в зависимости от способов активации ЦЗШВ

■ - арболит на скорлупе грецкого ореха ■ – арболит на скорлупе земляного ореха

Анализ результатов данных исследований показывает, что способ комплексной электромеханической активации повышает адгезионную прочность арболита на 40-80% по сравнению с образцами арболита, приготовленных на цементозольношламовой вяжущей смеси без электрической поляризации.

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 15).

Суточный показатель водопоглощения арболита на комплексном электромеханически активированном вяжущем составляет 26,5%, арболита мокрого домола и мокрого домола с электролитом соответственно 30,9 и 34%, а для образцов обычного помола составляет 46,9%.

Таким образом, использование способа КЭМА для активации цементозольношламовой смеси арболита на заполнителе из измельченного грецкого ореха снижает водопоглощение на 14-15% по сравнению с

использованием вяжущего мокрого домола (Рисунок 15.) Линейное набухание образцов арболита с вяжущим, полученным с применением обычного помола, в воде составило 1,8 -2,1%, а образцов арболита с вяжущим, активированным комплексной электромеханической активацией - 1,1 - 1,4%.

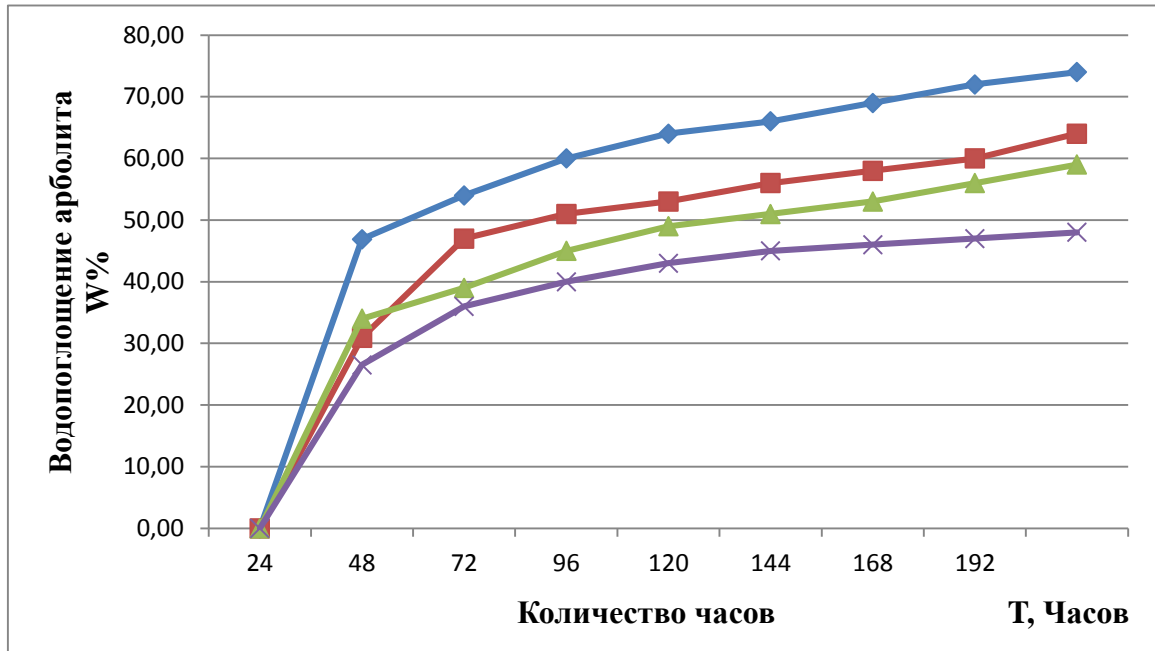


Рис. 15 Кинетика водопоглощения арболита на скорлупе грецкого ореха в зависимости от способов активации цементозольношламового вяжущего:
 ◇ - обычный помол; ■ - мокрый домол;
 Δ - мокрый домол с BaCl₂; x - КЭМА

Водопоглощение образцов арболита с вяжущим, активированным комплексной электромеханической активацией, после 120 часов выдержки в воде составило 43% (Рисунок 15).

Водостойкость арболитовых образцов определяли по ГОСТу по коэффициенту размягчения через 48 - часовой выдержки в воде. Для арболитовых образцов, изготовленных на основе комплексной электромеханической активации цементозольношламового 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 $K_{мрз}$ арболита от способов активации вяжущего определялась в соответствии с ГОСТом и представлена в Таблице 3.18 и на Рисунке 16.

Таблица 3.18

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

№	Способ помола вяжущего	Коэффициент морозостойкости, $K_{мрз}$		
		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

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 в Таблице 3.18 данных видно, что уже к 25 циклам арболит на цементозольношламовом вяжущем обычного помола и заполнители – 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.

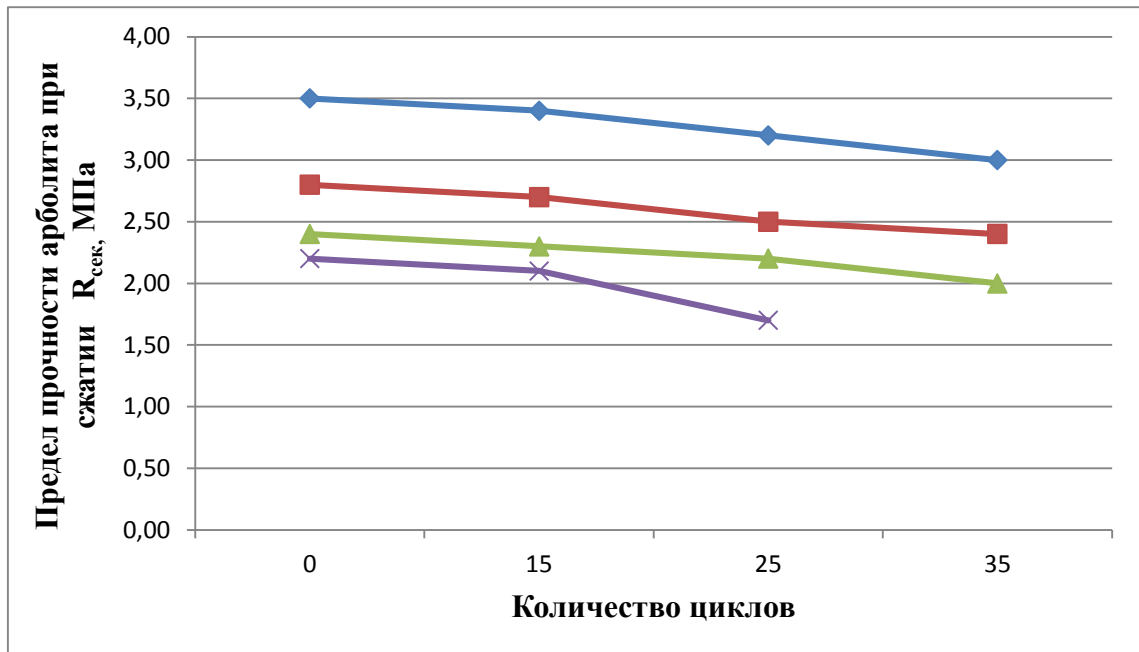


Рис. 16. Зависимость предела прочности при сжатии цементозолошламового арболита с заполнителем на основе измельченного грецкого ореха от количества циклов замораживания и оттаивания и способов помола ЦЗШВ:
 x – обычный помол; ■ – мокрый домол с BaCl₂; Δ - мокрый домол;
 ◇ - комплексная электромеханическая активация

Таким образом можно констатировать, что способ комплексной электромеханической активации значительно интенсифицирует нарастание прочности образцов арболита в ранние сроки твердения за счет проникновения в поры заполнителя высокодиспергированных поляризованных частиц вяжущей смеси и их взаимного притяжения между собой с последующей кристаллизацией из раствора.

В итоге совокупность улучшенных эксплуатационных и функциональных свойств цементозолошламового арболита с заполнителем на основе измельченного грецкого ореха и комплексной электромеханической активацией вяжущего увеличивает как несущую способность, так и долговечность изделий на его основе.

Выводы по главе 3:

1. 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. Найдено, что при способе комплексной электромеханической активации вяжущего значение ζ – потенциала меньше, по сравнению с обычным помолом и мокрым помолом, 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. Анализа показал, что степень гидратации алита $d = 2,185 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ 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.
3. 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 усилились линии новообразований, появившихся при получении вяжущего, появляются линии, относящиеся к кальциевому цеолиту-жисмондину.

4. . С помощью метода регрессионного анализа разработан вяжущий состав на основе цементозолошламового вяжущего с увеличением адгезионной способности к твердым органическим отходам с использованием 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. 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.

5. Разработан состав легкого арболитобетона на цементозольношламовом вяжущем с органическим заполнителем на основе измельченной скорлупы грецкого ореха фракций 1,5-5 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 °К, предел прочности при сжатии 3,5 МПа, коэффициент морозостойкости после 35 циклов составляет 0,75, что соответствует требованиям к легким бетонам.

Глава 4. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЦЕМЕНТОЗОЛЬНОШЛАМОВОГО АРБОЛИТА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ

4.1 Технология цементнозольношламового арболита на вяжущей смеси, активированной комплексным электромеханическим способом, и заполнителе из измельченной скорлупы грецкого ореха

В основном технология производства арболита складывается из тех же переделов, что и технологии производства бетонных и железобетонных изделий: подготовка сырья, перемешивание, формование и тепловая обработка. Причем, по сравнению с известной технологией производства арболитовых изделий, отличительной особенностью технологии цементнозольношламового арболита на вяжущей смеси, активированной комплексным электромеханическим способом и заполнителе из измельченного грецкого ореха является наличие поста комплексной электромеханической активации (Рисунок 17).

При использовании отходов деревообработки и растительности на технологической линии предусмотрено применение разного вида дробильных или рубильных машин. Первый этап производства начинается с измельчения и водного вымачивания заполнителя в закрытой емкости в течение двух суток. После истечения определенного времени высушенный по стандартной методике и готовый к употреблению облагороженный заполнитель, в данном случае скорлупа грецкого ореха, с помощью ковша со скиповым подъемником подается в расходный бункер для заполнителя. Количество заполнителя с помощью дозатора путем объемного или весового дозирования выгружается в арболитораздатчик и транспортируется на пост перемешивания.

