

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ивановский государственный политехнический университет»

На правах рукописи



ИСАКУЛОВ Баизак Разакович

**ПОЛУЧЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ АРБОЛИТОБЕТОНОВ
НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ
И СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ВЯЖУЩИХ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

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



Иваново 2015

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	8
Глава 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО И КОНСТРУКЦИОННОГО АРБОЛИТА, ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ	21
1.1. Виды арболитов и факторы, влияющие на их физические, физико-механические и физико-химические свойства	21
1.2. Изменение свойств арболитов в зависимости от вида вяжущих, вида и свойств органического заполнителя	34
1.3. Зависимость изменения деформативных и прочностных характеристик арболитов от вида и дисперсного состава органического заполнителя	49
1.4. Влияние состояния контактных зон вяжущего раствора и пористого органического заполнителя на свойства легких арболитобетонов	52
<i>Выводы по главе 1. Цели и задачи исследования</i>	<i>55</i>
Глава 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ С ПОВЫШЕННОЙ АДГЕЗИОННОЙ СПОСОБНОСТЬЮ К ОРГАНИЧЕСКИМ ВОЛОКНИСТЫМ МАТЕРИАЛАМ В АРБОЛИТОБЕТОНАХ НА ОСНОВЕ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ	58
2.1. Разработка и исследование шлакощелочных вяжущих с минеральными активными добавками золы-уноса	58
2.1.1. Общие сведения о шлакощелочных вяжущих	58
2.1.2. Характеристика сырьевых материалов и методика исследования..	63
2.1.3. Исследование процессов взаимодействия и образования фазового состава шлакощелочных вяжущих композиций с золой-	

уносом.....	66
2.1.4. Влияние плотности раствора щелочного компонента на физико-механические свойства камня вяжущего	72
2.1.5. Влияние соотношения содосульфатной смеси на прочность и сроки схватывания шлакощелочного вяжущего на основе электротермофосфорного шлака	74
2.1.6. Влияние дисперсности золы-уноса на прочность шлакощелочного вяжущего арболита	77
2.1.7. Влияние соотношения электротермофосфорного шлака на прочностные характеристики камня вяжущего	81
2.2. Разработка оптимальных составов и исследование свойств шлакощелочных вяжущих с добавкой золы-уноса.....	82
2.2.1. Оптимизация составов шлакощелочных вяжущих с добавкой золы-уноса	82
2.2.2. Исследование свойств разработанных шлакощелочных вяжущих в зависимости от вида щелочных компонентов, условий обработки и последующего твердения	86
<i>Выводы по главе 2</i>	90
Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО АРБОЛИТА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЕГО МИКРОСТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ	92
3.1. Технологические особенности, способы появления адгезии шлакощелочного раствора и влияние физических свойств органического заполнителя на физико-механические характеристики арболита на основе шлакощелочного вяжущего	92
3.1.1. Исходные сырьевые материалы и методика их испытаний	95
3.1.2. Исследования формирования микроструктуры и основы процессов структурообразования шлакощелочного арболита на основе измельченных	

стеблей хлопчатника	99
3.1.3. Изучение зависимости прочностных характеристик шлакощелочного арболита от расхода вяжущих компонентов и органического заполнителя...	113
3.1.4. Влияние свойств хлопчатника на физико-механические характеристики шлакощелочного арболита	116
3.1.5. Определение причин снижения прочности шлакощелочного арболита на измельченных стеблях хлопчатника	122
3.1.6. Влияние последовательности перемешивания компонентов арболитовой смеси на свойства арболита	128
3.2. Проектирование состава, исследование свойств и разработка технологии производства шлакощелочного арболита на основе стеблей хлопчатника.....	134
3.2.1. Проектирование состава шлакощелочного арболита на основе стеблей хлопчатника	134
3.2.2. Зависимость плотности и прочности шлакощелочного арболита от вида вяжущего и заполнителя	137
3.2.3. Влияние влажности шлакощелочного арболита на изменение во времени его прочности.....	141
3.2.4. Теплопроводность, биостойкость, морозостойкость и огнестойкость разработанных шлакощелочных арболитов	142
3.2.5. Технология производства шлакощелочного арболита	144
<i>Выводы по главе 3</i>	150
Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК	
СЕРОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ	
ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕИ	
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЯЖУЩИХ ДЛЯ	
ПОЛУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ АРБОЛИТОБЕТОНОВ	153
4.1. Теоретические основы и анализ возможности использования технической серы в производстве строительных материалов	153

4.2. Исходные материалы, методы исследований, приборы и оборудование	163
4.2.1. Характеристика сырьевых материалов	163
4.2.2. Исследование и получения серосодержащих вяжущих с высокими физико-техническими характеристиками и методом активации и детоксикации.....	166
4.2.3. Термодинамическая оценка вероятности прохождения химических реакций между компонентами промышленных отходов с помощью стандартных термодинамических величин и электрохимических потенциалов	168
4.2.4. Технологические особенности получения серосодержащих активированных вяжущих.....	172
4.2.5. Влияние добавок серы на фазовый и минеральный состав серосодержащего цементного камня	175
4.3. Разработка оптимальных составов и исследование свойств серосодержащего вяжущих.....	185
4.3.1. Исследование влияния добавки серы на прочностные свойства серосодержащих вяжущих.....	185
4.3.2. Разработка состава серосодержащего вяжущего с помощью метода регрессионного анализа.....	187
4.3.3. Основные характеристики разработанных серосодержащих вяжущих.....	191
<i>Выводы по главе 4</i>	193
Глава 5. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА	
СЕРОСОДЕРЖАЩЕГО АРБОЛИТА	195
5.1. Исследование влияния основных составляющих компонентов на прочностные свойства серосодержащего арболита	195

5.1.1. Исходные сырьевые материалы и методика их испытаний	195
5.1.2. Исследования влияния органического заполнителя на физико-механические свойства и сцепление с камнем вяжущего серосодержащего арболита.....	199
5.1.3. Исследование изменения прочности серосодержащего арболита на основе измельченных стеблей тростника в зависимости от времени твердения при различных составах и нагрузках.....	203
5.1.4. Влияния химических добавок на свойства органического заполнителя и серосодержащего арболита.....	205
5.2. Разработка оптимального состава, изучение свойств и исследование влияние технологических режимов на физико-механические свойства серосодержащих арболитов.....	208
5.2.1. Подбор состава серосодержащего арболита.....	208
5.2.2. Влияние режимов твердения на свойства серосодержащих арболитов.....	217
5.2.3. Физические и физико-механические характеристики мерсеризованного серосодержащего арболита.....	218
5.2.4. Разработка технологии получения серосодержащего арболита.....	224
<i>Выводы по главе 5</i>	227
Глава 6. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПРОЧНОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ СЕРОСОДЕРЖАЩЕГО АРБОЛИТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ	229
6.1. Исследование ползучести серосодержащих арболитов в зависимости вяжущих компонентов и органического заполнителя.....	229
6.1.1. Зависимость прочностных характеристик и ползучести серосодержащего арболита от свойств составляющих компонентов.....	229
6.1.2. Анализ исследований теории ползучести легких бетонов.....	230

6.1.3. Исследование предела прочности при сжатии и ползучести серосодержащего арболита при различных сжимающих напряжениях.....	233
6.2. Исследование формирования фазового твердения прочности и последовательности механизма разрушения серосодержащего арболитовых композиции при различных нагрузках.....	243
6.2.1. Характер формирования прочности и механизм разрушения серосодержащего арболита при нагружении.....	243
6.2.2. Исследование механических свойств серосодержащих арболитовых блоков.....	247
<i>Выводы по главе 6</i>	256
ГЛАВА 7. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ АРБОЛИТОВ	258
7.1. Производственное внедрение шлакощелочного арболита и его технико-экономическая эффективность.....	258
7.2. Производственное внедрение серосодержащих арболитов и его технико-экономическая экономическая эффективность.....	263
<i>Выводы по главе 7</i>	267
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	268
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	276
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	308
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	311
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	314
ПРИЛОЖЕНИЕ 4	318
ПРИЛОЖЕНИЕ 5	322
ПРИЛОЖЕНИЕ 6	325
ПРИЛОЖЕНИЕ 7	327
ПРИЛОЖЕНИЕ 8	330
ПРИЛОЖЕНИЕ 9	332

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В связи с расширением жилищного строительства в странах Центральной Азии с каждым днем возрастает потребность в строительных материалах, поэтому создание конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных материалов с применением вторичных ресурсов является актуальным. Использование эффективных легких бетонов в строительстве позволяет, с одной стороны, снизить массу конструкции здания на 35 %, расход цемента – на 20 %, трудозатраты на 20 %, с другой стороны, повысить теплотехнические и эксплуатационные свойства конструкций, их долговечность и коррозионную стойкость, сопротивляемость динамическим, сейсмическим воздействиям и резким температурным перепадам.

Наибольшее распространение в регионах с жарким климатом получает арболитобетон, который сочетает в себе легкость, экологичность, высокие теплоизоляционные качества и может содержать в своем составе растительные отходы сельского хозяйства, которыми богаты степные районы. В Центральноазиатском регионе имеются также сырьевые ресурсы в виде многотоннажных отходов металлургической, нефтехимической, горнодобывающей и топливно-энергетической промышленности.

Широкая область применения арболитов, характеризующихся низкой плотностью (600–650 кг/м³) и довольно высокой прочностью (3,0–6,0 МПа) при минимальном расходе сырьевых материалов, обусловлена целым рядом их положительных качеств. Это один из самых легких строительных материалов, обладающий низкой теплопроводностью (0,7–0,19 Вт/мК) и хорошей звукоизоляционной способностью. Благодаря способности поддерживать нормальный микроклимат в помещении, исключая образование конденсата на поверхности ограждающих конструкций, арболит является одним из лучших стеновых материалов.

Однако возросшие требования к качеству арболита ставят задачу по дальнейшему повышению его строительно-эксплуатационных, технологических и прочностных показателей. Использование отходов промышленности в качестве

шлакощелочных и серосодержащих вяжущих, обладающих высокой активностью и приводящих к возникновению структурообразующих элементов, должно привести к повышению прочностных и деформативных характеристик, долговечности и биостойкости арболита.

Известно, что добавка технической серы в виде порошка влияет на прочность бетона. Однако при этом не выявлен механизм влияния добавки на структуру и свойства цементных композитов, не определены рациональные составы, способы подготовки и производства арболитобетонов. Это свидетельствует о целесообразности исследования возможности получения высокоэффективных строительных материалов на основе арболита, разработки технологий их производства и внедрения.

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. При выполнении диссертационной работы был проведен научно-технический обзор литературы по технологии получения арболитов, режимам механоактивации его компонентов, видам минеральных и пластифицирующих добавок на основе шлакощелочных и серосодержащих отходов, 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. На развитие науки и технологии в производстве арболитобетонов огромное влияние оказали фундаментальные труды П.П.Будникова, А.Т. Баранова, П.И. Боженова, А.В. Волженского, Ю.М. Бутта, Х.С.Воробьева, Е.А.Галибиной, В.Д. Глуховского, С.В. Федосова, К.Э. Горяйнова, Ю.П. Горлова, Л.А. Малининой, Е.Н. Малинского, А.П. Меркина, Г.П. Сахарова, К.Д. Некрасова, Г.В. Румына, Ю.М. Баженова, М.В. Балахнина, А.А. Безверхия, И.С. Бобыка, А.А. Акчабаева, Г.А. Батырбаева, Г.А. Бужевича, Г.Е. Евсеева, И.К. Касимова, М.И. Клименко, И.П. Мещерякова, А.И. Минаса, И.А. Рыбьева, Р.Б. Сироткина, В.И. Савина, И.Х. Наназашвили, А.С. Щербакова, А.А. Тулаганова, В.М.Хрулева, Ю.С. Бурова, Б.Н. Виноградова, А.Е. Галибина, Г.И. Горчакова, Г.Д. Диброва, В.Г. Довжика, И.А. Иванова, В.Х. Кикаса, В.К. Козлова, В.М. Медведева, В.А. Мелентьева, В.Ф. Мигачева, В.Г. Пантелеева, Н.А. Попова, В.И. Романова, В.Н. Россовского, А.М. Сергеева, Ю.А. Соколовой, Т.Е. Сергеева, Г.Н. Сиверцева, В.Н. Сокова, Н.Я. Спивака, В.В. Стольников, В.Б. Судакова, Н.И. Федынина, М.Ф. Чебукова, В.И. Логаниной, Г.П. Чеблыкина, К.А. Бисенова 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 применением цементов и бетонов из минеральных вторичных материалов промышленности и органических растительных отходов. Эти вещества обладают рядом физико-механических и технико-эксплуатационных характеристик, значительно превышающих аналогичные свойства многих других минеральных вяжущих и композитов на их основе.

В нашем 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 высокопрочных арболитобетонов на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих, разработка научных основ формирования их структуры, состава и свойств при использовании в качестве органического заполнителя стеблей травянистых растений.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Разработка теоретических принципов и научных основ получения высокопрочных легких арболитобетонов на основе шлакощелочных вяжущих и серосодержащих отходов нефтехимической промышленности.

2. Исследование возможности получения шлакощелочных вяжущих составов с добавкой высококальциевой золы-уноса повышенной адгезионной способности к органическим волокнистым компонентам арболитобетона.

3. Исследование совместного влияния органических и неорганических компонентов шлакощелочного арболита на формирование его микроструктуры и прочностных характеристик и разработка состава шлакощелочного вяжущего.

4. Разработка составов и исследование свойств шлакощелочного арболитобетона с использованием стеблей хлопчатника.

5. Исследование термодинамическими расчетами и экспериментальными методами влияния добавок серосодержащих отходов нефтехимической промышленности на структурообразование и физико-химические свойства композиционных вяжущих для получения теплоизоляционно-конструкционных арболитобетонов повышенной прочности.

6. Разработка составов и исследование влияния их основных компонентов на физико-механические свойства серосодержащего арболита с использованием стеблей тростника.

7. Исследование механизма формирования прочности и разрушения серосодержащего арболита в зависимости от вида и способа нагружения, анализ использования арболита в строительных конструкциях.

8. Технико-экономическая оценка технологий производства шлакощелочного

и серосодержащего арболитов на основе стеблей тростника и хлопчатника при изготовлении стеновых блоков, облицовочных плит.

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

С помощью системного анализа и теоретических подходов разработаны принципы и научные основы получения высокопрочных арболитобетонов на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих, методологически обоснована целесообразность комплексного регионального использования промышленных и сельскохозяйственных отходов;

Выявлены закономерности получения шлакощелочных вяжущих с добавкой высококальциевой золы-уноса повышенной адгезионной способности к органическим волокнистым материалам арболитобетона. Найдено, что их фазовый состав определяется видом щелочного компонента и добавки.

Установлена возможность регулирования свойств вяжущих одинаковых марок путем варьирования соотношения состава вяжущего и изменения соотношения факторов.

Получены зависимости, описывающие скорость набора прочности шлакощелочных арболитовых композиций в процессе твердения.

Установлены закономерности комплексного влияния органических и неорганических компонентов шлакощелочного арболита на формирование его микроструктуры и прочностных характеристик.

Разработаны экспериментально-оптимальные составы шлакощелочного арболитобетона, получены диаграммы графической интерпретации результатов многофакторных экспериментальных исследований, позволяющие оптимизировать составы вяжущих растворов и органических заполнителей на основе стеблей хлопчатника в широких пределах.

Установлено влияние добавок серосодержащих отходов нефтехимической промышленности на структурообразование и физико-химические свойства композиционных вяжущих для получения теплоизоляционно-конструкционных

арболитобетонов повышенной прочности.

Выявлено, что обработка целлюлозных материалов серосодержащими растворами вследствие эффекта «дублирования» приводит к улучшению как прочностных свойств органического компонента, так и стойкости целлюлозы к биокоррозии.

Термодинамическими расчетами и экспериментами показано, что соединения железа (VI) в виде феррата натрия Na_2FeO_4 химически разрушают сахараы целлюлозы, что ведет к увеличению адгезии между органическими и неорганическими компонентами арболитобетонов.

Предложено с помощью метода трехфакторного эксперимента планировать расход стеблей тростника и серосодержащих вяжущих компонентов для теплоизоляционно-конструкционного арболита.

Разработаны составы и выявлен характер влияния основных составляющих компонентов на физико-механические свойства серосодержащего арболита с использованием тростника.

Установлены закономерности влияния механизма формирования прочности и разрушения серосодержащего арболита в зависимости от вида и способа нагружения при использовании его в строительных конструкциях.

Экспериментально доказано, что в нагруженном состоянии органический наполнитель серосодержащего арболита оказывает большое сопротивление деформациям, упрочняется и может воспринимать увеличенную нагрузку по сравнению с ненапряженным состоянием.

Найдено, что упрочнение органического наполнителя в изучаемом диапазоне напряжений до $0,8 R_3$ (кубиковая прочность органического наполнителя) происходит за счет уменьшения внутрестеблевой (для тростника камыша) пористости и возникновения эффекта «обоймы».

Выявлено, что наименьшей пористостью и, как следствие, наиболее высокими прочностными показателями обладают составы, содержащие комплексные добавки с технической серой Жанажолского месторождения и пиритным огарком Алгинского химкомбината «Фосфохим».

Разработана методика анализа кривых деформирования серосодержащих арболитовых материалов при сжатии, позволяющая определять точки «критических» состояний композита в процессе нагружения.

Экспериментально доказано, что при нагружении серосодержащего арболита плотного строения происходит не одновременное, а последовательное разрушение растворной составляющей и органического заполнителя во второй фазе твердения. В первой фазе твердения происходит разрушение материала только по растворной составляющей.

Установлено, что прочность серосодержащего арболита пористого строения формируется в одну фазу, разрушение происходит одноступенчатое – по кольматированному органическому заполнителю. Характер разрушения образцов из серосодержащего арболита в различном возрасте наглядно иллюстрируют высказанные дополнения к гипотезам формирования прочности серосодержащего арболита и механизма его разрушения.

Теоретическая и практическая значимость результатов исследования. В диссертации изложены научно обоснованные технические и технологические решения получения высокопрочных арболитобетонов на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих, позволяющие их использовать в качестве стенового материала зданий промышленно-гражданского назначения.

Теоретическая значимость работы состоит в использовании фундаментальных научных исследований в области структурообразования модифицированных композиционных арболитобетонов на основе шлакощелочных вяжущих и отходов нефтехимической промышленности.

Технология позволяет использовать композиционные активированные вяжущие в производстве легких бетонов, интенсифицировать твердение шлакощелочных и серосодержащих арболитовых составов, а также повысить их прочность на 50–70 % при умеренном расходе цемента, что способствует организации безотходного производства.

Предложена классификация сырьевых материалов для производства арболитобетонов. При ее разработке использованы термодинамические и

экспериментальные методы изучения взаимной механохимической, окислительно-восстановительной активации и детоксикации серосодержащих отходов совместно с другими твердыми промышленными отходами: пиритными огарками и отсевами мелких фракций бурого угля.

Разработаны новые закономерности изменения механизма формирования прочности и разрушения серосодержащего арболита и оптимизированы составы позволяющие, получать, арболитовые композиты с пределом прочности при сжатии 1,9–2,5 МПа, водоудерживающей способностью 98–99%, адгезионной прочностью 45,7–59,7 МПа, водопоглощением по массе 5,9–9,2 %.

Разработаны технологические схемы производства арболита на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих, проекты стандартов «Измельченные стебли тростника для арболита», «Арболит на измельченных стеблях хлопчатника и изделия из него», а также республиканские строительные нормы «Указания по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита на измельченных стеблях хлопчатника», утвержденные Госстроями Узбекистана и Казахстана (акты внедрения № 3 от 18.07.2012 г., № 9 от 17.08.2012 г., № 12 от 10.09.2012, № 27 от 15.06.2013 г., № 1 от 10.10.2014 г., № 2 от 18.08.2014 г., № 3 от 15.07.2011 г.).

На базе Актюбинского завода железобетонных изделий выпущена опытно-промышленная партия теплоизоляционного шлакощелочного арболита. Экономический эффект от внедрения составил 577400 руб. в год.

На производственном участке ТОО «Региональный индустриальный технопарк Актобе» выпущена опытная партия стеновых серосодержащих арболитовых блоков. Суммарный экономический эффект от внедрения составил 425040 руб. в год.

Разработаны технологии по производству арболита на основе шлакощелочных и серосодержащих вяжущих и отходов из травянистых растений, учитывающие особенности новых композиционных вяжущих и органического заполнителя и позволяющие по сравнению с традиционными технологиями производства арболита сократить:

- для шлакощелочного арболита в 1,7–1,9 раза сократить время и энергозатраты при приготовлении арболитовой смеси, в 2–2,5 раза – время укладки и уплотнения смеси, в 7–8 раз – длительность цикла твердения изделий, в 1,8–2,5 раза – удельную металлоемкость производства;

- для серосодержащего арболита отличительной особенностью по сравнению с известной технологией является наличие поста механохимической активации и детоксикации серосодержащих вяжущих, мерсеризация целлюлозного органического заполнителя, а также операционные работы с добавками хлорида кальция и бария. Выбранная технология позволяет в 1,6–1,8 раз сократить время и энергозатраты при приготовлении арболитовой смеси, в 2–2,5 раза время укладки и уплотнения смеси, в 2–2,5 раза – удельную металлоёмкость производства, длительность твердения – в 6–7 раз.

Методология и методы диссертационного исследования. Методологической основой диссертационного исследования послужили современные положения теории и практики создания, разработки высокопрочных арболитобетонов на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих 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, микроскопического анализа и испытательного оборудования.

Положения, выносимые на защиту:

- методологические принципы и научные основы получение высокопрочных арболитобетонов на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих;

- выявленные закономерности получения шлакощелочных вяжущих составов с добавкой высококальциевой золы-уноса повышенной адгезионной способности к органическим материалам арболитобетона и определение их фазового состава в зависимости от вида щелочного компонента и добавки;

- закономерности комплексного влияния органических и неорганических

компонентов шлакощелочного арболита на формирование его микроструктуры и прочностных характеристик;

- принципы оптимизации составов на основе вяжущих и органических заполнителей из стеблей хлопчатника, позволяющие выбирать нужные составы шлакощелочного арболита по технологическим и технико-экономическим соображениям;

- закономерности влияния добавок серосодержащих отходов нефтехимической промышленности на структурообразование и физико-химические свойства композиционных вяжущих для получения теплоизоляционно-конструкционных арболитобетонов повышенной прочности;

- исследованные процессы, происходящие при обработке целлюлозных материалов серосодержащими растворами, приводящие к улучшению как прочностных свойств органического компонента, так и стойкости целлюлозы к биокоррозии;

- выявленные данные термодинамических расчетов и экспериментальных методов, показывающие, что соединения железа (VI) в виде феррата натрия Na_2FeO_4 химически разрушают сахараы целлюлозы, что ведет к увеличению адгезии между органическими и неорганическими компонентами арболитобетонов;

- разработанные составы и характер влияния составляющих компонентов на физико-механические свойства серосодержащего арболита с использованием тростника;

- установленные закономерности влияния механизма формирования прочности и разрушения серосодержащего арболита плотного и пористого строения в зависимости от вида и способа нагружения;

- результаты производственных испытаний и внедрения, разработанных шлакощелочных и серосодержащих арболитов на основе стеблей тростника и хлопчатника при изготовлении стеновых блоков, облицовочных плит.

Достоверность 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.

Внедрение результатов исследований. Результаты исследования нашли практическое применение на Актюбинских предприятиях по выпуску строительных материалов ТОО «ЖБИ-25», ТОО «Региональный индустриальный технопарк Актобе», ТОО «Стройдеталь» (Казахстан) и на Нукусском заводе железобетонных изделий (Узбекистан). Теоретические положения диссертационной работы, а также результаты экспериментальных исследований используются в учебном процессе Актюбинского регионального государственного университета при подготовке бакалавров и магистров по профилям «Промышленное и гражданское строительство».

Апробация результатов. Основные положения и результаты диссертационной работы автора докладывались и обсуждались: на XXII научно-технической конференции Каракалпакского государственного университета (Нукус, 1999); VI международной научно-технической конференции «Информационная среда вуза» (Иваново, 1999); 25-th Conference on our world in concrete structures (Singapore, 2000); научно-практической конференции Актюбинского филиала Казахской академии транспорта и коммуникации (Актобе, 2005); международной научно-практической конференции «Образование и наука – созданию конкурентоспособного Казахстана» (Актобе, 2007); международной научно-практической конференции, посвященной 15-летию Актюбинского университета «Дуние» (Актобе, 2007); XVIII научно-технической конференции Ташкентского архитектурно-строительного института (Ташкент, 2009); VI международной научно-практической конференции «Итоги строительной науки» (Владимир, 2010); международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс: техника, технологии и образование» (Актобе, 2010); Light concrete on the base of industrial and agricultural. Second international Conference on Sustainable Construction Material and

Technologies, (Ancona, Italy, 2010); II всероссийской научно-практической конференции «Новые технологии в промышленности, науке и образовании» (Оренбург, 2010 г.); международной научно-практической конференции «Инновации и образовательные технологии» (Актобе, 2011); международной научно-практической конференции «Надиоровские чтения – 2011» (Алматы, 2011); VII международной научно-практической конференции Zpravyvedeckejdeje – 2011 (Praha, 2011); 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); международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы архитектуры и строительства» (Благовещенск, 2014); XVIII международного научно-практического форума «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» (SMARTEXT-2015) (Иваново, 2015).

Личный вклад автора состоит в разработке теоретических принципов, научных основ и составов высокопрочных арболитобетоновна основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих, обобщении и анализе результатов исследований.

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано семьдесят семь научных статей общим объемом 53,67 печ. л., авторские – 30,6 печ. л., из них девятнадцать статей общим объемом 6,4 печ. л. – в рецензируемых научных журналах и изданиях, в том числе авторские – 3,2 печ. л., получено два инновационных патента РФ и РК, опубликовано 2 монографии.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 307 страницах машинописного текста, содержит 73 рисунка, 73 таблиц. Список использованной литературы включает 320 наименований.

Диссертационная работа выполнялась на кафедре «Строительное материаловедение, специальные технологии и технологические комплексы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» в соответствии с паспортом специальности 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия» и, в частности, с формулой специальности «Строительные материалы и изделия» – областью науки и техники, занимающейся разработкой научных основ получения строительных материалов различного назначения и природы, включая выбор сырья, проектирование состава, управление физико-химическими процессами структурообразования и технологией, обеспечивающими высокие эксплуатационные свойства изделий и конструкций при механическом нагружении и воздействии окружающей среды, пунктами области исследования: п. 1. Разработка теоретических основ получения различных строительных материалов с заданным комплексом эксплуатационных свойств; п. 2. Создание новых строительных материалов, обеспечивающих строительство быстровозводимых трансформируемых и долговечных зданий и сооружений; п. 6. Создание теоретических основ получения строительных композитов гидратационного твердения и композиционных вяжущих веществ и бетонов; п. 7. Разработка составов и принципов производства эффективных строительных материалов с использованием местного сырья и отходов промышленности.

Автор выражает глубокую благодарность за оказанную помощь и научные консультации по диссертационной работе:

- акад. РААСН, д-ру техн. наук, профессору, зав. каф. «Техногенная безопасность» ИВГПУ С.В. Федосову;

- профессору кафедры «Нанотехнология и новые материалы» ЕНУ им. Л.Гумилева, д-ру техн. наук А.М. Сарсенову.

Глава 1. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО И КОНСТРУКЦИОННОГО АРБОЛИТА, ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

1.1. Виды арболитов и факторы, влияющие на их физические, физико-механические и физико-химические свойства

В настоящее время перед производителями строительных материалов стоит задача увеличения объемов выпуска легких бетонов обусловленная 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/м^3 [22]. По прогнозам зарубежных ученых [120], к 2020 году будут изготавливаться легкие конструкционно-теплоизоляционные бетоны с плотностью от $800\text{--}1200 \text{ кг/м}^3$ и прочностью при сжатии от 25 до 70 МПа, использование которых позволит сооружать железобетонные здания высотой более 100 этажей.

В современных условиях актуально, чтобы каждый регион имел ресурсы для получения местных вяжущих и материалов на их основе, отвечающих высоким техническим требованиям и способствующих сохранению окружающей среды.

В связи с расширением индивидуального строительства в республиках Центральной Азии с каждым днем возрастает потребность в строительных материалах. Одним из путей решения данной проблемы является создание на основе местных ресурсов и отходов производств высокоэффективных материалов для изготовления строительных деталей и конструкций различного назначения. Поэтому создание конструкционно-теплоизоляционных материалов с применением вторичных ресурсов наиболее перспективно [1, 3–6, 8, 9].

В этой области известны труды [1–12], направленные на разработку и изучение материалов типа арболит. Полученные результаты позволили выяснить

особенности структурообразования таких материалов, наметить пути их усовершенствования, определить области их применения.

Характерной особенностью развития производства арболитобетонов является постоянное снижение доли низкопрочных (М 10–15) арболитов в общем выпуске и увеличение производства высокопрочных арболитобетонов со средней плотностью 600–700 кг/м³ и прочностью выше 6 МПа [15,22,112].

Арболит, как легкий и эффективный строительный материал, широко применяется в строительстве, причем в разных странах его называют по-разному. Физико-механические и строительно-технические характеристики арболитовых композиций разных стран приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Названия и физико-механические свойства арболитовых композиций разных стран мира

Физико-механические свойства арболитовых композиций	Органоминеральные композиционные материалы				
	Дюризол (Швейцария)	Велокс (Австрия)	Пилинобетон (Чехия)	Дюрипанель (Германия)	Арболит (СНГ)
Плотность, кг/м ³	600–700	550–600	600–800	750–1200	500–800
Предел прочности при сжатии, МПа	1,5–3,5	–	1,8–2,5	2,6–5,6	0,5–3,5
Предел прочности при изгибе, МПа	0,9–1,2	1,2–2,2	1,4–1,6	–	0,7–1,0
Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	0,09	0,09	–	–	0,08–0,16
Морозостойкость, цикл	–	–	–	–	25–50

В настоящее время основная область применения арболита – малоэтажное строительство, где он применяется как утеплитель и стеновой материал в виде мелкогазобетонных блоков и панелей. Применяется он также и в многоэтажном строительстве, где используется как материал для перегородок, навесных стеновых панелей и плит перекрытий под небольшие нагрузки [1–12].

Широкая область применения арболита обусловлена целым рядом его положительных качеств. Это один из самых легких строительных материалов, плотность теплоизоляционного арболита может составлять 400 кг/м³ и менее, он обладает низкой теплопроводностью 0,7–0,19 Вт/мК и хорошей звукоизоляционной способностью. Благодаря способности поддерживать нормальный микроклимат в помещении, исключая образование конденсата на поверхности ограждающих конструкций, арболит является одним из лучших стеновых материалов.

Арболит (ГОСТ 19222-84 «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 [1–12].

Связь между частицами органического заполнителя и вяжущими в водной среде обеспечивается цементным раствором, который в процессе перемешивания обволакивает поверхности частиц и проникает в их неровности, трещины и поры. В результате последующего твердения цементного клея через определенное время происходит сцепление между зернами заполнителя и цементным камнем. Величина сцепления – основной фактор, определяющий свойства и качество арболита.

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, 13–15]. Минеральное вяжущее придает арболиту прочность, биостойкость, 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 формирования готовых изделий [5, 42].

Для получения арболитовой смеси в зависимости от региона применяют различные органические заполнители, минеральные вяжущие вещества, водные растворы различных химических добавок и воду. При производстве готовых изделий из арболита, кроме перечисленных материалов, используют инертные плотные заполнители для приготовления фактурных цементно-песчаных растворов и бетонов, а также стальную арматуру, закладные детали, красители, керамические или стеклянные плитки и другие отделочные материалы [5, 35].

Исследованиями [13–15] установлено, что при использовании в качестве древесного заполнителя материалов, получаемых из отходов деревообработки, можно получить шлакощелочной теплоизоляционно-конструкционный и конструкционный арболит, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 19222-84 и ГОСТ 25820-2000, а при использовании опилок – теплоизоляционный арболит. Получение арболитовых изделий из кальциевых, цементных, шлакощелочных и серосодержащих вяжущих и древесных отходов научно обосновано и подтверждено практикой строительного производства [1, 3, 7, 8].

Прочность шлакощелочного арболита в зависимости от типа заполнителя возрастает в ряду: опилки – стружка – дробленка. Оптимальным щелочным компонентом для шлакощелочного арболита на основе шлака является дисиликат натрия, обеспечивающий наибольшую прочность материала. Шлакощелочный 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 [15]. Прочность шлакощелочного арболита возрастает с увеличением расхода вяжущего и плотности арболита.

Производство изделий из арболита можно осуществлять по стендовой или полуконвейерной технологии. Независимо от вида принятой технологии производство должно предусматривать сбор, пакетирование и транспортировку, измельчение дробленки, гидрообработку (вымачивание), дозировку компонентов и приготовление арболитовой смеси, укладку ее в форму и уплотнение, выдержку

изделия в форме, тепловлажностную обработку и распалубку изделия, вызревание при положительных температурах, транспортирование изделия на склад готовой продукции [5, 19, 40, 42]. В зависимости от назначения и вида органического заполнителя арболит, согласно ГОСТ 19222-84, разделяется на классы: В 1,0–В1,5 – для теплоизоляционных изделий; В 2,0–В 3,5 – для конструктивных изделий.

Предел прочности арболита зависит от влажности, 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, 7, 8]. 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 [16–18]. 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 25820-2000, ГОСТ 7473-94, ГОСТ 10060.0-95, ГОСТ 10060.1-95, СН-277. Зависимость плотности арболита, изготовленного на различных заполнителях, от его прочности приведена в табл.1.2.

Модуль упругости в зависимости от прочности арболита колеблется в среднем от 400 до 1200 МПа, коэффициент Пуассона – 0,15–0,2.

На 7-е сутки величина сцепления арболита с металлической арматурой в зависимости от профиля поверхности стержней (гладкие, рифленые) и вида защитной обмазки равна 0,1–0,3 МПа [42, 44, 62].

Водопоглощение арболита, не защищенного покрытием, в среднем составляет 60% по массе. Уменьшить водопоглощение арболита в конструкциях

можно путем его офактуривания и нанесения на его поверхность различных гидрофобных пленок.

Таблица 1.2

**Зависимость плотности арболита,
изготовленного на различных 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 морозостойкости изделий из арболита зависят от прочности арболита и его наружных отделочных слоев и должны быть: 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 [5, 65–67].

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

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

Согласно ГОСТ 31167-2003 и ГОСТ 26602.2-99, коэффициент воздухопроницаемости арболита, определенный на образцах в зависимости от скорости ветра, составляет 0,5 кг/м²ч [5, 66, 67]. Согласно ГОСТ 19222-84, 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%. Из-за повышенной усадки арболитовые изделия до монтажа строительных конструкций должны иметь минимальную влажность. Набухание арболита в воде составляет 0,25–2%, поэтому материал во влажных помещениях должен иметь гидроизоляцию поверхности[5, 42, 66, 67].

Удельная теплоемкость арболита в сухом состоянии в зависимости от плотности материала колеблется в пределах 1720–1045 Дж/(кг°С).

Теплофизические свойства арболита зависят от плотности, вида заполнителя и характера расположения его частиц, количества цемента, пористости материала и других факторов. Удельная теплоемкость арболитов 2–3 раза выше, чем минеральных материалов. 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. В условиях холодных районов, при нерегулируемых автономных средствах систем отопления это может иметь важное значение для поддержания устойчивых тепловых режимов в помещениях. Изготовленные арболитовые конструкции наружных стен удовлетворяют требованиям СНиП по теплозащите и теплоустойчивости [19–21].

В табл. 1.3 даны значения коэффициента теплопроводности арболита в зависимости от состава заполнителя с учетом плотности и влажности материала.

Таблица 1.3

Показатели арболита на древесной дробленке

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

Арболит, сочетающий органический заполнитель и цементный камень, 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, 18,19].

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 VII–VIII группам.

Арболит – трудно сгораемый материал. Предел огнестойкости арболитовых панелей толщиной 200мм и плотностью $400\text{кг/м}^3 - 0,75\text{ ч}$ [5, 66]. При фактической плотности $620-650\text{ кг/м}^3$, огнестойкость арболита, оштукатуренного двумя слоями цементно-песчаного раствора толщиной 250 мм, достигает 1,5ч.

Повышение прочности арболита и улучшение других его свойств в ряде случаев может быть достигнуто использованием эффективных технологических приемов, введением поверхностно-активных и минеральных добавок и т.п.

Поризованный арболит. К легким бетонам-конгломератам относится поризованный арболит. Введение технической пены на стадии приготовления способствует образованию в арболитовой смеси высокодисперсной эмульсии воздуха. В результате устраняется непосредственное трение твердых частиц арболитовой смеси, что способствует их равномерному распределению при перемешивании вместе с цементом и плотной упаковке при формировании изделий. По этой технологии в качестве органического наполнителя могут быть использованы измельченные стружки древесины.

Поризация 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 электродвигателем мощностью 8–12 кВт и не менее 3000

об/мин. Улучшение свойств и структуры арболита достигается путем поризации смеси технической пены в сочетании с ускорителями твердения и замедлителя твердения – гипса, в период формирования выполняющего роль стабилизатора пены. 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.

Для устойчивости пены рекомендуются первичные и вторичные алкидсульфаты, а также жидкостекольный пенообразователь и гидролизованная кровь (ГК), в большом количестве имеющаяся на мясокомбинатах.

Для создания устойчивой пены жидкостный состав пенообразователей совместно с водным раствором калия прогоняют в системе замкнутого цикла пеногенератора в течение 20–30 мин, после этого подают в пенобетонмешалку с компонентами арболитовой смеси.

Поризованная арболитовая смесь отличается высокой связанностью, повышенной влажностью и удобоукладываемостью, и, как следствие, применение такой смеси значительно упрощает процессы формирования изделий. Поризованная смесь формируется в течение 10 мин изготовления. Затем смесь уплотняется вибрацией (без пригруза) на виброплощадках с помощью площадочных вибраторов, вибронасадок и т.д.

При этом могут изготавливаться конструкции любой конфигурации (глухие, с оконными или дверными проемами и т.д.) с высоким качеством всех поверхностей изделий, так как поризованный арболит имеет слитное строение с упорядоченной замкнутой пористостью.

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 табл. 1.4.

Таблица 1.4

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

Арболит на основе гипсопуццоланового вяжущего. 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 гипсопущоланового арболита осуществляется по типовой схеме, аналогичной изготовлению бетонных изделий. Составы и свойства гипсопущоланового арболита показаны в табл. 1.5 [5, 153, 156].

Таблица 1.5

Составы и свойства гипсопущоланового 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 пущоланового 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

Арболит на основе растительных отходов. Для получения арболитовой смеси в зависимости от региона применяют различные органические заполнители, минеральные вяжущие вещества, водные растворы различных химических добавок и воду. При производстве готовых изделий из арболита, кроме перечисленных материалов, используют инертные плотные заполнители для приготовления фактурных цементно-песчаных растворов и бетонов, а также стальную арматуру, закладные детали, красители, керамические или стеклянные

плитки и другие отделочные материалы.

Органический наполнитель, применяемый в производстве арболита, может быть двух основных видов:

- древесный, исходным сырьем для которого служат низкокачественная древесина, а также отходы ее производства[25];
- отходы сельскохозяйственного производства (костра льна, рисовая солома, стебли хлопчатника, тростника и т.п.)[5, 26].

Принципиальная возможность использования дробленых стеблей хлопчатника в качестве наполнителя в арболите определена в Алма-атинском НИИСтромпроекте. Авторами исследованы основные физико-механические свойства, 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 [5, 26].

В работах [1, 27] предлагается предварительное вымачивание дробленых стеблей хлопчатника в воде при температуре 333К. При этом прочность арболита на стеблях хлопчатника остается ниже, чем у арболита на древесной дробленке.

Одним из важных требований, влияющих на качество арболита на измельченных стеблях хлопчатника, является подготовка органического наполнителя. Эта подготовка включает следующие производственные операции: сбор, пакетирование, транспортирование и хранение стеблей хлопчатника, растворение и частичная промывка водоекстрактивных веществ наполнителя для устранения их вредного действия на твердение вяжущего.

Портландцемент в составе арболита участвует как основной связующий элемент, а добавки, нейтрализуя вредное действие водоекстрактивных веществ наполнителя на твердение цемента, ускоряют и усиливают его связующую способность. Технология приготовления наполнителей из однолетних растений включает измельчение и фракционирование состава частиц на решетке с диаметрами отверстий 10, 15, 18, 20, 28, 35 мм.

Исследователями [29–31] 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 портландцементноарболита.

Научный и практический интерес вызывают работы [15,32,33], направленные на разработку и исследование органоминеральных композиционных материалов на основе безобжиговых щелочных вяжущих и отходов сельского хозяйства.

Для улучшения физико-механических свойств арболита предложена пропитка последнего термопластами [34].

Исследованиями [35–38] показано, что на основе отходов сельского хозяйства можно получить эффективный арболит при помощи высокотемпературной (до 80°C) тепловой обработки, позволяющей производить распалубку изделий.

Работа [38] направлена на создание 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.

Представляют интерес исследования в части регулирования свойств арболита путем введения в него добавок песка [219, 230].

Доказано [38,39], что на основе костры кенафа, рисовой лузги и стеблей хлопчатника можно получить конструкционный арболит прочностью 1,5–6 МПа при плотности 600–950 кг/м³.

Работы [40–42] направлены на улучшение физико-механических свойств

арболита путем пропитки его серосодержащими отходами.

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

1.2. Изменение свойств арболитов в зависимости от вида вяжущих, вида и свойств органического наполнителя

Качество бетона зависит от марки используемого вяжущего. В связи с этим исследовательские работы многих ученых направлены на усовершенствование вяжущих составов, в первую очередь портландцемента и его разновидностей.

В работах [29, 36] предлагают увеличить активность цементов за счет их активации перед употреблением. Однако такие цементы быстро теряют активность, а дальнейшее увеличение их удельной поверхности приводит к незначительному повышению прочности.

Известно [1], что при производстве арболита на основе портландцемента лучше всего использовать быстротвердеющие и особо быстротвердеющие портландцементы, а также белитошламовые цементы высоких марок. В качестве вяжущего могут использоваться глиноцементное, полимерфосфогипсовое, гипсовые и гипсоцементные вяжущие [18]. В бетонных композициях на основе шлакощелочных вяжущих можно применять также и органические вещества [43–46].

Одной из отличных и положительных черт шлакощелочных вяжущих является то, что щелочи, входящие в состав бетонных композитов как щелочной компонент и присутствующие в них при протекании процессов гидратации, взаимодействуют не только со шлаками, но и с пористыми наполнителями, реакционная способность которых в сочетании с таким вяжущим повышается. В

отличие от портландцементных, в шлакощелочном арболите используют древесные отходы хвойных, лиственных пород, кроме того, в составе таких материалов может присутствовать кора [47].

Новосибирскими учеными разработаны составы лигнодеревобетона [48], состоящие из гидролизноголигнина, дробленки древесины и шлакощелочного вяжущего. При изготовлении изделий из деревобетона используется дробленка хвойных пород. Предел прочности при сжатии лигнодеревобетона составляет 0,25–8,2 МПа при плотности изделий 350–1200кг/м³.

Известнышлакощелочныеарболитовые составына основе фосфорного шлака с водным раствором жидкого стекла и дроблеными стеблями хлопчатника [30,31,33,72].

Полученный материал имел прочность при сжатии 0,2–0,35 МПа. Исследования [15, 49] показали, что применение шлакощелочного вяжущего позволяет получить материал с прочностью при сжатии до 4,0МПа.

В работах [101, 102] показано, что использование химически активных соединений алюминия, хлора, щелочных металлов и солей серной кислоты позволяет повысить прочность силикатного камня автоклавных материалов в результате формирования цементирующих образований с повышенной конденсацией кремнекислородных анионов. При этом положительная роль введения техногенного сырья в состав бетонной смеси, в частности шлаков и шлакопортландцементов, состоит в повышении закристаллизованности новообразований с преобладанием в их составе «аномальных» разновидностей тоберморита, что приводит к повышению прочностных свойств материала и снижению его усадочных деформаций.

Установлено [102–104], что отходы и вторичные продукты промышленности могут быть использованы не только в качестве добавок, но и взамен портландцементов и извести, которые участвуют в условиях гидротермальной обработки в синтезе цементирующих образований, что способствует не только повышению экономической эффективности производства, но и решению отдельных экологических задач.

Установлено [104–108], что в зависимости от химического и минералогического состава отходы промышленности могут использоваться не только в качестве вяжущего, но и в качестве кремнеземистого компонента, что позволяет при благоприятном химическом составе значительно снизить расход более дорогих компонентов, в частности извести, портландцемента, природных силикатных песков. Однако, несмотря на то, что большинство крупнотоннажных отходов промышленности – ценное сырье для производства легких бетонов, их использование в Центральной Азии остается незначительным и составляет, по различным оценкам [61, 62], в среднем 10 % при среднем содержании их в составе 2–8 % от массы сухих компонентов.

В качестве основной причины недостаточного использования техногенного сырья указывается нестабильность их химического и минерально-фазового составов, неоднородность по гранулометрическому составу, что в свою очередь требует постоянной производственной корректировки состава легких бетонов, приводит к издержкам по качеству получаемой продукции.

В связи с этим в работах [109, 110] с целью эффективной утилизации промышленных отходов отмечают необходимость их предварительной переработки для усреднения свойств. Так, например, за рубежом на большинстве предприятий в производственном цикле предусмотрены технологические мероприятия по предварительному усреднению свойств применяемых техногенных материалов [111].

До недавнего времени транспортировка промышленных отходов была экономически целесообразной на значительные расстояния при сохранении высокой эффективности их применения [112]. В современных условиях повышения транспортных тарифов экономическая целесообразность таких перевозок значительно снизилась. При этом отмечается [113, 114], что некоторые виды промышленных отходов наиболее целесообразно использовать при производстве других видов строительных материалов.

В связи с этим в настоящее время при рассмотрении задач повышения технико-экономической эффективности производства легких арболитов за счет

снижения расхода более дорогих компонентов значительное внимание уделяется использованию малотоннажных отходов местной промышленности, характеризующихся меньшими объемами образования [115]. В [116] указывают, что одними наиболее распространенными во многих регионах являются шламовые отходы местной промышленности.

Установлено [117–120], что в зависимости от химического состава и агрегатного состояния шламы могут являться весьма эффективными сырьевыми компонентами или добавками для производства различных строительных материалов. Так, в частности, показана высокая эффективность использования в качестве сырья взамен природных большинства техногенных отходов региона Центральной Азии с высоким содержанием соединений кальция и алюминия в производстве минеральных вяжущих для портландцементов и глиноземистых цементов и минеральных наполнителей для получения смешанных вяжущих.

Аналогичные результаты получены в работе [121] при исследовании возможности использования шламов водоумягчения ТЭЦ при получении смешанных вяжущих. Однако существенным недостатком данного метода утилизации шламовых отходов является необходимость предварительной сушки материалов, что при высокой их первоначальной влажности (20–70 % по массе) требует значительных энергозатрат.

Более эффективное направление использования шламов может быть реализовано при получении таких строительных материалов и изделий, в производстве которых требуется значительное количество воды затворения, в частности легких бетонов. Шлам может быть применен в качестве добавки или – при благоприятном химическом составе – в качестве одного из основных сырьевых компонентов.