Из расходных бункеров вначале в барабанную мельницу подается отдозированное количество золошлама, химической добавки и воды при $V/3 = 1,0$. Смесь затем активируется способом комплексной электромеханической

активации. После окончания активации добавляется цемент и оставшееся количество воды до достижения $V/C = 0,6$ и затем активируется заново по указанной выше технологии.

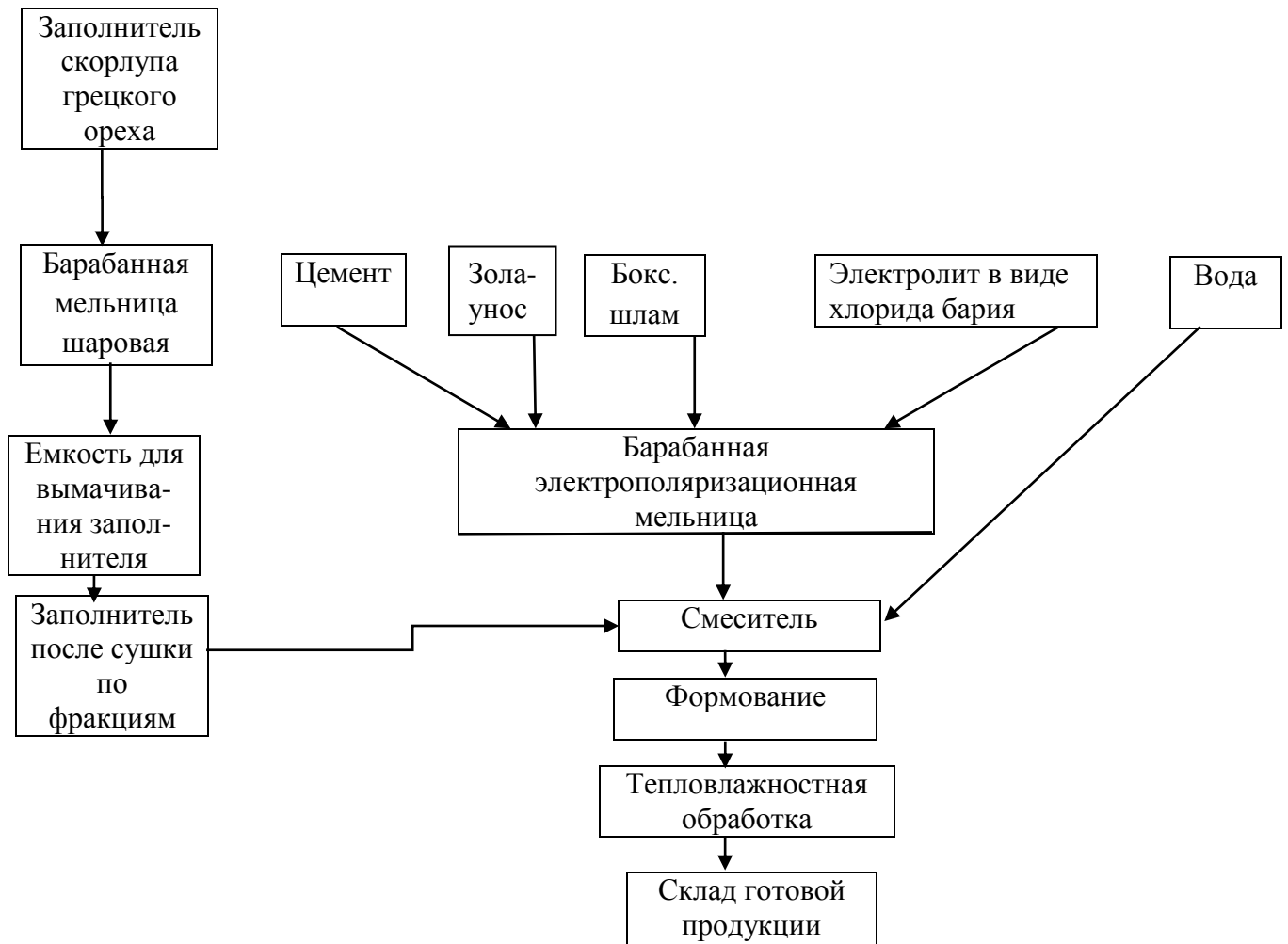


Рисунок 17. Принципиальная технологическая схема производства легкого арболита на цементнозолюшламовом вяжущем, активированном комплексным электромеханическим способом и заполнителе из измельченного грецкого ореха

Далее вяжущее, активированное способом комплексной электромеханической активации, погружается на арболитораздатчик и транспортируется на пост перемешивания, где перемешивается с органическим заполнителем. После этого перемешанная арболитовая смесь выгружается в формы и уплотняется методом вибропрессования. После заполненные арболитовой смесью формы перемещаются на пост твердения, представляющий собой тоннельную сушилку, где подвергаются тепловлажностной обработке при температуре не более 80°C и относительной влажности воздуха 60-70%.

4.2. Производственное внедрение цементнозольношламового арболита на заполнителе из измельченной скорлупы грецкого ореха и его технико-экономическая эффективность

Для исследования возможности использования, разработанных состава и технологии получения цементнозольношламового арболита на заполнителе из измельченного грецкого ореха на Актюбинском заводе ЖБИ совместно с ТОО «Региональный индустриальный технопарк Актобе» (Казахстан) выпущена опытная партия стеновых арболитовых блоков объемом 250 м³, размером 200 x 200 x 400 мм с использованием цементозольношламового вяжущего, активированного способом комплексной электромеханической активации. Состав и основные свойства арболитовых блоков опытной партии представлены в Таблицах 4.1 и 4.2. В Таблице 4.1. приведен состав компонентов цементнозольношламовой арболитовой смеси на заполнителе из измельченной скорлупы грецкого ореха и расход компонентов на 1 м³. В Таблице 4.2. приведены результаты сравнительного исследования физических и физико-механических свойств цементозольношламового арболита на заполнителе из измельченной скорлупы грецкого ореха, полученного в лабораторных и промышленных условиях через 28 суток твердения. Полученные результаты испытаний были приведены и утверждены в акте производства опытной партии стеновых арболитовых блоков.

Таблица 4.1

Состав цементнозольношламовой арболитовой смеси

Компоненты	Содержание компонентов, % по массе	Расход на 1 м ³ , кг
Портландцемент	18,1	184,25
Зола - унос	11,5	117,25
Бокситовый шлам	3,3	33,5
Хлорид бария	0,3	3,35
Скорлупа грецкого ореха	24,1	245
Вода	42,7	436

Таблица 4.2

Физические и физико-механические свойства цементозольношламового арболита на заполнителе из измельченного грецкого ореха

Наименование свойств	Единица измерения	Показатели свойств блоков, изготовленных в условиях	
		Лабораторные	Полупромышленные
Плотность	кг/м ³	650	645
Предел прочности при сжатии	МПа	3,50	3,45
Теплопроводность	Вт/м ⁰ С	0,115	0,115
Водопоглощение	%	43	45

Арболитовые блоки изготавливались по следующей технологии: исходное цементозольношламовое вяжущее активировалось в барабанной электрополяризационной мельнице емкостью 100 л, изготовленной в механическом цехе Актюбинского университета имени С. Баишева по методике работ [35,36]. Размеры мельницы: диаметр 0,58 м, длина 0,75 м. Общее время активации составляло 30 мин. Первый этап активации – зола и шлам с хлоридом бария при водозольном отношении равном единице совместно измельчались в течение 20 мин, причем через каждые 5 минут создавалось электрическое поле постоянного тока напряжением 60 В. Второй этап активации заключался в совместном измельчении золошлама с цементом при В/Ц = 0,6 в течение 10 мин. Далее обогороженный органический заполнитель перемешивался с комплексным

электромеханически активированным вяжущем в смесителе. Продолжительность загрузки компонентов, их перемешивания и выгрузки составила 10 мин. Затем полученная арболитовая смесь вручную загружалась в формовочную установку и вибропрессовалась. Универсальность формовочной установки заключается в изготовлении блоков с пустотами и различной конфигурации за счет замены пуансона и бортоснастки. Отформованные блоки после поднятия пресс-форм оставались на площадке для вызревания. Через каждые 24 ч блоки переносились под навес и укладывались штабелями для твердения в естественных условиях.

Из Таблицы 4.2 видно, что полученные арболитовые блоки по своим физическим и физико-механическим свойствам не уступают образцам, полученным в лабораторных условиях, отвечают требованиям ГОСТ 19222 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия» и могут быть рекомендованы в малоэтажном и сельском строительстве.

Следующим этапом данной работы являлось изготовление опытно-промышленной партии стеновых блоков и использование их при строительстве зданий. Для этого на базе Актюбинского завода железобетонных изделий ТОО «ЖБИ-25» была выпущена опытно-промышленная партия теплоизоляционно-конструкционных арболитовых стеновых блоков на основе цементозольношламового вяжущего и заполнителя из измельченного грецкого ореха. При изготовлении арболита на основе цементозольношламовых вяжущих смесей использовались следующие материалы и добавки: портландцемент М 400 Навоинского цементного завода, Краснооктябрьский бокситовый шлам алюминиевых отходов Кустанайской области, зола - унос Нукусской ТЭЦ, хлорид бария и вода, а в качестве органического заполнителя – измельченная скорлупа грецкого ореха.

Приготовление промышленной арболитовой смеси проводилось в следующей технологической последовательности:

- предварительная подготовка комплексной вяжущей смеси в соотношении 1:1 по объему золы и шлама, с хлоридом бария в количестве 1% от общей массы вяжущего;

- комплексная электромеханическая активация в электромеханической мельнице в течение 20 минут отдозированного количества воды с химической добавкой (электролитом), золы и шлама при отношении воды к золошламовой добавке $V/ЗШ = 1,0$;

- добавка после 20 минут активации к смеси золы и шлама 55% цемента от общей массы вяжущего и недостающего количества воды до достижения $V/Ц = 0,6$;

- совместный помол в течение 10 минут с одновременным пропуском через цементнозольношламовую (ЦЗШ) смесь электрического тока с интервалом в 2 минуты;

- добавка в комплексно электромеханически активированную вяжущую смесь отдозированного количества измельченной скорлупы грецкого ореха и перемешивание ее с комплексным цементнозольношламовым раствором в течение 8-10 минут:

- перемешивание всех компонентов цементозольношламового раствора до получения однородной массы в течение 8-10 минут и укладка в форму;

- выдержка изделий в формах;

тепловлажностная обработка при температуре до 80°C в течение 6-8 ч в специально оборудованной сушильной камере.

После тепловлажностной обработки изделия расформовывались и помещались на хранение в склад готовой продукции с исключением увлажнения и попадания прямых солнечных лучей при температуре 18-24° С.

При разработке технологии приготовления арболита в заводских условиях исследовалось влияние следующих факторов:

- порядок перемешивания компонентов и общая продолжительность процесса;

- соотношение количества компонентов в зависимости от получаемых значений прочности и плотности арболита;

- вид и величина уплотнения;

- условия и параметры тепловлажностной обработки и время выдержки изделий из арболита перед тепловлажностной обработкой;

- тепло влажностная обработка изделий в закрытом и открытом видах.

Рациональные параметры данных факторов определялись в зависимости от показателей плотности получаемого арболита, пределов прочности его при сжатии после твердения в нормальных условиях и после термообработки в различном возрасте.

Учитывались также однородность структуры получаемого материала, внешний вид изделий, шероховатость и целостность поверхностей и граней, влажность арболита к моменту испытания и сроки достижения изделиями отпускной (по ГОСТ 19222) -25% влажности.

Выпущенная партия изделий была использована при строительстве многоквартирного жилого дома в районе Батыс-2, Актюбинской области в качестве ограждающих конструкций стен взамен керамзитобетона и тяжелого бетона.

Производство опытно-промышленной партии цементозольношламового арболита показало его высокую технико-экономическую эффективность за счет низкой себестоимости и высокой активности цементозольношламовой вяжущей смеси по отношению к заполнителям.

В работе был произведен расчет эффективности от внедрения в производство опытно-промышленной партии цементозольношламового арболита на Актюбинском заводе ЖБИ совместно с ТОО «Региональный индустриальный технопарк Актобе». Эффективность производства цементозольношламового арболита определялась по приведенным затратам на 1 м³ готового изделия.

Затраты определялись по изменяемым статьям: материалы, топливо, электроэнергия. Удельные капиталовложения и результаты расчета приведены в Таблице 4.3.

Базой для сравнения принято производство арболита на портландцементном вяжущем [73].

**Сравнительная калькуляция себестоимости изготовления 1 м³ арболита в
ценах 2016 года (Казахстан)**

№	Статьи затрат	Единицы измерения	Расход материалов, 1 м ³ арболита		Стоимость материалов, руб.	Стоимость 1 м ³ арболита, руб.	
			По существующей технологии	Предполагаемый проект		По существующей технологии	Предполагаемый проект
1.	Портландцемент	кг	370	184,25	4	1480	737,0
2.	Бокситовый шлам	кг	-	33,5	0,5	-	16,75
3.	Измельченные стебли хлопчатника	кг	120	-	0,2	24	-
4.	Измельченная скорлупа грецкого ореха	кг	-	245	0,6	-	147
5.	Зола-унос	кг	-	117,25	0,3	-	35,2
6.	Хлорид кальция	кг	6	-	6	36	-
7.	Хлорид бария	кг	-	3,35	80	-	268
8.	Вода	кг	250	110	0,3	75	33
9.	Итого					1615	1236,95
10.	Основная зарплата рабочих	руб.	6 чел.	6 чел.	10000	60000	60000
11.	Электроэнергия	кВт	6,2	6,2	4	24,8	24,8
12.	Дополнительные ресурсы	руб.				30	30
13.	Общие расходы	руб.				100	100
14.	Всего:	руб.				61769,8	61391,75

При расчете экономического эффекта использована технология производства цементнозольношламовых арболитовых блоков размером 200x200x400мм,

изготовленных согласно ГОСТ 19222 «Арболит и изделия из него. Общие технические требования». Годовой экономический эффект определялся по формуле:

$$\mathcal{E} = [(Z_1 - Z_2) - E_n (K_3/A)] \times A, \quad (4.1)$$

где Z_1 и Z_2 - приведенные затраты на производство базового и нового материала, руб.; E_n – нормативный коэффициент, равный 0,15; K_3 - капитальные затраты на внедрение мероприятия, руб.; A - годовой объем выпускаемой продукции, м³.

Приведенные затраты на 1 м³ арболита по существующей технологии производства составили 62689,6 руб., а по предлагаемому проекту 62391,8 руб. в год.

При этом ожидаемый годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E} = [(61769,8 - 61391,8) - 0,15 (120000/2000)] \times 2000 = 678000 \text{ рублей в год.} \quad (4.2)$$

Дополнительная экономия обеспечивается повышением прочности цементнозольношламовых арболитовых блоков, изготовленных на основе измельченной скорлупы грецкого ореха, и снижением брака в количестве 15% от стоимости единицы изделия.

$$\mathcal{E}_1 = (24,4 \times 0,15) \times 2000 = 7440 \text{ руб.} \quad (4.3)$$

Таким образом, суммарный экономический эффект от внедрения технологии цементозольношламового арболита составит:

$$\mathcal{E}_c = 678000 + 7440 = 685440 \text{ руб. в год.} \quad (4.4)$$

Ожидаемый экономический эффект от внедрения в производство теплоизоляционного цементозольношламового арболита в системе Актобестроя составил 685440 в год. Полный расчет технико-экономической эффективности от внедрения приведен в приложении.

В данной работе также проведен расчет экономической эффективности от внедрения технологии производства цементозольношламового арболита на заполнителе из скорлупы грецкого ореха на базе Актюбинского завода железобетонных изделий ТОО «ЖБИ-25».

Расчет экономической эффективности арболита выполнен согласно «Инструкции по определению экономической эффективности строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений» СН 509.

Определение экономической эффективности от внедрения КЭМА активации вяжущего при производстве арболитовых блоков производилось путем сравнения калькуляции себестоимости изготовления единицы продукции по известной технологии и предлагаемому проекту.

Результаты расчета показали, что сравнительная калькуляция себестоимости изготовления 1 м^3 арболита на актюбинском заводе железобетонных изделий ТОО «ЖБИ-25» составляет по существующей технологии 23631,5 рублей, а по предлагаемому проекту – 21334,0 рублей.

Годовой экономический эффект определялся по формуле (4.1).

Приведенные затраты на 1 м^3 арболита составили по существующей технологии 23631,5 рублей, а по предлагаемому проекту – 21334,0 рублей.

При этом ожидаемый годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E} = [(23631,5 - 21334,0) - 0,15 \times 200000] \times 2000 = 177800 \text{ рублей / год.} \quad (4.5)$$

Таким образом с каждого квадратного кубометра арболитовых изделий получится экономия 88,9 рублей. Дополнительная экономия обеспечивается повышением прочности арболитовых блоков, изготовленных на скорлупе грецкого ореха, снижения количества брака в количестве 15% от стоимости единицы изделия.

$$\mathcal{E}_I = (88,9 \cdot 0,15) \times 2000 = 26670 \text{ рублей.} \quad (4.6)$$

Поэтому суммарный экономический эффект от внедрения в производство технологии цементозольношламового арболита на вяжущем, активированном КЭМА способом, составит:

$$\mathcal{E}_c = 177800 + 26670 = 204470,0 \text{ рублей.} \quad (4.7)$$

Выводы по главе 4:

1. 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. Данная технология для получения легкого арболита по сравнению с традиционными технологиями позволит сократить в 2,2–2,7 раза – время укладки и уплотнения смеси, в 7–8 раз – длительность цикла твердения изделий.
2. 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.
3. Произведен расчет экономической эффективности применения арболита на цементозольношламовом вяжущем с заполнителем на основе измельченной скорлупы грецкого ореха. На базе Актюбинского завода железобетонных изделий выпущены цементозольношламовые блоки на основе измельченной скорлупы грецкого ореха с экономическим эффектом от применения разработанного состава арболитобетона 685440 рублей в год. Показано, что на производственном участке ТОО «Региональный индустриальный технопарк Актобе» по предлагаемому способу ожидаемый экономический эффект составит 204470 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 шлам 5 – 15% и хлорид бария в количестве 1% от общей массы вяжущего.

4. Разработан 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. Предел адгезионной прочности вяжущего к измельченной скорлупе грецкого ореха достигает 0,28 МПа. Коэффициент теплопроводности полученного арболита составил 0,015 Вт / м °К, 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 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. 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 заполнителем 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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов В. З. Применение техногенного сырья в производстве кирпича и черепицы. Санкт - Петербург: Недра, 2004. 125 с.
2. Абн-Ганнам Файсал М. Бетон на активированном цементном вяжущем для автодорожного строительства: автореф. дис. канд. техн. наук. Ташкент, 1995. 21 с.
3. Абраменко Н. И. Поризованный цементный арболит на древесных заполнителях: автореф. дис. канд. техн. наук. М., 1980. 18 с.
4. Адлер Ю. П., Грановский Ю. В., Маркова Е. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1971. С. 145-212.
5. Азимов А. Особенности твердения шлакощелочных песчаных бетонов и тампонажных растворов при повышенных температурах и давлениях: автореф. дис. канд. техн. наук. Киев, 1983. 23 с.
6. Акимов А. В. Технология ротационно-пульсационных активации зол. // Тезисы доклада на Всесоюзном научно-практическом совещаний. Ч. II. Чимкент, 1990. С. 64 – 65.
7. Акулова М. В., Исакулов Б. Р., Джумабаев М. Д. Получение легкого арболитобетона на основе цементозольношламового вяжущего и органического заполнителя из скорлупы грецкого ореха // Интернет-журнал «Науковедение» ISSN 2223-5167. Том 8. № 4. С.1-8. Режим доступа: интернет: <http://naukovedenie.ru/Москва.2016>. (дата обращения: 25.08.2016)
8. Акулова, М. В. Исакулов Б. Р., Джумабаев М. Д. Комплексная электромеханическая активация золошламовых вяжущих для получения легких арболитобетонов// Научно-технический вестник Поволжья №1, 2014. С.49-52.
9. Барабанная электрополяризационная мельница: пред. патент РК № 7745 / / А. А. Акчабаев, К. А. Бисенов, С. С. Удербаев, М. А. Акчабаев; заявлено 17.03.98; опубликовано 15.07.99, Бюллетень № 7.
10. Акчабаев А. А., К. А. Бисенов, С. С. Удербаев Активация вяжущего поляризацией как способ повышения прочности арболита // Доклады

Министерства науки и высшего образования. Алматы: НАН РК, 1999. № 4. С. 57-60.