При этом отмечается [122], что присутствие в легких бетонах различных неорганических соединений даже в незначительных количествах (в частности, солей некоторых тяжелых металлов) может оказывать положительное влияние на структуру цементного камня.

В [123] показана возможность использования шламовых отходов раз-

личного происхождения с высоким содержанием соединений тяжелых металлов в качестве добавки в состав бетонной смеси в количестве до 5 % по массе. Показано их ингибирующее действие и то, что соединения тяжелых металлов при механохимической обработке входят в состав цементного камня и не выделяются в окружающую среду, а это приносит экологический и социально-экологический эффект.

В настоящее время значительные объемы не востребованной серы имеются во всех областях Западного Казахстана и в Туркменистане. Для обеспечения хранения серы требуется отвод земель и применение специальных мероприятий с целью предотвращения ее возгорания и экологической катастрофы. В связи с этим задачи, связанные с утилизацией серы, являются актуальными для указанных регионов [61, 63].

Последние годы в республиках Центральной Азии характеризуются быстрыми темпами развития нефтегазодобывающей и нефтегазоперерабатывающей отраслей, ориентированных на переработку высокосернистой нефти и газа местных месторождений [124–126]. При этом только при очистке попутных газов ежегодно образуется, по различным оценкам [124, 125], около 10 тыс. т серы.

Пуск в эксплуатацию в г. Атырау и г. Павлодаре нефтеперерабатывающих заводов по очистке и переработке высокосернистой нефти производительностью до 10 млн т в год позволит получать ежегодно до 220 тыс. т гранулированной серы, что значительно перекрывает потребность химической промышленности Казахстана. Содержание серы в попутно получаемом продукте составляет не менее 99,5%, что удовлетворяет требованиям ГОСТ 127.1-93.

Исходя из этого проблема комплексной переработки твердых и жидких отходов превращается в приоритетное промышленное направление, эколого-технологические задачи которого становятся актуальными для социально-экономического развития государств Центральной Азии [11, 62, 137, 138], особенно северных и западных регионов Казахстана [125, 126].

Анализ библиографической информации показывает [42, 61, 127, 128, 129],

что одним из наиболее перспективных направлений утилизации технической серы является расширение применения ее при производстве строительных материалов и изделий. Отмечается высокая прочность на сжатие, химическая стойкость в растворах кислот, солей, щелочей, а также низкая водопроницаемость и водопоглощение подобных материалов.

Высокие прочностные и эксплуатационные свойства строительных материалов, полученных на основе серы, позволили предположить эффективность ее применения в качестве пропиточных составов для поверхностной обработки изделий различного назначения [40, 130–132].

Использование технической серы в качестве вяжущего в производстве композиционных материалов относится к патентам Англии и США [92].

В основу изобретения положено свойство технической серы, которая плавится при температуре около $112,8^{\circ}\text{C}$, а при охлаждении ниже этой температуры – кристаллизуется, приобретая определенную прочность.

До 30-х годов XX века сера использовалась только для крепления болтов в бетонных фундаментах, стоек перил лестниц, лестничных маршей и ограждений балконов. Все это было связано с тем, что сера являлась дефицитным веществом, а материал на ее основе получался хрупким и неморозостойким [93].

В работе [94] описаны результаты экспериментальных исследований строительно-эксплуатационных свойств и технология изготовления серных материалов, предназначенных для капсулирования радиоактивных и высокотоксичных отходов. В этом способе указанные высокотоксичные отходы используют в качестве наполнителей и заполнителей для бетонных материалов. В этой же работе в качестве наполнителя была использована зола ротационной печи, содержащая радиоактивные и токсичные вещества. Полученный композиционный материал на основе этих отходов характеризуется относительно высокими строительно-эксплуатационными свойствами. При изготовлении бетонных композиционных материалов в качестве наполнителей и заполнителей могут применяться все известные материалы, используемые при изготовлении цементных растворов и бетонов [95, 96].

Положительными свойствами и достоинствами серосодержащих материалов являются: технологичность приготовления растворных смесей и бетонов; высокий набор прочности, связанный только со временем охлаждения и кристаллизации серы; относительно высокая прочность и стойкость к действию агрессивных сред, особенно к действию солевой и кислотной агрессии; низкое водопоглощение и очень высокая морозо- и водостойкость.

В состав серосодержащих строительных материалов входят: вяжущие, наполнитель, заполнители и модифицирующие добавки. В качестве вяжущего вещества в серосодержащих строительных материалах используют отходы различных производств, в качестве наполнителей и заполнителей – природные каменные и искусственные материалы с соответствующей крупностью зерен и фракций.

Представляют интерес работы [74–77], направленные на улучшение физико-механических свойств арболита и его пористых органических заполнителей путем пропитки последних различными термопластами и расплавленной технической серой. Свойства серосодержащего легкого бетона во многом зависят от его компонентов. Каждый компонент, входящий в состав серосодержащих композиционных строительных материалов, оказывает значительное влияние на них как реологические, так и физико-механические и эксплуатационные свойства.

Для производства строительных материалов используют, кроме технической серы, различные серосодержащие отходы нефтехимического производства [95–97]. В относительно больших количествах (1000–3000 т/год) серосодержащие отходы имеются практически на всех нефтехимических предприятиях по добыче природной и попутной серы, а также в отраслях, использующих серу в качестве исходного сырья для производства минеральных удобрений, кислот и т.д.

Отходы, содержащие 40–90% серы (зола-отстой, хвосты-плавков, сера, получаемая при подземной выплавке или другим способом, содержащая примеси, количество которых превышает предельно допустимые значения, регламентируемые ГОСТ), можно использовать как вяжущие вещества для изготовления серных растворов и бетонов [96, 97].

Отходы, содержащие 5–10% серы (хвосты флотации), можно также использовать для изготовления серных бетонов и растворов после дополнительного обогащения серой или отходами с более высоким ее содержанием.

Основные физико-технические свойства серных строительных материалов в значительной мере зависят от количества, вида и природы наполнителей. Роль наполнителей весьма многообразна. Они могут существенно изменять свойства серных материалов: упрочнять, армировать, уплотнять, стабилизировать, изменять твердость и т.д.

В качестве наполнителей используют различные органические и неорганические волокна: асбестовое, нейлоновое, полиметафосфатное, полипропиленовое, полиэтилентерефталевое, полиэфирное, металлическое волокно, стекловолокно и растительные отходы [6, 98].

Исследованиями показано, что с увеличением дисперсности наполнителя предел прочности материала заметно повышается [6, 93, 94, 97].

Так, при повышении удельной поверхности золы от 150 до 300 м²/кг прочность композиций при сжатии увеличилась с 32 до 48 МПа, на изгиб – с 9 до 14 МПа. Дальнейшее увеличение удельной поверхности золы приводит к снижению прочности материала.

Введение волокнистых наполнителей позволяет повысить прочность и предотвратить отрицательное влияние неравномерного охлаждения крупноразмерных изделий. При введении в состав серосодержащего материала стекловолокна прочность при сжатии и изгибе повышается соответственно на 50 и 350%, а при введении органических волокон – на 33 и 130% [6].

Легкие бетоны на основе серосодержащих отходов обладают повышенной стойкостью к действию различных биологических агрессивных сред. Однако существует группа микроорганизмов (тионовые бактерии), которые разрушают серные материалы [6, 93–95].

Для повышения биостойкости вводят антисептики. Наиболее распространенными добавками этого класса являются: тимол, нафталин,

тетрабром крезол и другие [6, 50, 60].

В работе [100] указывается, что наиболее эффективным способом управления синтезом цементирующих образований является введение в состав бетонной смеси различных анионов и катионов, обеспечивающих повышение степени закристаллизованности новообразований в результате формирования разновидностей тоберморита. При этом материалы на глубину пропитки приобретают повышенную прочность, морозостойкость, низкое водопоглощение.

В работе [41] показано, что пропитка строительных материалов может быть осуществлена за счет создания гидрофобизирующих композиций на основе водорастворимой серы. Однако при использовании данных составов отмечается необходимость пропитки в течение длительного времени (до 4 ч) или применение нескольких слоев в качестве окраски, что значительно увеличивает трудоемкость и продолжительность операций.

В работах [133, 134] показано, что более эффективно применение добавок на основе серы может быть в производствах, где предусмотрена тепловая обработка выше температуры плавления серы (112–119 °С). Авторами исследовано влияние на прочность газобетона плотностью 600 кг/м³ добавок серы в количестве 0,1–10 % от массы сухих компонентов бетонной смеси [134].

Установлено, что при введении добавок серы в состав вяжущих путем ее совместного помола с сырьевыми материалами сухим способом наблюдается наибольшее повышение прочности (до 70 %). При введении добавки из технической серы в виде порошка в количестве 1,0–4,0 %, наибольший прирост прочности (на 40 %) наблюдается при ее содержании 3,5 %. При этом прочность в первом случае повысилась с 3,2 до 5,4 МПа, во втором – до 4,5 МПа.

Установлено [135], что введение элементарной технической серы в виде порошка или сульфидов щелочных металлов позволяет повысить прочность бетона на 50–120 %. Однако при этом не указано влияние добавок серы на параметры подготовки сырьевых материалов серосодержащей смеси, не исследовано их влияние на свойства бетонов в зависимости от количества введенной добавки, не рассмотрена возможность получения конструкционно-

теплоизоляционных легких бетонов с добавкой серы плотностью ниже 700 кг/м³.

В [136] показано, что состав легкого бетона на основе сланцевой золы с добавкой отхода сернокислого производства, содержащего не менее 60 % серы, оказывает положительное влияние на гидратацию СаО и алюминатной составляющей сланцевой золы, что позволяет предположить влияние добавок серы и серосодержащих отходов на процессы формирования цементного камня. При этом не сообщается о количестве вводимой добавки, условиях твердения материала, а также о влиянии ее на свойства полученного материала.

В процессе совмещенной механохимической активации и детоксикации промышленных отходов в присутствии воды с получением сырьевых смесей для производства строительных материалов использован принцип взаимной нейтрализации химически вредных веществ, находящихся в промышленных отходах. Процессы детоксикации и активации, как показано в работах [139–141], приводят к улучшению эксплуатационных и качественных характеристик получаемых строительных материалов.

В работе [193] показана перспективность использования в качестве вяжущего активированных серосодержащих компонентов для изготовления серосодержащего арболита. На физико-механические характеристики арболита большое влияние оказывают не только механические свойства вяжущего и заполнителя, но и физико-химические процессы, происходящие при его изготовлении и твердении [1, 18, 28]. Расход вяжущих оказывает существенное влияние на выбор компонентов арболитовых систем и на их физико-механические свойства [1,4,12,59,60].

Арболит, как известно [1,3,5,17], – разновидность искусственного строительного конгломерата, изготавливаемая на основе минеральных вяжущих веществ, органических заполнителей, различных добавок и воды. В составе арболита целлюлозный органический заполнитель занимает наибольший объем. Поэтому основными факторами, влияющими на качество арболита, являются: параметры состояния, структурная характеристика, физические, механические и химические свойства используемого заполнителя [1,50].

Качество арболита зависит в основном от правильного выбора составляющих

компонентов и их соотношения, а также от оптимального фиксирования сырьевых материалов. Велико и влияние химических добавок на химическую активность водного раствора при соприкосновении с заполнителями.

Органический заполнитель негативно влияет на физико-механические характеристики арболита [1, 5, 28]. Так, одна из специфических особенностей древесного заполнителя – это наличие в нем легкогидролизуемых и экстрактивных веществ – так называемых «цементных ядов», которые резко замедляют схватывание и набор прочности цементного камня, сильно снижая прочность растворной части арболита. Концентрация «цементных ядов», основная часть которых является легкорастворимыми сахарами, максимальна у поверхности заполнителя, что приводит к очень низкой адгезии и значительному ослаблению контактной зоны между заполнителем и растворной частью [14, 18, 28]. Поэтому все усилия исследователей и практиков направлены на нейтрализацию данного вредного влияния.

Установлено [1, 28], что наиболее вредное воздействие оказывают легкорастворимые простейшие сахара: сахароза, глюкоза, фруктоза и часть гемицеллюлозы, способной в определенных условиях перейти в форму таких сахаров. В меньшей степени опасны крахмал, таннины и смолы. Щелочная среда цементного теста способствуют выделению «цементных ядов», количество которых изменяется в значительных пределах в зависимости от породы древесины, условий и сроков хранения.

До настоящего времени механизм действия углеводов на процессы гидратации и твердения цемента точно не выяснен. Существует ряд теорий иногда весьма противоречивых. Так, Форзен [35, 307] утверждает, что сахар в водной фазе цемента превращается в сахарат кальция, который слабо диссоциирует и повышает растворимость алюминия в воде, поэтому вокруг цементных частиц образуется пленка из геля силиката алюминия, сильно замедляющая гидратацию цемента. В то же время, по мнению Форзена, сахараты кальция вредного воздействия на цемент не оказывают.

Есть мнение [307], 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.

В работах [1, 28] указывается, что щелочная среда цементного теста способствует выделению экстрактивных веществ древесины, которые, осаждаясь на поверхности частичек минералов C_3S и C_3A , образуют тончайшие оболочки, затрудняющие ход процессов гидратации цемента.

В работе [7] исследователи выдвигают гипотезу о том, что углеводы и дубильные вещества, входящие в состав древесины, являются поверхностно-активными гидрофилизирующими веществами по отношению к цементу. При введении в цементные системы с водой затворения они в результате адсорбции и под влиянием молекулярных сил сцепления ориентируются вокруг цементных зерен, образуя тончайшее покрытие – адсорбционный слой. Цементные частицы, покрытые таким защитным слоем, теряют способность сцепляться друг с другом под влиянием молекулярных сил, при этом образованный слой затрудняет доступ воды к цементным зернам и отвод продуктов, что приводит к торможению гидролиза и гидратации цемента, а при определенных концентрациях углеводов – к их прекращению.

Механизм влияния водоекстрактивных веществ заполнителя на структурообразование и твердение портландцемента и его составляющих (клинкерных минералов C_3SiC_3A) изучался при введении моносахаров (глюкозы, сахарозы и др.) как модели веществ в тесто вяжущего или при покрытии ими поверхности заполнителя [1,4,51].

Цементное тесто имеет щелочную среду рН 1,1–1,2, которая способствует структурообразованию и затвердеванию цемента [12,52].

Установлено, что компоненты водоекстрактивных веществ органического заполнителя во время приготовления арболитовой смеси снижают рН цементных минералов, вызывая необходимость ввода в состав смеси добавки, не снижающей рН среды [1,4,12,53]. Так, был разработан состав арболита на измельченных стеблях хлопчатника с ускорителем твердения – хлоридом кальция [5,26]. Марка

полученного арболита составила М10 (класс прочности В 0,75) при плотности 600 кг/м³.

Также предложен способ ускорения твердения арболита на древесной дробленке и измельченных стеблях хлопчатника путем введения в смесь добавок жидкого стекла и хлорида кальция, что увеличивает марку арболита до М15 [5,26,52,54,55]. Дальнейшим совершенствованием состава получен теплоизоляционно-конструкционный арболит марки М25 на основе измельченных стеблей хлопчатника.

Известно, что простые сахара в органических материалах переходят в нерастворимое состояние с течением времени. Поэтому одним из способов снижения их действия на цементное тесто является выдержка в течение 6–12 месяцев. Так, разработан состав, в котором в качестве органических целлюлозных заполнителей использованы выдержанные в течение 9–12 месяцев измельченные стебли хлопчатника, обработанные электромагнитным полем и водорастворимыми веществами (жидким стеклом, $Al_2(SO_4)_3$). Однако технология такого арболита довольно энергоемкая и сложная, требует значительного расхода вяжущего [1, 5, 6, 26, 54].

В работах [1, 4, 5, 18, 28] показано, что рисовую и другую солому можно использовать при производстве арболита. Однако высокое содержание экстрактивных веществ, большая площадь поверхности осложняют получение арболита с марочной прочностью выше, чем М 15. Исходя, из этого некоторые авторы считают, что рисовую солому как заполнитель целесообразно использовать при производстве только теплоизоляционных материалов. Характерной особенностью этой соломы является глянцевая поверхность стеблей с наружной стороны, что является одной из основных причин плохой адгезии в системе «вяжущее – заполнитель».

В работах [1, 4, 9, 15, 18] описаны результаты исследования свойств арболита с использованием отходов лубяных культур. Специфической особенностью отходов лубяных культур является то, что они не оказывают большого вредного воздействия на цемент и другие вяжущие вещества. Однако необходимо их

вымачивание в течение 20–30 сут в естественных водоемах или ямах, наполненных водой, или в специальных бассейнах с горячей водой на пенькообрабатывающих предприятиях.

При применении химических добавок [1, 9, 28] часто нет необходимости предварительно замачивать костру для изготовления арболита. Также отмечается, что арболитовые изделия на костре конопли, которые часто изготавливают без минерализаторов, не биостойкие и могут быть поражены грибом. Поэтому изделия из такого арболита рекомендуют обязательно защитить от увлажнения с помощью слоя цементного раствора.

Однако и сама растворная часть может негативно действовать на органический наполнитель. Еще в 1993г. воздействие цемента на древесину исследовал Рудге [35, 307]. Анализируя зону исследуемых образцов, он пришел к выводу, что важнейшей составной частью цемента, агрессивной в отношении древесины, является гидроксид кальция. Значительное разложение древесины достигалось интенсивным выщелачиванием ее водными растворами портландцемента. Одновременно наблюдалось значительное уменьшение щелочности раствора, которое объяснялось возникновением органических кислот из углеводов под действием гидроксида кальция.

Специфической особенностью арболита является его структура, поэтому для создания теплоизоляционного арболита (с плотностью менее 500кг/м^3) применение тепловлажностной обработки противопоказано, так как органический наполнитель имеет высокое водопоглощение и набухает. На прочность арболита влияют оптимальное давление при прессовании, вибропропрессовании и время при вибрировании.

Кроме введения добавок, перспективным считается использование наполнителей в составе арболита. Некоторые исследователи рекомендуют вводить в состав арболитовой смеси известковую пылевидную фракцию в количестве 25% от массы цемента, что повышает удобоукладываемость арболитовой смеси и качество арболита, путем увеличения растворной части и упрочнения каркаса структуры арболита [56].

Изучение влияния на свойства арболита керамзитового, трепельного и перлитного песков, гранулированного доменного шлака и шлаковой пемзы, показывает, что предел прочности, модуль упругости и плотность вяжущего арболита значительно повышаются при снижении деформации, ползучести и усадки [57, 58].

В работах [12, 59, 60] определены зависимости прочности арболита от удельного расхода вяжущего и органического заполнителя (Ц/З) с применением портландцемента марки 400. Установлено [1, 5, 12, 59, 60], что с увеличением содержания органического заполнителя возрастает водоцементное отношение. Его величина в свежеприготовленной арболитовой смеси составляет от 1,2 до 1,8. Такие высокие значения водоцементных отношений существенно влияют на прочность арболита. При этом значительное влияние оказывает расход вяжущего и органического заполнителя.

Найдено [59,60], что изменение прочности, плотности арболита зависит от количества цемента и водоцементного отношения (табл. 1.6).

Таблица 1.6

Влияние удельного расхода вяжущего на свойства арболита

Удельный расход вяжущего, Ц/З	Водоцементное отношение, В/Ц	Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа
0,90	1,80	470	0,6
1,14	1,63	530	1,1
1,36	1,50	600	1,5
1,59	1,37	650	2,0
1,81	1,15	700	2,5

Как видно из представленных данных, чем выше удельный расход вяжущих, тем больше прочность и плотность арболита.

Анализ вышеуказанных работ показывает, что применение промышленных отходов в качестве добавок или основных сырьевых материалов способствует не только расширению сырьевой базы для производства бетонов, но и – в определенных условиях – повышению качества готовой продукции.

В регионах Центральной Азии и Казахстана развиты нефтехимическая и

топливно-энергетическая отрасли промышленности. Это определяет значительный интерес к изучению возможности использования отходов, вторичных продуктов и вторичных отходов данных производств, в частности – технической серы, шлакощелочных отходов.

В связи с этим выявилась необходимость анализа научно-технической информации о влиянии технической серы и серосодержащих добавок на свойства арболита с целью определения возможности их применения при получении конструкционно-теплоизоляционного арболита плотностью 550–600 кг/м³. Изучение таких закономерностей имеет важное научное значение для создания новых эффективных композиционных материалов.

Анализ данных показывает, что в настоящее время возникает необходимость проведения исследований по разработке комплексных добавок в состав вяжущих арболита и изучению механизма влияния водозакрепителей на кинетику роста прочности арболита.

1.3. Зависимость изменения деформативных и прочностных характеристик арболитов от вида и дисперсного состава органического заполнителя

Прочность при сжатии является основной характеристикой, от которой зависят прочностные и деформативные свойства конструкционного арболита.

На предел прочности при сжатии арболита влияют: фракционный состав заполнителя; насыпная плотность целлюлозного органического заполнителя; вид добавок и наполнителей; технологические факторы. Наиболее показательной для арболитовых систем является их призмная прочность [1,12,23,57].

Нормативная призмная прочность для арболита, по СН 549, принята равной:

$$R_{\text{пр}} \approx 0,8R_{\text{куб}}, \quad (1.1)$$

где, $R_{\text{куб}}$ –кубиковая нормативная прочность.

Следует отметить, что в арболитовых кубиках и призмах на измельченных стеблях хлопчатника трещины возникают в момент максимальной нагрузки, и

разрушение происходит без резких звуков, пластично (в отличие от ячеистых и легких бетонов на минеральных заполнителях). Это объясняется наличием в составе арболита органических заполнителей, обладающих упругопластическими свойствами [57,58,60].

Зависимость призмной прочности арболита от его класса прочности показана на рис. 1.1.

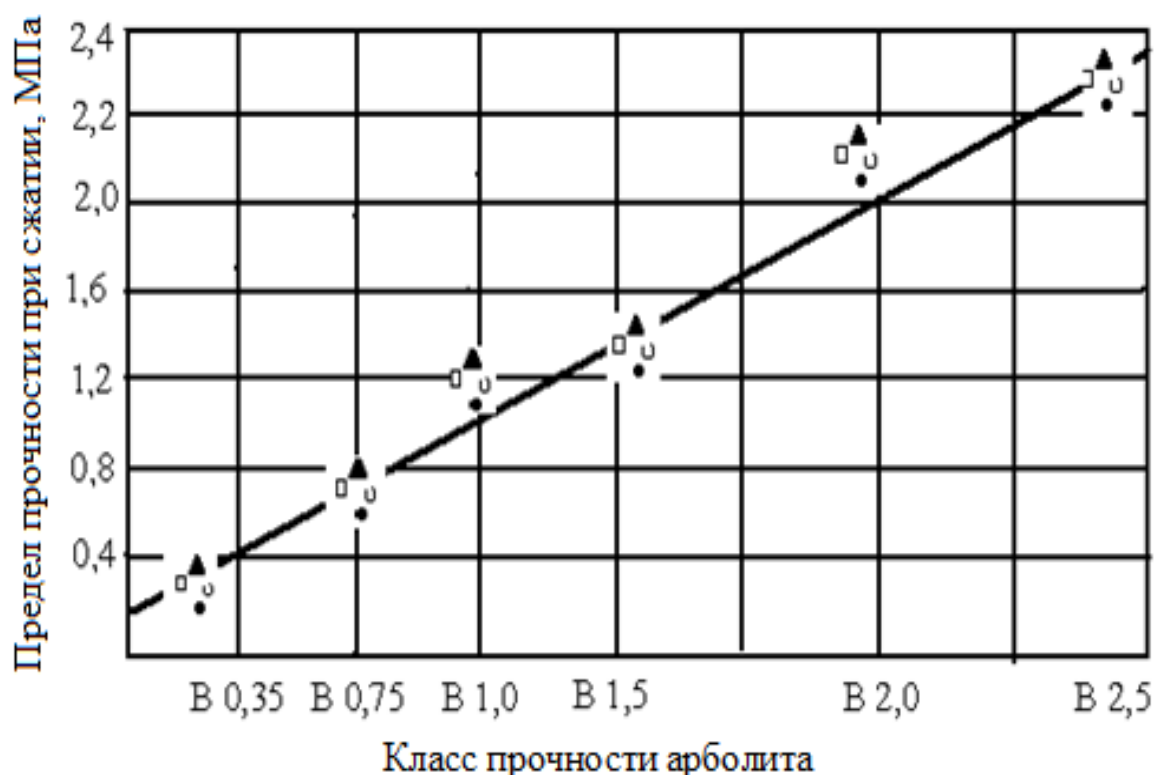


Рис. 1.1. Зависимость призмной прочности арболита от его класса прочности

По результатам работ [58,60] построена зависимость между напряжениями и деформациями арболита на измельченных стеблях хлопчатника без заполнителей и с заполнителями (рис.1.2).

Как видно из приведенных данных, введение в состав арболитовой смеси различных добавок на основе отходов промышленности значительно снижает относительные деформации арболита по сравнению с образцами, не содержащими добавок и заполнителей.

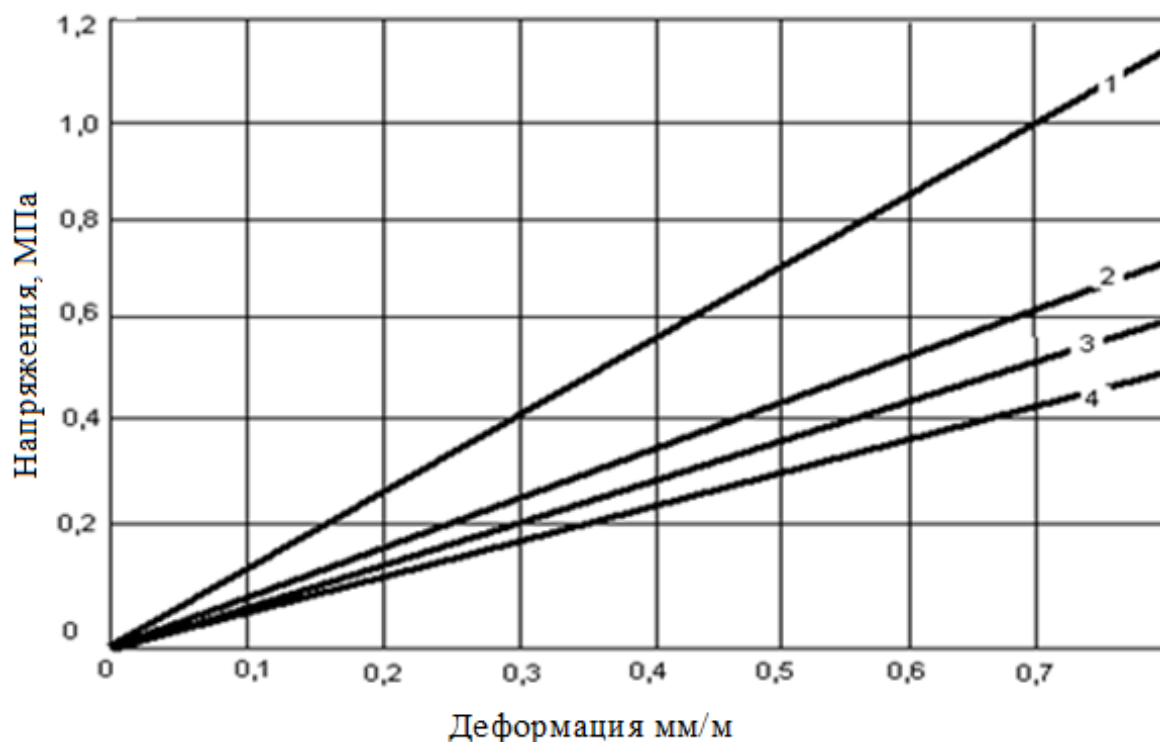


Рис. 1.2. Зависимость между напряжениями и деформациями арболита с различными наполнителями различных классов:
 1 – арболит класса В 1,0; 2 – арболит класса В 1,5;
 3 – арболит класса В 2,0, содержащий наполнитель;
 4 – арболит класса В 2,5, содержащий мраморную пыль

В табл. 1.7 и 1.8 приведены начальные модули упругости при сжатии арболита классов В1,5, В2,0 и В2,5 с содержанием различных отходов и минеральных добавок [57, 58, 60].

Таблица 1.7

Начальные модули упругости при сжатии арболита классов В1,5 и В2,0

Разрушающая нагрузка, МПа	Класс арболита					
	В1,5			В2,0		
	Напряжение, МПа	Модуль деформации, мм/м	Модуль упругости, МПа	Напряжение, МПа	Модуль деформации, мм/м	Модуль упругости, МПа
0,1	0,12	0,12	1000	0,16	0,15	1066
0,2	0,24	0,242	990	0,32	0,30	1066
0,3	0,36	0,363	990	0,48	0,44	1090
0,4	0,48	0,495	970	0,64	0,44	1049
0,5	0,60	0,63	950	0,80	0,80	1000

**Начальные модули упругости при сжатии арболита классов В2,0 и В2,5
с содержанием различных отходов и добавок**

Разрушающая нагрузка, МПа	Арболит с содержанием сахарного фильтрационного осадка			Арболит с содержанием золы-уноса		
	Напряжен ие, МПа	Модуль деформации, мм/м	Модуль упругости, МПа	Напряжен ие, МПа	Модуль деформации, мм/м	Модуль упругости, МПа
0,1	0,12	0,10	1200	0,12	0,1	1300
0,2	0,24	0,24	1200	0,24	0,15	1450
0,3	0,36	0,29,1	1240	0,35	0,24	1500
0,4	0,48	0,41	1200	0,49	0,34	1500
0,5	0,60	0,52	1200	0,62	0,40	1420

Показано, что нормативная призмная прочность арболита составляет 80 % от кубиковой прочности и класса арболита, а введение добавок и заполнителей существенно снижает относительные деформации и повышает модуль упругости арболита.

Как видно из приведенных данных, введение в состав арболитовой смеси различных добавок повышает модуль упругости затвердевшего материала.

**1.4. Влияние состояния контактных зон вяжущего раствора
и пористого органического заполнителя
на свойства легких арболитобетонов**

В работе [66] показано, что в увеличении прочности бетона важную роль играет заполнитель. Особенно большое влияние оказывает заполнитель на свойства легкого бетона, в котором прочность заполнителя, как правило, меньше прочности самого бетона.

Исследователи долгое время считали, что у бетона на конкретном заполнителе при принятом расходе цемента существует предельная, или «критическая», прочность, которая повышается лишь при увеличении предельной прочности и деформативности заполнителя[35, 307].

Однако в работе [28] указывается, что бетон разрушается при достижении предела сжимаемости одним из составляющих компонентов. Если таковым оказывается пористый заполнитель, то дальнейшее повышение прочности и сжимаемости растворной части не приводит к росту прочности и деформативности бетона, т.е. достигается предельная прочность легкого бетона.

В работе [79] показан некоторый рост сжимаемости легкого бетона. Однако наблюдаемый рост относительно невелик, что определяется невысокой деформативностью раствора, находящегося только между зернами заполнителя.

Автор работы [86] отмечает, что «предельная прочность легкого бетона на данном пористом заполнителе» определяется пределом повышения прочности растворной части. Так, повышение прочности растворной части от 4,4 до 47,3 МПа при прочих равных условиях приводит к росту прочности легкого бетона почти по линейной зависимости без тенденции затухания в области высоких значений: предел прочности вяжущего зависит от дисперсности вяжущего состава.

В работах [1,27] утверждается, что лучшие прочностные и деформативные показатели легких бетонов могут быть получены при сближении свойств пористого заполнителя и цементного камня. Как объясняют авторы [15], при этом деформативные свойства обоих компонентов бетона сближаются, что приводит при внешнем силовом воздействии к возникновению незначительной концентрации напряжений и полному проявлению прочностных свойств целлюлозного органического заполнителя в такой композиции.

В случае дальнейшего увеличения исходной прочности раствора, но при напряжении заполнителя меньше напряжения растворной части, возникает большая концентрация напряжения в контактных зонах, не позволяющая, как отмечают [15, 27], полностью использовать в бетоне прирост прочности раствора.

Из [63] следует, что пористый органический заполнитель, обычно хрупкий и малодеформативный, в условиях адгезионного обжатия имеет большую растяжимость. Поэтому обжатие и адгезия затвердевшего вяжущего значительно

повышают прочность пористого заполнителя. Следовательно, фактическая прочность пористого заполнителя в легком бетоне не постоянна и повышается с увеличением прочности раствора.

Исследования [15] показали, что получить высокопрочные арболитобетоны марок 35–50 можно при использовании целлюлозного органического заполнителя, прочность которого составляет не менее 5,0–8,0 МПа при прочности арболитовых образцов при сжатии 5–6 МПа и модуле упругих деформаций 100–1400 МПа. Прочность растворной части при этом должна быть 18–25 МПа. Увеличение расхода цемента для повышения прочности легкого бетона нерационально, так как в этом случае возрастает плотность, а прочность повышается незначительно.

Таким образом, повышение конструктивного качества легких бетонов тормозится не только низким уровнем производства высококачественных заполнителей, но и невозможностью получения в достаточном количестве высокомарочных портландцементов. При получении высокопрочных легких бетонов возрастает роль силы сцепления заполнителя с растворной частью бетона и состояния структуры зон. Исследованиям силы сцепления различных заполнителей с растворной частью портландцементных бетонов посвящены работы [28,62].

Влияние состояния контактных зон на свойства арболита отмечены также в теории искусственных строительных конгломератов И.А. Рыбьева [98]: в установленной зависимости прочности бетона от его состава и структуры. Величина силы сцепления зависит от природы органического заполнителя, его пористости и чистоты поверхности, вида и активности цемента, а также от условий твердения бетона и определяется состоянием контактной зоны между заполнителями и цементным камнем. Основной составляющей в общей прочности сцепления является адгезионное сцепление [5], создаваемое за счет взаимодействия гидратных образований вяжущего с минералами заполнителей. Повышение прочности легкого бетона и улучшение других его свойств в ряде случаев могут быть достигнуты использованием эффективных технологических

приемов, введением поверхностно-активных и минеральных добавок и т.п.

Анализ данных свидетельствует о том, что решение задачи получения высокоэффективных арболитобетонов может быть основано на применении высокопрочных вяжущих веществ, позволяющих максимально повысить прочность растворной части арболита при полной реализации свойств целлюлозного органического заполнителя и тем самым обеспечить оптимальные условия для формирования структуры арболитобетона, обладающего повышенной прочностью и низкой плотностью.

Выводы по главе 1. Цели и задачи исследования

1. Проведенный анализ использования бетонов в районах Центральной Азии показал, что наибольшее распространение в регионах с жарким климатом получает арболитобетон, который сочетает в себе легкость, экологичность, высокие теплоизоляционные качества и может использовать в своем составе растительные отходы сельского хозяйства, которыми богаты степные районы. В Центрально-Азиатском регионе имеются сырьевые ресурсы в виде многотоннажных отходов шлаков, сернистых отходов, а также отходов хлопчатника и тростника.

2. Проведен анализ особенностей структуры и свойств арболита в зависимости от состава. Показано, что органическая составляющая бетона оказывает сильное влияние на его свойства, поэтому для получения высокопрочных бетонов требуется разработка новых комплексных вяжущих и применение нетрадиционных добавок.

3. Применение шлаков и серосодержащих отходов в качестве шлакощелочных и серосодержащих вяжущих, обладающих высокой активностью и приводящих к возникновению структурообразующих элементов, может повысить прочностные характеристики арболита.

4. Определены возможные механизмы взаимодействия шлакощелочных вяжущих с органической составляющей арболитов на основе древесного сырья. Установлено, что одной из отличных черт шлакощелочных вяжущих систем

является то, что щелочи, вводимые в их состав как щелочной компонент, взаимодействуют не только со шлаками, но и с органическим целлюлозным наполнителем. Это позволяет создать оптимальную макроструктурную композицию на основе хлопчатника и обеспечить высокую прочность и долговечность конгломератов в целом.

5. Показана возможность использования технической серы и серосодержащих отходов в составах бетонов различного назначения включая арболитобетон. Установлено, что добавка отхода сернокислого производства, содержащая не менее 60 % серы, оказывает положительное влияние на гидратацию СаО и алюминатной составляющей. Это позволяет предположить влияние добавок серы и серосодержащих отходов на процессы формирования цементного камня. Однако механизм взаимодействия серосодержащих компонентов и органической составляющей арболитов не выяснен.

6. Дана комплексная оценка влияния растворимых компонентов органического наполнителя, так называемых «цементных ядов» на сроки схватывания и твердения различных вяжущих, а также на физико-механические свойства арболитобетонов.

Исходя, из сделанных выводов поставлена цель и определены основные задачи исследования.

Целью диссертации является получение высокопрочных арболитобетонов на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих, разработка научных основ формирования их структуры, состава и свойств с использованием в качестве органического наполнителя стеблей травянистых растений.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. Разработка теоретических принципов и научных основ получения высокопрочных легких арболитобетонов на основе шлакощелочных вяжущих и серосодержащих отходов нефтехимической промышленности.

2. Исследование возможности получения шлакощелочных вяжущих составов на основе высококальциевой золы-уноса с повышенной адгезионной

способностью к органическим волокнистым материалам арболитобетона.

3. Исследование совместного влияния органических и неорганических компонентов шлакощелочного арболита на формирование его микроструктуры и прочностные характеристики и разработка состава шлакощелочного вяжущего.

4. Разработка составов и исследование свойств шлакощелочного арболитобетона с использованием стеблей хлопчатника.

5. Исследование термодинамическими расчетами и экспериментальными методами влияния добавок серосодержащих отходов нефтехимической промышленности на структурообразование и физико-химические свойства композиционных вяжущих для получения теплоизоляционно-конструкционных арболитобетонов повышенной прочности.

6. Разработка составов и исследование влияния основных составляющих компонентов на физико-механические свойства серосодержащего арболита с использованием стеблей тростника.

7. Исследование механизма формирования прочности и разрушения серосодержащего арболита в зависимости от вида и способа нагружения, анализ его использования в строительных конструкциях.

8. Технико-экономическая оценка технологий производства шлакощелочных и серосодержащих арболитов на основе измельченных стеблей хлопчатника и тростника при изготовлении стеновых блоков, облицовочных плит.

**Глава 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ
ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ
С ПОВЫШЕННОЙ АДГЕЗИОННОЙ СПОСОБНОСТЬЮ
К ОРГАНИЧЕСКИМ ВОЛОКНИСТЫМ МАТЕРИАЛАМ
В АРБОЛИТОБЕТОНАХ НА ОСНОВЕ
СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

**2.1. Разработка и исследование шлакощелочных вяжущих
с минеральными активными добавками золы-уноса**

2.1.1. Общие сведения о шлакощелочных вяжущих

Шлакощелочные вяжущие – это гидравлические вяжущие вещества, получаемые тонким измельчением гранулированных шлаков и различных минеральных добавок. При затворении растворами соединений щелочных металлов, в составе таких вяжущих происходит щелочная реакция, и они твердеют в воздухе и в воде.

Шлакощелочные гидравлические вяжущие вещества разработаны в конце 1960-х годов под руководством видного ученого В.Д. Глуховского [43, 44]. До середины 1950-х годов использование соединений щелочных металлов допускалось только в воздушных вяжущих, способных твердеть за счет химического взаимодействия с различными веществами, в результате которого происходит связывание едких щелочей в растворимые соли и коагуляция геля кремниевой кислоты.

Экспериментально доказано, что свойства гидравлических вяжущих веществ, наряду с соединениями щелочноземельных металлов, присущи соединениям щелочных металлов [65–67]. Правомерность сделанных выводов хорошо подтверждается в системах, в которых в качестве щелочной составляющей использовались гидроксид натрия и натриевые силикатные и несиликатные соли, дающие щелочную реакцию. В алюмосиликатной системе применяют глинистые минералы, которые по химико-минералогическому составу и характеру сочленения основных структурных элементов достаточно полно охватывают все

виды глины – наиболее массового и повсеместно распространенного сырья, и которые можно использовать как в составе щелочных гидравлических вяжущих, так и в составе некондиционных заполнителей.

В работах [15, 34, 68] установлено, что в продуктах синтеза вяжущих систем на основе каолинита или монтмориллонита, гидроксида натрия или силиката натрия с силикатным модулем $M_c=1-2$ 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 [15, 34], что такое же соединение образуется на основе каолинита и при низкотемпературной (373–573 °К) обработке в случае использования в качестве щелочного компонента несиликатных солей щелочных металлов, дающих щелочную реакцию, например, карбоната натрия. На основе указанных систем синтезируются новообразования, аналогичные природным содалитам типа карбонат-содалитов, близко примыкающим к нефелин-гидрату. Присутствие в составе исходного сырья, например, гидрослюд, избытка кремнезема, или введение его извне в составе каолинита и монтмориллонита, а также применение тепловлажностной обработки приводят к углублению процессов физико-химического взаимодействия.

В результате составы синтезирующих фаз представлены более насыщенными кремнеземом щелочными гидроалюмосиликатами, по структуре аналогичными природным: натролиту $Na_2OAl_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$ и анальциму $Na_2OAl_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$. По мере повышения температуры обработки до 1273°К независимо от условий синтеза щелочные алюмосиликатные новообразования претерпевают фазовые превращения, выражающиеся в дегидратации и последующей кристаллизации щелочных безводных алюмосиликатов. В частности, анальцим переходит в нефелин, затем в альбит – наиболее насыщенный кремнеземом минерал [34, 67, 68].

На базе установленных закономерностей разработаны принципиально новые гидравлические вяжущие вещества на основе соединений щелочных металлов,

технология получения, физико-механические, эксплуатационные и специальные свойства которых хорошо известны.

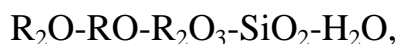
Вязущие на основе щелочных алюмосиликатов получают путем помола стекол, спеков или продуктов обжига недоспекания природных и синтетических веществ (нефелина, жадеита, альбита, ортоклаза), соотношение между основными оксидами в которых должно соответствовать $R_2O:R_2O_3:SiO_2 = 1:1$, и затворения их водой или растворами соединений щелочных металлов, дающих щелочную реакцию [67]. Такие вязущие композиции твердеют в естественных условиях в воде, а также при тепловлажностной обработке. Их активность зависит от основности силикатной составляющей, вида щелочного компонента и условий твердения.

Высокоосновные стекла с повышенным содержанием R_2O , особенно те, в которых R_2O достигает 30%, способны к самостоятельной гидратации и твердению, результатом которых является формирование искусственного камня прочностью 40–85 МПа. Введение в состав вязущего щелочного компонента позволило независимо от основности силикатного сырья повысить его прочность до 100–120 МПа [34, 67].

Таким образом, теоретические основы твердения щелочных гидравлических вязущих принципиально отличаются от обычных гидравлических вязущих, так как в их составе отсутствуют известь и цементные клинкеры. Набор прочности камня обусловлен формированием в продуктах твердения щелочных алюмосиликатных новообразований, которые по вещественному составу моделируют природные минералы типа слюд и цеолитов, их водостойкость и долговечность определяются по аналогии с последними. В результате щелочные вязущие в корне изменили представление о роли щелочных оксидов в синтезе искусственного камня, на десятилетия определили современные пути создания новых высокоэффективных вязущих систем и коренного совершенствования свойств традиционных цементов.

Разработка щелочных вязущих разрушила представления о кальции как монопольной основе строительных вязущих веществ и явилась теоретическим

фундаментом для создания производной от этих вяжущих – гидравлической смешанной щелочно-щелочноземельной вяжущей системы гидратационного твердения состава



где, R_2O – Li_2O , Na_2O , K_2O , Rb_2O , CS_2O ; RO – MgO , CaO , SrO , BaO ; R_2O_3 – Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 [67].

В этой системе в широком интервале значений может изменяться соотношение между новыми (щелочными) и традиционными (щелочноземельными) вяжущими веществами.

Такие вяжущие по композиционному построению принципиально отличаются от известных кальциевых вяжущих, которые не рассматриваются как самостоятельный компонент гидравлических вяжущих в силу их очень высокой по сравнению со щелочноземельными вяжущими растворимости.

Поэтому попытки использования соединений щелочных металлов в сочетании, например, со шлаками или портландцементом, сводились к применению их в небольших количествах в качестве добавок-активаторов, чтобы не нарушать гидравлической способности кальциевой вяжущей системы. В частности, в портландцемент как антиморозные и пластифицирующие добавки вводились жидкие стекла и щелочные карбонаты в количестве, не превышающем 0,5–2,5% от массы портландцемента. При твердении шлакощелочных вяжущих между окисью кальция в шлаке и щелочными компонентами происходит катионный обмен, в результате которого образуется свободная щелочь, способствующая преимущественному возникновению новообразований – низкоосновных гидросиликатов кальция. Одновременно с ними образуются натриевые гидрогранаты переменного состава, а также натриево-кальциевые гидроалюмосиликаты. Эти соединения аналогичны природным минералам, что обуславливает высокие показатели физико-механических свойств вяжущего и благоприятствует возможности получения на их основе эффективных композиционных материалов.

Показано [66, 67], что состав продуктов гидратации шлакощелочного вяжущего определяется минералогическим и химическим составом шлаков, природой щелочного компонента, условиями твердения. В вяжущих на основных шлаках наряду с низкоосновными гидросиликатами кальция формируются кальциевые и кальциево-натриевые гидроалюмосиликаты типа жисмодина, фожазита и томпсонита, а в вяжущих на нейтральных и кислых шлаках – натриевые гидроалюмосиликаты: гидронефелин, натролит, парагонит и анальцит. Активность шлакощелочных вяжущих при испытании в растворе 1:3 изменяется в пределах 30–140 МПа [43–46, 65, 66].

Изучение взаимосвязи между процессами формирования структуры шлакощелочных вяжущих и возможности управлять их свойствами показало, что для получения шлакощелочных вяжущих с преимущественно одинаковыми свойствами независимо от состава необходимо регулировать основность вяжущей системы до оптимального уровня [69–71]. Для этого в состав можно вводить портландцементный клинкер.

Установлено [43], что наибольшие количества добавок быстро гидратирующихся цементных минералов, свободных от гипса, выполняют роль минерализаторов, позволяющих управлять процессом структурообразования в шлакощелочных вяжущих. Применение портландцементного клинкера 1–5% от массы шлака позволило выровнять прочность камня на шлаках доменного производства.

Одно из важнейших свойств шлакощелочных вяжущих – возможность их применения для получения бетона, содержащего в составе заполнителей повышенное количество глинистых и пылеватых частиц, что исключает необходимость обогащения заполнителей.

Анализ данных, полученных исследователями, свидетельствует о том, что одной из самых главных особенностей этих вяжущих является возможность использования в материалах на их основе веществ, представляющих собой некондиционное сырье различного минералогического состава искусственного и природного происхождения.

На основе шлакощелочных вяжущих получены все виды бетонов, в том числе бетоны на основе целлюлозных органических заполнителей типа арболита [9, 11, 15, 30, 32–35, 38, 39, 49, 65, 66].

Поэтому разработка новых шлакощелочных вяжущих на основе отходов производства и исследование их свойств и взаимодействия с органическими заполнителями являются актуальными.

В данной диссертационной работе представлены исследования по разработке шлакощелочного вяжущего, содержащего золу-унос с повышенной адгезией к органической составляющей в арболитобетонах.

2.1.2. Характеристика сырьевых материалов и методика исследования

Для проведения экспериментального исследования использовались электротермофосфорный шлак Чимкентского производственного объединения и электросталеплавильный шлак Актюбинского металлургического комбината. Шлаки применялись в виде порошков, молотых до удельной поверхности по ПСК-2 ($320\text{--}330\text{ м}^2/\text{кг}$) в соответствии с ГОСТ 13015.0-83, ГОСТ 3476-74, ГОСТ 10180-90, ГОСТ 7076-99, ОСТ 67-11-84.