11. Акчабаев А. А. Исследование влияния некоторых технологических факторов на интенсификацию твердения арболита: автореферат диссертации кандидата технических наук. М., 1977. 19 с.

12. Механо - электрополяризованный состав вяжущего: пред. Патент РК № 7888 / А. А. Акчабаев, К. А. Бисенов, С. С. Удербаев, М. А. Акчабаев; заявлено 17.03.98; опубликовано 16.08.99, Бюллетень № 8.

13. Акчабаев А. А. Основы прогрессивной технологии прессуемого арболита: диссертация доктора технических наук. Санкт – Петербург, 1992. 297 с.

14. Способ активации вяжущего: пред. Патент РК № 7101 / А. А. Акчабаев, К. А. Бисенов, С. С. Удербаев; заявлено 28.06.97; опубликовано в феврале 1999, Бюллетень II.

15. Арболит / Под редакцией Бужевича Г. А. М.: Стройиздат, 1968. 243 с.

16. Арсенцев В. А. Арболит. Производство и применение / под редакцией А. С. Щербакова, Н. К. Якунина. М.: Стройиздат, 1977. 347 с.

17. Арболит - проблемы и перспективы. / под ред. М. И. Клименко // научно-тематический сборник объединения «Росколхозстрой», проектно - технологическое производственное объединение «Сельхозстройматериалы»; Саратов, Издательство Саратовского университета. 1982. 79 с.

18. Арболит и его применение. / Под редакцией М. И. Клименко. Саратов: Издательство Саратовского университета, 1976. 16 с.

19. Ахвердов И. Н. Основы физики бетона. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.

20. Аяпов У. А., Архабаев С. А., Шорманова З. Б. Вяжущие и бетоны из минеральных отходов промышленности Казахстана. Алма – Ата: Наука, 1982. 234 с.

21. Баженов Ю. М. Технология сухих строительных смесей: учебное пособие для вузов. М.: АСВ, 2003. 95 с.

- 22.** Безобжиговый зольный гравий – новый эффективный заполнитель для бетона / Ю. М. Баженов, К. В. Гладких, И. Л. Данилович и др. // Строительные материалы. 1980. № 8, С. 6-7.
- 23.** Боженков П. И. Технология автоклавных материалов: учебное пособие для вузов. Л.: Стройиздат, 1978. 368 с.
- 24.** Баженов Ю. М. Технология бетона: учебное пособие для вузов спец. «Производство строительных изделий и конструкций». Издание 2-е, переработанное. М.: Высшая школа, 1987. 55 с.
- 25.** Баженов Ю. М., Коровяков В. Ф. Универсальные органоминеральные модификаторы гипсовых вяжущих веществ // Электронный ресурс. Газета «Стройка» 2000. № 39. Режим доступа к журналу URL: [http:// www.stroyinform.ru](http://www.stroyinform.ru). (дата обращения: 05.10.2014)
- 26.** Баженов Ю. М. Некоторые особенности структуры, свойств и технологии бетонополимеров // Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. Тезисы доклада. М.: Стройиздат, 1976. С. 33-38.
- 27.** Базарбаева С. М. Комплексная переработка и утилизация промышленных отходов Западного Казахстана (на примере основных производств Актюбинской и Атырауской областей): автореф. дис. д-ра техн. наук. Шымкент РК, 2010. 37 с.
- 28.** Бухаркин В. И., Арсенцев В. А., Тирновская Г. В. Основные факторы формирования арболитовой смеси и их влияние на качество изготавливаемых изделий // Арболит. Производство и применение /под ред. А. С. Щербакова, Н. К. Якунина. М.: Стройиздат, 1977.165 с.
- 29.** Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Стройиздат, 1998. 768 с.
- 30.** Батырбаев Г. А., Ермекбаева Р. Б Арболит на одубине и гузапае // Труд Алма-Атинского НИИСтройпроекта. 1969. № 9 (11).С. 59-63.
- 31.** Батырбаев Г. А. Оборудование для измельчения стеблей хлопчатника для производства арболита // в обзоре: Арболит и его применение / под редакцией М. И. Клименко. Саратов, изд-во Саратовского университета, 1976. С. 65-71.

32. Батырбаев Г. А. Параметры изготовления и эффективность арболита дробленных стеблях хлопчатника // Бетон и железобетон. 1977. №7. С. 28-29.
33. Батырбаев Г. А. К подбору состава арболита // Бетон и железобетон. 1975. № 6. С. 117.
34. Бауман В. А., Клушанцев, Б. В., Мартынов Б. Д. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. М.: Машиностроение, 1975. 109 с.
35. Беленький Ю. С. Конструктивные свойства арболита // Арболит. Производство и применение. М: Стройиздат, 1977. 187 с.
36. Изготовление и испытание панелей на основе стеблей хлопчатника и рисовой лузги / Г. А. Батырбаев, А. Г. Есельбаев, М. К. Нургаев и др. // Архитектурно-строительные конструкции и инженерное оборудование зданий и сооружений. Алма-Ата: КазПТИ, 1980. С.75–80.
37. Бисенов К. А. Ячеистые бетоны на основе отходов обогащения флюоритовых руд и шлака: дис. канд. техн. наук. М., 1985. 190 с.
38. Бисенов К. А. Ячеистые бетоны на основе отходов промышленности. М.: СИ, 1994. 124 с.
39. Легкие бетоны на основе безобжиговых цементов / К. А. Бисенов, И. К. Касимов, А. А. Тулаганов и др. Алма –Ата: КазПТИ, 2005. 300 с.
40. Бондаренко Г. В. Метод разработки состава многокомпонентного минерального вяжущего на основе техногенного сырья: автореф. дис. канд. тех. наук. Череповец, 2012. 25 с.
41. Борщевский А. А., Ильин А. С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1987. 367 с.
42. Боржоян Э. А., Гоголидзе М. И. Применение отходов угледобычи и отсеков дробления в производстве кирпича // Реферативная информация ВНИИЭСМа. Серил: использование отходов, попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. Охрана окружающей среды. 1980. № 6. С. 45-47.

- 43.** Бороховский В. А., Салюк А. И. Новый вид химической продукции - полимерная сера. М.: Издательство НИИТЭХИМ, 1982. 40 с.
- 44.** Использование древесных отходов для производства арболита / В. И. Бухаркин, С. Т. Свиридов, П. Н. Утяков и др. М.: Лесная промышленность, 1975. 192 с.
- 45.** Борковская Ю. Б., Жарких Н. И. Теория поляризации тонкого двойного слоя в концентрированных дисперсных системах. // Тезисы докладов VIII Всесоюзной конференции по коллоидной химии и физико-химической механике. Ташкент, 1983. С. 65-67.
- 46.** Бужевич Г. А. Арболит / под редакцией Г. А. Бужевича. М.: Стройиздат, 1968. 243 с.
- 47.** Бутт Ю. М., Сычев М. М., Тимашев В. В. Химическая технология вяжущих материалов: учебник для вузов по специальности «Химическая технология вяжущих материалов» /Под ред. В. В. Тимашева. М.: ВШ, 1980. 472 с.
- 48.** Бучаченко А. Л. Магнитные взаимодействия в химических реакциях // Физическая химия. Современные проблемы. М.: Химия, 1980. 228 с.
- 49.** Бухаркин В. И., Тирновская Г. В. Основные факторы формирования арболитовой смеси и их влияние на качество изготавливаемых изделий. М.: Стройиздат, 1977. 165 с.
- 50.** Васильков С. Г., Хасянова Р. У. Элинзон М. П. Использование отходов целлюлозно – бумажной промышленности для производства аглопоритового гравия // Строительные материалы. 1980. № 6. С.3-6.
- 51.** Взаимодействие нейтральных и заряженных частиц с веществом: Межвуз. науч. сб. Алма-Ата: Казахский педагогический институт имени Абая, 1996. 53 с.
- 52.** Волженский А. В., Стамбулко В. И., Ферронская А. В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и изделия. М.: Стройиздат, 1971. 256 с.
- 53.** Ваньков П. И., Клар Г. В. Новые метода повышения прочности арболита. Красноярск, 1970. С. 84–89.
- 54.** Гончаров Ю. И., Гончарова М. Ю., Рахимбаев Ш. М. Шлакобетоны с активным заполнителем. // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии:

материалы международной научно-практической конференций. Ростов на Дону, 2000. С 128–133.

55. Гольдштейн Л. Я., Штейерт Н. П. Использование топливных зол и шлаков при производстве цемента. Л.: СИ, Ленинградское отделение, 1977. 108 с.

56. Грушко И. М., Белова Л. А., Бирюков В. А. Повышение эффективности электромагнитной обработки вододисперсных систем. // Магнитная обработка строительных вододисперсных систем. Саласпилс, 1982. С. 7-9.

57. Грушко Я. М. Вредные неорганические соединения в промышленных сточных водах: справочник. Л.: Химия, 1979. 169 с.

58. Гончарова М. Ю. Строительные материалы гидратационного твердения из низкоосновных доменных шлаков: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Белгород. гос. технол. акад. строит. материалов. Белгород, 2000. 16 с.

59. Горчаков Г. И., Мурадов Э. Г. Основы стандартизации и управления качеством продукции промышленности строительных материалов: учебное пособие для студ. вузов по спец. «Производство строительных изделий и конструкции». М.: Высшая школа, 1987. 335 с.

60. Глуховский В. Д., Пахомов В. А. Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев: Будивельник, 1978. 184 с.

61. Глуховский, В. Д., Волянский А. В., Гончаров В. А. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны. Киев: Вища школа, 1979. 231 с.

62. Глуховский В. Д. Грунтосиликаты, их свойства, технология изготовления и области применения: автореф. дис. д-ра техн. наук. Киев, 1965. 41 с.

63. Глуховский В. Д., Кривенко П. В. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях. Киев: Вища школа, 1981. 223 с.

64. Данилович И. Ю., Сканава Н. А. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов: учебное пособие для сред. ПТУ. М.: ВШ, 1988. 67 с.

65. Дворкин Л.И. Высокопрочные бетоны с активированным зольным наполнителем // Бетон и железобетон. 1993. № 6. С. 4-6.

- 66.** Отходы химической промышленности в производстве строительных материалов / Л. И. Дворкин, В. Л. Шестаков, И. А. Пашков и др. Киев: Будивильник, 1986. 128 с.
- 67.** Духин С. С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем. Киев: Будивильник, 1975. 246 с.
- 68.** Ефремов И. О. Периодические коллоидные структуры. Л.: Химия, 1971. 105 с.
- 69.** Дейнега Ю. Ф. Формирование структуры дисперсных систем в электрических полях. // Труды III национальной конференции по механике и технологии композиционных материалов. София: БАН, 1982. С. 364–367.
- 70.** Жив А. С., Галебуй С., Исакулов Б.Р. Ресурсосберегающие технологии получения арболита на основе отходов промышленности и местных сырьевых ресурсов Азии и Африки // Механизация строительства. 2013. №3 (825). С. 14-17.
- 71.** Злочевская Р. И., Королев В. К. Электроповерхностные явления в глинистых породах. М.: Издательство МГУ, 1988. 177 с.
- 72.** Исакулов Б. Р., Жив А. С. Легкие бетоны на основе отходов промышленности и местных сырьевых ресурсов Казахстана и Средней Азии. Монография. Актобе: МОН РК. АУ имени С. Баишева, 2011. 344 с.
- 73.** Исакулов Б. Р. Получение высокопрочных арболитобетонов на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих: диссертация на соискание ученой степени д-ра техн. наук. Иваново, 2016. 368 с.
- 74.** Исакулов Б. Р., Жив А. С. Исследование золошламовых вяжущих на основе отходов топливно-энергетического комплекса Казахстана // Научный вестник ВГАСУ. Воронеж, 2012. № 3(27). С. 66-74
- 75.** Жолнерович В. Г., Кудинов В. А. Повышение эффективности использования портландцемента в золонаполненных вяжущих // Строительные материалы. 1998. № 2. С. 26-27.
- 76.** Карасев Е. И. Оборудование предприятия для производства древесинных плит. М.: СИ, 1984. 359 с.
- 77.** Капустин Ф. Л., Доманская И. К., Уфимцев В. М. Особенности грануляции высококальциевых зол ТЭС. // Физикохимия и технология оксидно-силикатных

материалов: материалы междунар. научно-техн. конф. Екатеринбург: Урал. гос. техн. ун-т, 2000. С. 216–219.

78. Касимов И. К., Камилов Х. Х., Тулаганов А. А. Состав, свойства и технология шлакощелочного арболита на основе сельскохозяйственных отходов. // Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции. Тезисы докладов 3-й Всесоюзной научно-практической конференций. В 2-х томах. Киев: КИСИ, 1989. Том 2. С. 152-153.

79. Касимов И. К., Абдукамилов Ш. Т., Тулаганов А. А. Особенности получения арболита на основе гузапай // Бетон и железобетон. 1991. № 5. С. 20-22.

80. Касимов И. К., Косимов О. Б., Тулаганов А. А. Подбор составов шлакощелочного арболита. // Безобжиговые щелочные вяжущие и бетоны. Научные труды ученых РУз. Ташкент, 1994. С. 59-64.

81. Косимов О. Б. Шлакощелочной конструкционный арболит на основе местных отходов сельского хозяйства: автореф. дис. канд. техн. наук. Киев, 1990. 17 с.

82. Коротаев Э. И., Клименко М. И. Производство строительных материалов из древесных отходов. М.: СИ, 1977. 164 с.

83. Краснюк А. Г., Новацкая Л. А. Влияние модифицированных лигносульфонатов на свойства бетона. // Строительные материалы и конструкций. 1982. № 3. С. 15-20.

84. Кривенко П. В. Специальные шлакощелочные цементы. Киев: Будивельник, 1992. 192 с.

85. Справочник по производству и применению арболита / П. И. Крутов, И. Х. Наназашвили, Н. И. Склизков и др.; под редакцией И. Х. Наназашвили. М.: СИ, 1987. 208 с.

86. Крылов Г. А. Механизация переработки сырья в производстве древесностружечных плит. М.: 1984. № 12. 1984. С. 12.

87. Крылов Б. А., Ли А. И. О воздействии электрического тока на твердение бетонов. // Бетон и железобетон. 1992. №2. С. 7-9.

88. Куннос Г. Я. Опилкобетон. Рига: Издательство АН Латвийской ССР, 1960. 86 с.

- 89.** Способ получения гипсовых вяжущих веществ: а.с.05.23.05 / Ю. Г. Мещеряков, П. И. Боженков, В. И. Кавалерова. М.: 1971.
- 90.** Мещеряков Ю. Г. Гипсовые попутные промышленные продукты и их применение в производстве строительных материалов. Л.: Стройиздат, 1982. 144 с.
- 91.** Наназашвили И. Х., Марданов М. К. Производство арболита из древесных отходов. Обзорная информация. М., 1974. С. 12-17.
- 92.** Наназашвили И. Х. Арболит – эффективный строительный материал. М.:СИ, 1984. 62 с.
- 93.** Нехорошев А. В., Мустафин Ю. М., Щербак С. А. О влиянии электрических и магнитных полей на процессы структурообразования коллоидных систем. // Труды VIII Всесоюзной конференции по коллоидной химии и физико-химической механике. Ташкент: БИ, 1983. С. 93-94.
- 94.** Новицкий Н. В. Особенности оптимизации приготовления бетонных смесей // Механизация строительства. 1998. №8. С. 20-22.
- 95.** Наназашвили И. Х. Структурообразование древесно-цементных композитов на основе ВНВ. // Бетон и железобетон. 1991. № 12. С.15-17.
- 96.** Новый вид химической продукции – полимерная сера / В. А. Бороховский, А. И. Салюк и др. М.: Издательство НИИТЭХИМ, 1982. 40 с.
- 97.** Оболевская А. Б., Щеглов В. П. Химия древесины и полимеров. М.: СИ, 1980.168 с.
- 98.** Павленко С. И. Мелкозернистые бетоны из отходов промышленности М.: СИ, 1997. 175 с.
- 99.** Композиционный материал для декоративных целей: патент США № 25; опубликован 09.08.1959.
- 100.** Дибров Г. Д., Витман З. Л., Мустафин Ю. И. Поляризационные структуры цементных паст // Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов: тезисы докладов всесоюзной конференции. Харьков: ХАДИ, 1983. С. 129-130.
- 101.** Пономаренко Б. Н. Арболит в сельском строительстве. Краснодар: Кн. изд-во, 1973. 120 с.

- 102.** Попов В. В. Несущие внутренние стеновые панели из шлакожелезобетона. // Реф. Информ. ВНИИЭСМа. Серилал: Использование отходов и попутных продуктов для изготовления строительных материалов, изделий и конструкций. Москва, 1976. № 4. 15 с.
- 103.** Ратинов В. Б., Иванов Ф. М. Химия в строительстве. М.: Стройиздат. 1969. 200 с.
- 104.** Ратинов В. Б., Розенберг Т. П. Добавки в бетон. М.: Стройиздат. 1973. 207 с.
- 105.** Рыбьев И. А. Общая теория и единая классификация строительных материалов на основе вяжущих веществ // Строительные материалы. 1975. № 5. С. 29–31.
- 106.** Рыбьев И. А. Строительное материаловедение: учебное пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2007. 435 с.
- 107.** Рахимбаев Ш. М. Регулирование прочности межфазных контактных связей в искусственных конгломератах // Проблемы материаловедения и совершенствование технологии производства строительных изделий. Белгород: БТИСМ, 1980. С. 51–60.
- 108.** Рыбьев И. А. Две важнейшие закономерности в свойствах материалов с конгломератным типом структуры. // Строительные материалы. 1965. № 1. С. 17–20.
- 109.** Орловский Ю. И. Серные бетоны и цементные бетоны, модифицированные серой. Ужгород: ППП «Патент», 1998. - 48 с.
- 110.** Савин В. И., Колосов Г. Е., Соколов Б. А. Стеновые панели из поризованного арболита. // Лёгкие бетоны на основе отходов промышленности и конструкции из них. М.: НИИЖБ, 1983. С. 8–14.
- 111.** Производство и применение арболита. Обзор / Н. И. Склизков, И. Х. Наназашвили, Н. С. Сироткина и др. М.: ОНТИ ЦНИИЭПсельстрой, 1983. 105 с.
- 112.** Слесарев Ю. М. Приготовление бетонной смеси и строительного раствора. М.: СИ, 1984. 135 с.