В качестве щелочных компонентов применяли силикат натрия (ГОСТ 13078-81) и содосульфатную смесь – отходы производства капролактами (ГОСТ 10689-75 и ТУ 113-03-23-19-83).

В качестве активной минеральной добавки использована зола-унос Актюбинской ТЭЦ, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 10181-2000 и ГОСТ 25592-91.

Зола-унос Актюбинской ТЭЦ имеет следующие характеристики: удельная поверхность – $2550\text{ см}^2/\text{г}$; активность по поглощению – $32\text{ мг}/\text{г}$; истинная плотность – $2000\text{ кг}/\text{м}^3$; насыпная плотность – $955\text{ кг}/\text{м}^3$.

Химический состав золы-уноса представлен в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Химический состав золы-уноса

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

С целью управления процессами структурообразования вяжущего щелочные компоненты применялись в виде водных растворов. Состав щелочных компонентов по объему приведен в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Состав щелочных компонентов по объему

№	Наименование щелочных компонентов	Содержание раствора щелочного компонента, л	Плотность щелочных компонентов, кг/м ³	Содержание раствора щелочного компонента, л	Плотность щелочных компонентов, кг/м ³
1	Силикат натрия растворимый, $\mu_c=2,6$	0,5	1300	0,75	1300
2	Содосульфатная смесь, л	0,5	1200	0,25	1200

В сравнительных опытах использовался также портландцемент марок 400 и 500 (ГОСТ 10178-85) и синтезированные клинкерные минералы:

- трехкальциевый силикат – алит $3CaO \cdot SiO_2(C_3S)$;
- двухкальциевый силикат – белит $2CaO \cdot SiO_2(C_2S)$;
- трехкальциевый алюминат $3CaO \cdot Al_2O_3(C_2S)$;
- четырехкальциевый алюмоферрит $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3(C_4AF)$.

Физико-механические свойства и химико-минералогический состав указанных выше клинкерных минералов портландцемента приведены в табл. 2.3 и 2.4.

Таблица 2.3

Физико-механические свойства портландцемента

Нормальная густота Теста	Начало схватывания	Конец схватывания	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при изгибе, МПа	Расплав конуса, мм
25,2, %	2 ч – 39 мин	4ч – 29 мин	42,7	5,7	110

Таблица 2.4

Химический состав портландцемента, 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	0,52	99,92

Испытание портландцементов проведено в соответствии с ГОСТ 310.1-76, 310.2-76, 310,3-76, 310,4-76, 25820-2000, 10060.3-95. Согласно требованиям ГОСТ 25820-2000, ГОСТ 7473-94, в состав портландцемента должно входить не менее 40 % кремнезема, количество ангидрида серной кислоты не должно превышать 3 %, потери при прокаливании – не более 10%.

Для исследования процессов взаимодействия и образования фазового состава шлакощелочных вяжущих композиций на основе золы-уноса был проведен подбор состава раствора щелочного компонента. Приготовление шлакощелочного вяжущего производили путем затворения размолотых шлаков растворами щелочных компонентов. Щелочной компонент вводили совместно с водой затворения в виде раствора плотностью 1100–1300 кг/м³.

Прочность вяжущего определяли согласно с ГОСТ 3476-74, ГОСТ 7473-94. Нормальную густоту, сроки схватывания определяли по ГОСТ 25820-2000. Образцы уплотняли течение 3 мин на виброплощадке ВС-1.

Исследование проводили на образцах после пропаривания и после твердения в естественных условиях.

2.1.3. Исследование процессов взаимодействия и образования

фазового состава шлакощелочных вяжущих композиций с золой-уносом

В данной диссертационной работе проведены исследования по определению возможности создания шлакощелочных вяжущих составов с минеральными активными добавками высококальциевой золы-уноса Актюбинской ТЭЦ. Рассматривались основные физико-химические процессы взаимодействия компонентов и фазовый состав образующихся при этом продуктов. Найдено, что активность и скорость набора прочности в безобжиговых щелочных композициях поддаются регулированию за счет изменения основности алюмосиликатного и щелочного компонентов, а также за счет введения добавок.

При производстве сборных железобетонных изделий применяют различные способы их тепловой обработки: пропаривание при нормальном давлении пара, обработку в автоклавах, нагрев в закрытых формах, электротермообработку. Самым распространенным способом ускоренного твердения бетона является пропаривание в камерах с температурой 60–100 °С при атмосферном давлении. Поэтому при изучении композиции на основе золы-уноса, электротермофосфорного шлака, содосульфатной смеси и активной добавки исследования образцов проводились в 28-суточном возрасте после тепловой и тепловлажностной обработки, а также после твердения в естественных условиях. Тепловая обработка играет важную роль в производстве арболита: сокращаются сроки твердения изделий, повышаются прочностные и строительно-эксплуатационные качества арболита.

Для определения сроков твердения и набора прочности изготовленные шлакощелочные вяжущие образцы с различными сроками выдержки направлялись на тепловую обработку в специально оборудованную сушильную камеру. Тепловая обработка велась в сухой среде при температуре до 80 °С в течение 12–14 ч.

После тепловой обработки образцы расформировались и до проведения испытаний хранились в условиях лабораторий. При этом отрабатывались условия, параметры тепловой обработки и время выдержки шлакощелочных вяжущих

образцов перед тепловой обработкой. По сравнению с традиционными технологиями изготовления бетонных изделий сокращается: время и энергозатраты – в 1,6–1,8 раза; длительность твердения – в 5–6 раз.

Исследовались составы шлакощелочных вяжущих с минеральными активными добавками высококальциевой золы-уноса на основе электротермофосфорного шлака с использованием содосульфатной смеси, твердевшего в нормальных условиях и после тепловой обработки с соотношениями компонентов:

электротермофосфорный шлак (45–67% по массе) + содосульфатная смесь (8% по массе) + минеральная активная добавка золы-уноса (25–50) % по массе.

Для сравнения результатов исследовались составы вяжущих с минеральными активными добавками высококальциевой золы-уноса и дисиликатом натрия, твердевшего в нормальных условиях и после тепловой обработки с соотношениями компонентов:

электротермофосфорный шлак (45–67% по массе) + дисиликат натрия (8% по массе) + минеральная активная добавка золы-уноса (25–50% по массе).

Установлено, что продуктами взаимодействия в изучаемой системе наряду с низкоосновными гидросиликатами кальция служат кальцит и щелочные алюмосиликаты, что подтверждают данные рентгенографического анализа (рис. 2.1. кр. 2).

Как показали эксперименты, структура полученных кристаллических новообразований в исследуемой композиции несовершенна, что, вероятно, связано с ее невысокой активностью. Поэтому были проведены эксперименты по изучению композиций на основе дисиликата натрия, который, как известно, интенсифицирует процессы твердения.

Согласно рентгенограмме (рис. 2.1, кр. 3), в составе продуктов гидратации вяжущего минеральными активными добавками высококальциевой золы-уноса и дисиликата натрия наряду с линиями этtringита и кальцита фиксируются

линии кристаллических новообразований, указывающие на высокосульфатную форму гидросульфогеррита кальция.

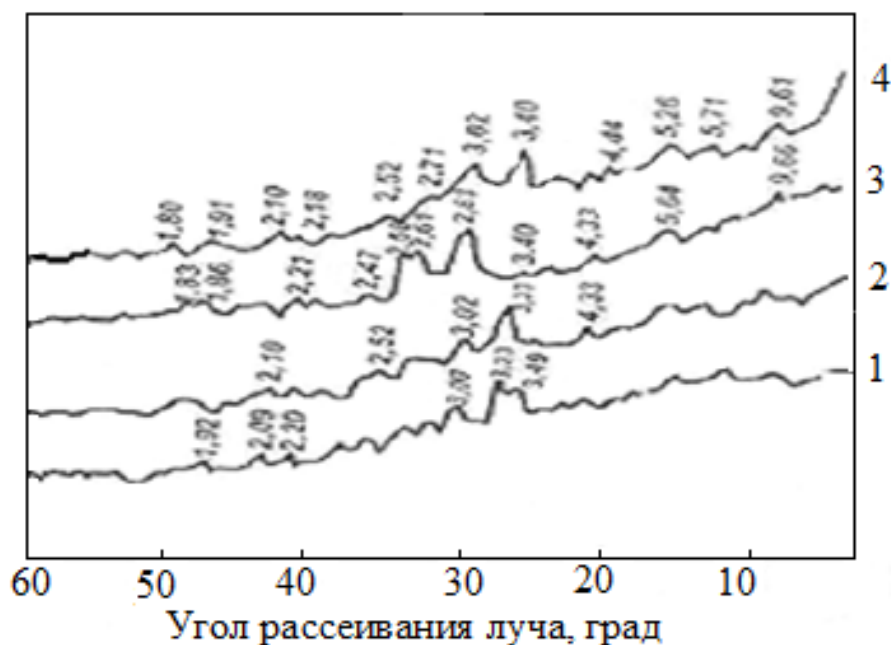


Рис. 2.1. Рентгенограмма:

- 1 – исходной высококальциевой золы-уноса;
- 2 – гидратированного вяжущего на основе электротермофосфорного шлака и высококальциевой золы-уноса с использованием содосульфатной смеси, твердевшего 28 суток в нормальных условиях;
- 3 – гидратированного вяжущего на основе высококальциевой золы-уноса и дисиликата натрия;
- 4 – то же, после тепловой обработки

О присутствии низкоосновного гидросиликата натрия типа некоита в составе продуктов новообразований свидетельствует характерный для натриевого цеолита анализ.

Результаты термографического анализа 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 (рис. 2.2, кр. 3).

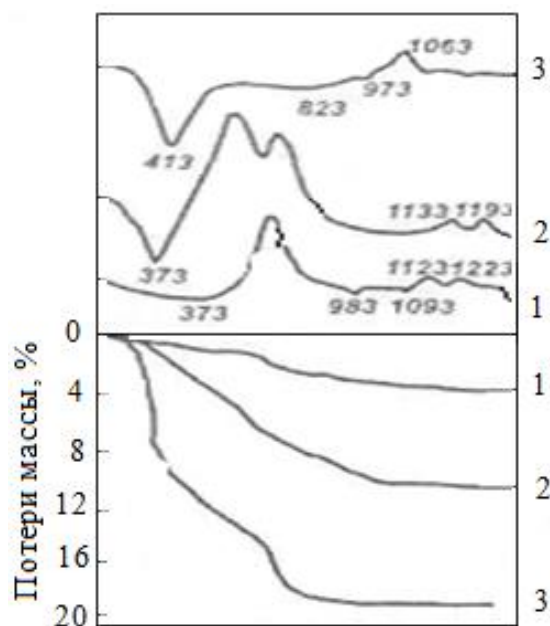


Рис. 2.2. Термограммы:

- 1 – исходной высококальцевой золы-уноса;
- 2 – гидратированного вяжущего на основе электротермофосфорного шлака и высококальцевой золы-уноса с использованием содосульфатной смеси, твердевшего 28 сут в нормальных условиях;
- 3 – гидратированного вяжущего на основе высококальцевой золы-уноса и дисиликата натрия

О глубоких изменениях, происходящих в изучаемой вяжущей композиции, свидетельствуют данные ИК-спектроскопии, согласно которым резко возрастает интенсивность полос поглощения в области 1450 и $878, 895 \text{ см}^{-1}$, 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. 2.3.).

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}) (рис. 2.3, кр. 2).

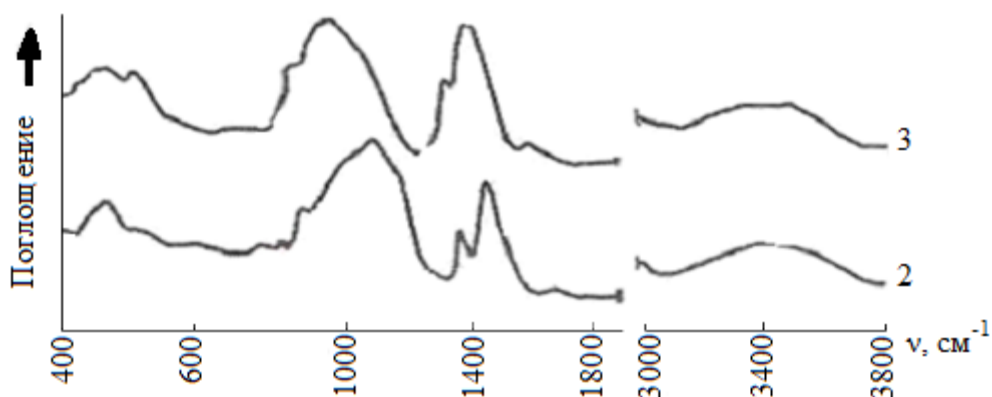


Рис. 2.3. ИК-спектрограммы гидратированных вяжущих композиций:

- 2– гидратированного вяжущего на основе электротермофосфорного шлака и высококальциевой золы-уноса с использованием содосульфатной смеси, твердевшего 28 суток в нормальных условиях;
- 3– гидратированного вяжущего на основе высококальциевой золы-уноса и дисиликата натрия

Пропаривание изучаемой композиции в течение 250 ч способствует более глубокому протеканию процесса взаимодействия высококальциевой золы-уноса с дисиликатом натрия. Об этом свидетельствуют данные рентгенофазового анализа, согласно которому усилились линии новообразований, аналогичных тем, которые присутствуют в рассматриваемой системе сразу после пропаривания. Наряду с указанными новообразованиями появляются линии с $d = 5,71; 2,71; 2,18; 1,91\text{ \AA}$, относящиеся к кальциевому цеолиту-жисмондину (см. рис. 2.1, кр. 4).

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

При изучении фазового состава шлакощелочных композиций 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 дисиликатом натрия наблюдаемые на рентгенограмме d -1,421; 0,53; 0,354; 0,253; 0,245; 0,212 нм указывают на наличие десятиводного однокальциевого гидроалюмината (см. рис. 2.1, 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 затворенной дисиликатом натрия, проведенное с помощью рентгенофазового анализа, в целом согласуется с результатами термографического анализа.

Согласно рентгенограмме (см. рис. 2.1, кр. 4), при гидратации вяжущего также образуются низкоосновные гидросиликаты кальция типа гиролита с d - 0,423; 0,382; 0,337; 0,208 нм. Наличие этих образований в рассматриваемой системе указывает на экзо- и эндотермические эффекты в термограмме (см. рис. 2.2, кр. 3). Так, эндотермический эффект 972 °К указывает на гидратацию и кристаллизацию в конечный продукт, эндотермический эффект 613 °К – на дегидратацию гиллебранита.

Согласно данным ДТА, эндотермический эффект при температуре 1193 °К соответствует диссоциации кальцита (см. рис. 2.2, кр. 2), эндоэффект при 873 и 973 °К – дегидратации, экзоэффект при 1073–1173 °К – кристаллизации продукта дегидратации на CS. Эндоэффект при 973°К и экзоэффект при 1073 °К 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.

В дальнейшем проведено изучение новообразований, возникающих при гидратации разработанного вяжущего в присутствии высокоосновной добавки. Данные рентгенофазового анализа продуктов взаимодействия вяжущей композиции из смеси золы-уноса и электротермофосфорного шлака, затворенного щелочным компонентом, состоящим из водного раствора натриевого жидкого

стекла и содосульфатной смеси, при этом показывают, что они представлены низкоосновными гидросиликатами кальция типа гиролита и кальцитом.

На рентгенограмме вяжущей композиции, отличающейся от предыдущих, обнаружены рефлексы $d = 0,535; 0,307; 0,24; 0,212; 0,181; 0,168; 0,151$ нм, характерные для низкоосновных гидросиликатов тоберморитовой группы 11,3 А (рис 2.1, кр 4), а наличие $d - 0,666; 0,318; 0,276; 0,268; 0,22$ нм указывает на присутствие натриевых гидроалюмосиликатов типа натроилита.

Результаты ДТА свидетельствуют о том, что кристаллизация волластонита происходит при 1073 °К (рис 2.4, кр 6). (См. С. 68).

Таким образом, экспериментальные данные, полученные в результате изучения комплексными методами физико-химических процессов взаимодействия вяжущих композиций на основе высококальциевой золы-уноса, показали, что фазовый состав композиций определяется видом щелочного компонента и добавки. В продуктах твердения разработанных вяжущих композиций образуются низкоосновные гидросиликаты типа гиролита, гиллебрандита, трускотита, тоберморита и щелочные новообразования – аналоги природных цеолитов, а также кальцит.

Установлено, что композиции на основе золы-уноса обладают вяжущими свойствами, а фазовый состав продуктов твердения определяет характер этих свойств.

2.1.4. Влияние плотности раствора щелочного компонента на физико-механические свойства камня вяжущего

При изучении влияния плотности щелочного компонента на прочность камня вяжущего использовали жидкое стекло с разными силикатными модулями (Мс). По данным [34, 38, 39, 65, 66, 72], вяжущие композиции на основе золы-уноса и щелочных компонентов, таких как Na_2SO_4 и Na_2CO_3 , не твердеют в нормальных условиях и при пропаривании. Это подтверждено и нашими исследованиями.

Нами исследовались составы шлакощелочных вяжущих, состоящих из минеральных активных добавок высококальциевой золы-уноса (50% по массе)+

электротермофосфорного шлака (42% по массе) + жидкого стекла (8% по массе) при плотностях раствора от 1100 до 1300 кг/см³ с разными силикатными модулями.

На рис. 2.4 показано, что предел прочности при сжатии камня вяжущего при затворении золы-уноса раствором силикатного щелочного компонента зависит от плотности и силикатного модуля последнего.

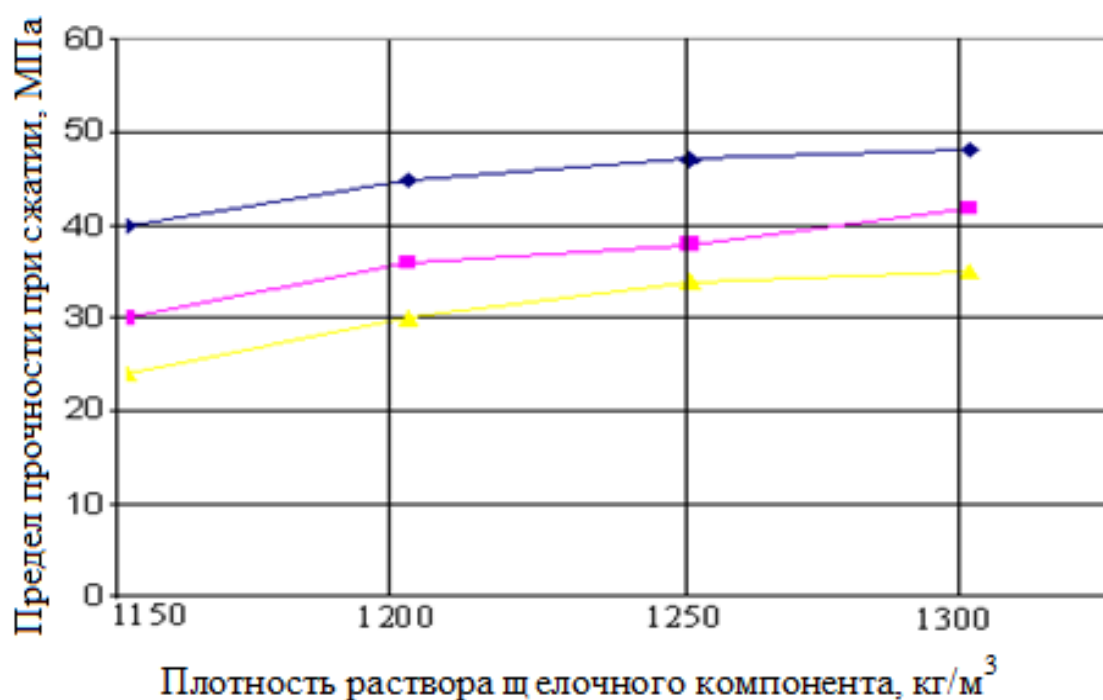


Рис. 2.4. Влияние плотности раствора щелочного компонента на предел прочности при сжатии камня вяжущего:

◆ – Mc – 3; ■ – Mc – 2; ▲ – Mc – 1

При увеличении плотности раствора щелочного компонента концентрация его повышается, что приводит к увеличению прочности камня шлакощелочного вяжущего.

При плотности раствора щелочного компонента 1100 кг/см³ прочность камня вяжущего составляет 16,3, 26,5 и 22,9 МПа соответственно для растворов силиката натрия с Mc 3,2 и 1. Увеличение плотности раствора щелочного компонента с 1100 до 1300 кг/см³ приводит к повышению предела прочности при сжатии камня вяжущего в 1,7–2 раза, что в зависимости от модуля стекла составляет 30,7, 47,1, 45,9 МПа.

При снижении силикатного модуля жидкого стекла до 2 прирост прочности составляет до 1,5 раза по сравнению с аналогичными плотностями раствора. Но при снижении M_c до 1 прироста прочности по сравнению с составами на дисиликате натрия не наблюдается.

Необходимо отметить, что вышеуказанные составы вяжущего являются быстросхватывающимися. На высокомодульном жидком стекле схватывание происходит мгновенно, т.е. его трудно определить. Во всех случаях щелочерастворозольное отношение составило 0,38, что влияет на физико-механические характеристики исследуемого вяжущего.

Силикатный модуль жидких стекол и плотность растворов на их основе показывают, что по мере понижения M_c до 1 сроки схватывания несколько растягиваются.

Скорее всего, это вызвано большей устойчивостью жидких стекол с более низким силикатным модулем, обладающим более высоким зарядом на поверхности частиц против коагулирующего воздействия ионов Ca^{+2} золы. Кроме того, с уменьшением M_c стекол концентрация SiO^{-2} анионов снижается.

Таким образом, можно сделать предварительный вывод о большей предпочтительности щелочных систем на основе силикатных щелочных солей, обладающих более высокими потенциальными возможностями перед несиликатными щелочными солями типа Na_2SO_4 и Na_2CO_3 .

2.1.5. Влияние соотношения содосульфатной смеси на прочность и сроки схватывания шлакощелочного вяжущего на основе электротермофосфорного шлака

Известно [35, 73, 75, 76], что управлять процессами структурообразования шлакощелочных вяжущих систем можно путем выбора щелочного компонента с регулируемой скоростью диссоциации, зависящей от его природы, температурных условий, щелочной (pH) и дисперсной среды. Исследованиями [73, 75, 76] также показано, что введение в состав шлакощелочных вяжущих

систем на основе шлаков с $1 < \dot{\gamma}_0 < 1$ низко модульного жидкого стекла, солей $\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{NaCl}$ способствует повышению скорости набора прочности в ранние сроки твердения и конечной активности.

Для изучения влияния соотношения комплексных щелочных компонентов на прочность и сроки схватывания шлакощелочного вяжущего была использована содосульфатная смесь в виде водного раствора с плотностью 1200 кг/м^3 , которую добавляли в жидкое стекло с силикатным модулем M_c-3 . Для сравнения результатов также использовали состав вяжущих на основе золы-уноса с электротермофосфорным шлаком без содосульфатной смеси – с одним жидким стеклом. Влияние содосульфатной смеси на предел прочности при сжатии вяжущего камня рассматривали также в вяжущей системе на основе электротермофосфорного шлака.

В данной диссертационной работе исследовались составы вяжущей композиции на основе электротермофосфорного шлака при затворении золы-уноса щелочным компонентом, состоящим из жидкого стекла и водного раствора содосульфатной смеси соотношением 50:50.

Как показали исследования, введение в качестве добавки содосульфатной смеси, видимо, в силу своего химического состава значительно углубляет гидратацию шлакового стекла, а также способствует образованию волокнистых гидросульфатоалюминатов кальция, выполняющих роль дополнительной арматуры и уплотняющих структуру камня.

Нами проводились исследования по влиянию вида тепловой обработки на физико-механические свойства полученного связующего. Использовались два вида тепловой обработки изделий: тепловая при температуре до 80°C в течение 12–14 ч (прогрев образцов без применения пара) и тепловлажностная обработка по стандартному режиму $60\text{--}100^\circ\text{C}$ при атмосферном давлении. Во избежание интенсивного испарения влаги формы с образцами плотно закрывались.

Результаты (рис. 2.5) показали, что при тепловой обработке, когда в состав компонента вводили содосульфатную смесь, предел прочности образцов при

сжатии на 7–22% выше, чем у образцов, подвергнутых тепловлажностной обработке.

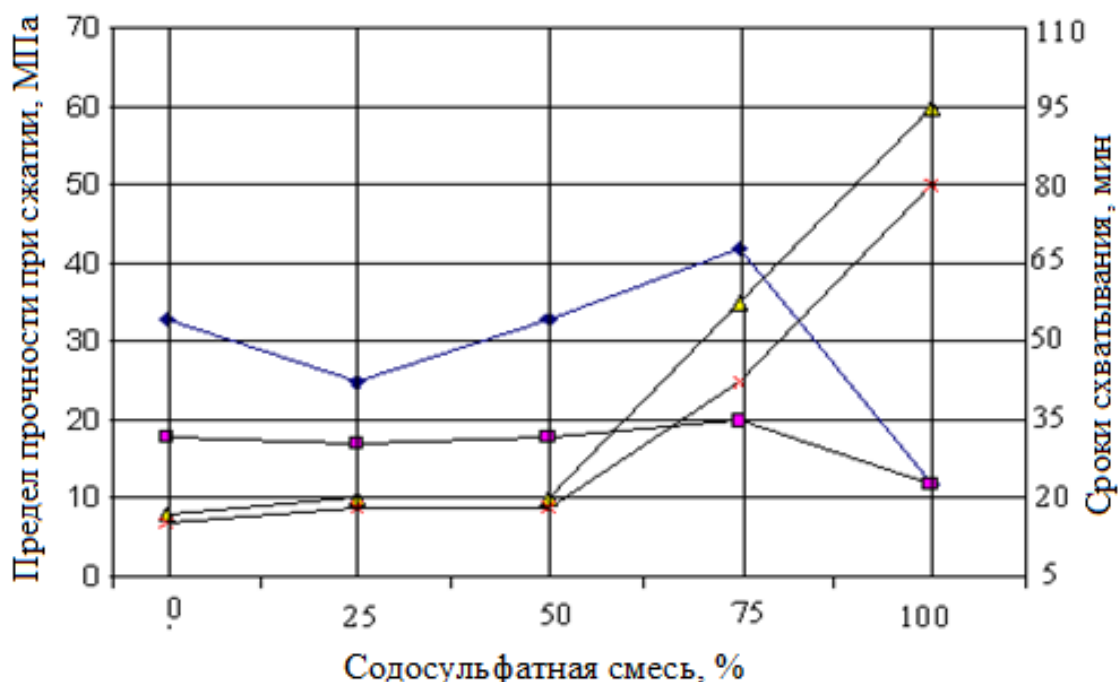


Рис 2.5. Влияние соотношения содосульфатной смеси на предел прочности при сжатии и сроки схватывания шлакощелочного вяжущего на основе электротермофосфорного шлака:
 ◆ –предел прочности при сжатии после тепловой обработки;
 ■ –предел прочности при сжатии после тепловлажностной обработки;
 ▲ –начало схватывания;
 x –конец схватывания

Увеличение количества содосульфатной смеси в составе щелочного компонента до 75% по объему приводит к повышению прочности камня вяжущего. Так, предел прочности при сжатии камня вяжущего на жидком стекле составляет 31,1 и 38,3 МПа соответственно для образцов, подвергнутых тепловлажностной и тепловой обработке; прочность образцов с содосульфатной смесью 75% соответственно составила 45,1 и 47,7 МПа.

При оптимальном соотношении содосульфатной смеси к жидкому стеклу (75:25) сроки схватывания удлиняются почти в 7 раз по сравнению с контрольным образцом.

Таким образом, установлено, что применение содосульфатной смеси в шлакощелочных вяжущих на основе электротермофосфорного шлака приводит к увеличению прочности арболита до 45%.

Кроме того, введение содосульфатной смеси в состав вяжущего приводит к значительному снижению стоимости вяжущего за счет экономии дефицитного промышленного жидкого стекла.

В дальнейших исследованиях по созданию вяжущего на основе шлака и золы-уноса использована в основном содосульфатная смесь.

Оптимальным соотношением вяжущей композиции на основе электротермофосфорного шлака при затворении золы – уноса щелочным компонентом, состоящим из жидкого стекла и водного раствора содосульфатной смеси является: электротермофосфорный шлак 42% по массе + жидкое стекло и водной раствор содосульфатной смеси 8% по массе + минеральная активная добавка золы-уноса 50% по массе.

Предел прочности камня при сжатии в этом случае составляет 40,1 МПа, т.е. в 1,3 раза выше, чем у контрольных образцов, затворенных на чистом жидком стекле.

Образцы, приготовленные затворением золы-уноса с водным раствором содосульфатной смеси и подвергнутые тепловлажностной обработке, практически прочности не имели.

При наблюдении за сроками схватывания вяжущего установлено, что увеличение концентрации содосульфатной смеси в щелочном компоненте также приводит к удлинению сроков схватывания. Начало и конец схватывания для оптимального соотношения содосульфатной смеси к жидкому стеклу (50:50) – соответственно 15 и 23 мин.

2.1.6. Влияние дисперсности золы-уноса на прочность шлакощелочного вяжущего арболита

Управлять процессом структурообразования щелочных вяжущих, как известно [35, 75, 76], можно регулированием состава стекла или смешиванием

шлаков различной основности и структуры, а также микрокалькулированием части дисперсной фазы путем создания на их поверхности органического или минерального состава.

При разработке вяжущего электротермофосфорный шлак размалывался в порошок до удельной поверхности 50–56 мкм. В качестве щелочных компонентов применяли силикат натрия растворимый и содосульфатную смесь – отходы производства капролактама.

В качестве активной минеральной добавки использовали золу-унос сухого золоудаления Актюбинской ТЭЦ с удельной поверхностью 2550 см²/г.

Приготовление шлакощелочного вяжущего проводилось следующим образом: золу-унос тщательно перемешивали с размолотым электротермофосфорным шлаком в сухую, затем затворяли раствором щелочного компонента (содосульфатная смесь+жидкое стекло).

Оптимальным соотношением вяжущей композиции золы-уноса на основе электротермофосфорного шлака при затворении щелочным компонентом, состоящим из жидкого стекла и водного раствора содосульфатной смеси, является 50:50.

Нами исследовались составы шлакощелочных вяжущих веществ, состоящие из минеральной активной добавки высококальциевой золы-уноса (50% по массе) +электротермофосфорного шлака (42% по массе) +щелочного компонента, состоящего из содосульфатной смеси и жидкого стекла соотношением 50:50 (8% по массе).

Проведено исследование влияния активной минеральной добавки золы-уноса на предел прочности при сжатии камня щелочных вяжущих. Выявлена зависимость прочности вяжущего от дисперсности золы-уноса.

Известно [35], что основное количество стекловидной фазы сосредоточено в самой мелкой (меньше 56 мкм) фракции, т.е. в кварце во фракциях 56–105 мкм. Чем мельче фракция золы, тем больше она содержит оплавленных частиц, тем выше прочностные показатели камня вяжущего. Из характеристики исходных сырьевых материалов видно, что остаток золы-уноса на сите 008 составляет 21%.

С учетом вышеприведенных результатов параллельно проведены эксперименты по изучению влияния грубых фракций (>800) на прочность вяжущего. Для этого зола применялась в трех вариантах:

- 1) исходная зола-унос ($S_{уд} = 300 \text{ м}^2/\text{кг}$);
- 2) зола ($S_{уд} = 360 \text{ м}^2/\text{кг}$);
- 3) зола ($S_{уд} = 410 \text{ м}^2/\text{кг}$).

Удельную поверхность золы-уноса изменяли добавлением грубых фракций на просеянную через сито 008 золу.

Образцы, приготовленные на золе-уносе ($S_{уд} = 360\text{--}410 \text{ м}^2/\text{кг}$), показали прочность при сжатии на 60–100% выше, чем у образцов, изготовленных на исходной золе-уносе. По результатам работ установлено, что прочность безобжиговых щелочных вяжущих на основе золы-уноса, как и у других минеральных вяжущих, зависит от дисперсности золы-уноса (табл. 2.5).

Кроме того, как известно [75, 76], несгоревшие частицы угля сосредоточены в крупных фракциях золы. Несгоревшие частицы топлива (недожог), в равной степени метаморфизированные, присутствуют в золе всех твердых топлив. При удовлетворительном течении топочного процесса их количество не велико, в других случаях их содержание может увеличиться до 20% и более.

Преобразованное в топке органическое вещество отличается от своего исходного состояния и сходится в виде кокса и полукокса с очень малой гигроскопичностью и выходом летучих веществ. Можно предположить, что грубые фракции и несгоревшие часть топлива, остающаяся в составе золы-уноса, ухудшают качество последней.

**Влияние дисперсности золы-уноса на предел прочности
при сжатии камня вяжущего**

Удельная поверхность зола – уноса, м ² /кг	Затворитель	Предел прочности при сжатии, МПа
300	Жидкое стекло	45,2
350	Жидкое стекло	45,1
400	Жидкое стекло	41,5
410	Жидкое стекло	40,3
300	Содосульфатная смесь +жидкое стекло	47,7
350	Содосульфатная смесь +жидкое стекло	45,5
400	Содосульфатная смесь +жидкое стекло	42,0
410	Содосульфатная смесь +жидкое стекло	40,6

2.1.7. Влияние соотношения электротермофосфорного шлака на прочностные характеристики камня вяжущего

Для изучения влияния соотношения электротермофосфорного шлака на прочностные характеристики шлакощелочного камня использовали минеральную активную добавку (золу-унос) и электротермофосфорный шлак, затворенный раствором щелочного компонента (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Влияние соотношения электротермофосфорного шлака на предел прочности при сжатии камня вяжущего

Алюмосиликатный компонент		Щелочной компонент		Р/З	Предел прочности при сжатии, МПа
Зола-унос, %	ЭТФ шлак, %	Вид затворителя	Плотность, кг/м ³		
–	100	Жидкое стекло	1300	0,28	40,2
25	75		1300	0,30	47,1
50	50		1300	0,34	47,7
75	25		1300	0,35	32,1
100	–		1300	0,38	31,0
–	100	Дисиликат натрия	1250	0,28	45,0
25	75		1250	0,31	46,1
50	50		1250	0,36	40,7
75	25		1250	0,38	36,4
100	–		1250	0,4	32,6

Для проведения экспериментальных работ приготовление вяжущего проводили следующим образом: золу-унос тщательно перемешивали с размолотым электротермофосфорным шлаком в сухую в шаровой мельнице, затем затворяли раствором щелочного компонента (содосульфатная смесь+жидкое стекло).

Оптимальное соотношение вяжущей композиции золы-уноса на основе электротермофосфорного шлака при затворении щелочным компонентом, состоящим из жидкого стекла и водного раствора содосульфатной смеси, – 50:50.

Как показали испытания (см. табл. 2.6.), с увеличением содержания электротермофосфорного шлака предел прочности шлакощелочных вяжущих при сжатии повышается и доходит до 47,7 МПа.

Очевидно, это объясняется тем, что гранулированный электротермофосфорный шлак, как более активный компонент системы, дает основное количество гидратов, придающих прочность шлакощелочным вяжущим материалам.

Кроме того, с увеличением в составе вяжущего электротермофосфорного шлака растворшлаковое отношение понижается с 0,40 до 0,30.

2.2. Разработка оптимальных составов и исследование свойств шлакощелочных вяжущих с добавкой золы-уноса

2.2.1. Оптимизация составов шлакощелочных вяжущих с добавкой золы-уноса

Для более полного выявления влияния содержания электротермофосфорного шлака в алюмосиликатной составляющей и оптимизации состава вяжущего выполнен регрессионный анализ.

Как показали результаты исследований, наибольшее влияние на свойства шлакощелочного вяжущего оказывают силикатный модуль щелочного компонента, плотность щелочного компонента, растворотвердое отношение и содержание электротермофосфорного шлака в шлакощелочных составляющих.

В качестве оптимизационных параметров состава вяжущих выбран предел прочности при сжатии вяжущего компонента, твердеющего в нормальных условиях и после тепловой обработки.

В качестве переменных факторов приняты:

Z_1 – силикатный модуль щелочного компонента, Мс;

Z_2 – плотность щелочного компонента, г/см³;

Z_3 – растворотвердое отношение, р/т;

Z₄ – содержание электротермофосфорного шлака в алюмосиликатной составляющей, %.

Основной уровень и интервалы варьирования этих факторов выбраны исходя из расчета и имеющихся предварительных данных.

Значения интервалов варьирования факторов, определенные в результате поисковых экспериментов, приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Значения интервалов варьирования факторов

Условия кодирования	Натуральные значения переменных			
	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
Центр эксперимента	2	1,2	0,34	50
Интервал варьирования	0,5	0,05	0,03	25
Верхний уровень	2,5	1,25	0,37	75
Нижний уровень	1,5	1,15	0,31	25
Звездные плечи:				
+d + 2	3	1,3	0,4	100
- d - 2	1	1,1	0,28	0

В результате проведенного эксперимента и соответствующего расчета получено уравнение регрессии в натуральном масштабе следующего вида:

$$\begin{aligned}
 Y = & -1828,8 + 280,32 \cdot Z_1 + 2096,34 \cdot Z_2 + 2287,84 \cdot Z_3 - \\
 & - 8,66 \cdot Z_4 - 209,2 \cdot Z_1 \cdot Z_2 - 0,205 \cdot Z_1 \cdot Z_3 + 7,516 \cdot Z_1 \cdot Z_4 - \\
 & - 4,7 \cdot Z_2 \cdot Z_4 - 760 \cdot Z_1^2 - 3371,06 \cdot Z_2^2 + 0,0041 \cdot Z_4^2. \quad (2.1)
 \end{aligned}$$

Как показал статистический анализ в данной области изменения исследуемых факторов, установленные зависимости с 5% ошибкой первого рода можно считать математическими моделями соответствующих величин.

Анализ полученной модели показал, что изменение предела прочности при сжатии камня вяжущего в зависимости от его состава указывает, что все рассматриваемые факторы оказывают на его величину существенное влияние.

Так, зависимость предела прочности при сжатии вяжущего от расхода шлака носит линейный характер. Причем область оптимальных значений расхода шлака, определяющих достижение максимальной прочности, коррелируется с

оптимальной плотностью щелочного компонента и силикатным модулем последнего.

При снижении и увеличении расхода щелочного компонента и снижении силикатного модуля щелочного раствора показатели расхода шлака в алюмосиликатной составляющей можно снизить, что является критерием для достижения оптимальности шлакощелочных растворов.

Из анализа модели (2.1) следует, что наибольшее влияние на прочность вяжущего в принятых интервалах варьирования оказывают плотность и силикатный модуль щелочного компонента. При этом их совместное влияние может быть выражено парным воздействием.

При содержании в алюмосиликатной составляющей электротермофосфорного шлака 50 %, растворошлаковом отношении 0,32, плотности щелочного компонента 1300 кг/м³ и силикатном модуле щелочного компонента 3,0 можно получить вяжущие с активностью 600.

При этом же расходе шлака, чтобы получить вяжущие с маркой 500, понадобится щелочной компонент с силикатным модулем 2,0, с плотностью 1300 кг/м³ при растворошлаковом отношении 0,36.

Полученные результаты подтверждают ранее выявленные данные, что с увеличением содержания в алюмосиликатной составляющей электротермофосфорного шлака прочность раствора повышается. При помеле электротермофосфорного шлака с добавлением золы-уноса в количестве 20% норма выделяющихся газов находится в пределах ПКД.

Поэтому было решено остановиться на предельном содержании электротермофосфорного шлака в алюмосиликатной составляющей 50 %, т.е. 50 % золы-уноса + 50 % электротермофосфорного шлака.

На основании уравнения регрессии (2.1) были построены изопараметрические диаграммы активности вяжущего (рис. 2.6).

В результате математической обработки данных установлено, что наиболее существенное влияние на активность выбранной системы оказывает содержание электротермофосфорного шлака в алюмосиликатной составляющей.

Полученные оптимальные составы шлакощелочных вяжущих в зависимости от плотности и силикатного модуля щелочного компонента и их свойства приведены в табл. 2.8.

Таким образом, эффективность применения золы-уноса для получения вяжущего с прочностью 46–64 МПа подтверждена достигнутыми результатами.

Установлена возможность регулирования свойств золо- и золошлакощелочного вяжущего. При этом вяжущие одинаковых марок можно получить путем корректировки состава вяжущего за счет изменения соотношения факторов.

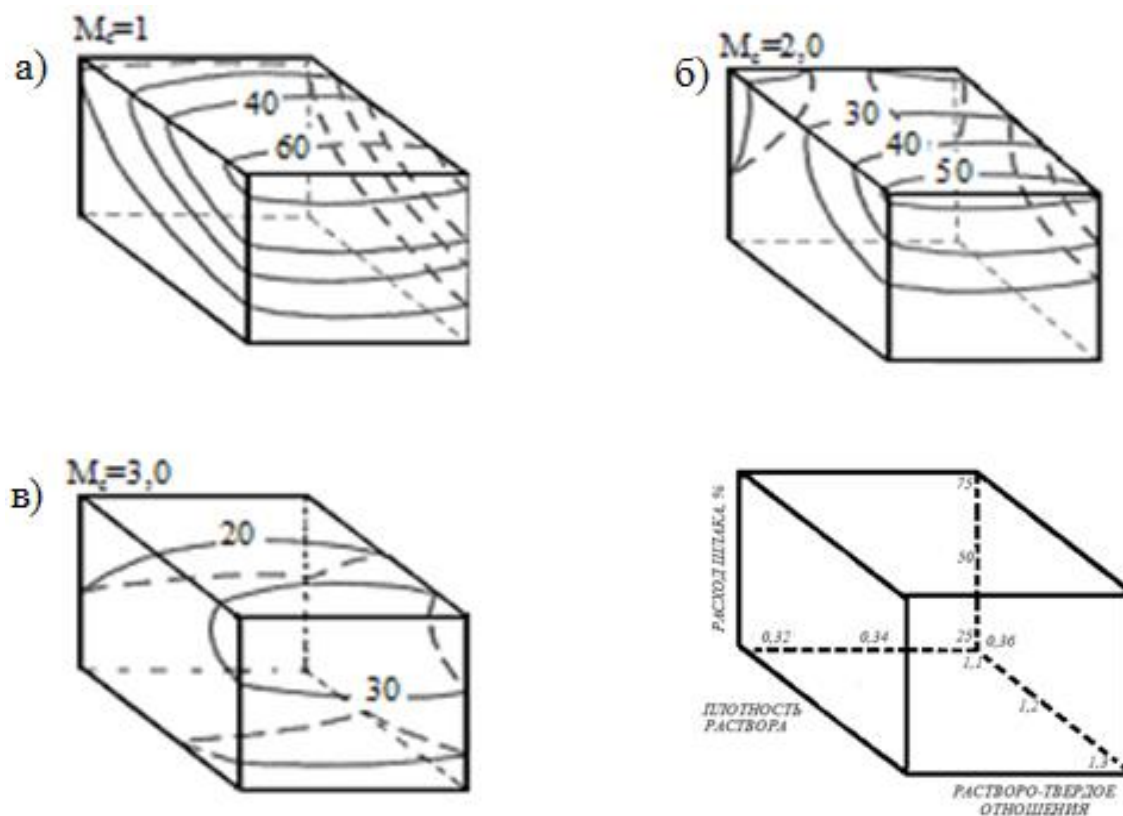


Рис. 2.6.Изопараметрические диаграммы предела прочности при сжатии камня щелочного вяжущего в зависимости от силикатного модуля щелочного компонента:
а – $M_c=1$; б – $M_c=2,0$; в – $M_c=3,0$

**Оптимальные составы шлакощелочных вяжущих в зависимости
от плотности и силикатного модуля щелочного компонента
и их прочностные характеристики**

№	Растворотвердое отношение	Плотность раствора, кг/м ³	Силикатный модуль щелочных компонентов, М _с	Расход электро-термофосфорного шлака, %	Расход золы-уноса, %	Предел прочности при сжатии, МПа
1	0,32	1100	1,0	50	50	46
2	0,34	1200	2,0	50	50	49
3	0,36	1300	3,0	50	50	55
4	0,32	1300	3,0	50	50	64
5	0,34	1200	2,0	50	50	61
6	0,36	1100	3,0	50	50	57
7	0,32	1100	1,0	50	50	59
8	0,34	1300	3,0	50	50	48
9	0,36	1300	3,0	50	50	61

Полученные результаты исследования позволяют регулировать марку вяжущего в широком диапазоне для получения шлакощелочных арболитов.

**2.2.2. Исследование свойств разработанных шлакощелочных вяжущих
в зависимости от вида щелочных компонентов,
условий обработки и последующего твердения**

К важнейшим характеристикам вяжущих, обуславливающим основные свойства бетонов на их основе, относятся сроки схватывания и кинетика изменения прочности, зависящие в свою очередь, главным образом, от вида алюмосиликатной составляющей, а также от вида и плотности затворителя.

Изучение данных характеристик проводилось на составах исследуемых вяжущих с учетом их оптимальности, установленной по показателю прочности.

Сроки схватывания вяжущих композиций на основе золы-уноса и электротермофосфорного шлака исследовались при использовании силикатного раствора затворителя различной плотности. Установлено, что по мере увеличения

плотности раствора сроки схватывания вяжущего увеличиваются. При плотности жидкого стекла 1300 кг/м³ схватывание вяжущего происходит мгновенно, т.е. его трудно определить. При снижении плотности жидкого стекла до 1100 кг/м³ начало срока схватывания вяжущих составляет 3 мин, конец – 5 мин. При плотности жидкого стекла 1300 кг/м³ с силикатным модулем M_c 1 начало схватывания составляет 7 мин, конец – 10 мин.

Эксперименты показали, что золощелочные вяжущие являются быстросхватывающимися на всех затворителях. При этом начало схватывания наступает через 1 ч 45 мин, а конец – через 6 ч (табл. 2.10).

По результатам вышеприведенных исследований и опытных работ [34, 38, 39, 65, 66, 72] можно утверждать, что шлакощелочное вяжущее на основе золы-уноса относится к быстросхватывающимся.

Известно, что редуцирующие вещества органических заполнителей сильно увеличивают сроки схватывания вяжущих, поэтому шлакощелочные вяжущие можно рекомендовать при производстве арболита. Кинетика изменения прочностных характеристик разработанных вяжущих композиций зависит от их состава, условий обработки и режима последующего твердения.

Определение изменения прочности камня вяжущих естественного твердения и подвергнутых тепловой обработке производилось на образцах, хранившихся в воздушно-сухих условиях в течение 28–360 сут.

Результаты испытаний вяжущих композиций с золой-уносом и дисиликатом натрия, твердевших в естественных условиях (табл. 2.9), свидетельствуют о том, что эти вяжущие к 28-суточному возрасту имеют предел прочности при сжатии 43,0 МПа, в 360-суточном возрасте достигается прочность 45,3 МПа.

Этот же состав, прошедший тепловую обработку, после 28-суточного возраста имеет прочность при сжатии 43,8 МПа, что свидетельствует о том, что тепловая обработка благоприятно влияет на набор прочности вяжущего (см. табл. 2.9).