- 113.** Сулейменов С. Т. Физико-химические процессы структурообразования в строительных материалах из минеральных отходов промышленности. М.: Манускрипт, 1996. 138 с.
- 114.** Сулименко Л. М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2005. 334 с.
- 115.** Султанов А. А. Шлакощелочные вяжущие и бетоны на основе гранулированных шлаков цветной металлургии: автореф. дис. канд. техн. наук. Киев, 1985. 21 с.
- 116.** Сухов В. В. Безавтоклавные стеновые материалы на основе местного сырья: автореферат диссертации кандидата технических наук. М., 1996. 20 с.
- 117.** Танин В. П. Экспериментальные исследования влияния электромагнитного поля на твердение бетона / Тепловая обработка железобетонных изделий и конструкций в электромагнитном поле промышленной частоты. Минск: ИТМОАН БССР, 1975. С.103-111.
- 118.** Тейлор Х. Ф. Химия цементов. М.: СИ, 1969. 216 с.
- 119.** Усъяров О. Г., Каплан Ф. С. Исследование коагуляции дисперсных частиц в электрическом поле //Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем. Киев. 1978. № 10. С. 70–85.
- 120.** Урьев Н. Б., Дубинин И. С. Коллоидные цементные растворы. Л.: СИ, 1980. 192 с.
- 121.** Ускорение твердения арболита химическими добавками / В. М. Бутерин, А. С. Щербаков, Н. Н. Силина и др. // Научные труды Московского лесотехнического института. 1976. № 93. С. 106-112.
- 122.** Френкель Б. Я. Строительный кирпич из отходов. / Реф. инфор. ВНИИЭСМа Сериал: Использование отходов, попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. // Охрана окружающей среды. 1978, № 4. С. 9-10.
- 123.** Ходжаев Ш. А. Модифицированный арболит на основе отходов сельского хозяйства и промышленности: автореф. канд. техн. наук. Алма-Ата, 1992. 20 с.

- 124.** Ходосеевич В. Е. Опыт применения доменных шлаков для получения жаростойких бетонов. // Реф. Информ. ВНИИЭСМа. Серия: Использование отходов и попутных продуктов для изготовления строительных материалов, изделий и конструкций. 1977. № 4. С. 19-20.
- 125.** Христофоров А. И. Нанокерамика: учебное пособие. Владимир: ВлГУ, 2007. 115 с.
- 126.** Федосов С. В. Нейтрализация токсичных отходов для получения вяжущих при производстве строительных материалов / С. В. Федосов, М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов и др. // Информационная среда вуза: материалы XX международной научно-технической конференций. Иваново: ИГАСУ, 2013. С. 233–235.
- 127.** Шейкин А. Е., Агомогланов Р. Ш. Прочность, деформативность и долговечность бетона транспортных сооружений. М.: Сборник РИЛЕМ. Стройиздат, 1976. 41 с.
- 128.** Шенгур Т. В. Исследование применения электрогидравлического эффекта для активации цемента / Применение электрогидравлического эффекта в технологических процессах производства. № III. Материалы республиканского совещания в Николаеве. Киев, 1970. С. 17-19.
- 129.** Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции // Тезисы доклада I Всесоюзной научно - практической конференции. Киев: Будівельник, 1979. 208 с.
- 130.** Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкций. // Тезисы докладов II Всесоюзной научно-практической конференций / Редколлегия: В. Д. Глуховский (ответственный редактор) и др. Киев: Будівельник, 1984. 376 с.
- 131.** Щербаков А. С. Влажностные деформации арболита. // Бетон и железобетон. 1976. №10. С. 51.
- 132.** Юнг В. И. Основы технологии вяжущих материалов. М.: Промстройиздат, 1982. 150 с.
- 133.** Якунин Н. К. Новые эффективные материалы и изделия из древесного сырья за рубежом. М.: СИ, 1974. 72 с.
- 134.** Das trste gemeinsam Kind /Eichlefr. Osterreichische Bauzeit 1981, № 47. P. 1687.

- 135.** USDA FAS: Общий обзор мирового рынка грецкого ореха: электронный ресурс. 2015. Режим доступа: <http://orehovod.com/articles/81-usda-fas-obschii-obzor-mirovogo-rynka-greckogo-oreha.html> (дата обращения: 12. 02. 2016)
- 136.** Tulaganow A. A. Hochfeste Leichtbetone auf der Basis modifizierter Alkalischlachen – Bindemittel / Wissenschaftliche Zeitschrift der Bauhaus-Uni Weimar / BRD Heft 1/2, 1998 44. Jahrgang. P. 222-225.
- 137.** Чумаков Л. Д. Технология заполнителей бетона: учебное пособие для вузов. М.: Издательство АСВ, 1999. 120 с.
- 138.** Румако Т. К., Замасова И. Ф. Исследования влияния водорастворных веществ гуза-паи на гидратацию портландцемента в арболите // В сборнике Арболит и его применение. Издательство Саратовского университета, 1976. С.114-120.
- 139.** Получение цементозольношламового вяжущего состава, активированного методом комплексной электромеханической активации, для применения в составе легких арболитобетонов / М. В. Акулова, Б. Р. Исакулов, М. Д. Джумабаев и др. // Интернет-журнал «Науковедение». Том 8. № 3. 2016. С. 1-6.
- 140.** Акулова М. В., Исакулов Б. Р. Механохимическая активация и детоксикация промышленных отходов для получения вяжущих легких бетонов. // Вестник ВолГАСУ. Серия: строительство и архитектура. №31 (50). Часть 2. Строительные науки. Волгоград, 2013. С. 75-80.
- 141.** Полак А. Ф. Материалы V Всесоюзной конференции по физико-химической механике. Уфа, 1971. С. 156.
- 142.** Иванов Ю.М., Славик Ю. Ю. Длительная прочность древесины при растяжении поперёк волокон. // Известия вузов. Строительство и архитектура. 1986. №10. С. 22-26.
- 143.** Исакулов Б.Р. Исследование прочностных характеристик поризованных легких бетонов на основе отходов промышленности и растительного сырья Центральной Азии // Научно-технический вестник Поволжья. Казань, 2011. № 5. С. 125–131.

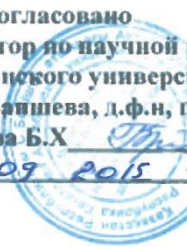
- 144.** Бужевич Г. А. Вопросы структуры, прочности и деформативности легких бетонов на пористых заполнителях // Структура, прочность и деформация легкого бетона. М.: Стройиздат, 1973. С. 5–23.
- 145.** Бужевич Г. А., Савин В. И. Состояние и основные направления научно-исследовательских работ по арболиту. // Арболит производство и применение М: Стройиздат, 1977. 36 с.
- 146.** Использование древесных отходов для производства арболита / В. И. Бухаркин, С. Т. Свиридов, П. Н. Утяков и др. М.: Лесная промышленность, 1975. 192 с.
- 147.** Изготовление и испытание панелей на основе стеблей хлопчатника и рисовой лужги / Г. А. Батырбаев, А. Г. Есельбаев, М. К. Нургаев и др. // Архитектурно-строительные конструкции и инженерное оборудование зданий и сооружений: Алма-Ата, 1980. С.75–80.
- 148.** Кузинец Б.З., Левинский К. А., Якушина И. М. Изучение эффективности применения золы при производстве арболита // Науч. труды Моск. лесотехн. ин-та. 1989. № 216. С. 17–23.
- 149.** Король Е.А. Трёхслойные ограждающие железобетонные конструкции из лёгких бетонов и особенности их расчёта. М.: АСВ, 2001. 256 с.
- 150.** Химический состав древесины: электронный ресурс. 2015. Режим доступа: <http://www.drevesinas.ru/woodstructura/chemical/1.html> (дата обращения: 15. 03. 2016)
- 151.** Иванов Ю.М., Славик Ю. Ю. Длительная прочность древесины при растяжении поперёк волокон.// Известия вузов. Строительство и архитектура. 1986. №10. С. 22-26.
- 152.** Имиль А. А., Цуканов Ю. С. Исследования арболита на костре льна и гипсоцементно-пуццолановом вяжущем. // Арболит и его применение: сборник статей под ред. М. И. Клименко. Саратов, 1976. С 85 - 91.
- 153.** Исакулов Б. Р. Экспериментальные исследования свойств шлакощелочных вяжущих на основе отходов промышленности Западного Казахстана. // Поиск. Научно-технический журнал. Алматы, 2011. № 1. С. 121–127.

- 154.** Страхов Ю. М., Майборода Т. Н., Рясный Б. Г. Использование искровых разрядов для активации растворных и бетонных смесей // Бетон и железобетон. 1993. № 3. С. 9–11.
- 155.** Склизов Н. И., Наназашвили И. Х. Эффективный способ формования арболита // Бюллетень строительной техники. М. 1978, № 4. С. 47–48.
- 156.** Урьев И. Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. М.: Химия, 1988. 256 с.
- 157.** Шилов В. П., Духин С. С. Теория поляризации диффузной части тонкого двойного слоя сферической частицы в переменном электрическом поле // Коллоидный журнал. 1970, Т. 32. № 1. С. 117–123.
- 158.** Щербаков А. С., Подчуфоров В. С., Хорошун А. П. Арболит. Повышение качества и долговечности. М.: Лесная промышленность, 1979. 160 с.
- 159.** Щербак С. А., Мамонтов В. Н., Нехорошев А. В. Электромагнитные явления в процессах структурообразования // Новые строительные материалы и конструкции для сельского строительства. М.: МИИЗ, 1985. С. 74–78.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

Согласовано
Проректор по научной работе
Актюбинского университета
им. С. Баишева, д.ф.н, проф.
Кусанова Б.Х.
10.09.2015



УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор ТОО
«Региональный индустриальный
технопарк «Актобе»,
И.В. Бондаренко
10.09.2015



АКТ

производства опытной партии арболитовых изделий на цементнозольношламовом активированном вяжущем

Мы, нижеподписавшаяся комиссия, в составе начальника испытательного центра по строительным материалам и конструкциям Оразалина Ж. К. (председатель) и членов комиссии: главного специалиста Макбасова А. С., доцента, д.т.н., зав. кафедрой «Строительство» Актюбинского регионального государственного университета Исакулова Б. Р., к.т.н., доцента кафедры «Строительство и организация эксплуатации транспорта» Актюбинского университета имени С. Баишева Суингарина С. М., старшего преподавателя кафедры «Строительство и организация эксплуатации транспорта» Актюбинского университета имени С. Баишева Джумабаева М. Д. составили настоящий акт о нижеследующем:

На основании разработанных и экспериментальных данных по составу арболита и способу активации цементнозольношламового вяжущего на Актюбинском ТОО «Региональный индустриальный технопарк «Актобе» выпущена опытная партия стеновых арболитовых блоков размером 200x200x400 мм объемом 250 м³ с использованием активированного КЭМА способом вяжущего. Состав и основные свойства арболитовых блоков опытной партии представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Состав цементнозольношламовой арболитовой смеси

Компоненты	В % по массе	Расход на 1 м ³ , кг
Портландцемент	18,1	184,25
Зола - унос	11,85	117,25
Бокситовый шлам	3,3	33,5
Хлорид бария	0,3	3,35
Скорлупа грецкого ореха	24,1	245
Вода	42,7	436

Таблица 2

Физика – химические свойства цементозольношламового арболита

Наименование свойств	Единица измерения	Показатели свойств блоков, изготовленных в условиях	
		Лаборатор.(28)	П/промыш. (28)
Плотность	кг/м ³	650	645
Прочность при сжатии	МПа	3,50	3,45
Теплопроводность	Вт/м°С	0,115	0,115
Водопоглощение	%	43	45

Арболитовые блоки изготавливались по следующей технологии: исходное цементозольношламовое вяжущее активировалось в барабанной электрополяризационной мельнице емкостью 200 л, изготовленной в механическом цехе завода ЖБИ по методике работ ученых []. Размеры мельницы: D = 0,58 м, L = 0,75 м. Общее время активации составило 30 минут. Первый этап активации – золошлам смешивается с хлоридом бария при В/З = 1,0 продолжительностью 20 минут, причем через каждые 5 минут создается электрическое поле постоянного тока напряжением 60 В. Второй этап активации – совместное измельчение золошлама с цементом при В/Ц = 0,6 в течение 10 минут. Далее предварительно вымоченный в воде в течение двух суток измельченный и высушенный обогороженный органический наполнитель перемешивался с комплексным электромеханически активированным вяжущим в смесителе. Продолжительность загрузки компонентов, их перемешивания и выгрузки составила 10 минут. Затем полученная арболитовая смесь вручную загружалась в формовочную установку. Отформованные блоки после поднятия пресс-форм оставались на площадке для вызревания. Через каждые 24 часа блоки переносились под навес и укладывались штабелями для твердения в естественных условиях.

Из таблиц видно, что полученные арболитовые блоки по своим физико-механическим свойствам практически не уступают образцам, полученным в лабораторных условиях, и отвечают требованиям ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия» и могут быть рекомендованы в малоэтажном и сельском строительстве.

**Технико-экономическая оценка и расчеты
экономической эффективности опытно - промышленного
внедрения основных результатов исследований**

Расчет экономической эффективности выполнен согласно «Инструкции по определению экономической эффективности в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений» СН 509-78. Определение экономической эффективности от внедрения КЭМА вяжущего при производстве арболитовых блоков производилось путем сравнения калькуляций себестоимости изготовления единицы продукции по известной технологии и предлагаемому проекту (табл. 3). При расчете экономического

эффекта в качестве нового материала приняты арболитовые блоки размером 0,2 x 0,2 x 0,4 м, изготовленные по предлагаемой подготовке заполнителя, а в качестве базового материала арболитовые блоки размером 0,2 x 0,2 x 0,4 м, изготовленные согласно ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические условия».

Годовой экономический эффект определен по формуле:

$$\mathcal{E} = [(Z_1 - Z_2) - E_n (K_3/A)] \times A,$$

где Z_1 и Z_2 - приведенные затраты на производство базового и нового материала, руб; E_n - нормативный коэффициент, равный 0,15; K_3 - капитальные затраты на внедрение мероприятия, руб; A - годовой объем выпускаемой продукции, m^3 .

Таблица 3
Сравнительная калькуляция себестоимости изготовления $1 m^3$ арболита

№	Статьи затрат	Ед. изм.	Расход материалов, $1 m^3$ арболита		Цена един., тенге	Цена $1 m^3$ арболита, тенге	
			по сущ. технол.	предл. проект		по сущ. технол.	предл. проект
1.	Портландцемент	кг	360	184,25	3	1080	552,75
2.	Бокситовый шлам	кг	-	33,5	0,25	-	8,38
3.	Измельченные стебли хлопчат.	кг	240	-	0,2	48	-
4.	Измельч. скорл. грецкого ореха	кг	-	245	9,5	-	2327,5
5.	Зола-унос	кг	-	117,25	0,3	-	35,2
6.	Хлорид кальция	кг	8	-	120	960	-
7.	Хлорид бария	кг	-	3,35	120	-	402
8.	Жидкое стекло	кг	19,8	-	100	1980	-
9.	Вода	m^3	0,66	0,68	8,32	5,5	5,66
10.	Итого	m^3				4073,5	3331,49
11.	Основная зарплата рабочих	тенге	6 чел.	7 чел.	13000	468	546
12.	Электроэнергия	кВт	6,2	11,8	4	24,8	47,2
13.	Доп. проч. ресур.	тен.				40	55
14.	Общие расходы	тен.				120	170
15.	Всего:	тен.				4726,30	4149,69

При мощности цеха $2000 m^3$ арболитовых изделий в год приведенные затраты на $1 m^3$ арболита по существующей технологии производства составили 4726,3 тенге, а по предлагаемому проекту 4149,69 тенге. При этом ожидаемый экономический эффект составит:

$$\mathcal{E} = [(4726,3 - 4149,7) - 0,15 (200000/2000)] \times 2000 = 1123220 \text{ тенге в год.}$$

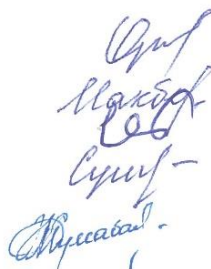
Или с каждого кубометра арболитовых изделий 561,6 тенге экономии. Дополнительная экономия обеспечивается повышением прочности блоков из арболитобетона, изготовленных на измельченной скорлупе грецкого ореха и снижения количества брака в количестве 15% от стоимости изделия.

$$\mathcal{E}_1 = (561,6 \times 0,15) \times 2000 = 168480 \text{ тенге.}$$

Таким образом, суммарный экономический эффект от внедрения этой технологии арболита на вяжущем, активированном способом КЭМА, составит: $\mathcal{E}_c = 1123220 + 168480 = 1291700$ тенге.

Председатель комиссии

Члены комиссии:



Оразалина Ж. К.

Макбасова А. С.

Исакулов Б. Р.

Суингарин С. М.

Джумабаев М. Д.

Приложение 2

СОГЛАСОВАНО
 Проректор по научной работе
 Актюбинского университета
 им. С. Баишева, д.ф.н, проф.
 Кусанова Б.Х. 
 18 03 2016 

УТВЕРЖДАЮ
 Директор ТОО
 "Завод ЖБИ - 25"
 Кучербаев Е.Т. 
 19 03 2016 

АКТ

**производственного внедрения и технико-экономическая
 эффективность цементнозольношламового арболита**

Мы, нижеподписавшаяся комиссия, в составе зам. Директора по качеству Битурина Д. В. (председатель) и членов комиссии: главного инженера Успанова А. Ж., главного специалиста к.т.н. Айтжанова А. Б., м.т.н., старшего преподавателя Актюбинского университета имени С. Баишева Акишева У. К., старшего преподавателя Актюбинского университета имени С. Баишева Джумабаева М. Д. составили настоящий акт о нижеследующем:

На базе Актюбинского завода железобетонных изделий выпущена опытно-промышленная партия теплоизоляционного арболита на основе цементнозольношламового вяжущего.

При изготовлении теплоизоляционного арболита на основе органического заполнителя из измельченной скорлупы грецкого ореха использовались следующие материалы: зола-унос Нукусской ТЭЦ, Краснооктябрьский бокситовый шлам алюминиевых отходов Кустанайской области, хлорид бария в количестве 1% от общей массы вяжущего, измельченная скорлупа грецкого ореха.

Приготовление арболитовой смеси проводилось следующим образом:

Предварительно вымоченную в воде в течение двух суток, высушенную и измельченную скорлупу грецкого ореха смешивали с цементнозольношламовым вяжущим, активированным способом КЭМА. Все отдозированные компоненты смешивались до получения однородной массы и укладывались в форму. Общее время приготовления арболитовой смеси составляло во всех случаях 7-9 минут. Арболитовую смесь уплотняли методом вибропрессования.

Затем изделия с различными сроками выдержки направлялись на термовлажностную обработку. После термовлажностной обработки изделия расформовывались и до проведения испытаний хранились в условиях цеха с исключением увлажнения и попадания прямых солнечных лучей при температуре 18-24⁰С.

При процессе изготовления изделий из арболита с оптимальными показателями прочности и влажности отработывались следующие факторы:

- порядок перемешивания компонентов и общая продолжительность процесса;
- соотношение количества компонентов в зависимости от полученных значений прочности и плотности арболита;
- вид и величина уплотнения;
- условия и параметры тепловлажностной обработки;
- время выдержки изделий из арболита перед тепловлажностной обработкой;
- тепловлажностная обработка изделий в закрытом и открытом видах.

Оптимальность того или иного вида, типа или значения указанных выше параметров определялись в зависимости от показателя прочности и плотности получаемого арболита при твердении в нормальных условиях и условиях тепловлажностной обработки в различном возрасте. Также учитывались однородность структуры получаемого материала, внешний вид изделий, шероховатости и целостности поверхностей и граней, влажность арболита к моменту испытания и сроки достижения изделиями отпускной (по ГОСТ 1922-84) 25% влажности.

Комплексный анализ экспериментальных данных привел к принятию решения о выпуске опытной партии теплоизоляционных арболитовых блоков при строительстве монолитных жилых домов малой этажности.

По вышеуказанной технологии выпущена партия теплоизоляционных блоков из цементнозольношламового арболита размером 200 x 200 x 400 мм.

Выпущенная партия арболитовых блоков использована при строительстве в районе «Батыс-2» многоквартирного жилого дома в качестве ограждающей конструкций стен и перегородок.

Технико-экономическая эффективность внедрения

Производство опытной партии цементозольношламового арболита показало высокую технико-экономическую эффективность полученного материала, получаемых за счет низкой себестоимости и высокой активности цементозольношламового вяжущего по отношению к органическому заполнителю.

Эффективность цементозольношламового арболита определена по развитости приведенных затрат на 1 м³ готового изделия. Затраты определены по изменяемым затратам на материалы, топливо, электроэнергию и удельное капиталовложение.