**Предел прочности при сжатии арболита нашлакощелочных вяжущих
в зависимости от их состава, условий обработки
и последующего твердения**

№ составов	Условия твердения	Состав шлакощелочного компонента	Предел прочности при сжатии, МПа	
			В 28-суточном возрасте	В 360-суточном возрасте
1	В естественных условиях	Зола-унос+ дисиликат натрия	43,0	45,3
2	После тепловой обработки	Зола-унос +дисиликат натрия	43,8	48,5
3	В естественных условиях	Зола-унос + электротермофосфорный шлак	50,0	61,2
4	После тепловой обработки	Зола-унос + электротермофосфорный шлак	57,0	63,9

К 360-суточному возрасту предел прочности при сжатии арболита достигает 48,5 МПа. Вяжущее, состоящее из золы-уноса и электротермофосфорного шлака в соотношении по массе 1:1, имеет прочность после тепловой обработки 57,0 МПа, через 360 сут – 63,9 МПа.

Этот же состав, твердевший в естественных условиях, имеет прочность в 28-суточном возрасте 50,0 МПа, а через 360 сут – 61,2 МПа (см. табл. 2.10).

Таким образом, изучение влияния вяжущих компонентов на основе золы-уноса на прочность показало (рис 2.7, 2.8, табл. 2.9, 2.10) ее нарастание с течением времени.

При этом прочность шлакощелочных вяжущих композиций в 360-суточном возрасте повышается в 1,2–1,5 раза по сравнению с первоначальной прочностью, что свидетельствует о продолжительности реакции структурообразования. Величина роста прочности этих вяжущих определяется составом вяжущих композиций в условиях твердения.

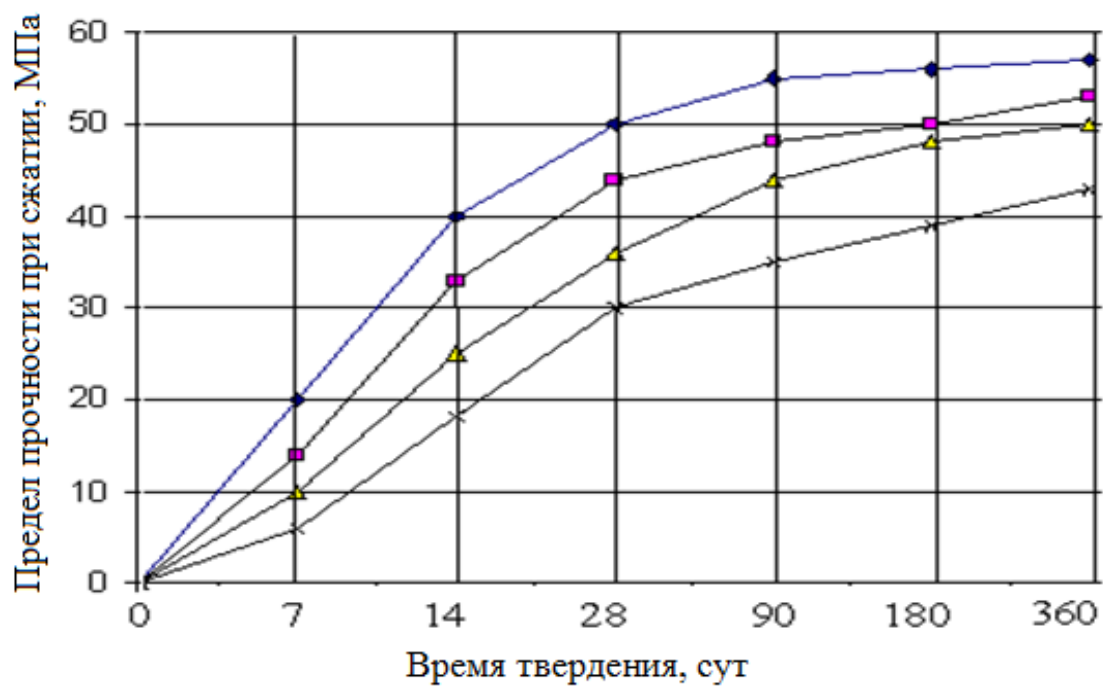


Рис.2.7. Кинетика изменения во времени прочности образцов, твердевших в нормальных условиях:
 ♦ –серия образцов 1; ■ –серия образцов 2; ▲ –серия образцов 3;
 x –серия образцов 4.

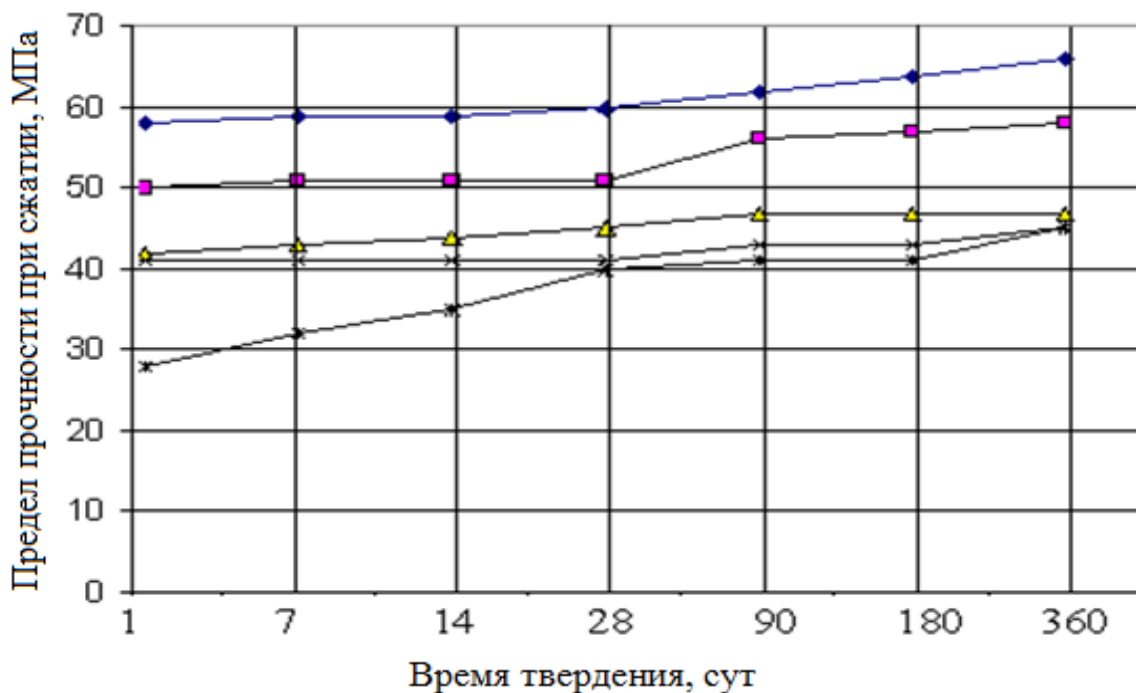


Рис.2.8. Кинетика изменения во времени прочности арболита, твердевшего после тепловой обработки:
 ♦ –серия образцов 1; ■ –серия образцов 2; ▲ –серия образцов 3;
 x –серия образцов 4.

Сроки схватывания шлакощелочных вяжущих композиций

Состав шлакощелочного компонента		Затворитель		Сроки схватывания, мин	
		Состав	Плотность раствора, кг/м ³	Начало	Конец
1	Зола-унос	Жидкое стекло	1100	3 мин	5 мин
2	Зола-унос	Жидкое стекло	1200	7 мин	10 мин
3	Зола-унос	Жидкое стекло	1300	мгнов.	мгнов.
4	Зола-унос	Содосульфатная смесь+жидкое стекло	1100	15 мин	23 мин
5	Зола-унос 50% +электотермо- фосфорный шлак 50%	Содосульфатная смесь+жидкое стекло	1200	22 мин	34 мин
6	Электотермофосфор ный шлак 50 %	Содосульфатная смесь+жидкое стекло	1300	24 мин	35 мин

Нормальная густота составляет 28–38 %.

Результаты представленных исследований явились основанием для создания шлакощелочных вяжущих из различных отходов промышленности республик Центральной Азии и Казахстана, которые можно применять для производства высокопрочных арболитобетонов.

Выводы по главе 2:

1. Полученные в результате изучения комплексными методами физико-химических процессов взаимодействия вяжущих композиций с минеральными активными добавками на основе высококальциевой золы-уноса данные показали, что фазовый состав композиций определяется видом щелочного компонента и добавки. В продуктах твердения разработанных вяжущих композиций образуются низкоосновные гидросиликаты тоберморита и щелочные новообразования, а также кальцитом.

2. Установлено, что композиции на основе золы-уноса обладают вяжущими свойствами, а фазовый состав продуктов твердения определяет характер этих свойств.

3. Найдено, что прочность безобжиговых щелочных вяжущих с добавкой золы-уноса зависит от дисперсности золы-уноса и ее гранулометрического состава.

4. Из анализа оптимальных значений расхода шлака следует, что определяющие достижение максимальной прочности значение коррелируется с оптимальной плотностью и силикатным модулем щелочного компонента. Наибольшее влияние на прочность вяжущего оказывают плотность и силикатный модуль щелочного компонента.

5. Установлено, что оптимальным значением расхода шлака является предельное содержание электротермофосфорного шлака в алюмосиликатной составляющей 50 %, т.е. 50 % золы-уноса + 50 % электротермофосфорного шлака.

6. Результаты испытания показали, что с увеличением содержания электротермофосфорного шлака предел прочности шлакощелочного вяжущего при сжатии повышается до 48,3 МПа. Это объясняется тем, что гранулированный электротермофосфорный шлак, как более активный компонент системы, дает основное количество гидратов, придающих прочность камню шлакощелочных вяжущих. Кроме того, введение содосульфатной смеси в состав вяжущего приводит к значительному снижению стоимости вяжущего за счет экономии дефицитного промышленного жидкого стекла.

7. Установлено, что вяжущие с минеральными активными добавками высококальциевой золы-уноса и электротермофосфорного шлака в соотношении по массе 1:1 имеют прочность при сжатии после тепловой обработки от 57,0 до 63,9 МПа, что свидетельствует о том, что тепловая обработка благоприятно влияет на набор прочности вяжущего.

**Глава 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ
ОРГАНИЧЕСКИХ И НЕОРГАНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ
ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО АРБОЛИТА
НА ФОРМИРОВАНИЕ ЕГО МИКРОСТРУКТУРЫ
И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

**3.1. Технологические особенности, способы появления адгезии
шлакощелочного раствора и влияние физических свойств
органического заполнителя на физико-механические характеристики
арболитана основе шлакощелочного вяжущего**

В последнее время внимание ученых СНГ и Центральной Азии привлекают вопросы получения композиционных материалов, в том числе представляющих собой органоминеральные композиции, где в качестве составляющих применяются минеральное вяжущее и органический заполнитель. В виду того, что органический заполнитель и минеральное вяжущее антагоничны по своей природе, использование портландцемента усложняет технологию производства из-за наличия в заполнителе водорастворимых экстрактивных веществ – так называемых «цементных ядов».

Широкую возможность применения органических заполнителей для изготовления арболита открывают шлакощелочные вяжущие, разработанные В.Д. Глуховским и его учениками [73, 75–79]. Повышенная активность шлакощелочных вяжущих позволяет применять различные виды заполнителей, включая органические отходы растительного происхождения.

В современных условиях актуально, чтобы каждый регион имел местные ресурсы для получения вяжущих и материалов на их основе, отвечающие высоким техническим требованиям и способствующие сохранению окружающей среды.

В связи с дефицитом древесины в Центральной Азии органическим заполнителем при производстве арболита могут служить отходы сельского

хозяйства и различные растения, например, измельченные стебли хлопчатника. Для стеблей хлопчатника характерна в основном более равномерная складчатая структура, что делает их сходными с древесиной по строению и химическому составу [5, 35, 42]. Основные характеристики древесины применимы и для стеблей хлопчатника рыхлой структуры.

Стебли хлопчатника состоят из целлюлозы (примерно 40 % всей массы), пектиновых веществ, лигнина, гемицеллюлозы, содержат небольшое количество экстрактивных веществ – танинов (дубильных и красящих веществ) и жиров [5, 42]. Целлюлоза и лигнин, составляющие основную массу клетчатки, являются достаточно стойкими веществами и вредного влияния на процесс твердения клинкерных цементов не оказывают. Пектины и гемицеллюлозная часть стеблей хлопчатника представляют собой сложный комплекс олиго- и полисахаридов, способных в щелочной среде гидролизоваться и переходить в водорастворимые сахара. Простейшие водорастворимые сахара (сахароза, глюкоза, фруктоза) содержатся в стеблях хлопчатника в небольшом количестве (0,1–0,5 % от массы) [5, 42, 45, 48]. Благодаря малому размеру молекул водорастворимые сахара легко вымываются из целлюлозы раствором «минерализатора» и попадают в вяжущецементное тесто.

Экстрактивные вещества – танины – имеют большие размеры молекул. Они вымываются как из древесины, так и из хлопчатника 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 стеблях хлопчатника, также не оказывают влияния на процесс твердения цемента. Смоляные кислоты, выделяющиеся из стеблей хлопчатника при взаимодействии со щелочами, которые находятся в цементном тесте, образуют мыльные растворы. При значительном содержании смолистых веществ на стеблях хлопчатника прочность арболиов может несколько снизиться вследствие уменьшения смачиваемости частиц стеблей хлопчатника и ухудшения сцепления с вяжущим камнем.

Проведенные исследования показали, что стебли хлопчатника содержат легкогидролизуемые и экстрактивные вещества – «цементные яды», вредные для цемента, которые замедляют набор прочности испытуемых образцов [5, 13, 15, 35, 42, 45, 48].

Щелочная среда цементного теста способствует выделению «цементных ядов», количество которых изменяется в значительных пределах в зависимости от сорта стеблей хлопчатника, условий и сроков их хранения. Было выявлено [15, 35, 42, 45, 48], что воздействие водорастворимых веществ на стебли хлопчатника и на твердеющий вяжущий состав проявляется в стабилизирующем эффекте, аналогичном действию поверхностно-активных веществ. «Цементные яды», состоящие в основном из углеводных групп, осаждаясь на поверхности частичек минералов вяжущего вещества, образуют тончайшие оболочки, которые изолируют частицы вяжущего от воды и замедляют ход процесса гидратации.

Содержание полисахаридов в различных видах растительного сырья значительно отличается. Наименьшее их количество содержится в древесине ели (17,3 %), наибольшее – в стеблях хлопчатника и виноградной лозе (26,4 и 27,1%).

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

В большинстве своем предложенные способы «минерализации» органического заполнителя требуют многоступенчатой обработки заполнителя различными химикатами с последующим кипячением или промывкой, выдержки в силосах для стабилизации его свойств или сушки и др.

Из многочисленных добавок, опробованных в отечественной и зарубежной практике, приняты такие, при которых «минерализаторами» заполнителя растительного происхождения служат хлористый кальций и жидкое стекло [42, 48]. Однако применяемые способы «минерализации» растительного заполнителя,

хотя и повышают скорость нарастания прочности в начальный период, все же не позволяют получать достаточно прочный материал.

Проведенные исследования показали [5, 13, 15, 35, 42, 45, 48], что при удалении легкогидролизуемых веществ из заполнителя на основе измельченных стеблей хлопчатника прочность арболита удастся увеличить на 7–10%. Следовательно, наличие таких веществ в заполнителе можно рассматривать лишь как один из его недостатков. Это означает, что, кроме химической агрессивности (содержание экстрактивных и легкогидролизуемых веществ), заполнитель на основе измельченных стеблей хлопчатника обладает еще и другими специфическими свойствами, которые отрицательно воздействуют на структурную прочность арболитовых композитов и поэтому должны учитываться в технологии их производства.

Настоящая диссертация посвящена изучению водорастворимых редуцирующих веществ в составе сельскохозяйственных отходов и свойств различных гидравлических вяжущих, разработке составов шлакощелочных вяжущих на основе местных отходов промышленности, в частности на высококальциевой золе-уносе, и высокопрочного арболита с использованием сельскохозяйственных отходов, а также технологии производства вяжущих и арболита.

3.1.1. Исходные сырьевые материалы и методика их испытаний

Для решения поставленных задач нами в качестве органического заполнителя использованы измельченные стебли хлопчатника.

Физико-химические свойства, химический и фракционный состав хлопчатника (табл. 3.1, 3.2) установили опытным путем в соответствии с требованиями ГОСТ 19222-84, ГОСТ 25820-2000, а также на основании справочных и литературных данных [14, 19, 78].

Таблица 3.1

Химический состав хлопчатника

Измельченные стебли хлопчатника	Содержание компонентов, %			
	Целлюлоза	Лигнин	Пентазон	Полисахариды
	39,1	19,2	17,7	24

В соответствии с поставленной задачей теоретические и экспериментальные исследования включали: изучение процессов, протекающих при структурообразовании арболитовых композиций, особенностей структуры шлакощелочных арболитобетонов на основе целлюлозных органических заполнителей; подбор оптимальных составов; определение технологических параметров их изготовления; исследование физико-механических свойств изучаемого материала.

Таблица 3.2

Фракционный состав измельченного хлопчатника

Виды остатков	Остаток, % по массе, на ситах с размером ячеек, мм					
	40	20	10	5	2,5	1,25
	Нерассеянные стебли хлопчатника					
Частные	–	16	2,4	46,6	19	13
Полные	–	16	18,4	65	84	97
	Рассеянные стебли хлопчатника					
Частные	–	-	7,6	19,0	59,0	10,0
Полные	–	-	7,6	26,6	85,5	95,6

Первоначально был проведен подбор оптимального состава раствора щелочного компонента методом математического планирования экспериментов и опытным путем.

Образцы подвергались тепловой обработке, а также твердению в естественных условиях (см. Гл. 2).

Изучение свойств органических заполнителей выполнялось с использованием стандартных методик по ГОСТ 19222-84.

Приготовление арболитовой смеси производили следующим образом: сначала осуществляли сухое перемешивание шлака с целлюлозным органическим заполнителем в виде измельченных стеблей хлопчатника, затем добавляли

заранее приготовленный раствор щелочного компонента и перемешивали до образования однородной массы. Плотность растворов щелочных компонентов и растворошлаковое (Р/Ш) отношение изменялись в широких пределах с целью изучения влияния этих факторов на физико-механические показатели арболита.

Готовую арболитовую смесь укладывали в очищенную и смазанную машинным маслом форму размерами 10×10×10 см, штыковали, уплотняли и фиксировали в соответствии с требованиями ГОСТ 19222-84.

Оптимизацию состава, свойств и технологии шлакощелочного арболита выполняли с помощью математического планирования эксперимента и опытным путем [32, 33, 34, 79].

Физико-механические характеристики арболита определяли в соответствии с ГОСТ 19222-84, 25820-2000, 7076-99, 7473-94, 10060.0-95 и 3476-74.

В исследованиях использовали различные условия твердения образцов: естественное, тепловую обработку и пропаривание.

При исследовании контактной зоны между органическим наполнителем и шлакощелочным вяжущим использовали комплекс независимых методов, позволяющих получить достаточно полные и достоверные данные о процессах, происходящих при контакте вяжущего состава с наполнителем.

Для исследования фазового состава контактной зоны арболита выбраны рентгеновские, термограммические и дериватотермические методы анализа.

Рентгенофазовый анализ осуществляли на дифрактометре ДРОН-2.0. Съемка рентгенограмм проводилась на излучении СИ в интервале углов $2\theta = 2-60^\circ$ при скорости вращения счетчиков и образца 1 и 2° в минуту.

Расшифровка рентгенограмм проводилась путем идентификации полученных данных с характеристиками природных и искусственных минералов, приведенных в литературе [80–83].

Изучение структуры арболита на различных пористых наполнителях проводилось методами оптической микроскопии. Оптико-микроскопические исследования в шлифах проводили в отраженном свете на микроскопе МБС-4.

Более детально исследовали микроструктуры контактных зон при помощи электронного микроскопа ЭМ-7.

Обследование структуры арболита сопровождали фотографированием.

Исследование кинетики процесса структурообразования шлакощелочного арболита при температуре 10–80°C осуществлялись с помощью измерения скорости распространения продольных волн, связанной с изменением упругих характеристик материала, а также значений периода преобладающей волны спектра частот импульсного колебания, характеризующих изменение его структуры, на приборе УК-10ПМ согласно методике [20, 28].

Исследования прочностных и деформативных свойств арболита проведены в условиях климата Центральной Азии и в камерах нормального твердения.

Измерение деформаций усадки производилось через 28 сут после твердения в естественных условиях.

Ползучесть шлакощелочного арболита исследовалась при длительных нагружениях на образцах-призмах, размером 150×150×600мм.

Исследование проводили через 28 сут после твердения в естественных условиях и после тепловой, тепловлажностной обработок. Напряжение обжатия арболита – (0,3–0,75) R_b от призмной прочности.

Температура в период испытаний изменялась:

- в климатических условиях: от -25 до 42°K при относительной влажности в пределах 70 до 80%;

- в камерах нормального твердения: от 16 до 22°K при относительной влажности от 90 до 96%.

Исследование специальных свойств арболита (теплопроводности, огнестойкости, биостойкости) производилось при широком варьировании изучаемых факторов.

Исследования теплопроводности арболита в естественном и сухом состояниях и после тепловой обработки провели на кафедре физики Актюбинского регионального государственного университета совместно с

кафедрой строительного материаловедения, специальных технологий и технологических комплексов Ивановского государственного политехнического университета.

Также проводили наблюдения за состоянием образцов арболита в непосредственном воздействии атмосферных условий в течение длительного времени.

Исследуемые составы шлакощелочного арболита на основе измельченных стеблей хлопчатника приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Составы исследуемых шлакощелочных образцов арболита на основе измельченных стеблей хлопчатника

№ состава	Расход материалов на 1м ³ арболита					Плотность, кг/м ³
	Органический наполнитель	Алюмосиликатный компонент		Щелочной компонент, л		
	Измельченные стебли хлопчатника, кг	Электрофосфорный шлак, кг	Расход золы-уноса, кг	Содосульфатная смесь	Жидкое стекло	
1	140	200	250	125	125	450
2	145	220	200	125	125	420
3	150	240	250	250	–	550
4	160	260	250	125	125	500
5	170	280	200	125	125	420
6	180	300	250	250	–	600

3.1.2. Исследование формирования микроструктуры и процессов структурообразования шлакощелочного арболита на основе измельченных стеблей хлопчатника

Особенности процессов структурообразования шлакощелочных арболитов обусловлены активным участием целлюлозных органических наполнителей в создании структурообразующих элементов на значительной площади контактных зон. При этом необходимо учитывать, что такие процессы протекают в условиях

интенсивной адсорбции, связанной с высокой пористостью органических заполнителей.

Характер структурообразующих элементов зависит от минералогического состава органических заполнителей в составе шлакощелочных арболитобетонов. Это подтверждают исследования шлакощелочных арболитов на основе целлюлозных органических заполнителей, вводимых в виде измельченной фибры. Они свидетельствуют о том, что в результате гидротермального синтеза в условиях тепловой обработки в контактных зонах таких арболитов возникают водостойкие щелочные гидроалюмосиликаты, по структуре аналогичные содалиту, натролиту, анальциму [84, 85].

Отметим, что наблюдаемое во времени уплотнение структуры контактных зон легких шлакощелочных арболитобетонов связано не только с углублением процессов гидратации и кристаллизации новообразований, результатом которых и является возникновение дополнительных структурных элементов, но и с явлением самовакуумирования, которое наблюдается в шлакощелочных вяжущих в процессе их твердения [84, 85].

Физико-химические основы процессов структурообразования и на формирования структуры рассмотрим на примере шлакощелочного арболитобетона на основе измельченных стеблей хлопчатника.

Для изучения процессов структурообразования в шлакощелочных арболитобетонных смесях нами разработана методика и проведены исследования по определению кинетики формирования структуры арболитов от момента затворения щелочными растворами смеси и при последующем длительном их твердении [86].

Установка (рис. 3.1) позволяет проводить измерения на самых ранних стадиях твердения методом акустического интерферометра с использованием низкочастотных монохроматических колебаний, а на последующих этапах твердения импульсным ультразвуковым методом.

Селективный усилитель 6 включен входом к приемнику колебаний 5, а выходом – к осциллографическому индикатору 7.

Фазовращатель 8 включен входом к выходу генератора 1 электрических колебаний, а выходом – на вход индикатора 7.

Форма 3 изготовлена из текстолита, в ее больших продольных стенках сделаны по центру круглые вырезы, в которых размещены по оси пьезоэлектрические преобразователи так, чтобы их рабочие поверхности (мембраны) были заподлицо с внутренней поверхностью стенок формы.

Корпус пьезопреобразователей акустически изолирован от формы посредством кольцевых втулок из микропористой резины.

Для проведения исследований в форму 3 насыпают приготовленную смесь (до уровня примерно 12 см) и уплотняют ее на вибростоле, после чего обеспечивается акустический контакт возбuditеля 2 и приемника 5 колебаний с контролируемой смесью.

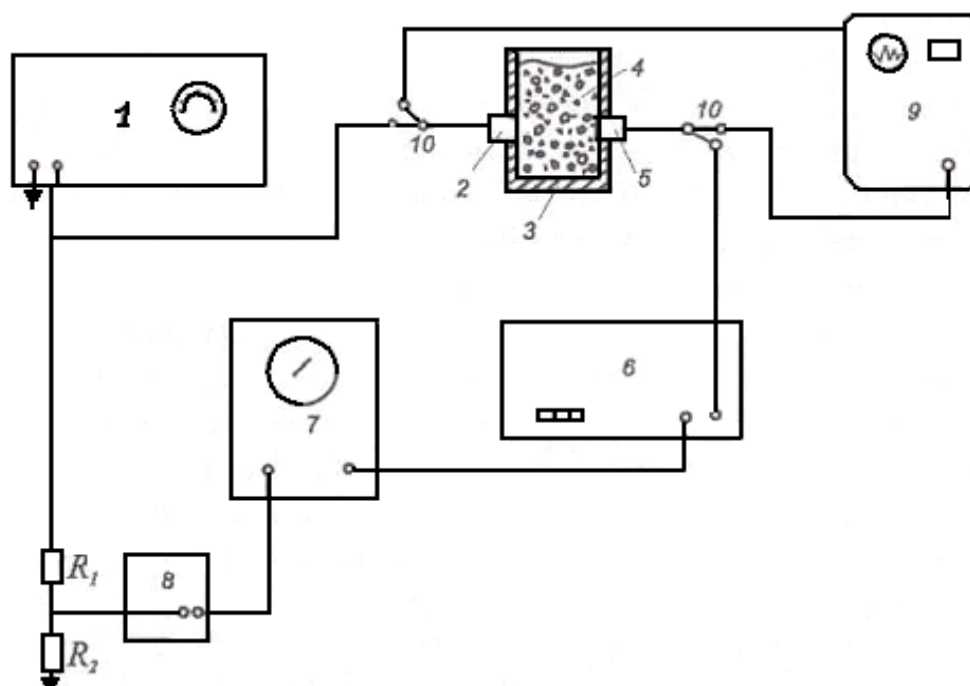


Рис. 3.1. Структурная схема установки:

- 1 – генератор сигналов низкочастотный ГЗ-5611;
- 2 и 5 – возбuditель (излучатель) и приемник колебаний (50 Гц);
- 3 – специальная форма; 4 – материал (бетонная смесь);
- 6 – селективный усилитель У2-8;
- 7 – осциллографический индикатор С1-20; 8 – фазовращатель;
- 9 – ультразвуковой прибор УКБ-1М; 10 – переключатель

В исследовании на начальных этапах твердения используются низкочастотные монохроматические колебания с выходом генератора 1 в твердеющую шлакощелочную смесь. С помощью излучаемого преобразователя 2в смесь вводят механические колебания. Приемник колебаний 5 преобразует их в электрические, которые после усиления в селективном усилителе 6 подаются на вход осциллографического индикатора 7 и индуцируются на экране его электронно-лучевой трубки (ЭЛТ).

При измерении фазовой скорости распространения монохроматических колебаний в твердеющей смеси напряжение на выходе генератора 1 подается дополнительно через фазовращатель 8 на вход осциллографического индикатора 7, причем на экране ЭЛТ индикатора 7 наблюдается «фигура Лиссажу» в виде эллипса.

С помощью фазовращателя 8 добиваются установления на экране ЭЛТ в виде прямой линии (имеющей наклон примерно в $45-60^\circ$) и фиксируют значение f частоты генератора. Затем, изменяя частоту, фиксируют последующее ее значение f_2 , при котором,изменяясь по форме, ЭЛТ приобретает первоначальный вид. Это означает, что при изменении частоты колебаний $\Delta f=f_2-f_1$ фаза принятого колебания изменяется на 2π . При этом длину волны и значение фазовой скорости находят из зависимости

$$v_{\phi}l = \Delta f. \quad (3.1)$$

При использовании монохроматических колебаний установка позволяет также измерить резонансную частоту f_p объема материала, расположенного между продольными стенками формы на базе $l=10$ см. Для этого регулируют частоту генератора 1 и фиксируют ее резонансное значение f_p ,при котором амплитуда колебаний на экране ЭЛТ максимальна. При этом полосу частот усиления селективного усилителя устанавливают соответственно области, где наблюдается резонанс.

С помощью ультразвукового прибора 9 (например, УКБ-1М) фиксируют значения v , скорости продольных волн ультразвуковой частоты и дополнительно длительность фронта τ импульсного сигнала. В этом случае с помощью

переключателя 10 к излучателю 2 и приемнику 5 колебаний подключается соответственно выход генератора ультразвуковых импульсов и вход усилителя ультразвукового прибора 9.

Результаты исследований по выявлению основных факторов, влияющих на свойства шлакощелочных арболитов, позволяют заключить, что для их получения необходим комплекс наиболее благоприятных факторов, обуславливающих достижение в каждом конкретном случае выбранного критерия оптимальности.

Также формируется структура изучаемых материалов. Особенности процессов структурообразования в значительной степени определяют основные характеристики разрабатываемых шлакощелочных арболитов, что позволяет прогнозировать и регулировать их свойства.

Процессы структурообразования твердеющих арболитобетонов изучались с использованием электротермофосфорных шлаков в нормальных условиях на составах марок 15, 25 и 35 со щелочными компонентами на основе содосульфатной смеси (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Составы и свойства шлакощелочного арболита

№ состава	Марка арболита	Вид шлака	Щелочной компонент		Количество добавки, %	Предел прочности при сжатии, МПа
			Вид	Плотность, кг/м ³		
1	25	Доменный	Na ₂ SO ₃	1200	–	3,5
2	35	Доменный	Na ₂ O ₂ SiO ₃	1300	–	4,3
3	25	Электротермофосфорный	Na ₂ O ₂ SiO ₃	1300	–	3,45
4	15	Электротермофосфорный	Содосульфатная смесь	1100	5	1,8
5	15	Электротермофосфорный	Na ₂ SO ₄	1100	3	1,7

Для сравнения вариантов также использовались доменные шлаки на основе щелочных компонентов Na₂SO₃, Na₂O₂SiO₃, Na₂SO₄. При этом плотность щелочных компонентов изменялась от 1100 до 1300 кг/м³. Анализ данных,

полученных с помощью установки, показывает, что введенный в шлакощелочное вяжущее целлюлозный органический наполнитель, занимающий до 70 % объема, существенно влияет на характер формирования структуры.

Значительно отличаясь по своим физико-химическим свойствам от окружающего шлакощелочного раствора, целлюлозный органический наполнитель придает структуре арболита своеобразные свойства. Для четкого определения влияния органических наполнителей на процессы структурообразования, протекающие в арболитобетонных смесях, проводилось сравнение их с процессами структурообразования в шлакощелочном растворе (рис. 3.2).

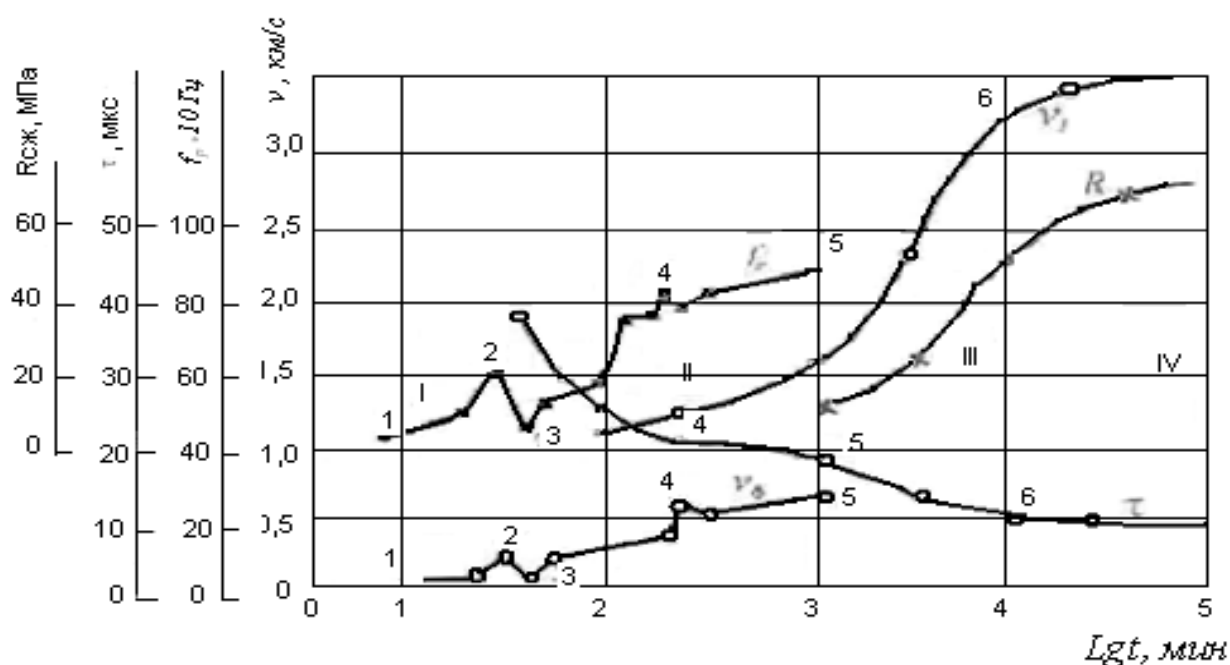


Рис. 3.2. Кривые кинетики структурообразования шлакощелочного вяжущего:
 v_{ϕ} — фазовая скорость, км/с; f_p — резонансная частота, Гц;
 v_{Γ} — скорость ультразвука, км/с; τ — длительность фронта, мкс;
 R — прочность бетона при сжатии, МПа

При введении пористого органического наполнителя растворная часть адсорбируется, система становится жесткой, изменяется упругость, акустические характеристики в данном случае будут фиксировать как физические, так и физико-химические процессы.

Исследования показали, что при введении измельченных стеблей хлопчатника в шлакощелочной раствор периоды структурообразования на ранних стадиях твердения (состав 1, см. табл. 3.4) отличаются по продолжительности от периодов формирования структуры шлакощелочного вяжущего без заполнителей. Так, первая стадия формирования структуры (участки 1–3) шлакощелочного арболитобетона составляет 25 мин, что на 15 мин меньше, чем первая стадия образования коагуляционной структуры чистой шлакощелочной дисперсии (рис. 3.2, 3.3).

Можно предположить, что пикообразный характер кривой кинетики (интервал 1–3) объясняется началом образования коллоидной структуры. Это предположение проверено и при измерении резонансной частоты f_p , в результате чего установлено, что момент максимального значения этой величины в интервале 1–3 соответствует максимальному значению показателя v_ϕ .

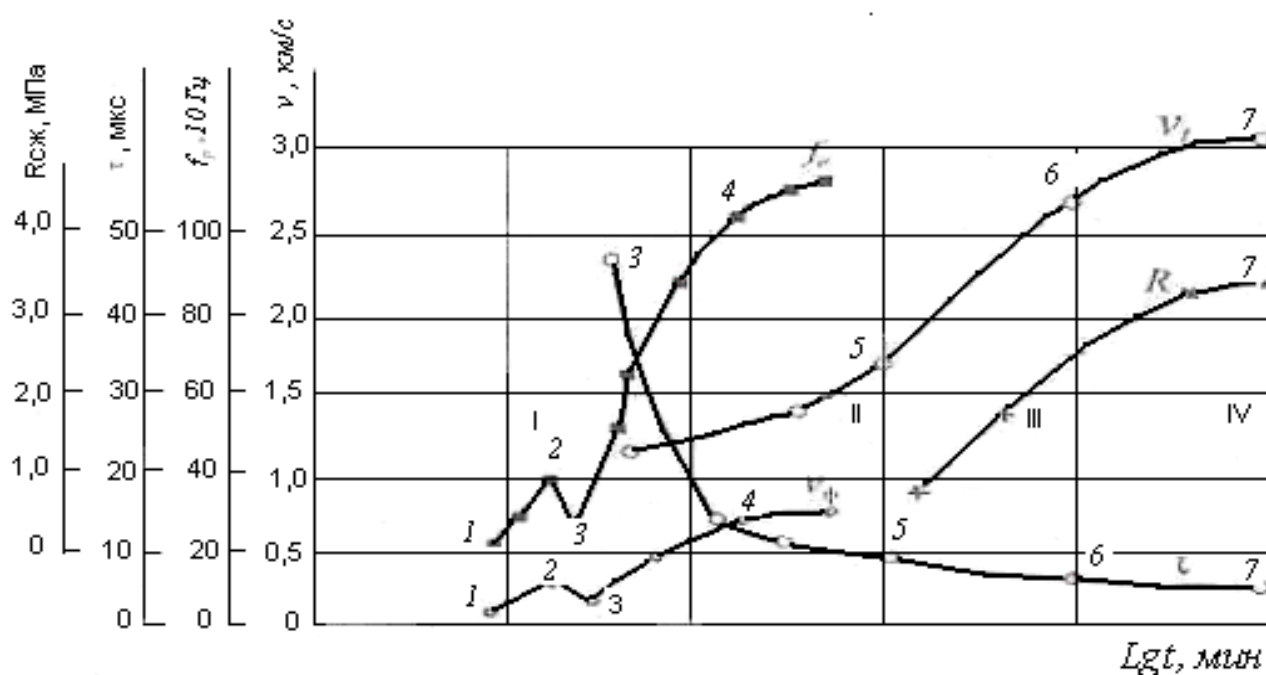


Рис. 3.3. Кривые кинетики структурообразования шлакощелочного арболитобетона на основе доменного шлака ($M_o > 1$), твердеющего в нормальных условиях, в зависимости от фазовой скорости, резонансной частоты, скорости ультразвука, длительности фронта и прочности при сжатии, МПа

Уменьшение значений v_f и f_p в интервале 2–3 (см. рис. 3.2, 3.3) связано с агрегацией новообразований, вызванной изменением электрозаряженности гидратов в результате контактирования и перекрытия гелевых оболочек продуктов твердения, и свидетельствует о том, что в результате внутрискелетного агрегирования и поликонденсации новообразований высвобождается часть связанной воды и разжижается шлакощелочная дисперсия.

Следует отметить, что характер формирования структуры шлакощелочного арболита в значительной мере обусловлен явлением и закономерностями, наблюдаемыми на поверхности раздела «шлакощелочной вяжущий раствор – органический наполнитель».

Так, после затворения смесей щелочным раствором на контакте «арболит – шлакощелочной раствор» протекают физико-химические процессы, характер которых определяют адгезионные связи между органическими наполнителями и шлакощелочным вяжущим камнем. При этом большое значение имеет пористое строение арболита, вызывающее отсасывание влаги арболитом сразу после приготовления смеси, что приводит к усилению адгезионных контактов между шлакощелочным вяжущим и шероховатыми поверхностями стеблей хлопчатника.

В процессе затвердения камня вяжущего происходит катионный обмен между Na^+ щелочного компонента и Ca^{2+} шлака, в результате которого образуется едкая щелочь, поэтому возможно и своеобразное «эпитаксиальное» осаждение на поверхности стеблей хлопчатника ионов Na^+ , перешедших в раствор.

Повышенная концентрация натрия в зонах контакта шлакощелочного вяжущего с пористыми наполнителями способствует интенсификации процессов взаимодействия между вяжущим и органическим наполнителем.

В результате хемосорбции на контакте формируются смешанные адгезионно-когезионные контакты. При этом продукты гидратации шлакощелочного вяжущего, имея одноименные ионы с подложкой органического наполнителя, способствующие углублению процесса гидратации, сопровождающегося увеличением объема гелевидной фазы, будут образовывать с ним более плотный и прочный контакт.

На рис. 3.4 видно, что этот период характеризуется резким повышением значений фазовой скорости v_ϕ и резонансной частоты f_p (интервал 3–4).

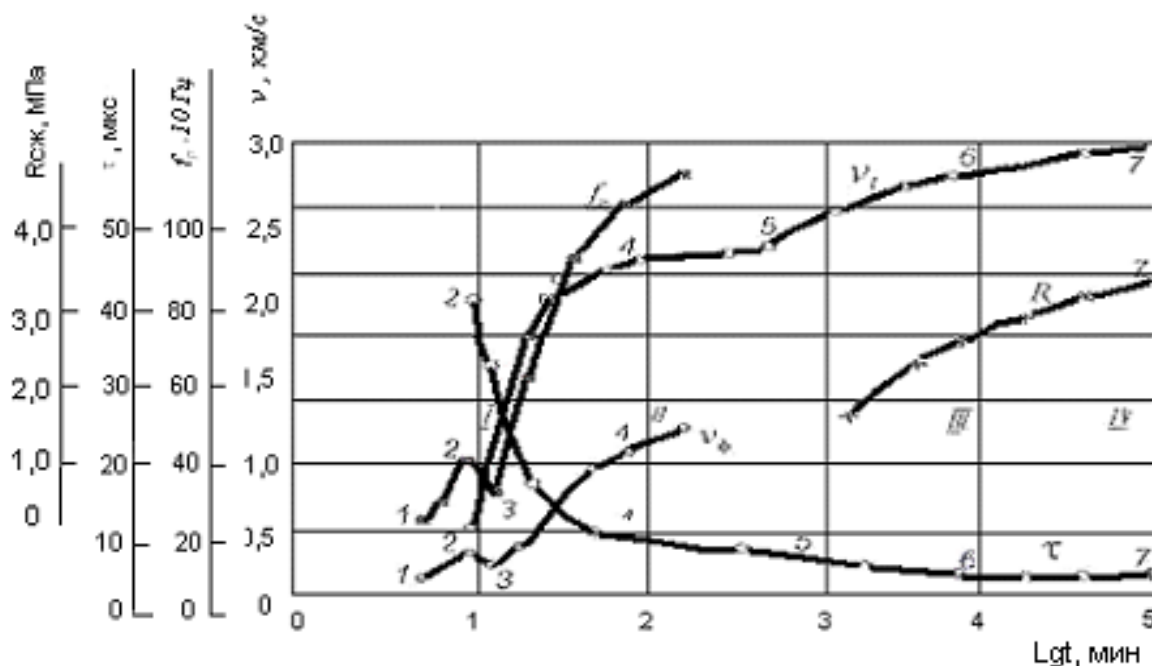


Рис. 3.4. Кривые кинетики структурообразования шлакощелочного арболитобетона на основе доменного шлака ($M_o > 1$) и $Na_2O_2SiO_2$, твердеющего в нормальных условиях, в зависимости от фазовой скорости, резонансной частоты, скорости ультразвука, длительности фронта и прочности при сжатии, МПа

Следует отметить, что характер изменения кривых v_ϕ и f_p в начальный период (в интервале 1–4) согласуется с экспериментальными данными, полученными на таких системах методом резонанса вынужденных колебаний твердеющей системы.

Изменение значений v_ϕ и f_p при исследовании композиций методом акустического интерферометра впервые минуты после затворения указывает на изменение структурных характеристик композиций в период образования коагуляционной структуры (I стадия). Как известно, при этом среда незатвердевшего арболитобетона характеризуется большим затуханием ультразвуковых волн высоких частот по сравнению с уже затвердевшим арболитом.

Появление и изменение значений v_l и τ при использовании импульсного ультразвукового метода свидетельствует о том, что в интервале 3–4 (см. рис. 3.3) формируются прочные контактные мостики между новообразованиями. В результате образуется матрица будущих высокопрочных структур, формирующихся на последующих стадиях твердения.

В интервале 3–4 (рис. 3.4, 3.5) скорость ультразвука v_l в твердеющей системе растет медленно. В этот период отмечается значительное изменение τ , которое указывает на существенное изменение структуры гидратируемой шлакощелочной дисперсии.

Характер изменения v_ϕ , f_p , v_l и τ в интервале 4–5 свидетельствует об ослаблении на этом этапе процессов диспергирования и агрегирования новообразований в твердеющей дисперсии, что характерно для периода развития коагуляционной структуры (II стадия).

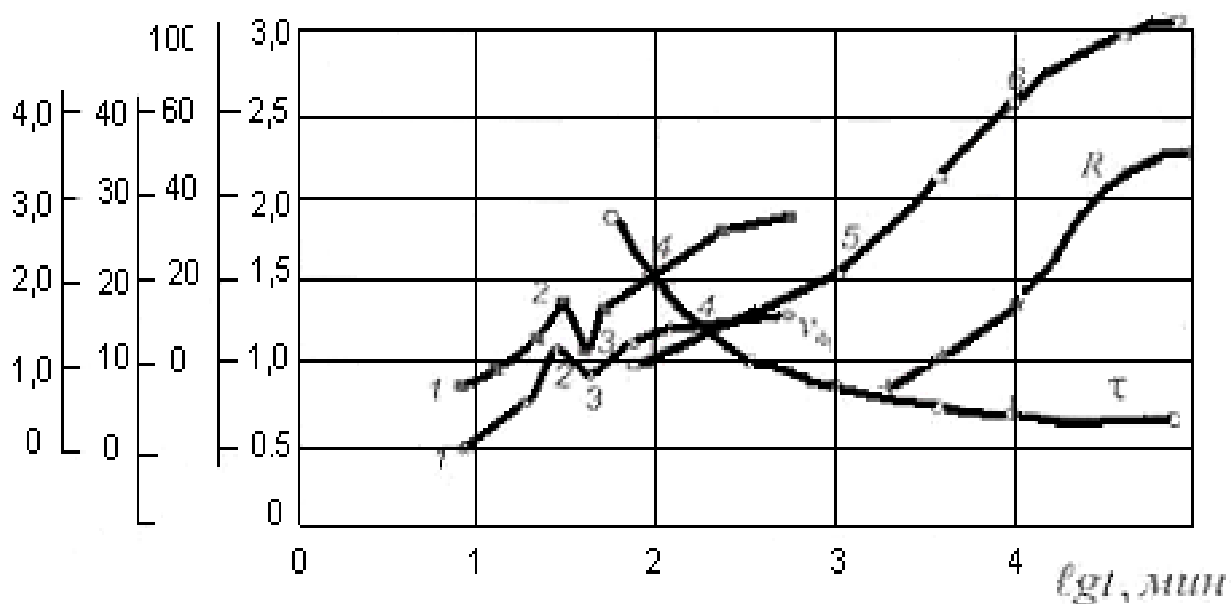


Рис. 3.5. Кривые кинетики структурообразования шлакощелочного арболитобетона на основе электротермофосфорного шлака и содосульфатной смеси в сочетании с добавкой портландцементного клинкера в зависимости от фазовой скорости, резонансной частоты, скорости ультразвука, длительности фронта и прочности при сжатии, МПа

В дальнейшем после точки 5 (рис. 3.4, 3.5) процессы твердения начинают интенсифицироваться (начало III стадии), происходит уплотнение и резкий рост числа кристаллических новообразований, что характеризуется ростом значений v_l и дальнейшим снижением значений τ . Это также подтверждается нарастанием прочности шлакощелочного вяжущего камня арболита R, которая в возрасте 3 и 7 сут повышается от суточных 7,8 МПа соответственно до 19 и 28 МПа (см. рис. 3.3).

В период образования пространственного каркаса кристаллизационной структуры вяжущего в составе арболита, независимо от состава последнего, значительно упрочняется система «шлакощелочное вяжущее – органический наполнитель» и об этом свидетельствует рост значений v_l .

На последующей стадии (интервал 6–7) скорость ультразвука v_l и прочность R достигают более высоких значений, а длительность фронта τ выходит в асимптоту. Это свидетельствует о том, что формирование структуры имеет замедленный характер (см. рис 3.6 и 3.7).

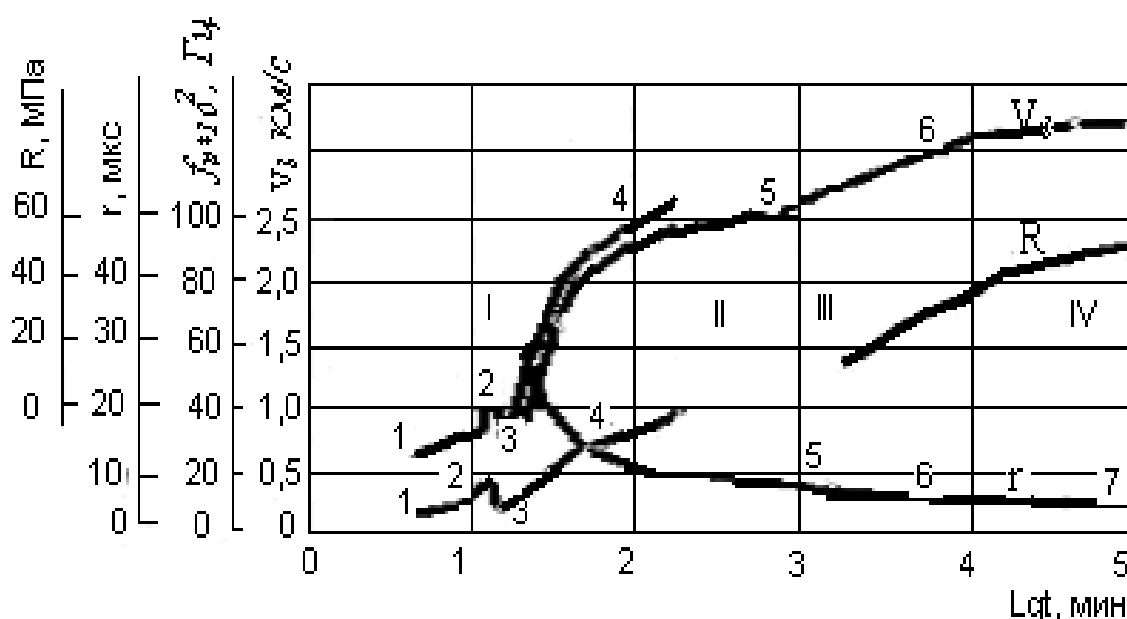


Рис.3.6.Кривые кинетики структурообразования шлакощелочного арболитобетона на основе электротермофосфорного шлака и $\text{Na}_2\text{O}_2\text{-SiO}_2$ в зависимости от фазовой скорости, резонансной частоты, скорости ультразвука, длительности фронта и прочности при сжатии, МПа

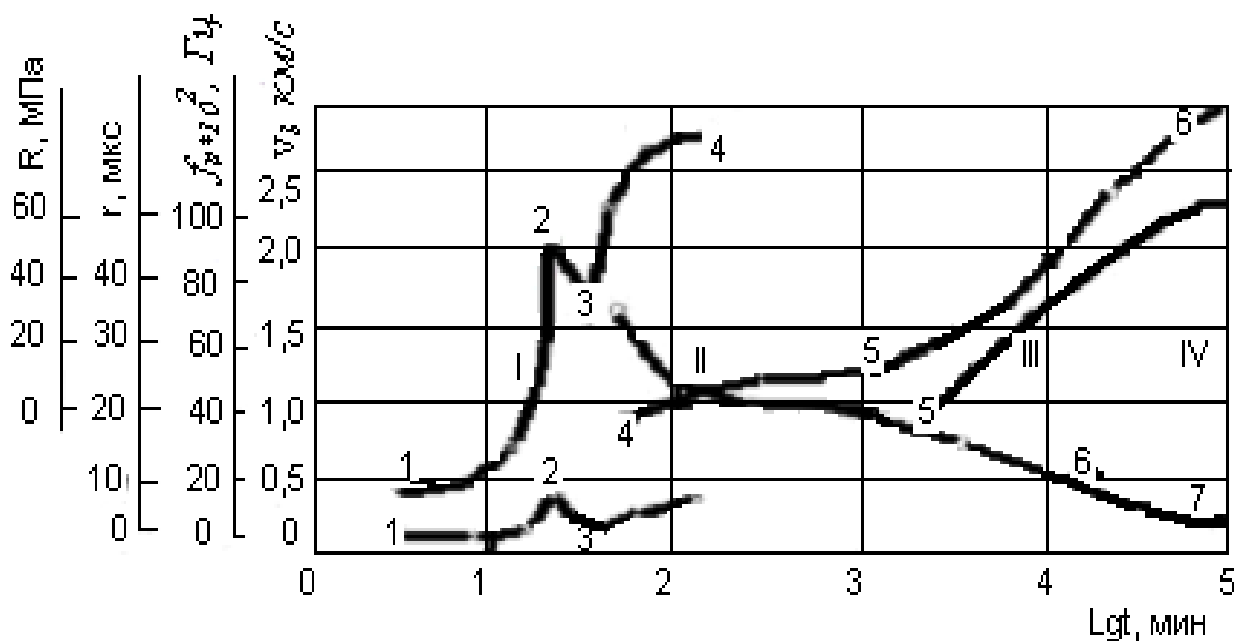


Рис. 3.7.Кривые кинетики структурообразования шлакощелочного арболитобетона на основе электротермофосфорного шлака и Na_2SO_4 в сочетании с добавкой портландцементного клинкера в зависимости от фазовой скорости, резонансной частоты, скорости ультразвука, длительности фронта и прочности при сжатии, МПа

Как известно, в шлакощелочных вяжущих происходит также реакция в твердых фазах, удельный вес которых весьма значителен и возрастает по мере затухания процессов гидратации. В последнем случае основное значение имеют процессы упорядочения структуры гидратных силикатных новообразований, приводящие к упрочнению всей структуры синтезируемого камня.

Это подтверждают результаты исследований: прочность шлакощелочного арболитобетона, твердевшего 28 сут, составляет 2,4 МПа, 90 суток – 3,0 МПа, что на 30% больше.

Таким образом, показано, что процессы структурообразования тесно связаны с нарастанием прочности формирующегося камня шлакощелочного арболитобетона. Структурообразование шлакощелочных арболитов можно регулировать изменением их составов.

Известно, что на интенсивность формирования структуры, в начальный период максимального упрочнения твердеющего материала влияет вид щелочного

компонента и шлака. Повышение реакционной способности жидкой фазы при использовании щелочного компонента $\text{Na}_2\text{O}_2\text{SiO}_2$ приводит к интенсификации процессов структурообразования шлакощелочной арболитовой смеси на начальных стадиях, что подтверждается увеличением v_l , уменьшением τ (см. рис. 3.3). Об этом свидетельствует и нарастание прочности шлакощелочного арболита на основе доменного ($M_o > 1$) и электротермофосфорного шлака. Так, к суточному возрасту прочность составляет соответственно 2,5 и 3,5 МПа или 35–40% прочности от 28-суточного возраста. Анализ результатов показал, что для каждого состава шлакощелочного арболита характерны свои структурные изменения в процессе твердения. Результаты эксперимента указывают на качественную связь между процессами структурообразования и нарастанием прочности шлакощелочных арболитобетонных композиций, отражаемую соответствующими акустическими характеристиками.

Это позволяет прогнозировать ожидаемую прочность исследуемых композиций и рассчитать ее по формуле, включающей такие характеристики:

$$R_0 = R_u \left(\frac{V_i - V_k}{V_n - V_k} \right)^\alpha \quad (3.2)$$

где R_0 , R_u – предел прочности шлакощелочного арболита при сжатии, соответственно ожидаемый и известный, МПа;

v_l – ход кривой кинетики скорости распространения продольных волн ультразвука ($v = v_{cr} + v_k$);

v_c – переменная составляющая скорости ультразвука кристаллогидратов шлакощелочного вяжущего, плотность которого в арболитобетоне изменяется во времени пропорционально степени гидратации вяжущего;

v_k – скорость ультразвука, приходящаяся на совокупность всех компонентов арболитобетона и элементов его структуры;

v_n – скорость ультразвука в момент времени $t_n > t_k$;

α – показатель степени (3/2 – при сжатии, 1 – при растяжении).

Результаты расчетов изменения во времени предела прочности при сжатии шлакощелочного арболита на основе доменного шлака и Na_2CO_3 ,

электротермофосфорного шлака и содосульфатной смеси с добавкой 5% портландцементного клинкера от массы шлака подтверждены экспериментальными данными (рис. 3.8 и 3.9).

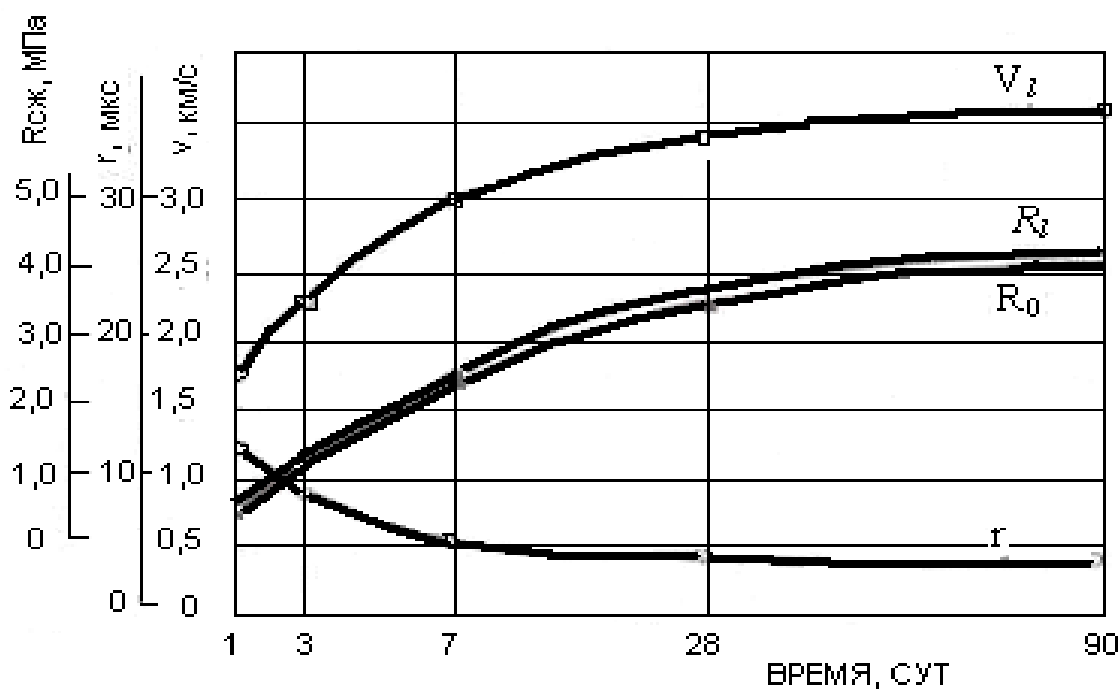


Рис. 3.8. Кривые кинетики комплекса величин, характеризующих твердение шлакощелочного арболита на основе электротермофосфорного шлака с содосульфатной смесью и дисиликатом натрия в нормальных условиях, при плотности щелочного компонента 1100 кг/м^3 с добавкой золы-уноса (от 3 до 5%) и пределом прочности при сжатии соответственно 1,8 и 1,7 МПа (табл. 3.4)

Можно предположить, что активная структурообразующая роль процессов, протекающих при твердении между шлакощелочным вяжущим и органическим наполнителем, заключается в создании плотного, прочного контактного слоя между ними.

Это обуславливающее повышение общей прочности и монолитности арболитобетона сводится к улучшению условий совместной работы отдельных структурных составляющих шлакощелочных арболитов под действием разрушающих усилий, одним из которых является сближение прочностных и деформативных свойств органического наполнителя и растворной части.

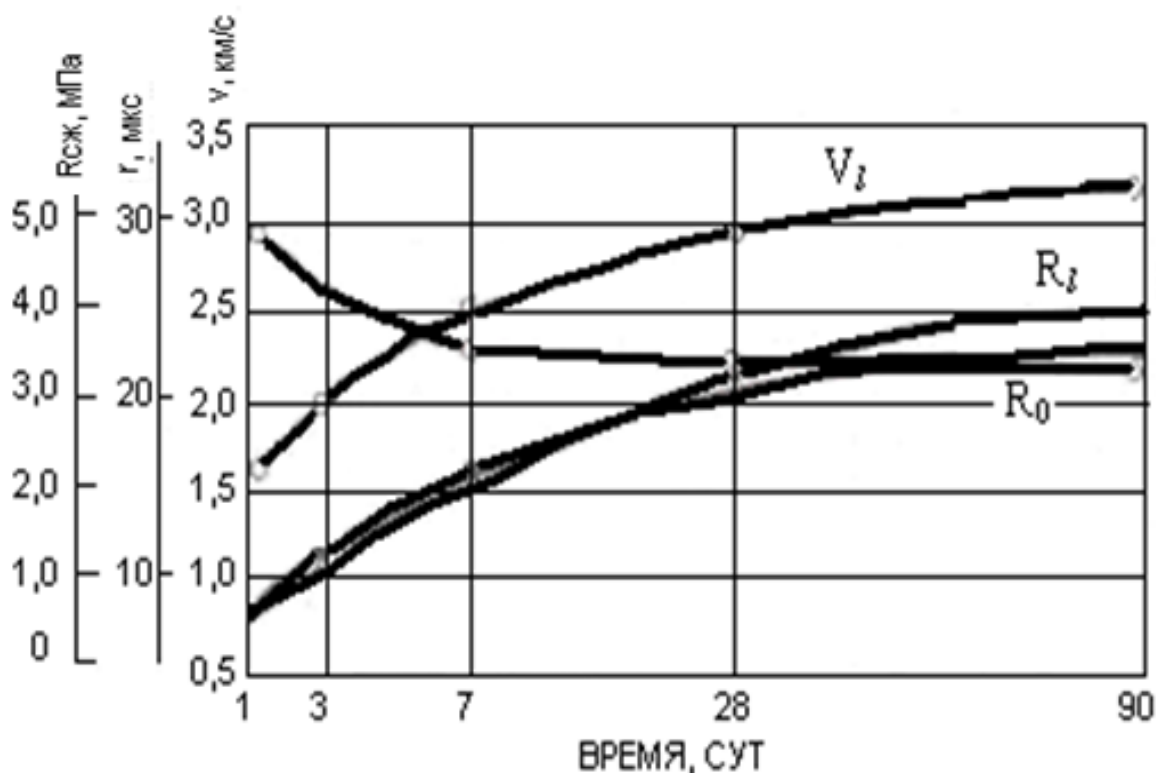


Рис. 3.9. Кривые кинетики комплекса величин, характеризующих твердение составов шлакощелочного арболита, позволяющие прогнозировать ожидаемую прочность исследуемых композиций в зависимости предела прочности при сжатии, хода кривой кинетики скорости распространения продольных волн ультразвука, переменной составляющей скорости ультразвука вяжущего, показателя степени при сжатии и растяжении и экспериментальных данных (расчет (3.2))

3.1.3. Изучение зависимости прочностных характеристик шлакощелочного арболита от расхода вяжущих компонентов и органического заполнителя

До сих пор не существует единой методики подбора состава арболитовых смесей. При подборе составов легких бетонов на основе органических заполнителей растительного происхождения каждому исследователю приходится применять свою методику анализа.

Установлено, что физико-механические и строительно-технические характеристики арболита на основе различных органических заполнителей растительного происхождения зависят от состава и характеристик составляющих

материалов. Кроме того, для строительного материала необходимо создать определенные условия, т.е. выбрать технологические параметры, способствующие достижению материалом критерия оптимальности. Поэтому при подборе состава арболитовой смеси необходимо знать, как влияют отдельные технологические факторы (вид и расход вяжущего, заполнителя, способы формования и условия твердения) на основные характеристики арболита, такие как прочность и плотность.

При разработке и исследовании арболита критериями оптимальности нами выбраны плотность и предел прочности при сжатии. Изучено влияние вида и параметров обработки на технологию получения арболитовых изделий с минимально возможными сроками изготовления.

Подбор состава арболитовой смеси проводился по соотношению органического заполнителя и щелочного раствора, последовательности перемешивания, виду уплотнения, а также по режиму тепловой обработки.

При изучении влияния расхода щелочного компонента на арболитовую смесь учитывались характеристики органического заполнителя и вяжущего.

Использованы щелочной раствор, комплексные щелочные компоненты на основе золы-уноса и электротермофосфорного шлака.

В качестве органического заполнителя применялись измельченные стебли хлопчатника.

При производстве шлакощелочного арболита изменение растворошлакового отношения возможно лишь в очень небольших пределах, так как органический заполнитель начинает энергично поглощать растворщелочного компонента из смеси, что приводит к обезвоживанию контактной зоны вяжущего заполнителем. Чтобы предотвратить отбор воды из приготовленной смеси и обезвожить контактную зону при приготовлении арболитовой смеси приходится поддерживать высокое растворошлаковое отношение (рис.3.10).

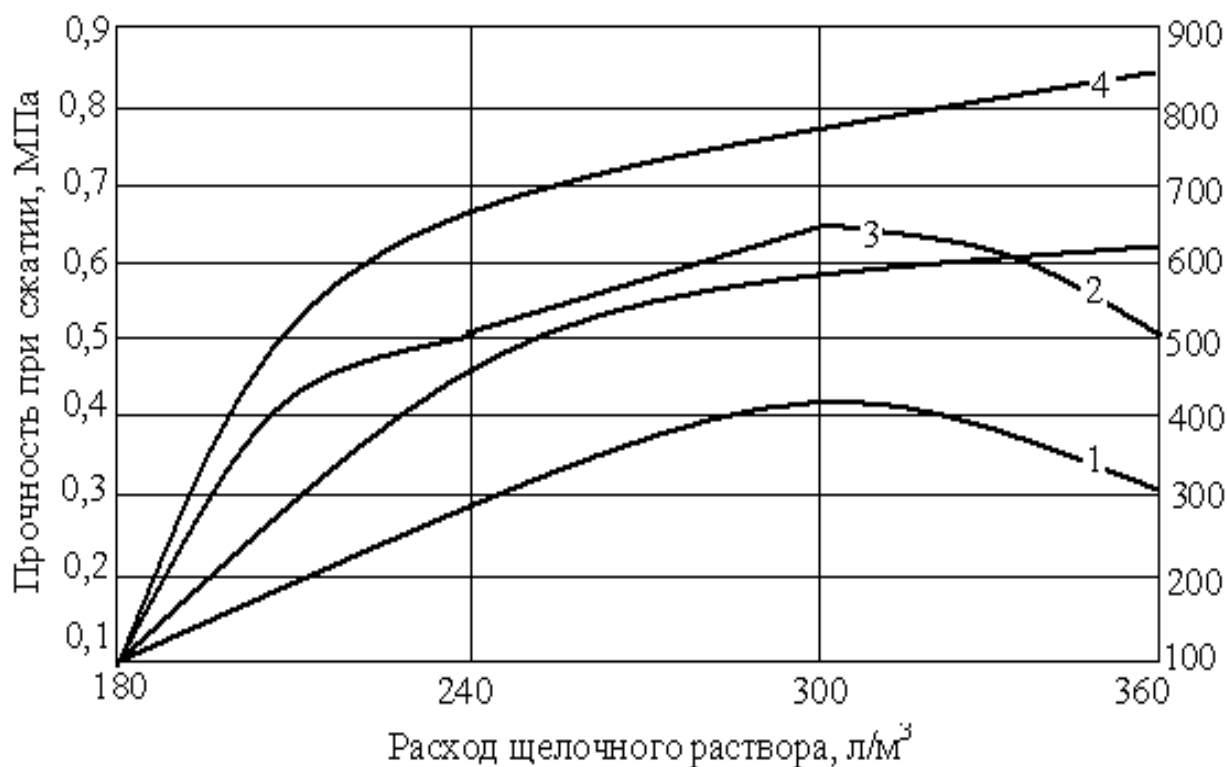


Рис.3.10. Зависимость прочности, плотности шлакощелочного арболита от расхода щелочного компонента и условий твердения:
 1 – плотность арболита после термообработки;
 2 – плотность арболита через 28 сут естественного твердения;
 3 – предел прочности при сжатии арболита через 28 сут;
 4 – предел прочности при сжатии арболита после термообработки

Результаты показывают, что для получения материала с высокими прочностными качествами и структурной однородностью оптимальное растворошлаковое отношение Р/Ш для шлакощелочной арболитовой смеси должно находиться в зависимости от типа органического заполнителя в пределах 0,8–1,1.

Результаты экспериментальных работ показали, что при дальнейшем увеличении расхода щелочного раствора, удобоукладываемость арболитовой смеси улучшается, но повышенный расход щелочного раствора приводит к снижению прочности, повышению плотности и влажности арболита. Кроме того, повышенный расход щелочного раствора во время формовки приводит к выделению излишка жидкости, вследствие этого структурная однородность получаемого материала нарушается.

3.1.4. Влияние свойств хлопчатника на физико-механические характеристики шлакощелочного арболита

Для исследования влияния свойств органического заплонителя на физико-механические характеристики шлакощелочного арболита использован собранный урожай хлопка 2011 г. с влажностью 8–9 % по массе, хранившийся на открытом воздухе. Хлопчатник подвергли измельчению в оборудовании FJ60-1500 с размерами отверстий 10, 15, 20, 28, 35 и 15–18 мм при расстоянии между отверстиями 5–10 мм.

Фракционный состав и физические свойства измельченных стеблей хлопчатника приведены в табл. 3.5 и 3.6.

Проба 6 получена просеиванием измельченного хлопчатника с влажностью 70 % по массе на решетке с диаметром отверстий 15–18 мм, а проба 7 – на решетке с диаметром отверстий 28 мм при измельчении стеблей хлопчатника с влажностью 8% по массе с примесью хлопка (8% от массы стеблей).

Среди основных факторов, влияющих на свойства измельченных стеблей хлопчатника, учитываются влажность и содержание остатка хлопка.

Из табл. 3.5 видно, что при измельчении стеблей с влажностью 70% по массе укрупняется фракция заполнителя: сумма остатков на ситах 2,5–20 мм – 92%, а доля фракции менее 2,5 мм значительно уменьшается – 8%.

При измельчении стеблей с влажностью 8% по массе (пробы 1–5) становятся более хрупкими и размалываются на более мелкие фракции (менее 2,5 мм), которые составляют от 5 до 39% по массе. Результаты испытаний показали, что при увеличении размера отверстий решета количество крупной фракции сухих стеблей хлопчатника (влажность 8% по массе) укрупняется, значительно снижается доля мелкой фракции.

Таблица 3.5

Фракционный состав измельченных стеблей хлопчатника

Номер пробы	Решета с диаметром отверстий	Частные остатки на ситах, %					
		40	20	10	5	2,5	менее 2,5
1.	10	–	–	2–5	25–29	36–40	–
2.	15	–	6–8	4–9	37–41	26–41	–
3.	20	2–3	7–8	11–15	47–48	19–22	8
4.	28	9–17	4–6	10–13	37–38	20–23	
5.	35	28–35	6–7	21–23	21–25	10–15	
6.	15–18	29	5	12	48	27	–
7.	13–28	–	18	7	18	17	–

Таблица 3.6

Физические свойства измельченных стеблей хлопчатника

Номер пробы	Фракционные решета с диаметром отверстий, мм	Плотность, кг/м ³	Водопоглощение через 15 мин, %	Содержание, %		
				хлопка	очесов	влаги
1	10	140–150	200	–	–	8
2	15	120–129	180	–	6–8	8
3	20	2–95	174	–	9–10	8
4	28	73–92	166	–	13–23	8
5	35	50–60	159	–	21–31	8
6	15–18	110–120	128	–	–	70
7	28	55–65	600	8	21–30	8

В пробе 5 фракции с размерами 40 мм составляют 28–35 % по массе, а фракции менее 2,5 мм – 5–6 % по массе.

Известно [5, 12, 26, 58, 60, 87, 88], что качество арболита зависит и от качества целлюлозного органического заполнителя, в основном – от фракционного состава измельченного заполнителя.

Установлено, что введение в состав арболита на основе измельченных стеблей хлопчатника комплексных щелочных компонентов-добавок из силиката натрия и содосульфатной смеси приводит к появлению в ней новых гидратных соединений, повышающих степень гидратации шлакощелочного камня.

Таким образом, из экспериментальных данных следует, что основную прочность арболиту придает наличие в его составе щелочных компонентов и активных добавок.

Шлакощелочной арболит способен гидратироваться при введении нейтрализующих добавок и ускорителя твердения.

Водорастворимые вещества органических заполнителей (стеблей хлопчатника и др.), подобно ПАВ, обволакивают частицы вяжущего за счет адсорбционного механизма [12, 72, 88–90]. Слой этого вещества препятствует глубокому проникновению воды для гидратации вяжущих минералов, что образует отдельные формы, покрытые поверхностно-активным веществом, разрыхляет структуру шлакощелочного камня, а также нарушает связь (адгезию) вяжущего с заполнителем.

Процесс вымачивания заполнителя очищает его поверхность от пылевидных частичек, образующихся при измельчении стеблей, примесей коры, хвои, листьев и др.

Отличие измельченных стеблей хлопчатника от древесной дробленки – наличие очесов и хлопка.

В данной диссертации при изучении влияния указанных факторов на физико-механические свойства шлакощелочного арболита для 7 составов арболитовой смеси использованы 7 проб измельченных стеблей хлопчатника, полученных на решетках с диаметром отверстий 10, 12, 15, 18, 20, 28, 35 мм (табл. 3.7).

Составы шлакощелочной арболитовой смеси

Наименование компонентов	Составы арболитовой смеси, масс. %, на органических заполнителях, полученных при использовании решет с отверстиями, мм						
	1	2	3	4	5	6	7
	10мм	15мм	20мм	28мм	35мм	15– 18мм	28мм
Измельченные стебли хлопчатника	16,4	16,4	14,7	14,4	14,7	14,5	14,5
Зола-унос	29,5	30,5	31,2	32,4	36,3	32,7	32,7
Электротермофосфор ный шлак	19,6	18,6	18,6	18,9	19,9	18,4	18,8
Жидкое стекло	34,5	34,5	35,5	34,3	37,5	34,4	34,0

Изучение влияния фракции измельченных стеблей хлопчатника показало, что использование в составе шлакощелочного арболита заполнителей с большим содержанием мелких фракций (табл. 3.7 и 3.8, состав 1) повышает плотность арболита, однако прочность его остается относительно невысокой: в 28-суточном возрасте – 1,5МПа.

Использование в составе шлакощелочного арболита измельченных стеблей хлопчатника со значительным содержанием крупных фракций (состав 5), где имеются очесы (21–30% от массы стеблей), ухудшает смешиваемость формуемой смеси (визуально установлено).

При этом образуются комки из очесов, что затрудняет получение однородной массы по объему, а также увеличивает коэффициент уплотнения и удельное давление прессования.

Последнее приводит к получению арболита относительно низкой прочности, (в 28-суточном возрасте – 0,9МПа) и осложнению технологии приготовления материала.

Снижение прочности арболита происходит и из-за того, что при измельчении стеблей хлопчатника, кора не полностью отделяется от ствола и тем самым снижает адгезию шлакощелочного вяжущего камня к стволу.

**Физико-механические свойства шлакощелочного арболита
на основе измельченного хлопчатника**

Физико-механические свойства	Фракционные размеры, мм						
	10	15	20	28	35	15–28	28
Предел прочности при сжатии, МПа, со сроками твердения:							
- 7 сут	0,8	1,0	1,2	1,0	0,7	1,3	0,6
- 28 сут	1,1	1,6	1,8	1,5	2,1	1,9	1,0
Средняя плотность, кг/м ³	610	570	550	530	620	560	520
Коэффициент теплопроводности, Вт/мК	0,11	0,10	0,091	0,08	0,07	0,1	0,07
Морозостойкость, Мрз не менее	25	25	25	25	25	25	25

Крупные фракции и длинные очесы, имея низкую плотность, при равном расходе заполнителя на единицу объема шлакощелочного арболита требуют большего давления для уплотнения (формования) смеси, поэтому упругая деформация (релаксация) арболита заканчивается более чем за 24 ч, что требует длительного содержания изделий в форме. Это приводит к снижению оборачиваемости форм и изменению геометрических форм изделий за счет непогашенных напряжений структуры шлакощелочного арболита.

Увеличение удельного давления прессования более 0,6–0,7 МПа приводит к выделению влаги у составов 3, 4 и 7. Так, состав 7 выделил влаги более 80кг на 1 м³ смеси при удельном давлении прессования 1,0–1,2 МПа (рис.3.11).

Наличие остатков хлопка (8 % по массе) в заполнителе привело к комкованию смеси при перемешивании. Это происходит за счет большей удельной поверхности хлопка, который, переплетаясь с очесами стеблей (за счет сил трения), образует комки. Комки снижают однородность смеси, что отрицательно влияет на прочностные свойства шлакощелочного арболита.

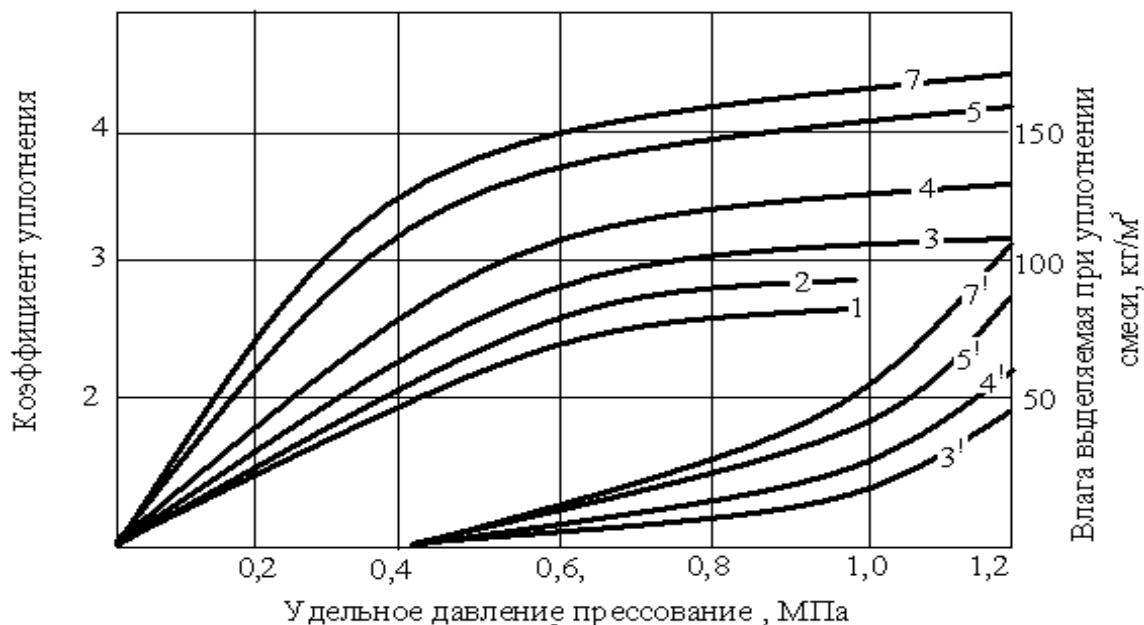


Рис. 3.11. Влияние удельного давления прессования на коэффициенты уплотнения и выделение влаги в арболитовой смеси: 1,2,3,5,7 – коэффициент уплотнения арболитовых смесей на заполнителях, полученных соответственно с применением решет с диаметром отверстий 10, 15, 20, 28, 35 и 28мм (содержание хлопка – 8%); 3¹, 4¹, 5¹, 7¹ – выделение влаги при уплотнении арболитовой смеси на заполнителях, полученных с применением решет с диаметром отверстий 20, 28, 35 и 28мм (содержание хлопка – 8 %)

У хлопка и очеса водопоглощение значительно выше, чем у ствола стеблей. Набранная влага при вымачивании не вытекает при обычных условиях, т.е. без проведения дополнительного технологического мероприятия. Удаление ее возможно только физическим способом: прессованием, вакуумированием или сушкой.

Большое количество влаги на месте скопления комков при уплотнении смеси прессованием приводит к тому, что выжимающаяся влага (комковая) увлекает с собой вязущее молоко и добавки, а в затвердевшем арболите образуются поры. Все это приводит к большому расходу вязущих и добавок, осложняет технологический процесс.

Измельченные стебли хлопчатника, полученные при применении решет с размерами отверстий 15, 20, 28, 15–18мм, по сравнению с заполнителями, полученными на решетках с диаметрами отверстий 10 и 35мм, позволяют:

- изготавливать шлакощелочные арболитовые изделия с относительно высокими прочностными свойствами;
- экономить вяжущие вещества;
- снизить плотность арболита;
- повысить технологичность или уменьшить время достижения однородности арболитовой смеси;
- получить оптимальную (однородную) структуру арболита.

Наиболее оптимальными фракциями для получения конструкционного арболита являются измельченные стебли хлопчатника, полученные при применении решет с диаметрами отверстий 15–18 и 20мм.

3.1.5. Определение причин снижения прочности

шлакощелочного арболита на измельченных стеблях хлопчатника

Повышение прочности, ускорение структурообразования и затвердевания являются важными факторами, позволяющими повысить качество и получить энерго- и металлосберегающую технологию производства цементного арболита на измельченных стеблях хлопчатника.

Известно, что в арболитах на древесной дробленке, костре конопли и льна и других применяется ряд добавок для нормализации свойств [1, 4, 5, 15, 18]. В данной диссертации в арболите на измельченных стеблях хлопчатника предлагается использовать добавки, состоящие из жидкого стекла и хлорида кальция.

С целью выявления причин, замедляющих процесс нарастания прочности арболита на измельченных стеблях хлопчатника и добавках, изучена кинетика структурообразования и затвердения данных шлакощелочных комплексных минералов и вяжущих.

Химическая агрессивность измельченных стеблей хлопчатника изучалась по степени и характеру влияния их водоэкстрактивных веществ (ВЭВ) на процессы структурообразования и затвердевания шлакощелочных комплексных минералов и вяжущих. С этой целью определялось количество простых сахаров в ВЭВ стеблей хлопчатника, выделяемых при вымачивании стеблей по методике [89–91].

Методика изучения влияния ВЭВ стеблей на структурообразование и затвердевание шлакощелочного камня заключалась в следующем: стебли хлопчатника тонко измельчались и просеивались через сито 06, по технологии производства арболита изготавливались образцы размером 15×15×15 мм с добавкой и без нее.

Предел прочности при сжатии определяли через 1, 3, 7, 14, 28, 56 суток на гидравлическом прессе разрушающим методом.

Изучение кинетики нарастания прочности в малых образцах арболита на различных шлакощелочных минералах с добавками дало возможность выяснить, какие минералы шлакощелочного вяжущего способны гидратироваться в составе арболита.

Для изучения влияния соотношения комплексных щелочных компонентов на прочность шлакощелочного арболита использована содосульфатная смесь в виде водного раствора плотностью 1200 кг/м³, которую добавляли в жидкое стекло с силикатным модулем Мс 3. Влияние содосульфатной смеси на прочность шлакощелочного арболита рассматривали также в вяжущей системе на основе электротермофосфорного шлака.

Найдено, что введение в качестве добавки содосульфатной смеси значительно углубляет гидратацию шлакового стекла, а также способствует образованию волокнистых гидросульфатоалюминатов кальция, выполняющих роль дополнительной арматуры и уплотняющих структуру цементного камня.

При производстве сборных железобетонных изделий применяют различные способы их тепловой обработки: пропаривание при нормальном давлении пара, обработку в автоклавах, нагрев в закрытых формах, электротермообработку.

Самым распространенным способом ускоренного твердения бетона является пропаривание в камерах с температурой 60–100°C при атмосферном давлении.

Тепловая обработка играет важную роль в производстве арболита. При такой обработке сокращаются сроки твердения изделий и повышаются прочностные и строительно-эксплуатационные качества арболита.

Для определения сроков твердения и набора прочности изготовленные шлакощелочные арболитовые образцы с различными сроками выдержки направлялись на теплообработку в специально оборудованную сушильную камеру. Теплообработка велась в сухой среде при температуре до 80 °С в течение 12–14 ч. После теплообработки образцы расформировались и до проведения испытаний хранились в условиях лабораторий.

В процессе изготовления изделий исследованы вид и параметры обработки, позволяющей получать в минимально возможные сроки шлакощелочной арболит с оптимальными показателями прочности, средней плотности и влажности. При этом отрабатывались условия и параметры тепловой обработки, время выдержки изделий из шлакощелочного арболита перед тепловой обработкой. Для сравнения сроков набора прочности шлакощелочные арболитовые образцы также подвергались к тепловлажностной обработке давлением насыщенного пара 08–12 МПа при температуре 175–193°C в течение 5–6 ч.

Результаты (рис. 3.12) показали, что при тепловой обработке, когда в состав компонента вводили содосульфатную смесь, предел прочности арболитовых образцов при сжатии на 10–15% выше, чем у образцов, подвергнутых тепловлажностной обработке. Увеличение количества содосульфатной смеси в составе щелочного компонента до 70% по объему приводит к повышению прочности шлакощелочного арболита.

Установлено, что прочность арболита то на жидком стекле составляет 1,3 и 1,6 МПа соответственно для образцов, подвергнутых тепловлажностной обработке и тепловой обработке, прочность образцов с содосульфатной смесью 75% соответственно составила 2,1 и 2,5 МПа. Однако дальнейшее увеличение количества содосульфатной смеси приводит к резкому снижению прочности

арболитобетона. Содосульфатная смесь положительно влияет на сроки схватывания арболита.

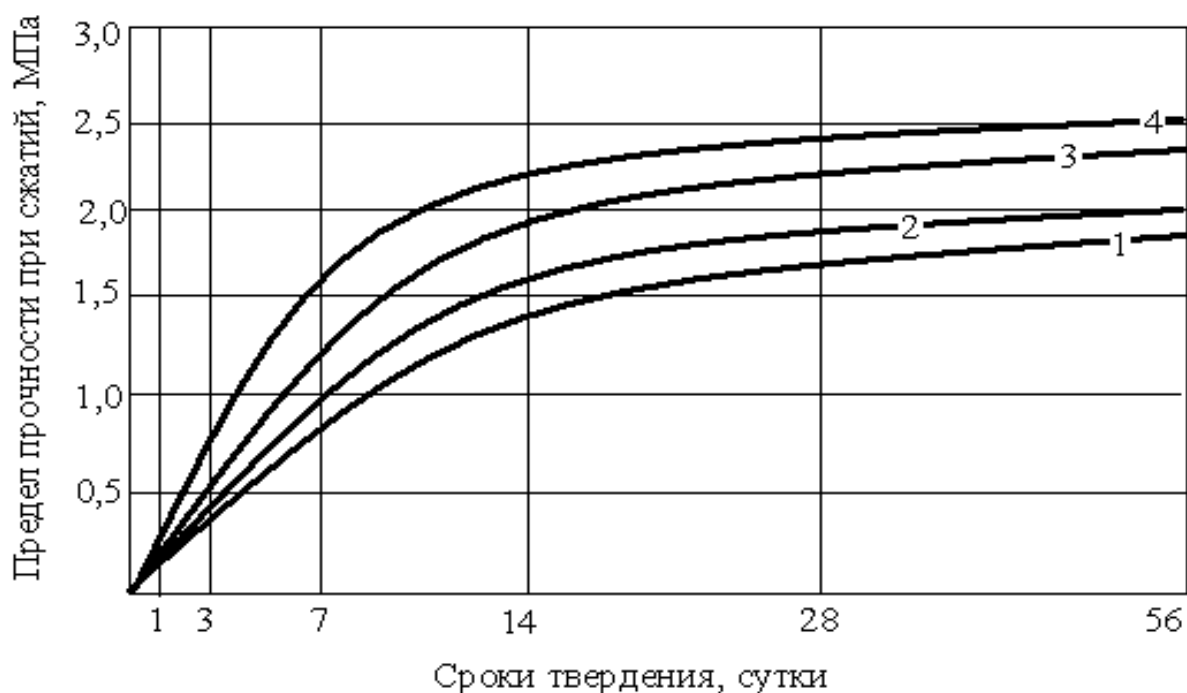


Рис. 3.12. Предел прочности при сжатии шлакощелочного арболита различного состава в зависимости от условий и сроков твердения:

- 1 – арболит на жидком стекле;
- 2 – арболит на жидком стекле после тепловой обработки;
- 3 – арболит на электротермофосфорном шлаке;
- 4 – арболит на электротермофосфорном шлаке после тепловой обработки

Таким образом, применение содосульфатной смеси в шлакощелочных вяжущих на основе электротермофосфорного шлака, приводит к увеличению прочности шлакощелочного арболита до 45%. Кроме того, введение содосульфатной смеси в состав вяжущего приводит к значительному снижению стоимости вяжущего за счет экономии дефицитного промышленного жидкого стекла.

На рис.3.12 видно, что арболиты на жидком стекле в начальные сроки незначительно набирают прочность, в 7-суточном возрасте прочность их достигает 1,2 МПа. При поздних сроках твердения нарастания прочности не наблюдается.

Арболиты на содосульфатной смеси в шлакощелочных вяжущих на основе электротермофосфорного шлака показывают, что кинетика набора их прочности довольно высокая: в возрасте 56 сут с момента затвердения смеси прочность их составила соответственно 2,1 и 2,5 МПа (см. рис.3.12).

Таким образом, степень гидратации минералов содосульфатной смеси на основе электротермофосфорного шлака в арболите довольно высокая.

Данные эксперимента по изучению кинетики нарастания прочности шлакощелочного арболита показывают, что при введении в него добавок из содосульфатной смеси на основе электротермофосфорного шлака прочность повышается на 40–45% (см. рис.3.12).

Влияние водозэкстрактивных веществ на прочностные характеристики арболита изучали методом двухсуточной водной вытяжки из стеблей хлопчатника, на которой впоследствии затворяли образцы шлакощелочного арболитобетона.

Исследования показали, что содержащиеся в водной вытяжке водозэкстрактивные вещества незначительно влияют на прочностные характеристики арболита (табл.3.9).

Таблица 3.9

**Зависимость предела прочности шлакощелочного арболита,
затворенного двухсуточной водной вытяжкой
стеблей хлопчатника**

Составы арболита	Предел прочности при сжатии, МПа, через сут					
	1	2	3	4	5	6
1. Зола-унос+щелочной компонент+стебли хлопчатника	0,57	0,65	0,9	1,2	1,9	2,3
2. Электротермофосфорный шлак+щелочной компонент+стебли хлопчатника	0,62	0,67	0,95	1,27	2,0	2,4

При затворении раствором водозэкстрактивные вещества стеблей хлопчатника растворяются, частично смываются, а оставшиеся на поверхности

заполнителя повышают его химическую активность по отношению к нейтрализатору.

После первичной обработки заполнителя вредное действие снижается и создаются условия гидратации шлакощелочного раствора в зоне контакта. Общее количество водозэкстрактивных веществ в стеблях хлопчатника – 2–3%. Из них простых сахаров в стволе – 0,08%, а в коре – 1,62% (исследованию подвергались стебли хлопчатника, хранящиеся на воздухе, через год после сбора).

Анализ экспериментальных данных позволяет сделать выводы:

- водозэкстрактивные вещества стеблей хлопчатника, находящиеся в водном экстракте, при затворении им шлакощелочных вяжущих не снижают их прочности. На кинетику нарастания прочности камня вяжущего они влияют незначительно, если количество сахара в водозэкстрактивных веществах по отношению к массе вяжущего составляет менее 0,1%;

- снижение прочности арболита при введении шлакощелочного раствора и его составляющих в арболитовую смесь происходит при большой концентрации сахара в водозэкстрактивных веществах на поверхности заполнителя, если количество сахара превышает массу шлакощелочного вяжущего более 0,1 %;

- в присутствии нейтрализаторов и ускорителей твердения основной минералов, придающих прочность шлакощелочному арболиту на измельченных стеблях хлопчатника, является содосульфатная смесь в шлакощелочных вяжущих на основе электротермофосфорного шлака.

Из этих выводов следует, что расход нейтрализующих добавок зависит от удельной поверхности заполнителя и количества сахара, содержащегося на поверхности измельченных стеблей хлопчатника, а расход ускорителей твердения зависит от количества шлакощелочных вяжущих и расхода нейтрализующих добавок. Однако при применении этих комплексных добавок необходимо, чтобы кинетика нарастания прочности арболита соответствовала требованиям норматива и даже его превышала.

3.1.6. Влияние последовательности перемешивания компонентов арболитовой смеси на свойства арболита

Для определения зависимости свойств арболитобетона от технологических параметров было изучено влияние последовательности перемешивания шлакощелочных компонентов арболитовой смеси на ее прочностные характеристики.

Как видно из полученных результатов (табл. 3.10), после термообработки и после естественного твердения через 28 сут выдержки предел прочности шлакощелочного арболита повышается.

Приготовление арболитовых образцов выполнялось следующей последовательностью перемешивания компонентов: в водный раствор щелочного компонента добавлялся органический наполнитель, затем алюмосиликатный компонент вяжущего.

При приготовлении органического наполнителя совместно с вяжущим раствором во избежание выделения экстрактивных веществ, препятствующих нормальной гидратации вяжущего, как известно, предусматривается предварительная обработка наполнителя механическими или химическими способами.

В принятом нами способе водный раствор щелочного компонента частично выполняет роль минерализатора экстрактивных веществ и, адсорбируясь на поверхности наполнителя, решает проблемы его предварительной обработки.

Прочность и плотность шлакощелочного арболита зависят от коэффициента уплотнения, т.е. от отношения плотности свежееуложенной к плотности рыхлонасыпанной арболитовой смеси.

Поэтому с увеличением удельного давления прессования увеличиваются коэффициент уплотнения, плотность арболита и незначительно его предел прочности при сжатии (рис. 3.13).