За базу для сравнения принято производство арболита на портландцементном вяжущем.

Экономический эффект от внедрения определяли по формуле:

$$\mathcal{E} = (\mathcal{E}_k - \mathcal{E}_c) \times A,$$

где \mathcal{E}_k и \mathcal{E}_c - себестоимость от внедрения в производство теплоизоляционного арболита в системе Актобестроя составил 52715 тг. (155 долл. США) на 1 м³ кладки в ценах 2016 г.

Председатель комиссии

Члены комиссии:



Битурин Д. В.

Успанов А. Ж.

Айтжанов А. Б.

Акишев У. К.

Джумабаев М. Д.

A4 Пішін
Формат А4

Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігі Министерство здравоохранения Республики Казахстан Санитариялық-эпидемиологиялық қызметтің мемлекеттік органының атауы Наименование государственного органа санитарно- эпидемиологической службы	Нысанның БҚСЖ бойынша коды Код формы по ОКУД _____ ҚҰЖЖ бойынша ұйым коды Код организации по ОКУД _____ Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігі 2011 жылғы 20 желтоқсандағы № 902 бұйрығымен бекітілген № 199/с нысанды медициналық құжаттама Медицинская документация Форма 199/у Утверждена приказом Министра здравоохранения Республики Казахстан от 20 декабря 2011 года № 902
--	--

**Санитариялық-эпидемиологиялық қорытынды
Санитарно-эпидемиологическое заключение**

№ 273 №
08 20 15 ж. (г.)

1. Санитариялық-эпидемиологиялық сараптау (Санитарно-эпидемиологическая экспертиза) - **Рабочий проект, цементнозольношламовые арболитовые блоки с размерами 200x200x400мм.** (пайдалануға берілетін немесе қайта жанартылған нысандардың, жобалық құжаттардың, тіршілік ортасы факторларының, шаруашылық және басқа жұмыстардың, өнімнің, қызметтердің және т. б. атауы)

(полное наименование объекта, отвод земельного участка под строительство, проектной документации, реконструкции или вводимого в эксплуатацию, факторов среды обитания, хозяйственной и иной деятельности, работ, продукции, услуг, транспорт и т.д.)

Жүргізілді (Проведена) - **По отношению № 07/08. ТОО СТРОЙДЕТАЛЬ**

өтініш, ұйғарым, қаулы бойынша, жоспарлы және басқа да түрде (күні, номері)

по обращению, предписанию, постановлению, плановая и другие (дата, номер)

2. Тапсырыс (өтініш) беруші (Заказчик) (заявитель) - **ТОО «СТРОЙДЕТАЛЬ» директор Д. Ералин, г. Актобе, ул. Панфилова №7, тел: 2364584**

Шаруашылық жүргізуші субъектінің толық атауы, мекен-жайы, телефоны, жетекшісінің тегі, аты, әкесінің аты

(полное наименование хозяйствующего субъекта (принадлежность), адрес / месторасположение объекта, телефон, Фамилия, имя, отчество руководителя)

3. Санитариялық-эпидемиологиялық сараптау жүргізілетін нысанның қолданылу аумағы (Область применения объекта санитарно-эпидемиологической экспертизы) - **Рабочий проект, цементнозольношламовые блоки с размерами 200x200x400мм.**

сала, қайраткерлік ортасы, орналасқан орны, мекен-жайы

(вид деятельности)

4. Жобалар, материалдар дайындалды (Проекты, материалы разработаны (подготовлены) - **ТОО «СТРОЙДЕТАЛЬ»**

5. Ұсынылған құжаттар (Представленные документы) - **Отношение № 07/08. Рабочий проект, цементнозольношламовые арболитовые блоки с размерами 200x200x400мм.**

6. Өнімнің үлгілері ұсынылды (Представлены образцы продукции) - **цементнозольношламовые арболитовые блоки с размерами 200x200x400мм.**

7. Басқа ұйымдардың сараптау қорытындысы (егер болса) (Экспертное заключение других организаций если имеются) -

Қорытынды берген ұйымның атауы (Наименование организации выдавшей заключение)

8. Сараптама жүргізілетін нысанның толық санитариялық-гигиеналық сипаттамасы мен оған берілетін баға (қызметке, үрдіске, жағдайға, технологияға, өндіріске, өнімге) (Полная санитарно-гигиеническая характеристика и оценка объекта экспертизы (услуг, процессов, условий, технологий, производств, продукции)

Рабочий проект, цементнозольношламовые арболитовые блоки с размерами 200x200x400мм. В разработке проекта нормативов «цементнозольношламовые арболитовые блоки с размерами 200x200x400мм» для ТОО «СТРОЙДЕТАЛЬ» принимали участие сотрудники Актюбинского ДП ТОО РНПИЦ «Казэкология», Гослицензия № 01129Р от 16.11.2007 г., г. Астана, Министерство охраны окружающей среды. Работа проведена в соответствии с Законами Республики Казахстан и республиканскими нормативными документами, относящиеся к экологической безопасности, охране окружающей среды и здоровья населения региона. Учет экологических требований при проектировании, размещении, строительстве и эксплуатации объектов регламентируются Экологическим кодексом РК и соответствующими нормативно-методическими документами.

Заявитель (изготовитель, продавец) несет ответственность за соответствие реализуемой продукции требованиям нормативных документов, указанным в настоящем гигиеническом заключении и технической документации, по которой были изготовлены исследованные образцы, а также доведение информации о наличии гигиенического заключения до потребителей.

Гигиеническая характеристика продукции

Наименование показателей	Допустимые уровни	Действительные значения
Удельная эффективная активность (среднее)	До 370 Бк / кг	55
По радионуклидному составу исследованные образцы относятся к первому классу радиационной опасности и могут использоваться в любом виде строительства без ограничения		

Оценка воздействия на окружающую среду данного объекта показала, что последствия данной деятельности будут весьма незначительными и не окажут никакого влияния на экологическую обстановку, при выполнении природоохранных мероприятий и соблюдения технологического регламента строительства. Максимальные концентрации вредных веществ не достигают границ СЗЗ. Предусматривать какие-либо дополнительные мероприятия для НМУ нет необходимости. В соответствии с «Санитарными правилами и нормами по гигиене труда в промышленности» (1.06.061-94) все производственные объекты должны иметь санитарно-защитную зону. Согласно СН 245-71 п. 8.3 размер санитарно-защитной зоны (СЗЗ) определяется на основании расчета рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере, содержащихся в выбросах вредных веществ. СЗЗ по санитарно-гигиеническим требованиям соответствует нормам. Результаты расчетов показали, что максимальные концентрации загрязняющих веществ с учетом фона не превышают ПДК по всему расчету.

9. Құрылыс салуға берілген жер учаскесінің, қайта жаңғыртылатын нысанның сипаттамасы (өлшемдері, ауданы, топырағының түрі, учаскенің бұрын пайдаланылуы, жерасты суларының түру биіктігі, батпақтану, желдің басымды бағыттары, санитариялық-қорғау аумағының өлшемдері, сумен, канализациямен, жылумен қамтамасыз ету мүмкіндігі және қоршаған орта мен халық денсаулығына тигізер әсері, дүние тараптары бойынша бағыты).

(Характеристика земельного участка под строительство, объекта реконструкции; размеры, площади, вид грунта, использование участка в прошлом, высота стояния грунтовых вод, наличие заболоченности, господствующие направления ветров, размеры санитарно-защитной зоны, возможность водоснабжения, канализования, теплоснабжения и влияния на окружающую среду и здоровью населения, ориентация по сторонам света; _____)

10. Зертханалық және зертханалық-аспаптық зерттеулер мен сынақтардың хаттамалары, сонымен қатар бас жоспардың, сызбалардың, суреттердің көшірмелері (Протоколы лабораторных и лабораторно-инструментальных исследований и испытаний, а также выкопировки из генеральных планов, чертежей, фото) _____

**Санитариялық-эпидемиологиялық қорытынды
Санитарно-эпидемиологическое заключение**

Рабочий проект, цементно-золяношламовые арболитовые блоки с размерами 200х200х400мм.
(нысанның шаруашылық жүргізуші субъектінің керек-жарак)

(полное наименование объекта, хозяйствующего субъекта (принадлежность), отвод земельного участка под строительство, проектной документации, реконструкции или вводимого в эксплуатацию, факторов среды обитания, хозяйственной и иной деятельности, работ, продукции, услуг, автотранспорта и т.д.)

(санитариялық-эпидемиологиялық сараптама негізінде) (на основании санитарно-эпидемиологической экспертизы) - _____


соответствует
**Постановление Правительства РК №93, 17.01.2012 г. «Об утверждении Санитарных правил санитарно-эпидемиологические требования к зданиям и сооружениям производственного назначения и санитарно-эпидемиологические требования по установлению санитарно-защитной зоны производственных объектов»,
Постановление Правительства Республики Казахстан от 25 января 2012 года № 168 об утверждении Санитарных правил «Санитарно-эпидемиологические требования к атмосферному воздуху в городских и сельских населенных пунктах, почвам и их безопасности, содержанию территорий городских и сельских населенных пунктов, условиям работы с источниками физических факторов, оказывающих воздействие на человека».**

Санитариялық ережелер мен гигиеналық нормативтерге (санитарным нормам и гигиеническим требованиям) сай немесе сай еместігін көрсетіңіз (соответствует или не соответствует) (нужное подчеркнуть)

соответствует

Усыныстар (Предложения): _____ (указать)

ҚР 18.09.2009 жылғы №193-ІУ «Халық денсаулығы және денсаулық сақтау жүйесі туралы» Кодекстың негізінде осы санитариялық-эпидемиологиялық ұйғарымның міндетті түрде күші бар.
На основании Кодекса Республики Казахстан 18 сентября 2009 года «О здоровье народа и системе здравоохранения» № 193-ІУ настоящее санитарно-эпидемиологическое заключение имеет обязательную силу.

Мөр орны Мемлекеттік санитариялық Бас дәрігері, қолы (орынбасар)
Место печати Главный государственный санитарный врач (заместитель)  П.Умиралы
тегі, аты, әкесінің аты, қолы (фамилия, имя, отчество, подпись)