**Влияние последовательности перемешивания компонентов
на предел прочности при сжатии арболита**

Компоненты на 1м ³ арболита				Последовательность Перемешивания компонентов	Предел прочности при сжатии, МПа	
Стебли хлопчат ника, кг	Зола- унос, кг	Электротер мофос- форный шлак, кг	Щелочно йраствор, м ³		После теплооб работки	Через 28 сут
120	250	–	0,300	(Зола-унос + щелочной компонент) + стебли хлопчатника	0,32	0,70
120	250	–	0,300	(Стебли хлопчатника + зола-унос) + щелочной компонент	0,30	0,56
120	250	–	0,300	(Стебли хлопчатника + 0,5 щелочной компонент) + (зола-унос + 0,5 щелочной компонент)	0,28	0,56
120	250	–	0,300	(Стебли хлопчатника + щелочной компонент + зола-унос)	0,34	0,7
120	–	300	0,300	(Электротермофосфорны й шлак + щелочной компонент) + стебли хлопчатника	0,56	0,95
120	–	300	0,300	(Стебли хлопчатника +электротермофосфорны й шлак) + щелочной компонент	0,56	0,90
120	–	300	0,300	(Стебли хлопчатника + 0,5 щелочной компонент) + (электротермофосфорны й шлак + 0,5 щелочной компонент)	0,40	0,80
120	–	300	0,300	(Стебли хлопчатника + щелочной компонент) + электротермофосфорный шлак	0,60	1,00

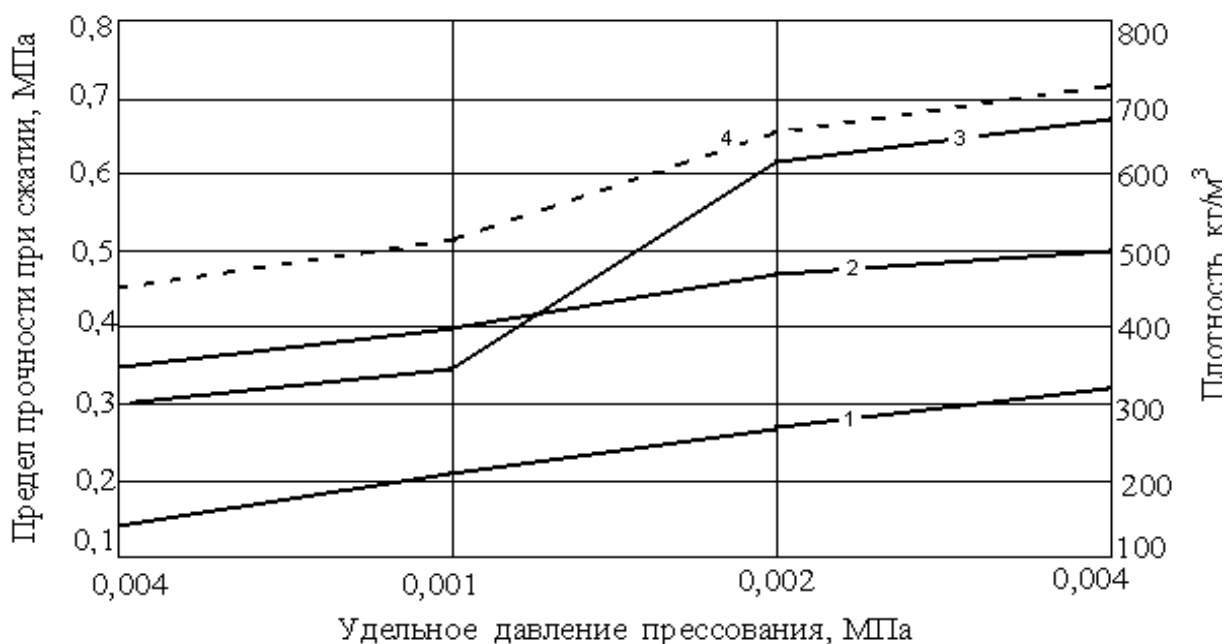


Рис.3.13. Влияние удельного давления прессования на предел прочности при сжатии и плотность шлакощелочного арболита:
 1 – прочность после термообработки;
 2 – прочность через 28сут; 3 – плотность через 28 сут;
 4 – плотность после термообработки

Так, например, увеличение удельного давления прессования в 10 раз (от 0,004 до 0,04 МПа) приводит к повышению прочности арболита всего в 2 раза (с 0,3 до 0,6 МПа). Но при повышенном коэффициенте уплотнения между параллельными поверхностями, т.е. между дном формы и крышкой, одновременно с уплотнением смеси происходит перемещение частиц заполнителя.

Существует мнение [5], что для получения арболитовых изделий одинаковой плотности при уплотнении арболитовой смеси обычным прессованием необходимо приложить усилие в 10–20 раз больше, чем при прессовании вибропригрузом. Поэтому, опираясь на полученные результаты и известные данные, в дальнейших исследованиях мы образцы формовали с пригрузом при удельном давлении прессования 0,02 МПа.

Известно [1, 2, 4, 12, 72, 79, 87–90], что производство арболитовых изделий связано с большими технологическими трудностями из-за медленных сроков

схватывания смесей и пониженной скорости твердения вследствие агрессивных влияний заполнителей на вяжущие, т.е. отрицательного влияния водоэкстрактивных веществ органического заполнителя на его твердение.

Из-за медленного набора прочности арболитом около половины площадей цехов по производству арболитовых изделий отводится на «высыхания».

Известно [1, 4, 5], что при температуре среды более 40°C прочность арболита снижается, поскольку при этой температуре органический заполнитель начинает интенсивно выделять вещества, отрицательно влияющие на схватывание и твердение вяжущего.

Однако есть мнение [1, 4, 17], что увеличение отрицательного влияния экстрактивных веществ органического заполнителя на гидратацию портландцемента при повышенных температурах по сравнению с нормальным твердением не является основной причиной потерь прочности в условиях тепловой обработки.

Для изучения влияния тепловой обработки было проведено определение условий этой обработки шлакощелочного арболита на сроки набора им прочности.

Рассматривались составы арболита на портландцементе и безобжиговых щелочных вяжущих на основе золы-уноса и электротермофосфорного шлака с одинаковыми расходами составляющих (табл.3.11).

Показано (рис. 3.14), что для портландцементного арболита интенсивные режимы термообработки действительно являются малоэффективными.

А для шлакощелочного арболита на основе золы-уноса и электротермофосфорного шлака, наоборот, с повышением температуры тепловой обработки распалубочная прочность повышается и составляет 0,44–0,9 МПа.

Для шлакощелочного арболита на основе золы-уноса и электротермофосфорного шлака оптимальной температурой тепловой обработки является 80°C.

Составы арболита и режимы тепловой обработки

Расход материала на 1 м ³ арболита						Режим тепловой обработки, ч	Температура, °К
Зола-унос, кг	Электро термофосфорный шлак, кг	Стекло натриево жидкое, кг/м ³	Содосульфатная смесь, кг/м ³	Портландцемент, кг	Вода, л		
300	–	0,15	0,15	300	0,25	3+2+12+3	313
–	–	0,23	–				
–	300	0,275	–				
300	–	0,15	0,15	300	0,25	3+2+12+3	333
–	–	0,23	–				
–	300	0,275	–				
300	–	0,15	0,15	300	0,25	3+2+12+3	353
–	–	0,23	–				
–	300	0,275	–				
300	–	0,15	0,15	300	0,25	3+2+12+3	363
–	–	0,23	–				
–	300	0,275	–				

Полученные результаты указывают на то, что при температуре тепловой обработки 90°С прочность образцов на 0,05 МПа выше, но этот эффект по сравнению с энергозатратами незначителен (рис.3.15).

Найдено, что при тепловой обработке 80 °С можно получить распалубочную прочность изделий 50–80% от суточной прочности.

Следовательно, в отличие от портландцементного арболита, интенсивные режимы тепловой обработки благоприятно влияют на прочность шлакощелочного арболита, в частности повышают его распалубочную прочность.

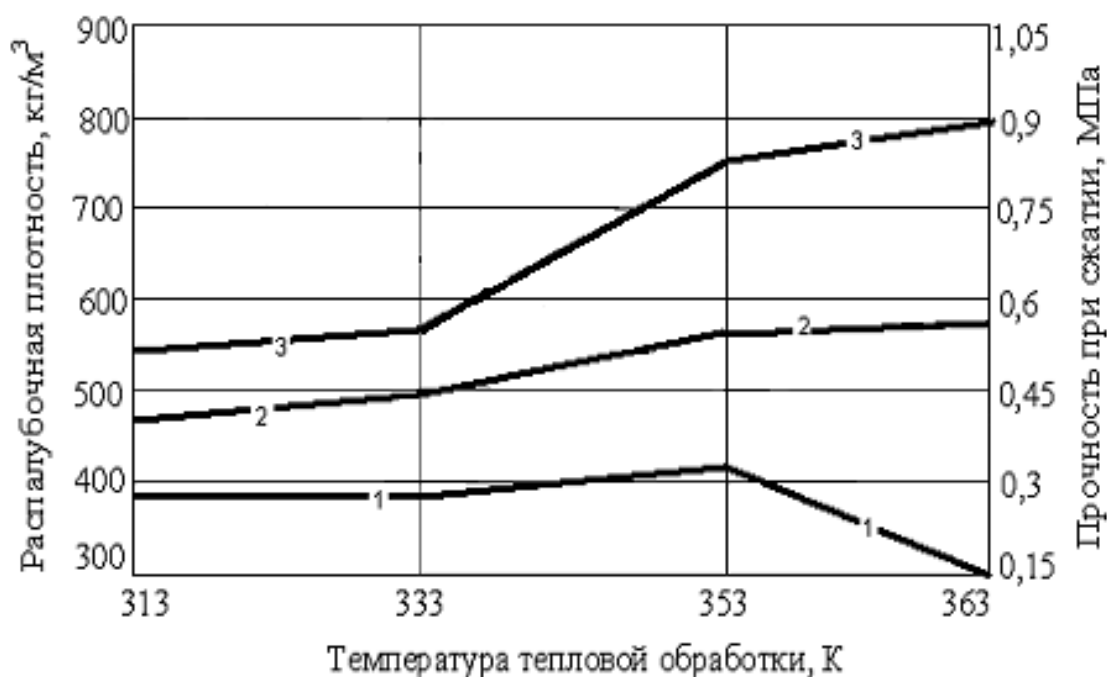


Рис.3.14. Влияние температуры тепловой обработки на предел прочности при сжатии и плотность арболита после тепловой обработки:

- 1 – арболит на портландцементном вяжущем;
- 2 – арболит на золощелочном вяжущем;
- 3 – арболит на шлакощелочном вяжущем

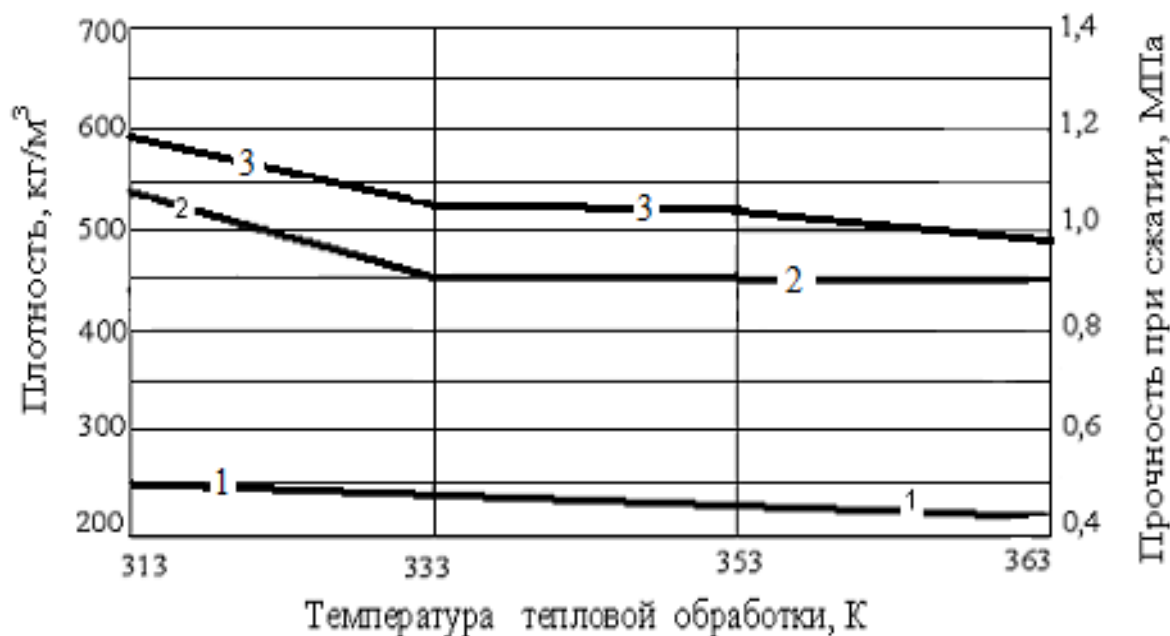


Рис.3.15. Влияние температуры тепловой обработки на предел прочности и плотность арболита через 28 сут:

- 1 – арболит на портландцементном вяжущем;
- 2 – арболит на золощелочном вяжущем;
- 3 – арболит на шлакощелочном вяжущем

Разработанные шлакощелочные вяжущие, в отличие от портландцемента, имеют короткие сроки схватывания. Это приводит к тому, что водоэкстрактивные вещества заполнителя за это время полностью не успевают выделиться и тем самым отрицательно влиять на прочность вяжущего.

3.2. Проектирование состава, исследование свойств и разработка технологии производства шлакощелочного арболита на основе стеблей хлопчатника

3.2.1. Проектирование состава шлакощелочного арболита на основе стеблей хлопчатника

Учитывая полученные результаты по влиянию технологических факторов изготовления арболита, подбор состава шлакощелочного арболита мы производили методом математического планирования эксперимента.

Значения факторов, их уровни варьирования приняты такими, чтобы они в наибольшей степени охарактеризовали особенности состава и технологию получения разрабатываемого материала (табл. 3.12).

Таблица 3.12

Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Шаг варьирования	Обозначения
Натуральный	Кодированный	Нижний	Основной	Верхний		
ЗУ	X_1	200	250	300	50	Z_1
СТК	X_2	90	120	150	30	Z_2
ЩР	X_3	200	250	300	50	Z_3

Примечание:ЗУ – содержание золы-уноса в 1 м³ арболита X_1 ; СТК – стебли хлопчатника, кг X_2 ;ЩР – содержание щелочного раствора, л, X_3 .

Получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = 5,81 + 1,593X_1 + 0,74X_2 + 0,493X_1X_2 + 0,993X_1X_3 + 0,218X_1X_2X_3. \quad (3.3)$$

Как показал статический анализ изменения исследуемых факторов, установленные зависимости с 5 % ошибкой первого рода можно считать

математическими моделями соответствующих величин. Поставив в уравнение (3.3) натуральные значения, получим уравнение вида

$$Y = 21,539 - 0,01987Z_1 - 0,03279Z_2 - 0,0674Z_3 - 0,0003964Z_1Z_2 + \\ + 0,0000492 Z_1 Z_3 - 0,0000984Z_2Z_3 + 0,0000029Z_1Z_2Z_3. \quad (3.4)$$

Графический анализ уравнения (3.4) представлен на рис. 3.16–3.18.

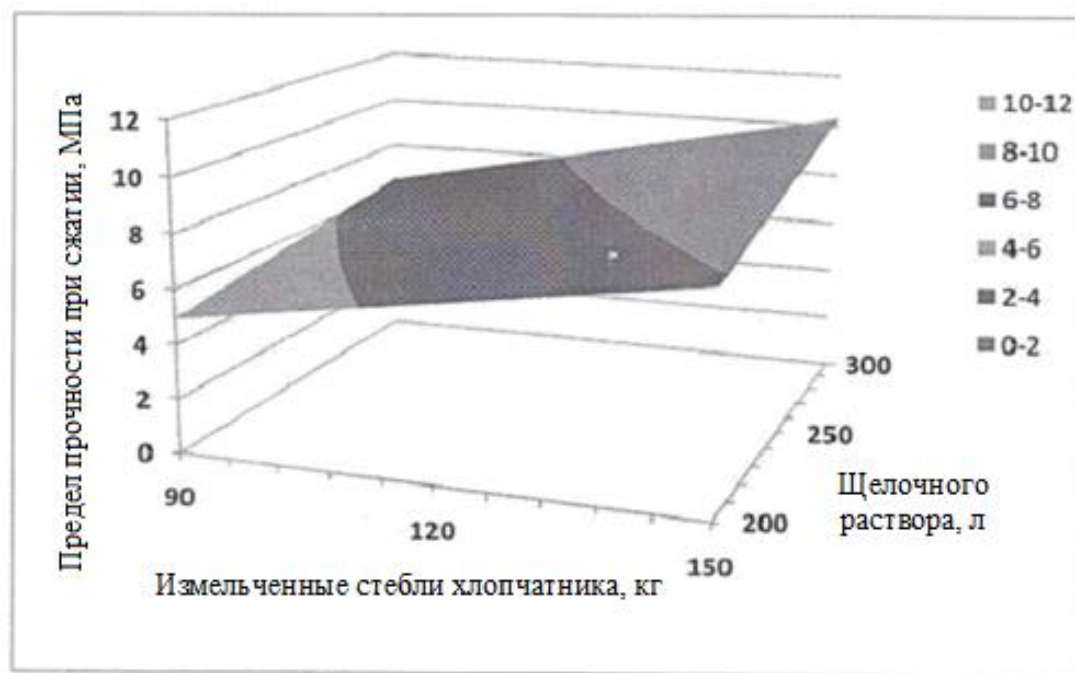


Рис. 3.16. Зависимость предела прочности при сжатии шлакощелочного арболита от расхода измельченных стеблей хлопчатника и щелочного компонента в количестве 300 л/м³

Анализ данного уравнения (3.4) показал, что все рассматриваемые факторы оказывают существенное влияние. Оценка результатов исследований позволила вывести общую зависимость прочности в пределах регулирования принятых факторов Z_1 , Z_2 , Z_3 . Зависимость предела прочности при сжатии арболита от расхода золы-уноса носит линейный характер. Причем область оптимальных значений расхода золы-уноса, определяющих достижение максимальной прочности, корректируется оптимальным расходом щелочного компонента.

Анализ показал (см. рис. 3.16–3.18), что требуемую прочность шлакощелочного арболита на золе-уносе и стеблях хлопчатника со средней плотностью 550 кг/м³ можно получить при регулировании переменных факторов

в широких пределах. Это позволило выбрать оптимальные составы арболита по технологическим, технико-экономическим и другим соображениям.

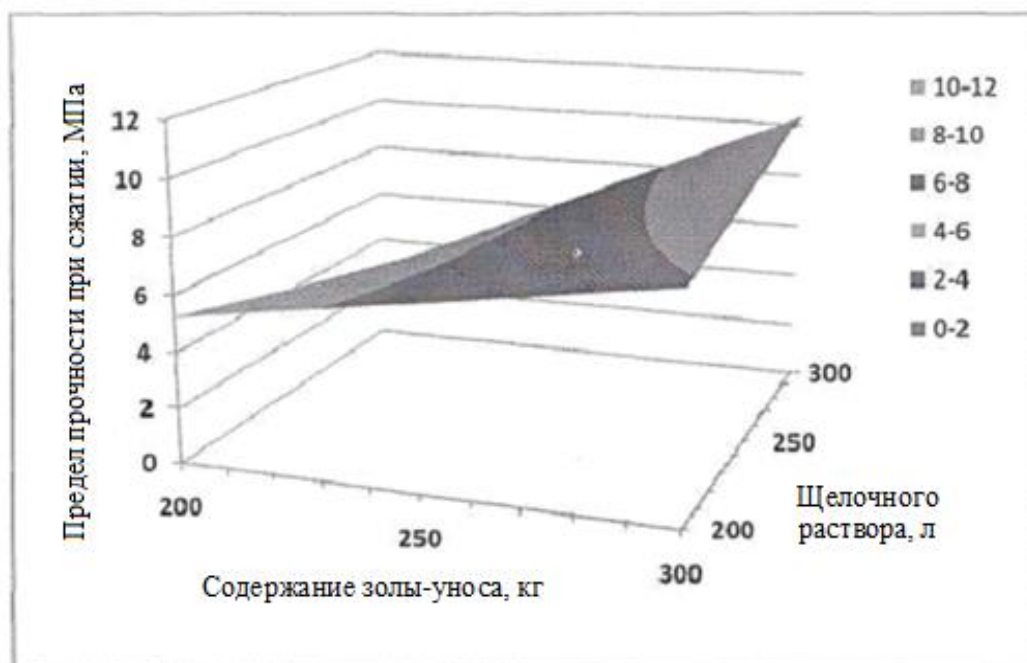


Рис. 3.17. Зависимость предела прочности при сжатии шлакощелочного арболита от расхода золы-уноса и щелочного компонента в количестве 300 л/м³

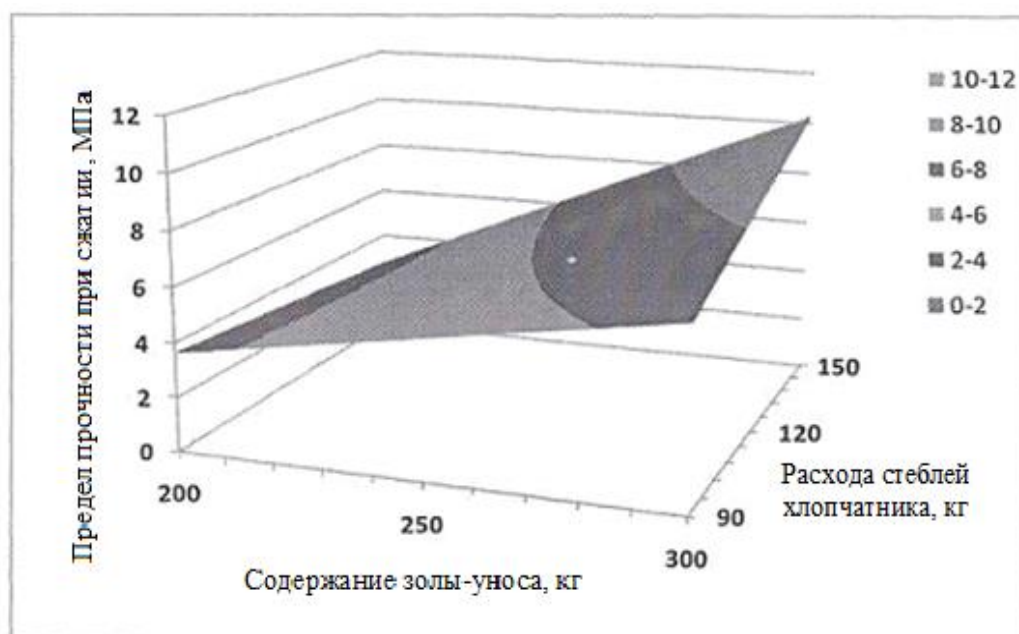


Рис. 3.18. Зависимость предела прочности при сжатии шлакощелочного арболита от расхода золы-уноса при количестве измельченных стеблей хлопчатника 120 кг/м³

Так, например, для получения арболита марки 25 при содержании стеблей хлопчатника 90 кг/м^3 и расходе щелочного компонента 300 л/м^3 содержание золы-уноса должно составлять 250 кг/м^3 , а при расходе стеблей хлопчатника 120 кг/м^3 и щелочного компонента 300 л/м^3 расход золы-уноса составляет 210 кг/м^3 .

Варьируя расход стеблей хлопчатника и щелочного компонента, можно многократно сократить расходы золы-уноса.

Наиболее оптимальны соотношения компонентов арболита на основе золы-уноса и стеблей хлопчатника с плотностью $500\text{--}550 \text{ кг/м}^3$ и прочностью при сжатии $1,5\text{--}2,1 \text{ МПа}$.

Таким образом, на шлакощелочном вяжущем с использованием стеблей хлопчатника можно получить теплоизоляционно-конструкционный арболит с пределом прочности при сжатии до $1,8\text{--}2,5 \text{ МПа}$.

3.2.2. Зависимость плотности и прочности шлакощелочного арболита от вида вяжущего и заполнителя

Плотность арболита зависит от насыпной плотности и расхода органического заполнителя вяжущего на 1 м^3 готового изделия. Плотность арболита можно снизить без уменьшения прочности, увеличивая расход органического заполнителя и удельное давление при уплотнении арболитовой смеси, при этом снижается расход вяжущего. Плотность арболита оказывает большое влияние не только на его прочность, но и на другие свойства, например, теплофизические и т.д.

Предел прочности арболита при сжатии является основной характеристикой готового материала.

Зависимость прочности и плотности полученного материала от вида вяжущего приведена в табл.3.13.

При изучении изменения прочности во времени использовали арболитовые кубики со средней плотностью от 500 до 650 кг/м^3 . Образцы хранились в лабораторных условиях.

**Зависимость плотности и прочности шлакощелочного арболита
от вида вяжущего**

Тип заполнителя	Плотность арболита, кг/м ³	Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут, МПа	
		Тип арболита	
		Золащелочной	Шлакощелочной
Стебли хлопчатника	600	1,8	2,4
	550	1,7	2,3
	500	1,5	2,1
	650	1,9	2,8

Исследования показали, что интенсивный рост прочности арболита, который составляет от 30 до 120 % от начальной, наблюдается как у образцов естественного твердения, так и подвергнутых тепловой обработке в первые 28 сут твердения, а в дальнейшем замедляется (рис. 3.19).

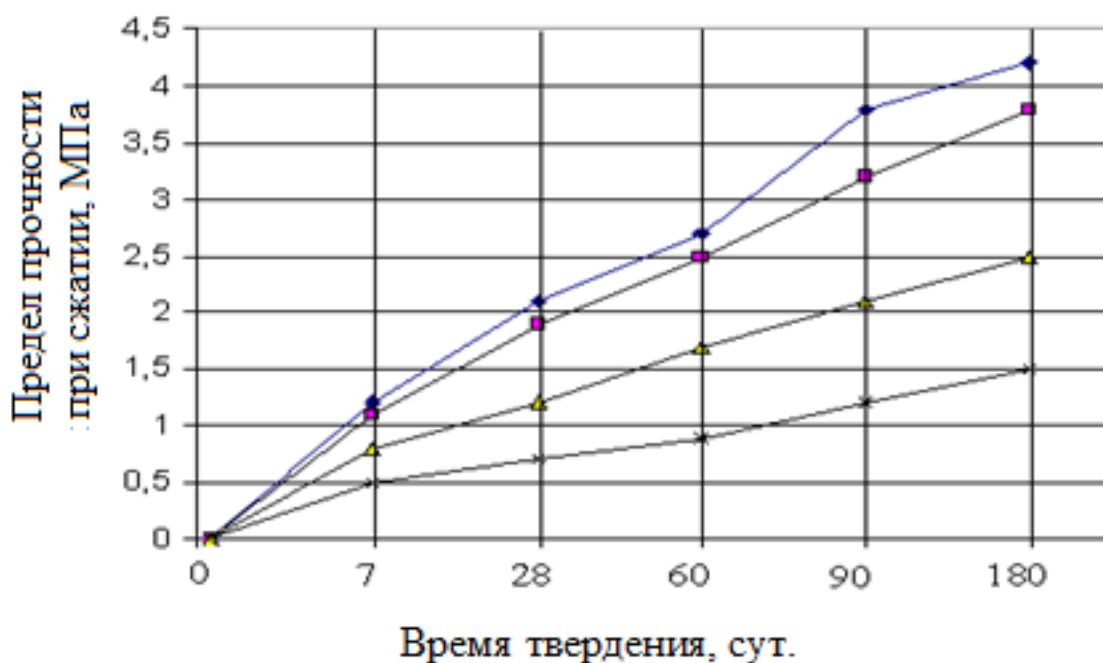


Рис. 3.19. Влияние тепловой обработки на изменение предела прочности при сжатии шлакощелочного арболита при различной средней плотности:
 ◆ – арболит при плотности 650 кг/м³; ■ – арболит при плотности 600 кг/м³;
 ▲ – арболит при плотности 550 кг/м³; x – арболит при плотности 500 кг/м³

Увеличение предела прочности при сжатии, по-видимому, объясняется тем, что продолжается процесс гидратации камня вяжущего. Щелочной раствор,

поглощенный органическим наполнителем в процессе приготовления арболитовой смеси, в период твердения мигрирует в тело каркаса, вследствие чего углубляется процесс гидратации шлакощелочного цементного камня при последующем твердении. Рост прочности до 90 сут, который составляет от 15 до 40 %, наблюдается у образцов, изготовленных на стеблях хлопчатника, (рис.3.20). Скорее всего, это связано в первую очередь с высоким водопоглощением стеблей хлопчатника. Кроме того, можно предположить, что поглощённая щелочь начинает кристаллизоваться внутри наполнителя и тем самым укрепляет его. При этом увеличивается прочность шлакощелочного арболита.

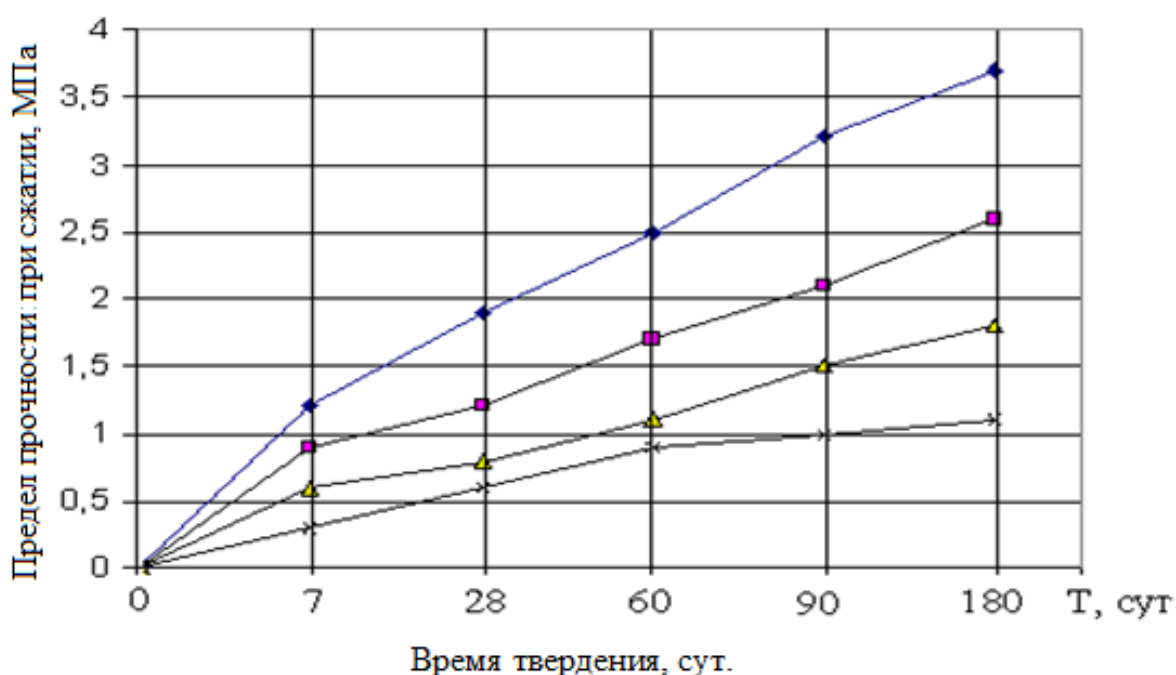


Рис. 3.20. Влияние естественного твердения в воздушно-сухих условиях на изменение предела прочности при сжатии шлакощелочного арболита при различной средней плотности:

- ◆ – арболит при плотности 650 кг/м³; ■ – арболит при плотности 600 кг/м³;
- ▲ – арболит при плотности 550 кг/м³; x – арболит при плотности 500 кг/м³

Для определения влияния органического наполнителя на свойства шлакощелочного арболита проведены сравнительные исследования. В качестве наполнителя использована рисовая лузга. Составы и свойства шлакощелочного арболита на основе измельченных стеблей хлопчатника и рисовой лузги приведены в табл. 3.14.

**Составы исследуемых шлакощелочных образцов
на основе измельченных стеблей хлопчатника и рисовой лузги**

№ состава	Расход материалов на 1м ³ арболита					Плотность, кг/м ³	Предел прочности при сжатии, МПа
	Органический заполнитель	Алюмосиликатный Компонент		Щелочной компонент, л			
	Измельченные стебли хлопчатника, кг	Расход зола, кг	Электротермо- фосфорный шлак, кг	Жидкое стекло	Содосульфатная Смесь		
1	140	300	250	125	125	450	2,1
2	145	300	200	125	125	420	1,9
3	150	250	250	250	-	550	2,5
4	160	250	250	250	-	420	1,3
5	170	300	-	100	100	450	0,9
6	175	200	150	125	100	560	1,1
7	180	200	250	250	-	410	0,9

Примечание. Расход органического заполнителя приведен с учетом естественной влажности 14–19%.

3.2.3. Влияние влажности шлакощелочного арболита на изменение во времени его прочности

Как известно [1,4, 5, 17], предел прочности при сжатии арболита зависит от влажности самого материала. С уменьшением влажности прочность образцов пропорционально возрастает. Увеличение продолжительности тепловой обработки малоэффективно, так как при этом рост прочности не наблюдается.

Скорость потери влаги у арболита зависит от размера изделия. Так, арболитовые кубики 25% влажности достигают через 16 сут после формовки, а изделия размерами 1,0×0,5×0,1 м – через 29 сут (рис. 3.21).

Водопоглощение разработанного арболита колеблется в широких пределах и зависит от его плотности (рис. 3.22).

С увеличением плотности арболита водопоглощение резко сокращается и зависит от расхода вяжущего.

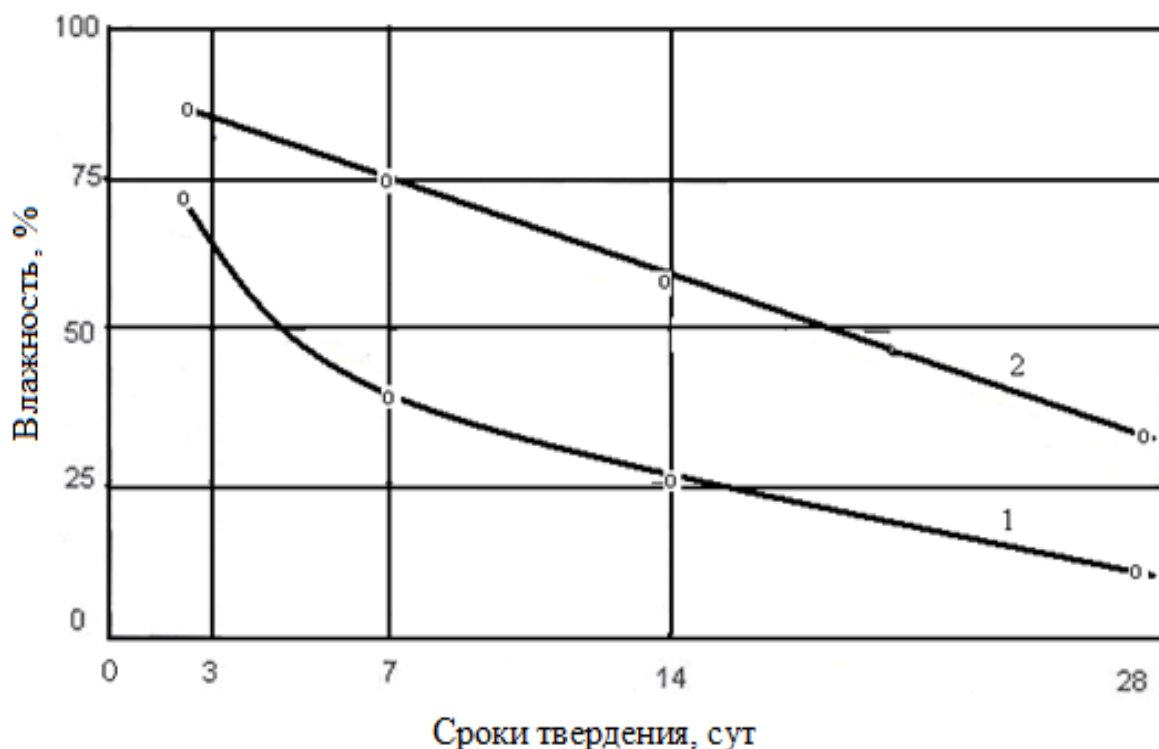


Рис. 3.21. Зависимость изменения во времени влажности шлакощелочного арболита и условия твердения:
1 – кубики с размерами ребра 10×10×10 см, твердевшие в естественных условиях;
2 – изделия с размерами 100×50×10 см, прошедшие тепловую обработку

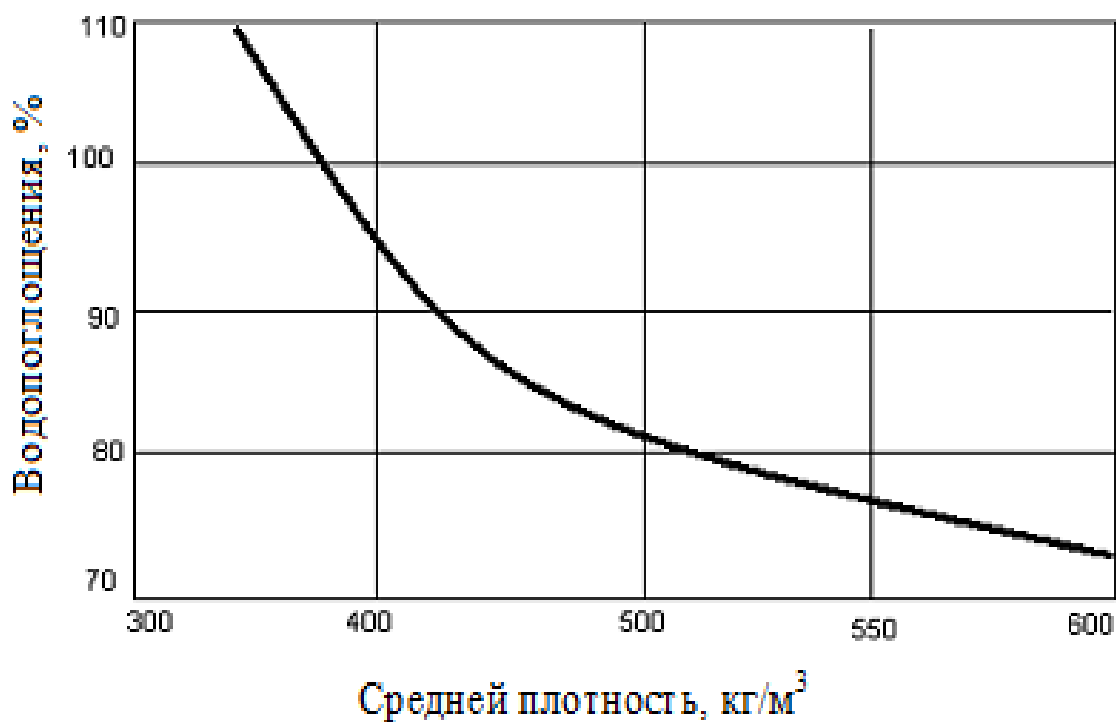


Рис. 3.22. Зависимость водопоглощения арболита от его средней плотности

Уменьшить водопоглощение арболита в изделиях и конструкциях возможно защитой их открытых поверхностей различными пленками или покрытиями. Из отечественной практики известно, что защитный слой из цементно-песчаного раствора 1:5 толщиной до 10 мм снижает водопоглощение арболита на 10–65% [1, 4].

3.2.4. Теплопроводность, биостойкость, морозостойкость и огнестойкость разработанных шлакощелочных арболитов

Теплофизические свойства. Определение параметров теплопереноса разработанного шлакощелочного арболита проводилось на кафедре физики Владимирского государственного университета совместно с Актюбинским региональным государственным университетом им. К. Жубанова.

Для определения теплофизических характеристик арболита выбран метод теплового импульса с линейным источником тепла [1, 5].

Результаты исследования теплопроводности шлакощелочного арболита приведены в табл. 3.15, основные характеристики арболита – в табл. 3.16.

Таблица 3.15

Теплофизические характеристики арболита

Плотность, кг/м ³	Влажность, %	Теплопроводность, Вт/м·К	Теплоемкость, Дж/кгК
450	18,0	0,180	1226
550	23,0	0,183	950
570	21,0	0,173	1162
650	14,2,	0,379	706

Таблица 3.16

Основные характеристики арболита

Вид свойств	Теплоизоляционный арболит	Конструкционный арболит
Плотность, кг/м ³	400–500	550–650
Предел прочности при сжатии, МПа	0,5–1,5	2,1–5,1
Класс прочности, В	0,35–1,0	1,5–В 3,5
Коэффициент теплопроводности, Вт/(мК)	0,5–0,10	0,10–0,18
Модуль упругости, МПа	180–400	440–900
Морозостойкость, циклы	10–15	25–50
Биостойкость	Биостоек	Биостоек
Огнестойкость	Трудногорючий	Огнестоек
Обрабатываемость после затвердевания	Обрабатывается	Обрабатывается

Огнестойкость. Разработанные составы золо- и шлакощелочного арболита испытаны на огнестойкость в лаборатории УЧС Актюбинской области. Результаты испытаний, проведенных в соответствии с ГОСТ 12.1-044-84, подтверждают, что разработанные составы арболита являются трудногорючими.

Биостойкость. Исследование биостойкости образцов проводилось в лаборатории «Батысэкопроект» Научно-исследовательского института экологии и микробиологии Актюбинской области Республики Казахстан. Результаты исследований показали, что разработанный теплоизоляционный арболит относится к группе биостойких материалов.

Морозостойкость. Испытания на морозостойкость теплоизоляционного арболита показали, что коэффициент морозостойкости образцов после 15- и 25-кратного замораживания при колебании температуры от -19 до -25°C и оттаивании при температуре $+18^{\circ}\text{C}$ составлял 0,8 и 0,57.

На основании этих данных сделаны заключения, что морозостойкость шлакощелочного арболита соответствует марке Мрз 10–15, а конструкционного – Мрз 25–50.

3.2.5. Технология производства шлакощелочного арболита

Технология производства арболита на основе стеблей хлопчатника в основном включает те же операции, что и технология обычного арболита. Технологический процесс приготовления арболитовых изделий и конструкций в большинстве действующих цехов состоит из следующих приемов: измельчение, дробление и подготовка заполнителя по гранулометрическому составу, обработка заполнителя, дозировка компонентов арболита, приготовление арболитовой смеси, укладка ее в формы и уплотнение, теплообработка отформованных изделий, вызревание при положительных температурах, транспортировка изделий на склад.

Важнейший из технологических факторов, влияющих на физико-механические свойства арболита и экономические показатели его производства, – способ формования и уплотнения. От него прежде всего зависит макроструктура и такие ее функции, как плотность, тепло- и звукопроводность, влагостойкость.

Получение заполнителя для арболита сводится к измельчению органического заполнителя до нужного фракционного состава.

Уплотнение арболитовой смеси при получении изделия требуемых типоразмеров производится в соответствии с ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него» при нормативных или же близких к ним расходах сырьевых материалов.

При разработке технологической линии по производству арболита учитывались особенности шлакощелочных вяжущих и стеблей хлопчатника (рис. 3.23).

Предлагаемый состав шлакощелочного арболита, принятый при проектировании технологической линии по производству теплоизоляционной-конструкционных арболитов, % по массе:

- электротермофосфорный шлак (п/о «Фосфор», г. Чимкент) – 48–52;
- содосульфатная смесь (отходы п/о «Электрохимпром», г. Чимкент) – 7–9;
- силикат натрия растворимый (сухое вещество) – 5–7;
- стебли хлопчатника – 10–15;
- зола-унос (отходы Актюбинской ТЭЦ) – 30–50;
- вода – остальное.

Традиционные технологические приемы производства портландцементного арболита не позволяют качественно приготовить и уложить смесь и получить изделия с показателями плотность – прочность, отвечающими требованиям ГОСТ 19222-84. В связи с этим при совместном участии Актюбинского завода ЖБИ-25 разработана новая технология, базирующаяся на основных положениях теории прочности материалов с конгломератной структурой, которая позволяет снизить фазовое соотношение (уменьшить толщину пленки матрицы), увеличить адгезионную и когезионную прочность органоминерального конгломерата.

Приготовление сырьевой смеси из указанных материалов и изготовлений изделий из нее производится по технологии, приведенной на рис. 3.23 и 3.24.

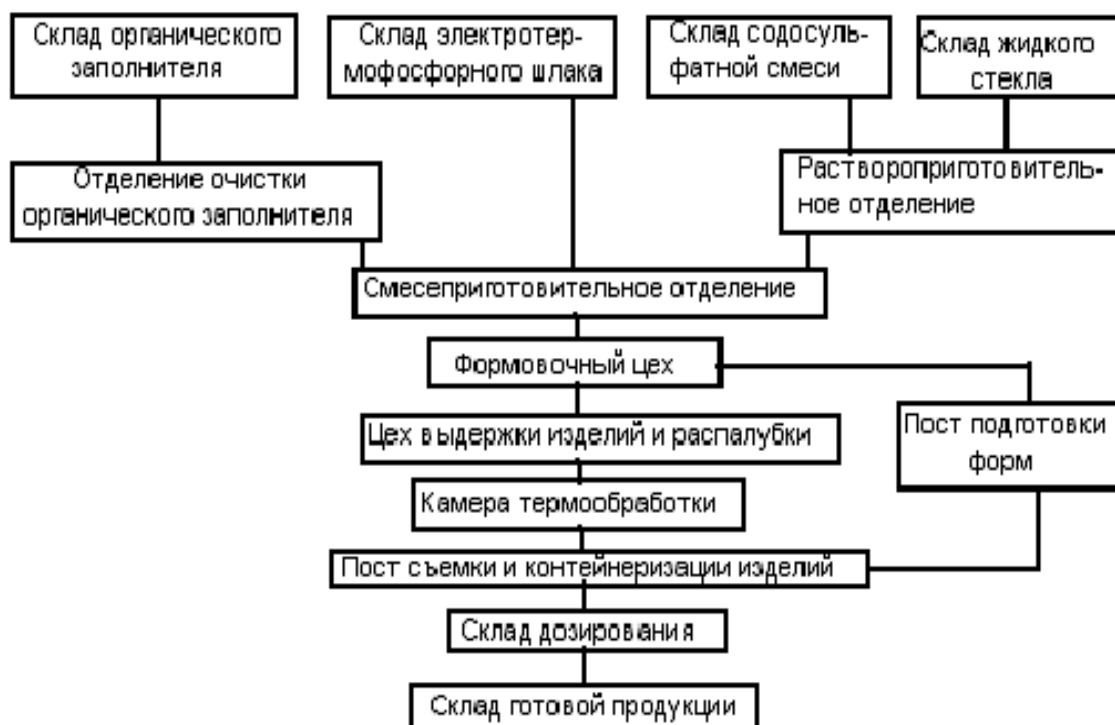


Рис. 3.23. Принципиальная технологическая схема производства шлакощелочного арболита

Органический заполнитель (измельченные стебли хлопчатника) с крытого склада 36 автопогрузчиком подается в приемный бункер 1 волокноотделительного участка. По скребковому транспортеру 2 органические заполнители (стебли хлопчатника) поступают в агрегат ВОМ-2 3, где производится отбор остатков лубяных волокон и их удаление.

После агрегата 3 заполнители пневмотранспортом 4 по воздуховоду 5 через осадительную камеру 7 подаются в расходный бункер 8 смесеприготовительного отделения.

Молотый электротермофосфорный шлак ($S_{уд}$ 300–320 м²/кг) из силосов 6 склада струйным насосом подается в систему осадителей и расходный бункер 9 смесеприготовительного отделения.

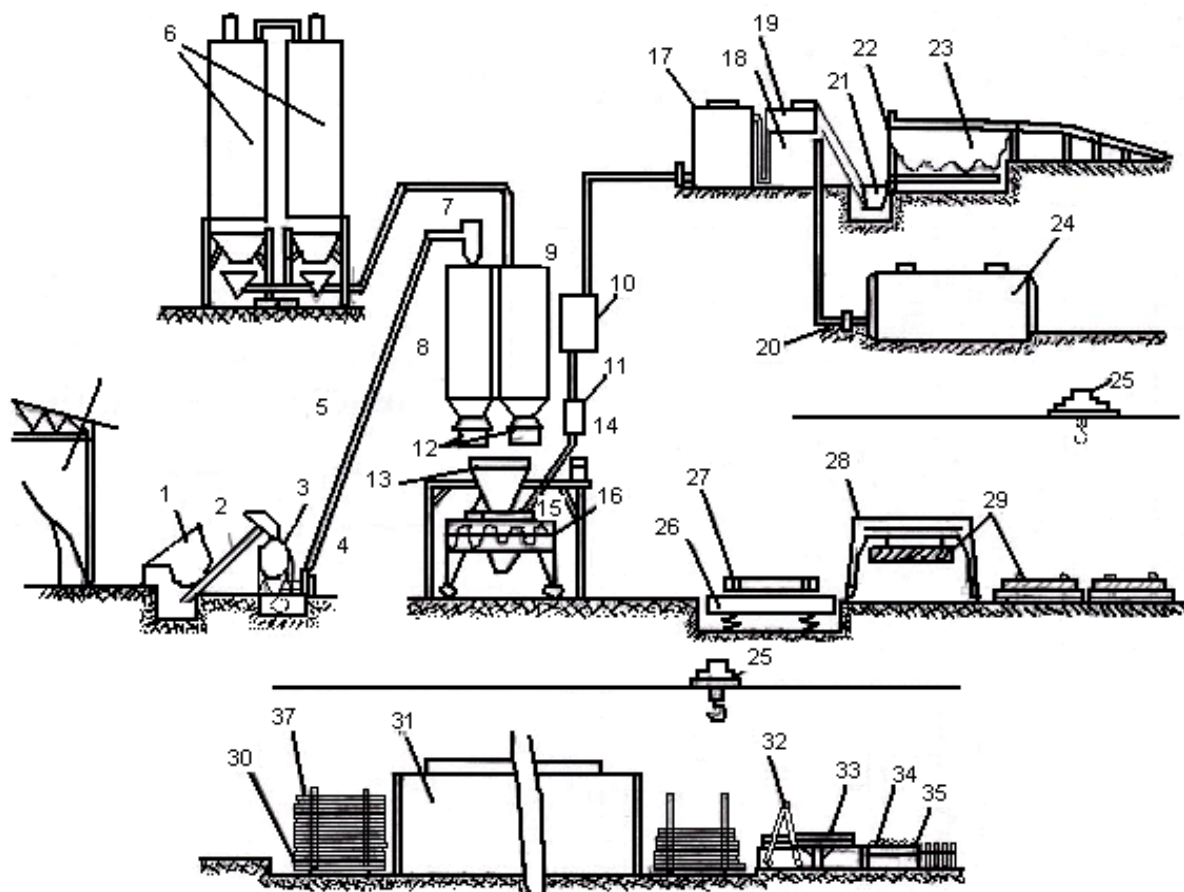


Рис. 3.24. Технологическая схема производства изделий из шлакощелочного арболита:

- 1 – приемный бункер; 2 –скребковый транспортер;
 3–агрегат ВОМ-2; 4 –пневмотранспортер; 5 – воздуховод; 6 –силос;
 7 – осадительная камера; 8, 9 –расходные бункеры; 10 – расходная емкость;
 11 –емкость для объемного дозирования; 12– дозаторы объемно-весовые;
 13 –бункер; 14 –пульт управления; 15 – распылитель; 16 – бетоносмеситель;
 17, 18, 19 –емкости для приготовления щелочного раствора; 20 – насос;
 21 – скип; 22 – ленточный транспортер; 23 –бункер-склад;
 24 –емкостный склад; 25 – кран-балка; 26 – вибростол; 27 –форма;
 28 –самоходный портал; 29 –пригруз; 30 – тележка;
 31 –камера термообработки туннельного типа;
 32, 33, 34 –механизированный пост распалубки; 35 – контейнер;
 36 – крытый склад измельченных стеблей хлопчатника;
 37 –поддоны с изделиями

Молотый электротермофосфорный шлак ($S_{уд}$ 300–320 м²/кг) из силосов бсклада струйным насосом подается в систему осадителей и расходный бункер 9 смесеприготовительного отделения.

Для приготовления шлакощелочного вяжущего использован комплексный щелочной компонент, включающий растворимый силикат

натрия и щелочесодержащий отход (п/о «Электрохимпром», г. Чимкент) – содосульфатную смесь (поступает в твердом виде, фр. 2–40 мм).

Со складов 23, 24 щелочные компоненты насосом и системой транспортер-скип 20, 22 подаются в раствороприготовительные емкости 17, 18, 19, где последовательно готовятся растворы каждого из компонентов с плотностью $\rho = 1300$ и 1200 кг/м^3 соответственно, а затем и комплексный щелочной компонент.

Готовый к использованию раствор подается в расходную емкость 10 смесеприготовительного отделения. Дозирование шлака и органических заполнителей – объемно-весовое 12, щелочного раствора затворения – объемное 11.

Подача компонентов производится в работающий бетоносмеситель 16 постепенно и последовательно: заполнитель и шлак, комплексный щелочной компонент. При этом обеспечивается постепенное распыление раствора по всему объему растворошлаковой смеси.

Особая конструкция бетоносмесителя 16 обеспечивает интенсивное разнонаправленное перемешивание смеси, одновременно обеспечивается передача на элементы смеси значительных растирающих усилий. Такая система приготовления смеси обеспечивает ее тщательную гомогенизацию, практически лишенную жидкой составляющей, равномерную обмазку частиц заполнителя и наиболее полное задействование всего объема минеральной составляющей.

По окончании загрузки работающий бетоносмеситель 16, смонтированный на самоходном портале 28, перемещается на пост формовки, где по окончании цикла смешивания (3,5–4 мин) смесь раскладывается в форму 27, установленную на вибростоле 26. Форма представляет собой составную конструкцию поддона с объемной единой бортоснасткой.

Далее самоходный портал 28 подает на пост формовки и устанавливает в форму пригруз 29 (рабочая нагрузка – 0,02–0,04 МПа), производится вибрирование смеси. Затем самоходный портал 28 переносит форму с

изделием в сборе с пригрузом 29 на пост выдержки, где по истечении часа он же производит съём пригруза и бортоснастки, причем пригруз тут же подается на формовку, а оснастка кран-балкой 25– на пост подготовки форм.

В течение первого часа твердения изделия приобретают начальную прочность, обеспечивающую сохранение их формы, геометрических размеров при технологических транспортных операциях и сдерживание температурно-влажностных деформаций в процессе теплообработки.

Поддоны с изделиями 37 кран-балкой 25 подаются на тележку 30 камер термообработки 31(по 5–6 поддонов на каждую) и поступают в начальную камеру туннельного типа 31, где в течение 14–16 ч проходят тепловую обработку. По ее окончании поддоны с изделиями 37 поступают на механизированный пост распалубки 32, 33, 34 и в контейнер 35. Контейнеры с изделиями в течение первых двух суток выдерживаются в помещении цеха при положительной температуре (в зимний период), где за это время происходит окончательное дозревание изделий до отпускных параметров прочности и влажности.

Освободившиеся поддоны устанавливаются на свободную тележку и по конвейеру возврата перемещаются к началу камеры термообработки, где поддоны кран-балкой переносят на пост подготовки форм, а тележку – на линию камеры термообработки.

Все подъемные и транспортные технологические операции выполняются с использованием механизированного и автоматизированного оборудования и автозахватных траверс.

Для обеспечения жесткости, возможности механизированной транспортировки и монтажных операций с крупногабаритными теплоизоляционными изделиями, имеющими малую толщину, их армируют крупноячеистой сеткой с отгибами из проволоки 1 диаметром 3–4 мм.

При необходимости производства изделий широкой номенклатуры и различной конфигурации, как в цехе, так и непосредственно на стройплощадке может легко осуществляться с использованием легкого

ручного инструмента распиловка крупных изделий в изделия любых требуемых типоразмеров.

Описанная технология по сравнению с традиционными технологиями арболита позволит в 1,7–1,9 раза сократить время и энергозатраты при приготовлении арболитовой смеси, в 2–2,5 раза – время укладки и уплотнения смеси, в 7–8 раз – длительность цикла твердения изделий, в 1,8–2,5 раза – удельную металлоемкость производства.

Реализация общих принципов этой технологии при организации производства арболитовых изделий и конструкций на иной сырьевой базе сохраняет указанные характеристики материалов и технико-экономические показатели их производства.

Выводы по главе 3

1. Найдено, что после затворения смесей щелочным раствором на контакте «арболит – шлакощелочной раствор» протекают физико-химические процессы, характер которых определяют адгезионные связи между органическими заполнителями и шлакощелочным вяжущим камнем. При этом большое значение имеет пористое строение арболита, вызывающее отсасывание влаги арболитом сразу после приготовления смеси, что приводит к усилению адгезионных контактов между шлакощелочным вяжущим и шероховатыми поверхностями стеблей хлопчатника.

2. Результаты показали, что при тепловой обработке, когда в состав компонента вводили содосульфатную смесь, предел прочности арболитовых образцов на сжатие на 7–15% выше, чем у образцов, подвергнутых тепловлажностной обработке. Прочность образцов с содосульфатной смесью 75% соответственно составила 2,1 и 2,5 МПа.

3. Установлено, что оптимальное растворошлаковое отношение Р/Ш для шлакощелочной арболитовой смеси на основе отходов растительности находится в зависимости от вида органического заполнителя в пределах 0,8–1,1.

4. Установлено, что для получения арболита марки 25 при содержании стеблей хлопчатника 90 кг/м^3 и расходе щелочного компонента 300 л/м^3 содержание золы-уноса должно составлять 250 кг/м^3 , а при расходе стеблей хлопчатника 120 кг/м^3 и щелочного компонента 300 л/м^3 расход золы-уноса составляет 210 кг/м^3 .

5. Установлено, что введение в состав арболита комплексных щелочных компонентов-добавок из силиката натрия и содосульфатной смеси приводит к появлению новых гидратных соединений. При их присутствии повышается степень гидратации шлакощелочного камня в арболите на основе измельченных стеблей хлопчатника.

6. Можно предположить, что активная структурообразующая роль процессов при твердении, протекающих между шлакощелочным вяжущим и органическим заполнителем, заключается в создании плотного, прочного контактного слоя между ними. Это обуславливающее повышение общей прочности и монолитности арболитобетона сводится к улучшению условий совместной работы отдельных структурных составляющих шлакощелочных арболитов под действием разрушающих усилий, одним из которых является сближение прочностных и деформативных свойств органического заполнителя и растворной части.

7. Наиболее оптимальными фракциями, для конструкционного арболита, являются измельченные стебли хлопчатника, полученные при применении решета с диаметром отверстий 15–18 и 20 мм.

8. Найдено, что введение в качестве добавки содосульфатной смеси значительно углубляет гидратацию шлакового стекла, а также способствует образованию волокнистых гидросульфатоалюминатов кальция, выполняющих роль дополнительной арматуры и уплотняющих структуру цементного камня.

9. Нами установлено, что при тепловой обработке, когда в состав компонента вводили содосульфатную смесь, предел прочности арболитовых

образцов при сжатии на 7–15% выше, чем у образцов, подвергнутых тепловлажностной обработке.

10. Нами установлено, что снижение прочности арболита при введении шлакощелочного раствора и его составляющих в арболитовую смесь происходит при большой концентрации сахара в водоекстрактивных веществах на поверхности заполнителя если количество сахара превышает массу шлакощелочного вяжущего более 0,1%;

11. Установлено, что в присутствии нейтрализаторов и ускорителей твердения основной минералов, придающей прочность шлакощелочному арболиту на измельченных стеблях хлопчатника, является содосульфатная смесь в шлакощелочных вяжущих на основе электротермофосфорного шлака.

Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК СЕРСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ АРБОЛИТОБЕТОНОВ

4.1. Теоретические основы и анализ возможности использования технической серы в производстве строительных материалов

При строительстве зданий и сооружений используются различные полимерные, бетонные и композиционные строительные материалы на основе серосодержащих отходов. Область применения этих материалов определяется их физико-механическими, физико-химическими свойствами и условиями эксплуатации.

Для изготовления бетонных композиционных материалов с использованием технической серы и серосодержащих отходов в качестве наполнителей и заполнителей могут применяться все известные материалы, применяемые при изготовлении различных бетонов [95, 96].

Положительными свойствами и достоинствами серосодержащих материалов являются: технологичность приготовления растворных смесей и бетонов; высокий набор прочности, связанный только со временем охлаждения и кристаллизации серы; относительно высокая прочность и стойкость к действию агрессивных сред, особенно к действию соле- и кислотной агрессии; низкое водопоглощение и очень высокая морозо- и водостойкость.

В состав серосодержащим строительных материалов входят: вяжущие, наполнитель, заполнители и модифицирующие добавки. В качестве вяжущего вещества в серосодержащих строительных материалах можно использовать отходы различных производств [162, 181, 185, 276, 279, 320].

В качестве наполнителей и пористых заполнителей можно использовать природные каменные, искусственные и органические материалы с различной крупностью зерен и фракций [181, 279, 320].

Свойства серосодержащего легкого бетона во многом зависят от его состава и составляющих вяжущих компонентов [296, 320]. Каждый компонент, входящий в состав серосодержащих композиционных строительных материалов оказывает значительное влияние как на реологические свойства, так и на его физико-механические и эксплуатационные свойства.

Введение волокнистых наполнителей позволяет повысить прочность и предотвратить отрицательное влияние неравномерного охлаждения крупноразмерных изделий, а при введении в состав серосодержащего материала органических волокон предел прочности при сжатии и изгибе повышается, соответственно, на 50 и 120% [296, 320].

В последнее время в регионах Центральной Азии, особенно в нефтяных регионах республик наблюдается высокая добыча сырой нефти и газа и как следствие перепроизводство технической серы, как побочного продукта при переработке и очистке нефти и газов [124-126].

Анализ литературных источников указывает [42, 61, 127, 128, 129], что одним из наиболее перспективных направлений решения задачи утилизации технической серы является широкое применение ее при производстве строительных материалов и изделий. При этом отмечается высокий предел прочности при сжатии, высокая химическая стойкость в растворах кислот, солей, щелочей, а также низкая водопроницаемость серосодержащих материалов. В работах [41] показано, что пропитка строительных материалов может быть осуществлена за счет создания гидрофобизирующих композиционных материалов на основе водорастворимой серы.

В работах [133, 134] показано, что более эффективное использование добавок на основе технической серы может быть при тепловой обработке строительных материалов выше температуры плавления серы (112-119 °С).

В работах [135, 136] показаны результаты влияния добавок серы в количестве 0,1 - 10 % от массы сухих компонентов бетонной смеси на прочность газобетона с плотностью 600 кг/м^3 . При этом установлено, что при введении добавок технической серы в количестве 1,0-1,5 % путем ее совместного помола сухим способом с другими сырьевыми материалами, наблюдается повышение прочности от 60 до 69 %.

Установлено [135], что введение элементарной технической серы в виде мелкого порошка или сульфидов щелочных металлов позволяет повысить прочность бетона на 50- 150 %.

В работах показано [136], что введение в состав легкого бетона на основе сланцевой золы добавки отхода сернокислого производства, содержащей не менее 60 % технической серы, оказывает положительное влияние на гидратацию кальция и алюминатной составляющей сланцевой золы, то есть на процессы формирования цементного камня. При этом не сообщается количество вводимой добавки, условия твердения материала, а также влияние ее на свойства полученного материала.

Одним из наиболее рациональных способов уменьшения отрицательного влияния многотоннажных отходов на окружающую среду является использование их в качестве сырья для строительных материалов и, в частности, при производстве искусственных пористых заполнителей и вяжущих для бетонных изделий.

Процессы детоксикации и активации вяжущего, как показано в работах [139-141], приводят к улучшению эксплуатационных и качественных характеристик получаемых строительных материалов. В процессе совмещенной механохимической активации и детоксикации промышленных отходов, в присутствии воды, с получением сырьевых смесей для производства строительных материалов, использован принцип взаимной нейтрализации химически вредных веществ, находящихся в промышленных отходах.

В работах [43-45, 49, 66, 67,75, 141-160] показана возможность

получения бетонных изделий с улучшенными физико-техническими свойствами при различных способах дополнительной активации вяжущего. Эти методы позволяют сократить расход цемента за счет замены части его отходами промышленности. Так показано [50], что в раскрытии потенциальных свойств сырьевых компонентов искусственного строительного конгломерата (ИСК) важную роль выполняют подготовительные операции.

В известных концепциях бетоноведения вопрос управления физико-химическими процессами твердения минеральных вяжущих на стадии гидратации, трансформации неустойчивой структуры теста вяжущего на устойчивую структуру камня реализуется следующими способами:

- введением химических добавок;
- механической активацией и детоксикацией;
- электромагнитной и механомагнитной обработкой.

Результаты реализации указанных способов регулирования физико-химическими процессами твердения вяжущих и механизм твердения последних показаны в работах [75, 140, 147, 161].

В практике строительных материалов применяется более 400 видов химических добавок различного назначения для придания и улучшения разных свойств вяжущих смесей, в том числе бетонов [162]. По механизму действия, химические добавки делят на четыре класса:- первый - добавки, изменяющие растворимость вяжущих веществ и не вступающие с ними в химическую реакцию;

- второй - добавки, реагирующие с вяжущими с образованием трудно растворимых или мало диссоциирующих соединений;
- третий - добавки, являющиеся готовыми центрами кристаллизации;
- четвертый – добавки в виде поверхностно- активных веществ (ПАВ), адсорбирующихся на зернах вяжущих.

Используются также комплексные добавки [162], применение которых обусловлено их эффективностью в отношении:

- полифункциональности действия, т.е. способности влиять сразу на несколько характеристик бетона, причем часто несвязанных друг с другом;
- возможности с их помощью, 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 использованных продуктов. При этом не представляется возможным претендовать на общий всеисчерпывающий анализ по применению и механизму действия добавок к вяжущим системам.

В данной работе рассматривается диапазон химических добавок из отходов промышленности, повышающих гидратацию цементных дисперсных систем. По результатам работ [163], структура цементного камня рассматривается как «микробетон», при этом «заполнителями» являются непрогидратированные остатки цементных частиц ядра. Наиболее распространенным способом активации является повышение удельной поверхности частиц цемента, при этом существуют два пути измельчения : сухой и мокрый помол вяжущего. В работах [164-166] 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, которые 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 вещества повышается.

В работе [142], отмечается также, что измельчение кристаллов

минерала, химическая связь в котором имеет ионно-ковалентный характер, сопровождается разрывом старой и созданием новой электровалентной связи, при этом на новой поверхности появляются ненасыщенные валентные связи (типа свободных радикалов). Это в свою очередь увеличивает химическую активность поверхности.

Эффективность помола в водной среде исследуется в работах [159, 164-167], где показано, что увеличение тонкости помола способствует лучшему диспергированию зерен цемента благодаря адсорбционному понижению их твердости. Процессы структурообразования цементного геля в результате тонкого помола ускоряются, а его критическая пластическая прочность повышается. При этом в структурообразовании участвует большее число дисперсных частиц с построением коагуляционных контактов системы, что связано с увеличением количества центров кристаллизации.

В работах [142, 146] отмечается, что «активированные механическим воздействием поверхности вяжущего характеризуются, изменением его поверхности в строении кристаллической решетки, а также тем что, 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).

Наличие дефектов определяет локальные перенапряжения в субатомной наноструктуре, а также связанное с этим увеличение реакционной способности новообразовавшихся поверхностей твердого тела [143].

Кроме механических способов, для диспергирования частиц материалов применяется также явление кавитации, в котором измельчение происходит вследствие мощных ударов жидкости о поверхность твердого тела [168, 169].

При акустической кавитации цементного теста происходит процесс дезагрегации и диспергирования слипшихся частиц, равномерная

сольватация которых способствует получению гомогенной смеси [170].

Предполагается [142, 171, 172], что оптимальная структура цементного камня определяется ее физической структурой и количеством гидратных новообразований, участвующих в процессе гидратации и играющих роль связующего в цементно-песчаном растворе, вследствие которых прочность бетона повышается.

Многие исследователи [173] сходятся во мнении, что вязущие свойства материалов зависят от поверхностной энергии, причем величины поверхностных сил определяются природой и размером поверхности. К одним из основополагающих факторов в процессах структурообразования относятся электрохимические явления и их роль в системе «вязущее + вода». При этом структурообразование можно разделить на периоды: гидратация, растворение, коагуляция и кристаллизация, во время которых преобладают те или иные процессы. Причем [174-176] цементный раствор рассматривается с точки зрения коллоидной системы.

В настоящее время не существует единой устоявшейся классификации межмолекулярного взаимодействия веществ, при помощи которой можно было бы более полно описать механизм взаимодействия компонентов, входящих в состав строительных материалов с конгломератным типом структуры.

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 [177, 178] взаимодействия.

Физико-химическая механика описывает [179] структурообразование дисперсных систем процессами, протекающими самопроизвольно за счет сил сцепления между отдельными частицами, которые в конечном счете, характеризуют механическую прочность.

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

- увеличения энергии активации химической реакции процесса твердения [7, 180, 181];
- повышения прочности контактов активированных частиц за счет притяжения их между собой [180, 181];
- повышения химического потенциала вещества минералов цемента и усиление интенсивностей сил притяжения между отдельными кристаллическими агрегатами и кристаллогидратами.

Известно множество видов устройств, агрегатов и оборудований, предназначенных для тонкого размола материалов: бегуны, молотковые мельницы, струйные и кольцевые мельницы, дисмембраторы, ротационно-пульсационные аппараты, гидродинамические излучатели, акустические активизаторы, шаровые и вибрационные мельницы [143, 149, 171, 182-184].

Существенное влияние на степень активации частиц вяжущих смесей оказывает устройство измельчителя, способ и специфика измельчения [146].

В промышленности строительных материалов бегуны применяются для мелкого дробления и совместного помола материалов. Процесс измельчения обеспечивается раздавливанием и истиранием частиц материала массивными катками, перемещающимися по дну диска, где находится материал.

В работах отмечается способ приготовления бетонных смесей из доменных шлаков путем измельчения во влажном состоянии в бегунах, т.е. способ «пробуждения» шлаковой смеси, который обеспечивает получение бетона повышенной прочности [148, 185]. Измельчение в известных молотковых (роторных) мельницах происходит за счет удара молотков, закрепленных на роторах. К разновидностям роторных мельниц относятся дезинтеграторы и аэробильные мельницы. Отличие дезинтеграторов от традиционных мельниц в их высокой производительности и степени измельчения, т.е. тонкости помола [148].

По сравнению с дезинтеграторами аэробильные мельницы [146, 148]

служат для одновременного помола и сушки сырьевых материалов в потоке горячих газов. Материал, измельченный молотками ротора, подхватывается воздушным потоком и уносится в сепаратор. Тонкость помола регулируется за счет изменения скорости воздушного потока, достигаемого увеличением сопротивления его движению с помощью специальных жалюзей, расположенных в верхней части сепаратора, и уменьшением частоты вращения колесавентилятора.

Наибольшее распространение получили способы измельчения и активации материалов в различных помольных установках - дезинтеграторах, дисмембраторах всемирно известных фирм, таких как «Альпине» и «Кондус» (Германия), «Хосакава» (Япония), «Бритиш Рима» (Англия) [143, 149, 171, 182-184].

Для сверхтонкого измельчения материалов предназначены струйные мельницы. В отличие от шаровых, вибрационных и кольцевых они не имеют мелющих тел, и процесс измельчения происходит благодаря высокой скорости частиц в воздушном потоке, за счет трения и соударения частиц материала между собой и о стенки камеры.

Наибольшее распространение на заводах по выпуску строительных изделий и конструкций получили шаровые и вибрационные мельницы, предназначенные для размола клинкера, а также для получения многокомпонентных цементов. Производство последних заключается в совместном помоле цементов и активных минеральных добавок до получения необходимой удельной поверхности компонентов вяжущего вещества [171]. Измельчение происходит во вращающем или вибрирующем барабане с помощью загруженных мелющих тел за счет удара и истирающих процессов между ними, возникающими в ходе работы.

По сравнению с барабанными мельницами в вибрационных [171, 182, 184] материал измельчается при колебании мелющих тел, которые соударяются друг с другом, способствуя получению сверхтонкого продукта. Одним из распространенных способов повышения удельной поверхности

частиц цемента в барабанных мельницах является сухой помол вяжущего.

При измельчении мокрым путем, ход процесса измельчения минерального сырья в водной среде сопровождается расклинивающими силами, возникающими в микротрещинах частиц вследствие эффекта адсорбционного понижения прочности частиц по П.А. Ребиндеру [186, 187] и усиливается сопровождаемым при этом явлением кавитации, диспергирующее действие которой основано на чередовании сжатий и разряжений в жидкой среде. В результате происходит полное использование клинкерного фонда вяжущего, устраняющее наличие в структуре цементного камня непрогидратированных остатков цементных частиц - ядер [188].

Механоактивация [183] в ротационно – пульсационном аппарате применяется для гомогенизации водных эмульсий гидрофобных химических добавок, а также для механической активации вяжущих смесей, при этом механизм активации заключается в раскрытии активных поверхностей комбинированной смеси [171].

Анализ работ показал, что в промышленности строительных материалов среди известных конструкций измельчительных приборов наиболее распространены шаровые и вибрационные мельницы.

Проведенные выше исследования по изучению легких бетонов с добавками серосодержащих материалов позволяют сделать следующие выводы:

1. Техническая сера - побочный продукт при переработке и очистке нефти является эффективной добавкой к серосодержащим композициям, обеспечивающая повышение прочности, снижение сорбционной влажности и водопоглощения;

2. Наиболее эффективным способом для получения серосодержащих вяжущих является совместный помол добавки серы с железосодержащими сырьевыми материалами;

3. В настоящее время отсутствуют систематические исследования по влиянию добавок серы на свойства арболита на основе измельченного тростника с плотностью 600 - 650 кг/м³;

4. Отсутствуют исследования влияния добавок технической серы на технико-технологические параметры изготовления серосодержащей вяжущей композиции и на их физико-механические свойства;

5. Не исследовано влияние серных добавок на фазовый и минералогический состав серосодержащего цементного камня.

4.2. Исходные материалы, методы исследований, приборы и оборудование

4.2.1. Характеристика сырьевых материалов

Объектом исследования являются промышленные отходы предприятий в регионе Казахстана в виде шламов и твердых веществ [61- 63, 125, 126, 142]:

1. Хромосодержащий шлам Актюбинского завода хромовых соединений (АЗХС) следующего среднего состава, (%): CrO₃ общий - 9,8; CrO₃ водорастворимый - 3,4; (CrO₃ - 8,0); CrO₃ кислоторастворимый - 1,6; СаОакт. - 2,37; СаО общ. - 21,4; MgO - 35,7; Fe₂O₃ - 19,2; Al₂O₃ - 2,85; SiO₂ - 4,8; остальное - вода.

2. Бор - и магнийсодержащие сточные воды АО «Фосфохим», содержащие (мг-экв/л): сульфат - 29,8; фторид - 0,6; кальций - 14,0; магний - 14,2; оксид калия - 7,90 мг/л; оксид фосфора - 55 мг/л; сумма солей - 2,54 %.

3. Мелкая фракция (отсевы) бурых углей Момытского месторождения бурых углей Актюбинской области со средней зольностью, равной 10%, и содержанием летучих веществ 20%. По отношению к горючей массе элементарный состав угля в (%) составляет: С - 70,0; Н - 5,5; О - 23,5; N - 1,0; теплотворная способность - 6580 (ккал/кг).

4. Портландцемент марки 400 Чимкентского цементного завода.

Испытание цемента проводили в соответствии с ГОСТ 30515-97 и ГОСТ 31108-2003, результаты приведены в табл. 4.1. Химический состав цемента приведен в табл. 4.2.

5. В качестве дополнительной добавки использованы пиритные огарки бывшего АО «Фосфорхим», состоящие главным образом из смеси оксидов железа (II, III) Fe_3O_4 (Fe_2O_3), с пересчетом на содержание железа 40 – 63 %, и примесей серы 1-2 %. Остальное - оксиды цветных металлов. Химический состав пиритного огарка, масс. % приведен в табл. 4.3.

6. В качестве модифицирующей добавки использовалась техническая сера - вторичный продукт переработки высокосернистой нефти месторождений Республики Казахстан. Сера представляет собой гранулированный продукт, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 127.1-93. Химический состав серы приведен в табл. 4.4.

Таблица 4.1

Характеристики и свойства портландцемента Чимкентского цементного завода

Наименование характеристик	показатели
1. Тонкость помола ост. на сите № 008, %	8,7
2. Удельная поверхность, м /кг	227
3. Нормальная густота, %	25,2
4. Сроки схватывания, час - мин.	
- начало	2-39
- конец	4-29
5. Предел прочности при изгибе через 28суток, МПа	5,9
6. Предел прочности при сжатии через 28 суток, МПа	47,2

Таблица 4.2

Химический состав цемента Чимкентского цементного завода

содержание, %									
основные оксиды					основные минералы				
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	SO ₃	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
61,48	23,38	6,38	6,09	0,38	0,60	57,60	17,40	7,90	13,10

Таблица 4.3.

Химический состав пиритного огарка, масс. %

CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	R ₂ O	п.п.п
10,5	19,7	66,1	2,3	1,2	-	-	0,2

Таблица 4.4.

Химический состав серы

Сорт	ГОСТ	Массовая доля серы, %	Массовая доля золы, %	Массовая доля органических веществ, %	Массовая доля воды, %
9998	127.1-93	99,060	0,400%;	0,053%;	0,010%.

Для приготовления вяжущего использовалась водопроводная питьевая вода, соответствующая требованиям ГОСТ 23732 «Вода для бетонов и растворов».

Характеристики исходного и активированного вяжущего определяли в соответствии с ГОСТ 30515-97, ГОСТ 31108-2003 и ГОСТ 7473-2010.

Предел прочности при сжатии (при изгибе) определяли на образцах-кубах с ребрами 100 мм в соответствии с ГОСТ 31108-2003 и ГОСТ 7473-2010.

Определение подвижности растворной смеси производили на вискозиметре Суттарда. Нормальную густоту, сроки схватывания цементного теста определяли согласно ГОСТ 30515-97, ГОСТ 31108-2003 [201].

Теплопроводность серосодержащих образцов изучалась на приборе ИТП- МГ-4 согласно ГОСТ 7076-99 [202].

Определение предела прочности серосодержащих вяжущих на растяжение и при изгибе производилось на образцах-балочках размерами 40x40x160 мм на приборе ИП 2710.

Исследования химического состава материалов производились на базе аналитической лаборатории «Региональный индустриальный технопарк Актобе» Актюбинской области Республики Казахстан.

С помощью рентгенофазового анализа определяли фазовый состав

активированного серосодержащего цементного вяжущего. Рентгенографическая съемка выполнялась на дифрактометре «ДРОН-3». Условия съемки: анодный ток рентгеновской трубки – 20 мА, напряжение на трубке -36 кВ, скорость углового движения счетчика 2 град/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 [203]. При проведении съемки был выбран интервал углов дифракции от 2 до 32°. Расшифровка рентгенограмм осуществлялась на основании эталонных рентгенограмм составляющих минералов.

Дифференциально-термический анализ (ДТА) гидратированных серосодержащих цементных порошков (проходящих через сито с 10 тыс. отв./см²-100%) проводили на фоторегистрирующем дериватографе фирмы МОМ Будапешт (Венгрия) по методике описанной в работах [1, 204].

Запись вели при скорости нагрева 8-10 °С 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 лаборатории Актюбинского научно-исследовательского института ЗапКазгеология.

4.2.2. Исследование и получение серосодержащих вяжущих с высокими физико-техническими характеристиками методом активации и детоксикации

В данной работе использовались методы и принципы новых безотходных технологий обезвреживания и комплексного использования отходов в производстве строительных материалов.

Для проведения этой работы был использован принцип взаимной

нейтрализации токсичных компонентов промышленных отходов путем их механохимической обработки при невысокой температуре.

В выбранных отходах в качестве окислителей выступали железо в степени окисления три (в виде Fe_2O_3), а восстановительными свойствами обладали элементарная сера, отсев бурых углей и железо в степени окисления два (FeO).

Бор в виде борной кислоты имеет выраженную способность к комплексообразованию с органическими веществами, имеющими парные оловые (диоловые) гидроксогруппы [142].

Выбранными вяжущими компонентами являются техническая сера, цемент, магнезиальное вяжущее вещество и, частично, компоненты железосодержащего шлама. Для того чтобы в системах из кристаллических или некристаллических твердых тел могли протекать химические реакции, необходимо, чтобы атомы в этих твердых телах могли перемещаться. Если атомы переходят из нормальных узлов решетки в междоузлия, то они затем легко перемещаются по кристаллу из одного междоузлия в другое [142, 190]. Одним из вариантов последнего механизма является так называемый «эстафетный» механизм, при котором атом, находившийся в междоузлии, переходит в нормальный узел, выталкивая ранее находившийся там атом в новые междоузлия. Этот тип перемещения атомов может наблюдаться тогда, когда прямое перемещение атома из одного междоузлия в другое энергетически не выгодно. Все рассмотренные механизмы перемещения атомов по решетке могут иметь место, но какой из них реализуется в каждом конкретном случае, зависит от величины энергии, необходимой для протекания данного процесса. Общий энергетический эффект определяется величиной ΔH – тепловым эффектом реакций.

В настоящее время прямыми опытами доказано [189, 190], что при нагревании смесей двух твердых веществ, при температурах, значительно ниже температуры плавления жидкой фазы, образуются новые вещества. В нашем случае, при температуре менее 100°C , жидкой фазой является пленка

воды на поверхности твердой фазы. К факторам, влияющим на ход реакций, относятся следующее:

- температура и время;
- тонкость измельчения исходных компонентов реакций;
- уплотнение смеси (создается большое число контактов частиц смеси);
- природа исходных сырьевых материалов или степень дефектности их строения, определяющая скорость диффузии через слой продукта реакции;
- перемешивание, при перемешивании все время удаляется реакционный слой и облегчается соприкосновение еще не прореагировавших частиц.

Полученные результаты исследования дают основания утверждать, что путем активации и детоксикации промышленных отходов можно получить серосодержащие вяжущие с высокими физико-техническими характеристиками.

4.2.3. Термодинамическая оценка вероятности прохождения химических реакций между компонентами промышленных отходов с помощью стандартных термодинамических величин и электрохимических потенциалов

Предварительно была проведена термодинамическая оценка вероятности прохождения химических реакций между указанными компонентами промышленных отходов (пиритного огарка и технической серы) в шламах с помощью стандартных термодинамических величин и электрохимических потенциалов [190].

Для проведения опыта количество отходов на основе соединений пиритного огарка и технической серы брали в весовых соотношениях (2,25:1), (1,5:1) и (1,6:1).

Расчеты по реакциям связывания соединений хрома (IV) и железа (III) с помощью э.д.с. (E) электрохимических пар приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5.

**Оценка реакционной способности с помощью э.д.с.
электрохимических пар**

Системы и реакции	э.д.с. электрохимических пар
$\text{Fe (III)} + \text{S}^\circ \rightarrow \text{Fe(II)} + \text{S (VI)};$	$E = 0,771 - (-0,13) = +0,784 \text{ (в)} > 0$

Как видно из табл. 4.5, анализ вычисленных значений (э.д.с.) электрохимических систем по нормальным электродным потенциалам показывает, что реакции возможны, так как величина э.д.с. > 0 (положительна), причем восстановление пиритного огарка с технической серой более энергетически выгодно, чем восстановление углем. Трехвалентное железо способно окислять серу, переходя затем в двухвалентное железо.

Следует отметить, что железосодержащие шламы имеют $\text{pH} > 3$ (щелочную реакцию водной вытяжки) [140], прошли термическую обработку подобно цементному клинкеру и имеют вяжущие свойства. Величины стандартных энтальпий ΔH° и энтропий ΔS° при температуре 298° К, взятые из литературных источников [142, 190], приведены в табл. 4.6.

Расчеты изменения термодинамических величин в химических реакциях вели по известной формуле:

$$\Delta H^\circ_{298\text{кр}} = \Delta H^\circ_{298}(\text{конечных}) - \sum \Delta H^\circ_{298}(\text{переходный}) \quad (4.1)$$

Таблица 4.6

**Значения стандартных энтальпий и энтропий для веществ,
участвующих в реакциях**

Вещество	ΔH°_{298} ккал/моль	ΔS°_{298} ккал/град·моль
SO ₂	-71,0	59,2
Fe ₃ O ₄	-266,5	35,0
FeS	-22,8	16,1
Fe ₂ O ₃	-145,2	21,5
FeS ₂	-38,8	12,7
FeO	-64,5	13,4

При механическом истирании и перемешивании серы и углерода с оксидами хрома и железа в присутствии воды в щелочной среде рассчитаны энтальпий реакций окисления-восстановления (расчеты по величинам изменения стандартных термодинамических потенциалов проводили при нормальной температуре $T = 298^\circ$). Полученные значения ΔH – энтальпий или тепловых эффектов реакций окисления-восстановления приведены в табл. 4.7 (буквенные обозначения реакций продолжены по порядку алфавита).

Таблица 4. 7

Тепловые эффекты реакций окисления-восстановления

Буквенные обозначения реакций	Системы и реакции	Тепловой эффект реакции, ΔH° ккал
А	$3\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{S} \rightarrow \text{FeS} + 4\text{Fe}_2\text{O}_3$	195,9
Б	$\text{FeS} + \text{S} \rightarrow \text{FeS}_2$	-16,0
В	$4\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{S}^\circ \rightarrow \text{SO}_2 + 4\text{FeO}$	-38,6
Г	$2\text{FeO} + 3\text{S}^\circ \rightarrow 2\text{FeS} + \text{SO}_2$	12,4
Д	$\text{FeO} + \text{S} \rightarrow \text{FeOS}$	20,8

Из сравнения вычисленных значений друг с другом и их знака, можно сделать вывод, что реакции А, Г, Д в принципе термодинамически невозможны, значения энтальпий больше 0 C^0 , т.е. положительны (ΔH) > 0, а остальные могут энергично протекать при обычной температуре. Наиболее вероятны реакции Б и В, т.к. они имеют наибольшие значения ΔH .

Следует отметить, что целесообразно проводить реакцию в присутствии достаточного количества воды, тогда ионы водорода в реакции В будут связываться в нейтральные молекулы воды в щелочной среде, а диоксид серы в молекулы соли CaSO_3 .

Кроме того, из табл. 4.5 и 4,6 следует, что энтропийный фактор ΔS (кал/град·моль) для этих реакций в конденсированной фазе не будет иметь решающего, определяющего ход реакции значения, т.к. направление процесса определяет тепловой эффект, имеющий размерность (ккал/моль) и соответственно, на три порядка большую величину, чем значения энтропии.

Для проведения опыта количество отходов на основе пиритного огарка и

технической серы брали в весовых соотношениях, пропорциональных стехиометрическим коэффициентам реакций, а сырьевую смесь слегка увлажняли до консистенции “влажного песка”.

Продукты реакции визуально отличались по цвету от исходной сырьевой смеси. В процессе механохимической обработки отмечалось заметное повышение температуры реакционной среды (около 40°C). Скорее всего сырьевая масса [190, 191] нагревалась за счет химических экзотермических реакций и за счет перехода механической энергии в тепловую. По-видимому, при механохимическом измельчении заметную роль играет температурный фактор мгновенного местного нагрева реагентов в момент механического удара. Заметную роль в твердофазных реакциях играют дефекты примесного и нестехиометрического происхождения в кристаллических решетках оксида железа [192].

Например, скорость спекания обычно увеличивается с ростом отклонения от стехиометрии, а энергия активации ползучести кристаллической решетки нестехиометрического оксида уменьшается, по сравнению с нормальным оксидом на 20-25 ккал/моль.

К этому следует добавить, что термодинамически невозможная реакция по схеме В в присутствии металлического железа (Fe⁰) становится возможной ($\Delta H < 0$):



Вышеприведенные результаты свидетельствуют о связывании серы с оксидами железа при механическом воздействии при температурах, близких к нормальной.

Интересным вариантом совместной утилизации отходов может быть добавление железных опилок и наночастиц железа для улучшения связывания серы [290, 296, 320]. Однако, соединения железа имеют большую плотность, что ведет к увеличению веса изделий. Следует особо отметить важность реакций Г и Д.

Дело в том, что они показывают принципиальную возможность и

высокую эколого-экономическую привлекательность рациональной утилизации токсичного серосодержащего шлама. Экологически опасный оксид серы в составе шлама при обработке пиритным огарком переходит в малотоксичный оксид серы, т.е. может полностью утилизироваться в составе арболитобетона. Такие сырьевые смеси рационально утилизировать, добавляя растительные отходы виде стеблей хлопчатника или других органических компонентов для получения легких арболитобетонов.

4.2.4. Технологические особенности получения серосодержащих активированных вяжущих

Повышенное количество наполнителей и добавок (50, 60 и 70 %), вводимых взамен к цементу, показано в работах [11, 43, 61-63, 74, 80, 184].

Однако, такое содержание наполнителей не нашло широкого применения, из-за недостаточной прочности смешанных вяжущих и дефицита высокоактивных портландцементов. При этом наиболее оптимальным составом, признан состав, содержащий в пределах 40 %-е зол и шламов в составе вяжущих.

При использовании высоких дозировок в смешанных вяжущих наблюдается повышение реакционной способности, которое достигается путем совместного измельчения портландцемента в присутствии химических добавок [193-196].

Для изучения возможности применения способа механохимической активации смешанных добавок в виде технической серы и пиритного огарка совместно с цементным раствором и ее влияния на свойства серосодержащего теста и прочности серосодержащего цементного камня принята методика последовательного изучения растворной смеси трехкомпонентного вяжущего. Анализ процессов, происходящих по этой последовательности, позволил выяснить причины повышения активности исходного вяжущего [62, 158, 170, 196-200].

Для проведения исследования использован портландцемент марки 400. Результаты и химический состав цемента приведены в табл. 4.1 и 4.2.

В качестве модифицирующей и дополнительной добавок использованы техническая сера и пиритные огарки. Химический состав пиритного огарка и модифицирующей добавки по масс, % приведены в табл. 4.3 и 4.4.

Образцы изготовлялись в технологической последовательности:

- подготовка серосодержащих добавок по фракционному составу и удельной поверхности;
- подготовка и дозирование серосодержащих добавок на основе пиритного огарка и технической серы;
- подготовка и дозирование портландцемента;
- приготовление и перемешивание определенного количества воды от общей массы вяжущего;
- загрузка в барабанную мельницу серосодержащих добавок в соотношения технической серы и пиритного огарка 100:200, 100:250, 150:250 по массе, размол до тонкости, характеризующейся, 8 - 10% остатка на сите № 008 и перемешивание в течение 20 мин;
- последующая добавка к серосодержащей смеси 67-70% цемента и недостающее количество воды до $V/C = 0,6$;
- совместный помол серосодержащих добавок совместно с цементом в течение 10 мин.
- остановка мельницы и выгрузка серосодержащего вяжущего состава.

При планировании исследований была реализована научная гипотеза, что для осуществления эффекта дополнительной активации каждой частицы добавок применялось их совместное измельчение, в результате чего происходила взаимная детоксикация твердых отходов, имеющих особые противоположные характеристики по химическим свойствам [296, 320].

При проведении опытных работ по предварительному определению состава и по активации серосодержащих добавок влажное измельчение происходило на конструкциях шаровой мельницы, за счет истирающих и

ударных воздействий.

По итогам работ визуально замечено, что, трехвалентное железо способно окислять серу, переходя затем в двухвалентное железо, т.к. цвет обрабатываемой смеси изменялся от желтоватого до серо-зеленого.

При совместном измельчении серосодержащих компонентов с цементом повышалась прочность серосодержащего цементного камня. Оценка влияния серосодержащих добавок в зависимости от их состава, удельной поверхности и времени помола на предел прочности при сжатии серосодержащего камня приведены в табл. 4.8.

При этом пиритный огарок, по-видимому, выполнял роль инициатора физико-химического процесса коагуляции вяжущей смеси. В процессе коагуляции происходит поляризация дисперсных частиц вяжущего и взаимное притяжение их между собой, что усиливает процессе структурообразования.

Как видно из табл. 4.8, при активации серосодержащего вяжущего предел прочности при сжатии серосодержащего цементного камня повышается на 30 % по сравнению с контрольными образцами без активации.

Таблица 4.8

Влияние удельной поверхности добавок на физико-механические свойства серосодержащего вяжущего различного состава

Удельная поверхность, см ² /см ³	Состав вяжущего, % (цемент: пиритныйогар ок: сера)	Предел прочности при сжатии, МПа через сут.:		
		7	14	28
2850	74:18:8	8,7	9,2	10,3
4425	70:18:12	8,75	9,2	10,3
4650	67:20:13	8,8	9,3	10,32
4705	74:18:8	9,2	9,9	10,8
4850	70:18:12	9,5	10,5	11,2
4930	67:20:13	9,7	10,7	11,5
4805	74:18:8	9,3	9,95	11
4920	70:18:12	9,5	10,5	11,5
4960	67:20:13	9,8	11,1	11,9

Известно [290, 320], что повышение реакционной способности компонентов вяжущего при мокром помоле достигается не только за счет повышения дисперсности в жидкой фазе, но и изменением кристаллической структуры, формы частиц, что является предпосылкой интенсификации процесса коагуляции серосодержащей смеси. При этом, химический и минералогический состав исходного вяжущего остаются неизменными.

Механизм активации заключается в взаимодействии вновь обнажающихся поверхностей частиц вяжущего при мокром помоле, т.е. в придании механического и химико-энергетического импульса каждой частице.

Можно отметить, что механизм активации заключается в повышении сил межмолекулярных взаимных притяжений и возникновении поверхностных валентных сил при сближении наночастиц коллоидной системы.

Полученные результаты исследования можно использовать при разработке оптимальных составов серосодержащих арболитовых изделий различного назначения.

4.2.5. Влияние добавок серы на фазовый и минеральный состав серосодержащего цементного камня

Снижение прочности серосодержащего вяжущего зависит от снижения концентрации цементирующих образований в структуре цементного камня в результате снижения общего количества вяжущего. При этом из полученных зависимостей установлено, что наибольшие значения прочности серосодержащего вяжущего наблюдается при введении добавок технической серы 10 - 13 % от массы сухих компонентов. Учитывая, что прочностные характеристики серосодержащего цементного камня определяются в значительной степени его фазовым и минеральным составом, необходимо рассмотреть влияние на них добавок технической серы.

Для этого был проведен комплекс исследований с использованием

методов рентгенофазового, дифференциально-термического анализом, микроскопического анализа проб серосодержащего цементного камня, взятых из образцов с добавкой технической серы в количестве 10-13 % от массы сухих компонентов. Кривые рентгенофазового анализа (РФА) представлены на рис. 4.1 - 4.4.

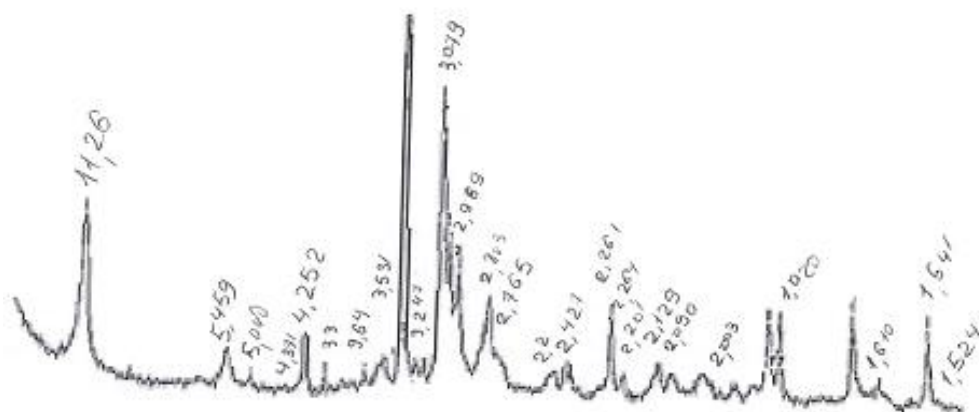


Рис 4.1 РФА образцов цементного камня без добавкисеры

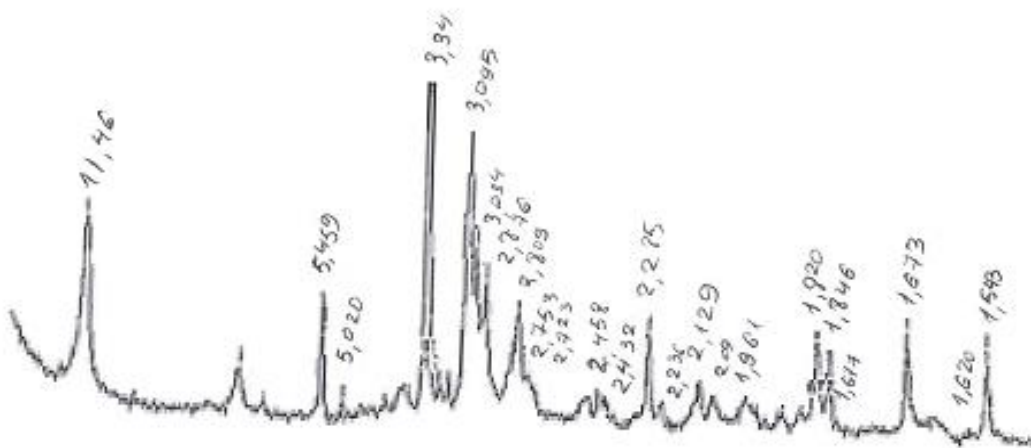


Рис 4.2 РФА образцов серосодержащего цементного камня с добавкой серы в количестве 8%

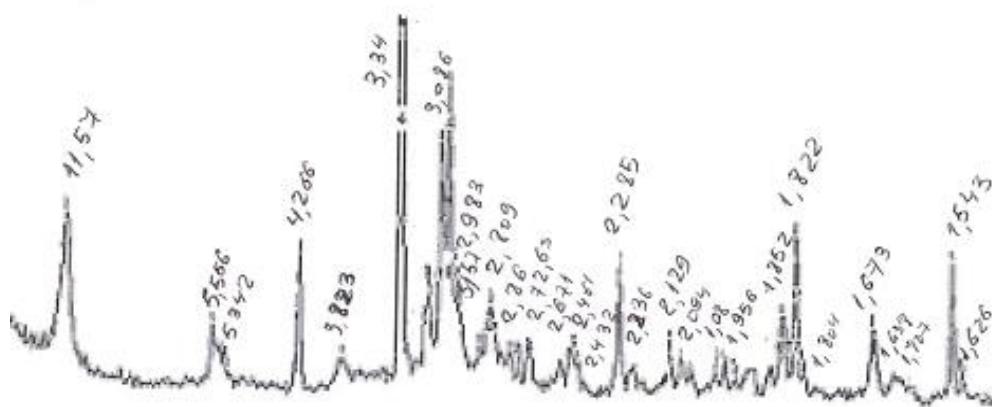


Рис 4.3 РФА образцов серосодержащего цементного камня с добавкой серы в количестве 12%

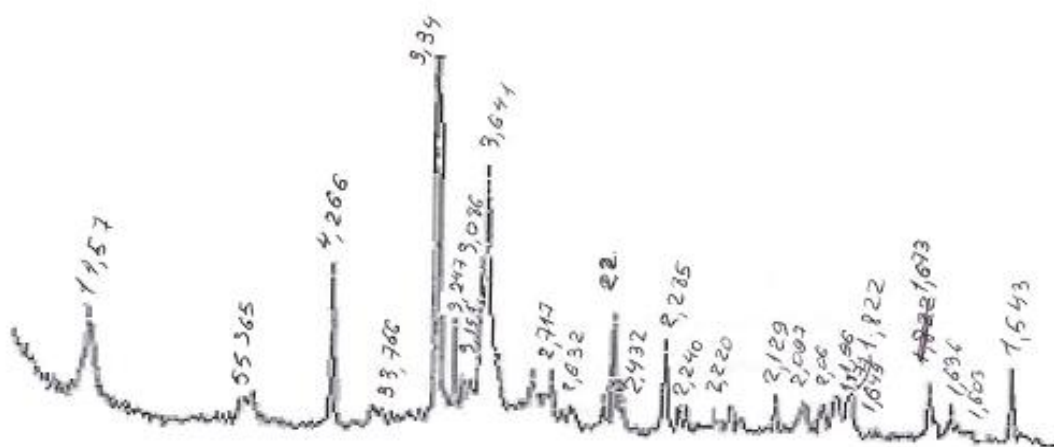


Рис 4.4 РФА образцов серосодержащего цементного камня с добавкой серы в количестве 13%

По полученным результатам рентгенофазового анализа в образце из цементного раствора без добавки серы (рис. 4.1) в качестве основных образуются минералы тоберморитовой группы: 1,1-нм тоберморит и низкоосновные гидросиликаты. В составе основных вяжущих минералов также присутствует значительное количество аморфной фазы, которая представлена гелеобразными гидросиликатами. Также, в составе цементного камня присутствует исходные минералы: кварца и кальцита. Минеральный состав образцов серосодержащего цементного камня с добавками серы от 8 до 13% (рис. 4.2 - 4.4) представлен теми же минералами, что и цементный камень без серосодержащей добавки. При этом замечается значительное

изменение дифракционных отражений гидросиликатов, что позволяет предполагать их количественное и фазовое изменение. В образцах с добавками серы в количестве 8 % (рис. 4.2), относительное содержание тоберморита на 45 % выше, чем в исходных образцах, что позволяет предположить формирование в структуре серосодержащего цементного камня большего количества данного минерала. На повышенное содержание тоберморита указывает также увеличение его дифракционных максимумов. Увеличение ширины данных пиков, а также уменьшение расчетных значений размера области когерентного рассеяния (ОКР) тоберморита на 33 % в образцах с добавкой технической серы по сравнению с исходными образцами указывает на снижение степени закристаллизованности данного минерала.

Полученные результаты работы позволяет утверждать, что за счет повышения в структуре кристаллов тоберморита мелкого размера, содержание аморфной фазы в данном материале повышается на 3,8 %.

В образцах с добавками технической серы в количестве 12% (рис. 4.3) относительное содержание тоберморита больше на 31 %. Однако значение размера области когерентного рассеяния (ОКР) меньше на 42 %, а содержание аморфной фазы повышается на 8,8 %. В образцах с добавкой технической серы в количестве 13% (рис. 4.4) содержание тоберморита выше на 12 %, чем в образцах без серы, в то время как значение размера области когерентного рассеяния (ОКР) снижается на 49 %, а содержание аморфной фазы при этом выше на 16 %.

В серосодержащих образцах с добавкой технической серы в количестве от 8-ми до 13 % значительно увеличивается интенсивность дифракционного максимума при $d=0,3041$, который согласуется с исследованиями [205, 206, 210] и показывает присутствие относительно хорошо закристаллизованных гидросиликатов. Это позволяет предположить повышение степени закристаллизованности цементного камня в зависимости от увеличения добавки технической серы.

Увеличение относительного содержания 1,1-нм тоберморита в составе

вяжущего цементного камня при введении добавки из технической серы, согласно известным представлениям и полученным результатам работ [205, 207, 210] объясняется образованием в его структуре повышенного количества «аномальных» разновидностей, для которых требуется значительно меньше энергозатрат по сравнению с показателем для «нормальных» соединений, в результате чего, они по степени кристаллизации очень близки к гидросиликатам кальция.

В работах [208] показано, что «аномальные» разновидности 1,1-нм тоберморита имеют тенденцию к образованию кристаллов с меньшими размерами.

На рис. 4.5-4.8 представлены электронные фотографии микроструктуры плотных цементных образцов и образцы с серосодержащими цементными камнями в количестве от 8 до 13%.

Результаты анализа спектрометрии данных образцов показывает, что при удалении связанной воды в структуре 1,1-нм тоберморита происходит его переход в 0,98-нм тоберморит. Также четкий термический эффект показывает на очень высокую степень закристаллизованности тоберморита (рис. 4.9, 4.10).

Слабый термический эффект при температуре 550 - 565 °С показывает, вероятно, переход тоберморита в полиморфное состояние и превращение кварца.

Незначительный эндотермический эффект с началом температуры от 685 °С до 760 °С связан с диссоциацией карбоната кальция. Однако, при этом потеря массы в данном промежутке температуры составляет 2,5 %, что соответствует его содержанию в серосодержащем цементном камне 4,5 % по массе.

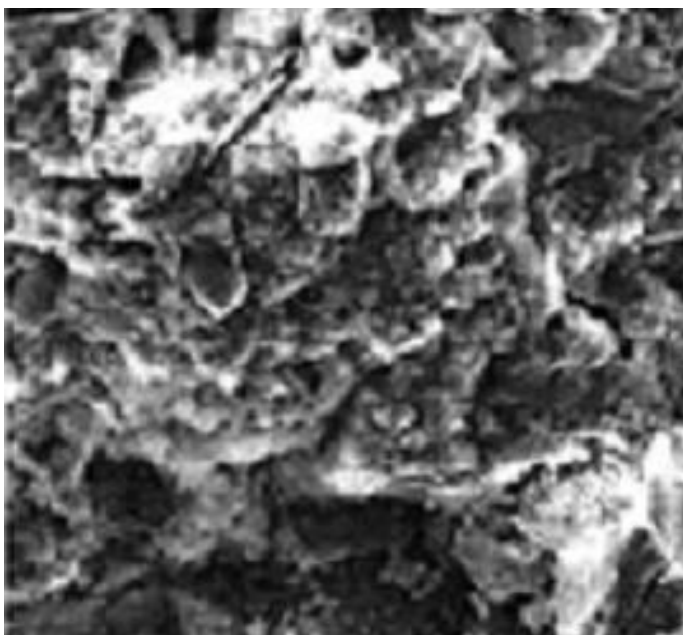


Рис. 4.5. Микроструктура образцов плотного цементного камня

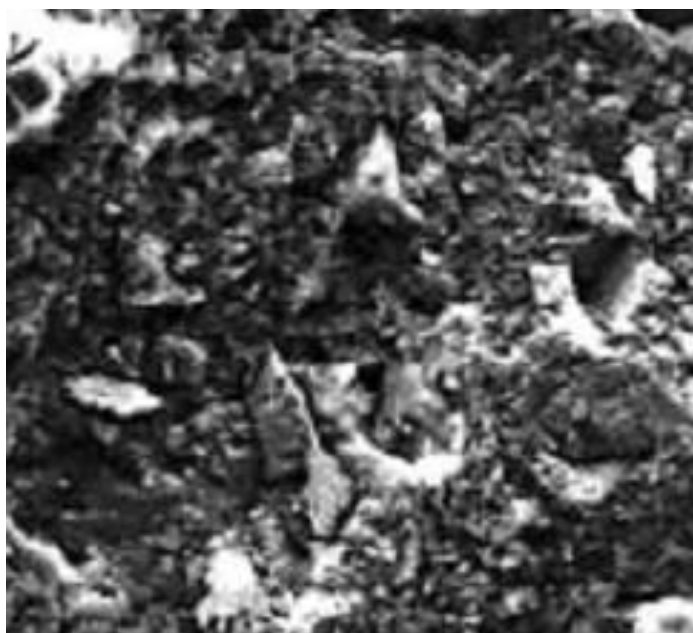


Рис. 4.6. Микроструктура образцов серосодержащего цементного камня с добавкой серы 8 % по массе



Рис. 4.7. Микроструктура образцов серосодержащего цементного камня с добавкой серы 12 % по массе

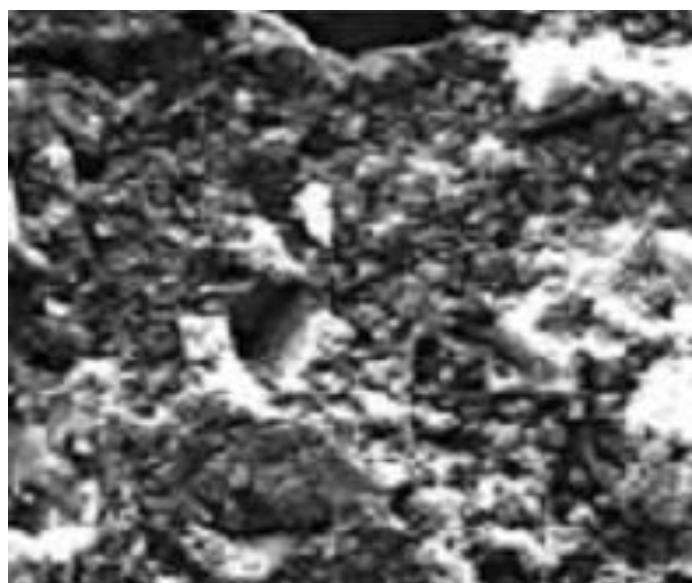


Рис. 4.8. Микроструктура образцов серосодержащего цементного камня с добавкой серы 13 % по массе

Интенсивный рост экзотермического эффекта с началом температуры от 790 °С до 815 °С показывает присутствие низкоосновного гидросиликата тоберморитовой группы, содержание которого вероятно является преобладающим в структуре серосодержащего цементного камня.

Довольно яркие и сильные дифракционные значения на графике рентгенофазового анализа и четкий экзотермический эффект в

дифференциально - термическом анализе показывает, что характерные данные соответствуют гидросиликатам кальция, в частности 1,1-нмтобермориту, что позволяет утверждать об относительно высокой степени закристаллизованности данного минерала. Полученные результаты работы хорошо согласуется с данными работ исследователей [206, 207, 209], в которых высокая прочность силикатных материалов достигается при формировании в структуре серосодержащего цементного камня преимущественно низкоосновных гидросиликатов кальция.

На графике дифференциально-термического анализа серосодержащего цементного камня (рис. 4.10) и на графике цементного камня без добавки серы (рис. 4.9), наблюдается эндотермический эффект в интервале от 20 до 450 °С, обусловленный удалением кристаллизационной и адсорбционной воды.

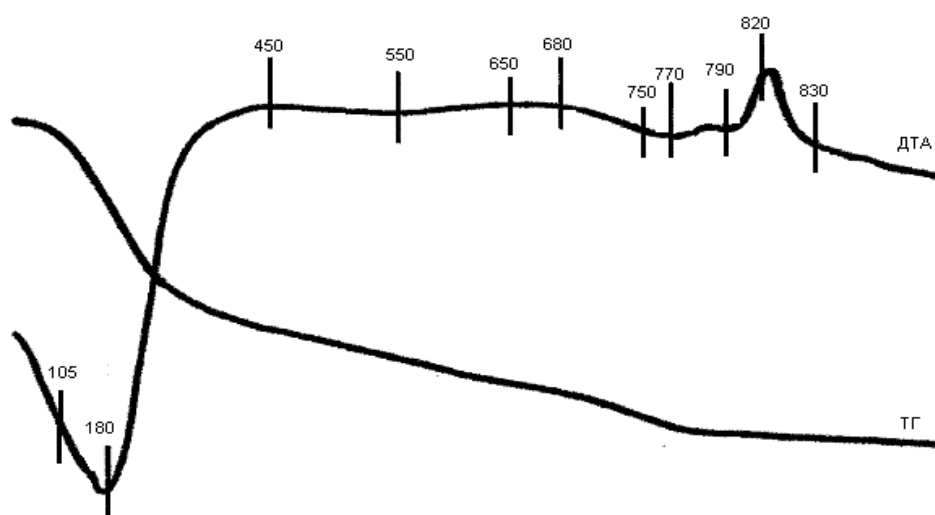


Рис. 4.9. Кривые потери массы термографического (ТГ) и дифференциально-термографического (ДТА) анализов цементных образцов без добавок серы

Однако минимум данного термического эффекта в серосодержащем образце несколько меньше, что показывает в нем на малое количество адсорбционной влаги в результате гидрофобизирующего действия технической серы, а также уменьшения капиллярной пористости серосодержащего материала в результате снижения водотвердых

значений растворных смесей. Потеря массы в данном промежутке температур составила 9,7 %.

В образцах с добавкой технической серы минимум от 180 до 200 °С менее выражен, чем на графике кривой дифференциально-термического анализа образцов без серы, что экспериментально подтверждает образование «аномальных» явлений разновидностей 1,1-нм тоберморита, для которых свойственно постепенное удаление кристаллической воды.

Присутствие свободной технической серы в составе серосодержащего цементного вяжущего камня и процесс ее окисления дает сложный экзотермический эффект с началом при 370 °С и максимумом при 400 °С, также небольшой эндотермический эффект наблюдается при температуре 440 °С и соответствует температуре кипения технической серы. Дальнейшее снижение термического эффекта в промежутке температуры от 440 до 540 °С показывает удаление продуктов окисления серы.

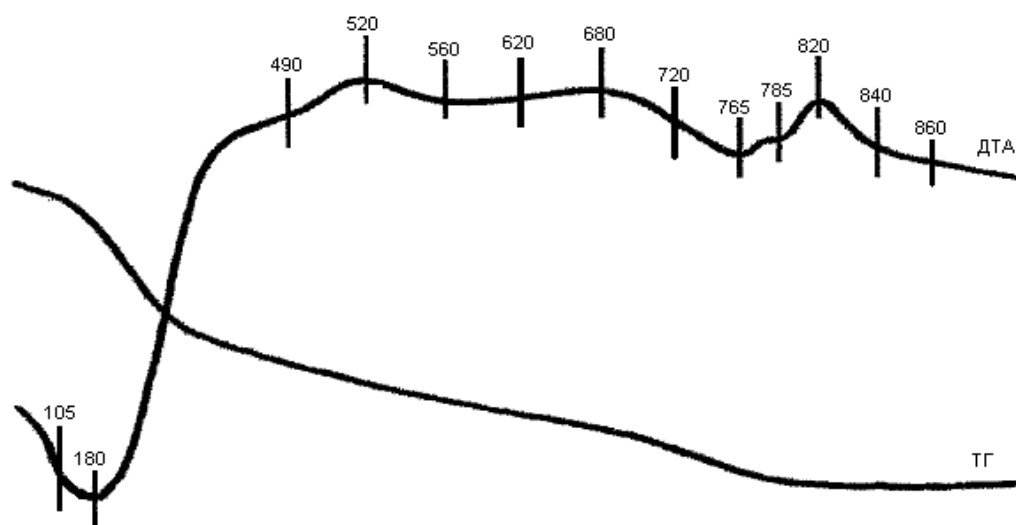


Рис. 4.10. Кривые потери массы термографического (ТГ) и дифференциально-термографического (ДТА) анализов образцов с содержанием серы 13% по массе

На графике дифференциально-термического анализа образцов с добавками технической серы наблюдается незначительный термический эффект с началом температуры от 675 °С и минимумом при 760 °С, характеризующий разложению карбоната кальция. Потеря массы в данном

промежутке температур составила 1,95 %, что соответствует содержанию в образце карбоната кальция в количестве 4,32 % по массе. Экзотермический эффект в промежутке температур от 780 до 840 °С с максимумом при 830 °С соответствует перекристаллизации гидросиликатов кальция.

Более широкий температурный промежуток данного эффекта и перемещение его максимума в сторону более высоких температур у серосодержащего образца по сравнению с максимумом исходного образца, указывает на повышение содержания составляющих тоберморитовых минералов, которые, обладают кристаллической структурой близкой к кальцитам, но проявление экзотермического эффекта у них наблюдается только при более высокой температуре с максимумом при 830 °С. Скорее всего смещение максимума экзотермического эффекта на графике дифференциально-термического анализа происходит в результате наложения пиков экзотермических эффектов свойственных для 1,1-нм тоберморита и кальцита. Таким образом проведенный дифференциально-термический анализ подтверждает предположение, что введение добавки серы в состав бетонной смеси способствует образованию в серосодержащем цементном камне повышенного количества 1,1-нм тоберморита различного вида, в то время как сама техническая сера, остается в свободном виде.

На основании полученных результатов исследования можно сделать вывод, что увеличение прочностных свойств серосодержащих цементных образцов, при введении добавок из технической серы в количестве от 8 до 13% от массы сухих компонентов серосодержащей смеси, происходит в результате ее упрочняющего и уплотняющего действия.

4.3. Разработка оптимальных составов и исследование свойств серосодержащего вяжущих

4.3.1. Исследование влияния добавки серы на прочностные свойства серосодержащих вяжущих

Как было рассмотрено выше добавка технической серы и ее производных в цементную смесь улучшает характеристики бетонного камня. Поэтому в данной работе проводилось исследование влияния добавки серы на прочностные свойства серосодержащих вяжущих. Были приняты следующие соотношения компонентов растворной смеси: (цемент:пиритный огарок : сера, по массе, %): 74:18:8, 70:18:12, 67:20:13. Водотвердое отношение серосодержащих вяжущих принималось из условия обеспечения заливки в формы растворных смесей с диаметром их расплыва конуса, при котором [205-207] обеспечивается оптимальное формирование поровой структуры и наибольшая прочность раствора.

Для проведения исследований по определению влияния добавки технической серы на прочностные характеристики серосодержащего цементного камня были изготовлены образцы размером 100x100x100 мм при водотвердом отношении 0,385, при котором обеспечивалось растекание серосодержащей растворной смеси 200 мм на встряхивающем столике. Для сравнения были изготовлены образцы из цементных растворов, имеющие равную подвижность с бездобавочным составом при водотвердом отношении равном 0,385. Техническая сера вводилась в количестве 8 - 13% в комбинациях с пиритным огарком (18% пиритный огарок+8% сера), (18% пиритный огарок+12% сера), (20% пиритный огарок+13% сера) от массы сухих компонентов. В ходе исследований определялись физико-механические свойства серосодержащих образцов. Результаты работы приведены в таблице 4.9.

Как видно из полученных данных, введение добавки из технической серы в количестве 8-13 % увеличивает предел прочности образцов при сжатии, приготовленных из растворов при водотвердом отношении равном

0,385 во влажном и сухом состоянии. Дальнейшее увеличение добавки из технической серы приводит к снижению прочностных характеристик раствора, при этом закономерности изменения прочности для всех образцов имеют сходный характер. При добавке технической серы в количестве 8 и 13 % прочность серосодержащих образцов при сжатии повышается на 9,2 и 8 % в сухом и на 10,8 и 8,8 % во влажном состоянии соответственно.

Из полученных прочностных показателей серосодержащих образцов, изготовленных на основе равноподвижныхрастворных смесей (табл. 4.9) видно, что для них наблюдается та же закономерность, что и для образцов, приготовленных при одинаковом водотвердом отношении. Это обусловлено, вероятно, уменьшением капиллярной пористости и повышением плотности образцов в результате снижения водотвердого отношения при введении технической серы. Так установлено, что при введении технической серы в количестве 8 и 13 % плотность серосодержащих образцов увеличивается в среднем на 9 - 10 %, при этом предел прочности при сжатии возрастает в среднем на 17 %.

Таблица 4.9

Характеристики серосодержащих вяжущих с добавкой серы

№ п/п	Состав вяжущего, %				Плотность в сухом состоянии, кг/м ³	Предел прочности, МПа	
	Сера	Пиритный огарок	Цемент	Вода		при сжатии	при изгибе
1	8	18	64	9,89	1590	64,7	8,53
2	12	18	70	9,12	1570	65,9	9,14
3	13	20	67	9,27	1590	73,5	10,9

Результаты табл. 4.9. показали, что рациональным количеством добавки серы при принятом способе ее введения в состав, является 10 - 13 % от массы сухих компонентов смеси, обеспечивающее наибольшее повышение прочностных показателей серосодержащего цементного камня.

4.3.2. Разработка состава серосодержащего вяжущего с помощью метода регрессионного анализа

Исследования показали, что введение добавки из технической серы позволяет повысить прочностные характеристики серосодержащего вяжущего, что создает предпосылки для экономий расхода цемента при обеспечении требуемой прочности не менее 50 МПа.

Оптимизация составов серосодержащего вяжущего выполняли методом математического планирования эксперимента. Для этого предусмотрели реализацию трехфакторного эксперимента 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 серосодержащего вяжущего – прочность при сжатии и плотность образцов в сухом состоянии. При выборе переменных факторов исходили из условия, чтобы описывался состав серосодержащего вяжущего. Поэтому переменными величинами приняты: расход цемента (X_1), расход пиритного огарка (X_2) и отношение серы к пиритному огарку (X_3). Центр эксперимента и интервалы варьирования переменных для реализации запланированных экспериментов приведены в табл. 4.10.

Таблица 4.10

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 пиритного огарка, кг/м ³	X_2	68	70	72	2	47	93
Отношение серы к пиритному огарку	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 серосодержащего вяжущего с добавлением воды затворения, обеспечивающей жесткость вяжущей смеси.

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

$$Y_1(R_{сж}) = 24,88 + 8,83X_1 - 4,48X_2 - 1,02X_1^2 - 0,8X_2^2 - 2,98X_3^2 \text{ (МПа)}; \quad (4.1)$$

$$Y_2(P) = 1610 + 59,3X_1 - 139,6X_2 - 51,3X_3 - 9,9X_1^2 - 13,3X_2^2 + 6,17X_3^2 \text{ (кг/м}^3\text{)} \quad (4.2)$$

При проверке пригодности приведенных уравнений по критерию Фишера оба они оказались адекватными. Каждой аналитической модели соответствуют определенный геометрический образ. Следовательно, уравнения, определяющие зависимости прочности и плотности серосодержащих вяжущих от переменных факторов могут быть представлены и графически. Анализ полученной модели прочности серосодержащего вяжущего показывает, что:

- наиболее значимым фактором, влияющим на прочность состава серосодержащего 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 серосодержащего вяжущего возрастает и за пределами исследуемой области, но незначительно;

- вторым по значимости фактором, влияющим на прочность серосодержащего вяжущего, является X_2 - расход пиритного огарка. С увеличением содержания пиритного огарка прочность серосодержащего вяжущего падает за пределами исследуемой области, но с большой интенсивностью;

- менее значимо отношение серы к пиритному огарку (X_3). Отсутствие коэффициента при X_3 свидетельствует о том, что центр эксперимента выбран в области оптимума. Оптимальным отношением серы к пиритному огарку

является значение фактора X_3 , равное 0,525.

Анализ математической модели плотности серосодержащего вяжущего свидетельствует, что наиболее значимым фактором состава, влияющим на плотность серосодержащего вяжущего, является фактор X_2 - расход пиритного огарка, т.к. коэффициенты при X_2 (-138,6) и X_2^2 (+13,3) оказались наибольшим по абсолютной величине. По графическому материалу и математическим моделям прочности и плотности серосодержащего вяжущего, также данным, полученным в ходе реализации активного эксперимента, выполнен расчет оптимальных составов серосодержащего вяжущего, которые приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11

Свойства серосодержащих вяжущих составов при различных соотношениях компонентов

Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{см}^3$	Состав вяжущего, по массе, % (цемент: пиритный огарок: сера)	Плотность в сухом состоянии, $\text{кг}/\text{м}^3$	Влажность, %	Предел прочности при сжатии, МПа
2850	74:18:8	1590	9,89	64,7
4425	70:18:12	1570	9,12	65,9
4650	67:20:13	1590	9,27	73,5
4705	74:18:8	1590	9,89	64,7
4850	70:18:12	1570	9,12	65,9
4930	67:20:13	1590	9,27	73,5
4805	74:18:8	1590	9,89	64,7
4920	70:18:12	1570	9,12	65,9
4960	67:20:13	1590	9,27	73,5

Из табл. 4.11 видно, что на всем диапазоне изменения предела прочности при сжатии серосодержащего вяжущего расходы цемента существенно ниже нормируемых значений соответствующего класса вяжущего. Как видно из рис. 4.11-4.13 и табл. 4.11, введение добавки серы в количестве 8 - 13% обеспечивает требуемое значение предела прочности при сжатии серосодержащего вяжущего от 53,4 до 73,5 МПа, при плотности 1590 $\text{кг}/\text{м}^3$ и при содержании цемента в составе серосодержащей смеси в

количестве 67 % (по массе). Оптимальными составами серосодержащих вяжущих являются, масс. %: цемент 67%:пиритный огарок 20%: сера 13%.

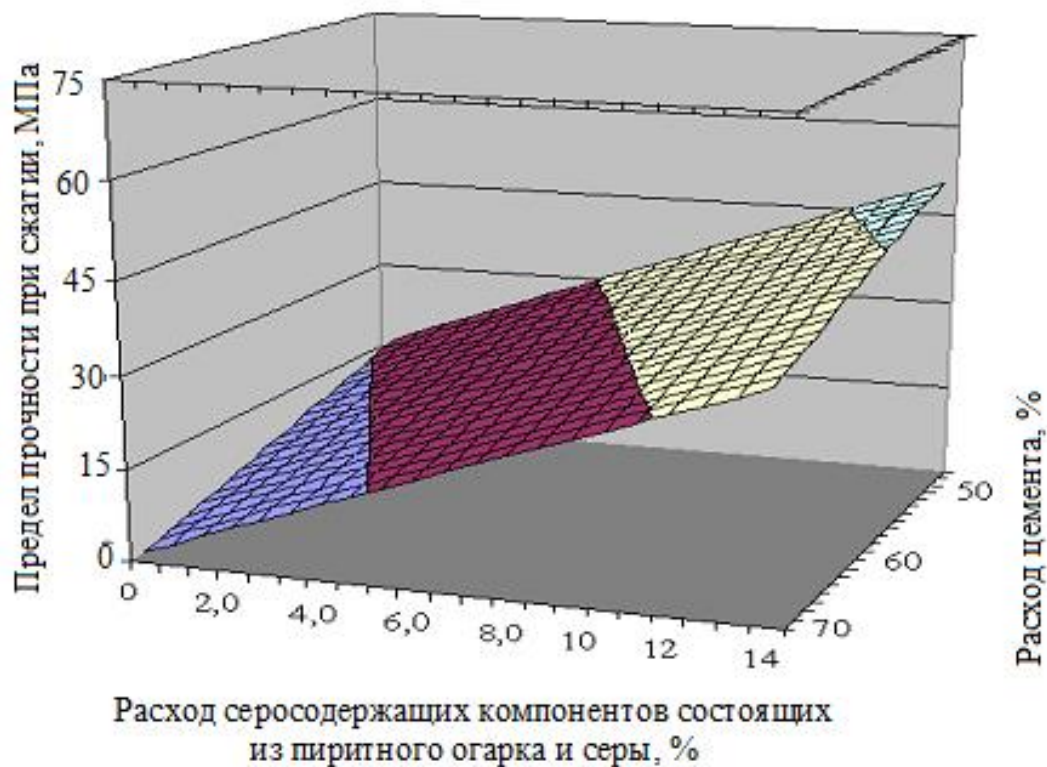


Рис. 4.11. Зависимость предела прочности при сжатии серосодержащего вяжущего от расхода цемента и серосодержащих компонентов при отношении серы к пиритному огарку 0,525

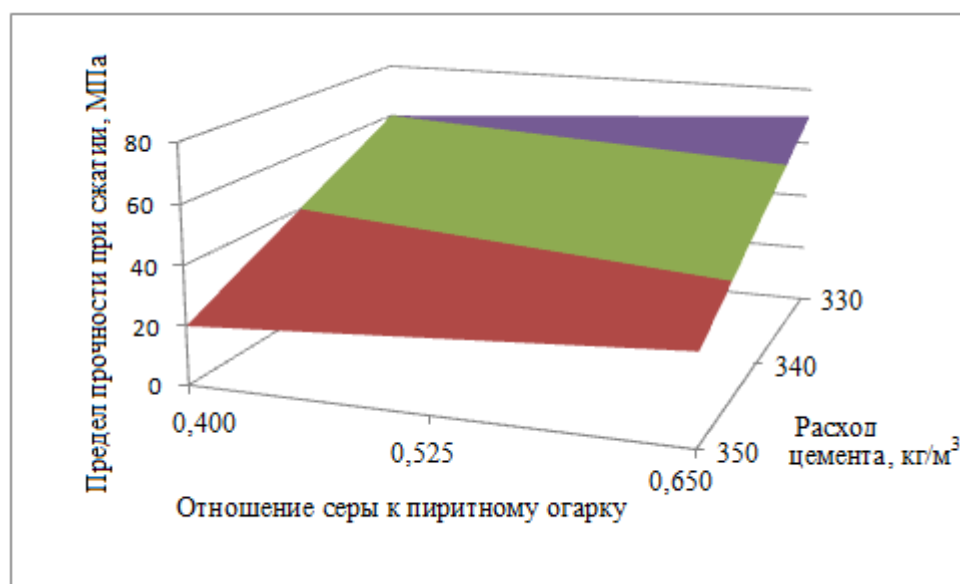


Рис. 4.12. Зависимость предела прочности серосодержащего вяжущего при сжатии от расхода цемента и отношение серы к пиритному огарку при расходе серосодержащих компонентов 70 кг/м³

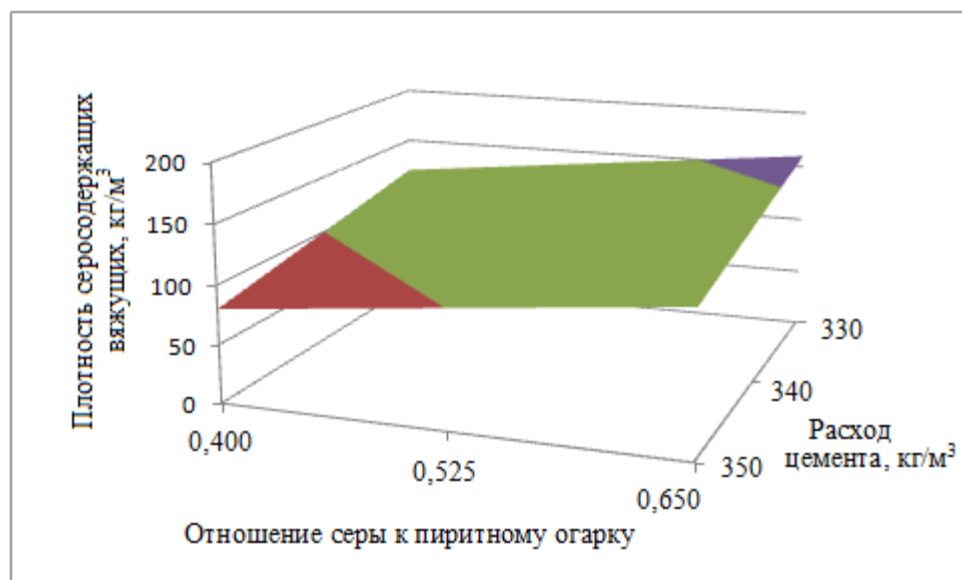


Рис. 4.13. Зависимость плотности серосодержащего вяжущего от расхода цемента и серы к пиритному огарку при расходе серосодержащих компонентов 70 кг/м^3

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

4.3.3. Основные характеристики разработанных серосодержащих вяжущих

К важнейшим свойствам серосодержащих вяжущих, обуславливающим основные физико-механические свойства арболитобетонов на их основе, относятся сроки схватывания и изменение прочности во времени в различных условиях твердения, зависящие главным образом от вида вяжущих составов и добавок.

Изучение свойств вяжущих проводилось на растворах оптимальных составов серосодержащих вяжущих. Исследовались свойства растворной смеси и камня вяжущего. Свойства растворной смеси определяли по срокам

схватывания серосодержащих вяжущих при различных соотношениях по массе, % (цемент : пиритный огарок : техническая сера) (табл. 4.12).

Таблица 4.12

Сроки схватывания серосодержащих вяжущих составов

№ п/п	Расходы серосодержащих вяжущих составов, %			Сроки схватывания, ч-мин	
	расход цемента, %	расход пиритного огарка, %	расход технической серы, %	Начало	конец
1	74	18	8	0-55	2-15
2	70	18	12	1-10	2-25
3	67	20	13	1-20	2-35

Установлено, что серосодержащие вяжущие является быстросхватывающимся, начало и конец схватывания составляют соответственно 0-55 и 2-35 мин., на сроки схватывания влияет количество вводимой железосеросодержащей добавки и цемента. С увеличением количество цемента сроки схватывания уменьшаются.

Исследование свойств камня серосодержащих вяжущих проводили по его пределу прочности при сжатии.

Найдено, что изменение прочности во времени разработанных серосодержащих вяжущих композиций зависит от их состава, условий обработки и последующего твердения.

Изменение прочности серосодержащих вяжущих естественного твердения определялось на образцах, длительное время хранившихся в нормальных условиях, а на образцах, подвергавшихся тепловой обработке - в воздушно-сухих условиях.

Результаты испытаний после длительного твердения серосодержащих вяжущих композиций на основе серы и пиритного огарка свидетельствует о том, что эти вяжущие обладают высокими прочностными характеристиками и с течение времени марка их становится от 65 до 75 МПа (табл. 4.13).

**Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ и изгибе $R_{изг}$
серосодержащих вяжущих составов в зависимости
от времени и условий твердения, МПа**

№ п/п	Продолжитель- ность твердения, сут	Содержание вяжущих составов, % по массе (цемент : пиритный огарок : се́ра)	Естественное твердение		После тепловой обработки	
			$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа	$R_{изг}$, МПа	$R_{сж}$, МПа
1	28	74:18:8	5,1	54,7	5,5	64,7
2	90	70:18:12	5,2	55,9	5,6	65,9
3	180	67:20:13	5,3	56,5	6,4	73,5
4	28	74:18:8	5,32	56,7	5,9	65,7
5	90	70:18:12	5,33	56,9	5,93	66,9
6	180	67:20:13	5,4	57,5	6,5	74,5
7	28	74:18:8	5,5	58,7	5,94	65,9
8	90	70:18:12	5,6	58,9	6,55	70,9
9	180	67:20:13	5,62	59,5	6,95	75,1

Таким образом, предложенные серосодержащие вяжущие композиции с течением времени увеличивают прочность в 1,2-1,5 по сравнению с первоначальной прочностью, что обусловлено составом серосодержащих вяжущих композиций и условиями твердения.

Выводы по главе 4:

1. Установлено, что техническая сера - отход нефтехимической промышленности является эффективной добавкой в серосодержащих композициях, обеспечивающая повышение прочности, снижение сорбционной влажности и водопоглощения арболитобетонам. Показано, что наиболее эффективным способом введения добавок технической серы является ее совместный помол с железосодержащими сырьевыми материалами в виде пиритного огарка.

2. Полученные результаты термодинамического расчета свидетельствуют о возможности связывания серы с оксидами железа при механическом воздействии при температурах, близких к нормальной.

3. Установлено, что механизм активации серосодержащих композиций заключается во взаимодействии вновь обнажающихся поверхностей частиц вяжущего при мокром домоле. При этом интенсифицируется процесс коагуляции вяжущей смеси и происходит интенсивное образование каркаса кристаллической решетки за счет образования кристаллогидратов.

4. На основании результатов фазовых исследований установлено, что повышение прочностных характеристик серосодержащих цементных образцов при введении добавок серы в количестве 8 - 13 % от массы сухих компонентов смеси происходит из-за повышения относительного содержания в составе камня 1,1-нм тоберморита и формирования мелкокристаллической структуры, которое способствует снижению кристаллизационного давления в структуре материала и увеличению количества межкристаллических контактов.

5. Выявлено, что добавки на основе технической серы побочного продукта нефтехимической промышленности повышают физико-механические показатели серосодержащего цементного камня. Так введение серосодержащей добавки в количестве 8 - 13% обеспечивает повышение прочности до 73,5 МПа при содержании серосодержащих компонентов (цемент 67% + пиритный огарок 20% + сера 13%) в составе смеси по массе %.

6. Установлено, что предложенные составы серосодержащих вяжущих композиций с течением времени увеличивают прочность в 1,2-1,5 по сравнению с первоначальной прочностью, что обусловлено составом серосодержащих вяжущих композиций и условиями твердения.

Глава 5. РАЗРАБОТКА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ НА СВОЙСТВА СЕРОСОДЕРЖАЩЕГО АРБОЛИТА

5.1. Исследование влияния основных составляющих компонентов на прочностные свойства серосодержащего арболита

5.1.1. Исходные сырьевые материалы и методика их испытаний

В последнее годы внимание многих ученых республик Центральной Азии привлекают вопросы получения конструкционных материалов, на основе органоминеральных композиций, в качестве составляющих которых применяются комбинированные минеральное вяжущее и целлюлозный органический наполнитель [5, 35, 250, 289, 293, 300-302, 307].

Целлюлозный органический наполнитель и минеральное вяжущее вещество различны по своей природе. Использование портландцемента в качестве вяжущего усложняет технологию производства из-за наличия в органическом наполнителе водозкстративных веществ - так называемых «цементных ядов».

Настоящая работа посвящена исследованиям влияния целлюлозных органических наполнителей на прочность серосодержащего арболита, их сцеплению с камнем вяжущего, разработке составов, изучению свойств арболита и разработке технологии его производства.

В качестве исходных пористых наполнителей для получения серосодержащих арболитов использовались целлюлозные органические наполнители из отходов растительности и агропромышленного комплекса согласно ГОСТ 19222.

Анализ изменения свойств целлюлозных органических наполнителей при утилизации промышленных отходов [1, 3, 4, 6, 7, 12, 17] показал, что для проведения исследования наиболее предпочтительны измельченные стебли (фибры) тростника.

Физико-химические свойства тростника, его химический и фракционный состав (табл. 5.1, 5.2) установлены опытным путем в соответствии с требованиями ГОСТ 19222, ГОСТ 25820-2000, а также на основании справочных и литературных данных [14, 19, 78].

Таблица 5.1.

Химический состав измельченных стеблей тростника, %

Целлюлоза $C_6H_{10}O_5$	Лигнин $C_{41}H_{40}O_{15}$	Пентозан $C_5H_8O_4$	Смолы и растворимые компоненты
46,17	29,76	22,00	2,07

Насыпная плотность стеблей тростника естественной влажности, составляет 70 кг/м^3 , а высушенных до постоянной массы - 58 кг/м^3 . Фракционный состав стеблей тростника приведен в табл. 5.2.

Таблица 5.2.

Фракционный состав стеблей тростника в% по массе

Остатки	Размеры ячеек сита, мм						Прошло сито с отверстием 1,25 мм
	40	20	10	5	2,5	1,25	
Частные	10	15	47	17	9,5	1,5	1,5
Полные	10	25	72	86	95,6	98,5	100

В качестве наполнителей и добавок для изготовления арболита использовались промышленные отходы предприятий Казахстана в виде шламов и твердых веществ [61-63, 142]:

1. В качестве модифицирующей добавки рассматривалась техническая сера - вторичный продукт переработки высокосернистой нефти месторождений Республики Казахстан. Сера представляет собой гранулированный продукт, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 127.1-93. Химический состав серы приведены (Глава в 4 табл. 4.4).

2. Пиритные огарки предприятия АО «Фосфорхим», состоят главным образом из смеси оксидов железа (II, III) $Fe_3O_4(Fe_2O_3)$, с пересчетом на содержание железа 40 – 63%, и примесей серы 1-2%. Остальное -

оксиды цветных металлов. Химический состав пиритного огарка, масс. % приведены (Глава 4 в табл. 4.3).

Для проведения исследования также использованы портландцемент марки 400 Чимкентского цементного завода. Испытание цемента проводили в соответствии с ГОСТ 10178-85 и ГОСТ 30744-2001, результаты приведены (Глава 4 в табл. 4.1). Химический состав цемента приведены (Глава 4 в табл. 4.2). Исследуемые составы серосодержащего арболита на основе измельченных стеблей тростника приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3

Составы исследуемых серосодержащих арболитов

№ состав а	Расход материалов 1м ³ арболита				Плотность , кг/м ³
	Измельченн ые стебли тростника, кг	Техническая сера, кг	Пиритный огарок, кг	Цемент, кг	
1	255	25	80	270	450
2	260	23	82	260	420
3	250	25	80	280	550
4	240	27	78	300	500
5	230	30	75	320	600
6	200	35	70	350	650

Серосодержащие арболитовые образцы были изготовлены в следующей технологической последовательности.

Измельченные стебли тростника подвергали процессу мерсеризации от 15 мин до 24 ч и более в контакте с серосодержащими растворами 5 -15 % щелочи, затем выполнялась:

- подготовка мерсеризованных стеблей тростника и серосодержащих добавок по гранулометрическому составу;
- подготовка и дозирование в отдельности каждого компонента серосодержащего вяжущего;
- приготовление и перемешивание серосодержащих компонентов с добавлением определенного количества воды;

- загрузка в барабанную мельницу измельченных стеблей тростника совместно с серосодержащим вяжущим;
- остановка мельницы и выгрузка готовых серосодержащих арболитовых смесей;
- формование изделий с уплотнением смеси прессовым методом;
- естественное твердение или тепловая обработка (гл.2);
- распалубка изделий.

Оптимизацию состава, свойств и технологии серосодержащего арболита выполняли опытным путем и с помощью методов математического планирования эксперимента [32-34, 79].

Изучение свойств органических заполнителей выполнялось с использованием стандартных методик по ГОСТ 19222.

Физико-механические характеристики серосодержащего арболита определяли в соответствии с ГОСТ 19222, 25820-2000, 7076-99, 7473-94, 10060.0-95 и 3476.

При исследовании прочности сцепления органического заполнителя с растворной частью серосодержащего арболита использовали комплекс независимых методов, позволяющих получить достаточно полные и достоверные данные о процессах, происходящих на границе контакта вяжущего и заполнителя.

Для исследования фазового состава контактной зоны арболита выбраны рентгеновские, микроскопические и дериватографические методы [35, 307].

Микроструктуру контактных зон серосодержащего арболита исследовали при помощи электронного микроскопа ЭМ-7.

Исследование структуры серосодержащего арболита сопровождалось фотографированием.

Исследование прочностных и деформативных свойств серосодержащего арболита проводилось в климатических условиях Центральной Азии и после камер нормального твердения. Измерение деформаций усадки производилось через 28 суток после твердения в естественных условиях. Ползучесть

серосодержащего арболита исследовалась при длительных нагружениях под различными нагрузками на образцах – призмах, размерами 150x150x600мм и образцах кубах размерами 100x100x100мм [5, 35, 307]. Исследование проводили через 28 сут после твердения в естественных условиях и после тепловой обработки. Нагружение арболита производилось при нагрузках 0,3, 0,45, и 0,75 от призмной прочности серосодержащего арболита.

В период испытаний образцов серосодержащего арболита температура воздуха изменялось:

- в климатических условиях от 23 до 45° К, относительная влажность – в пределах 70 до 80%.

- в камерах нормального твердения от 16 до 22° К, относительная влажность от 90 до 96%.

Свойства теплопроводность, огнестойкость и биостойкость серосодержащего арболита изучались при широком варьировании факторов [5, 35]. Исследование теплопроводности проводилось на кафедре физики Актюбинского регионального государственного университета совместно с кафедрой строительного материаловедения, специальных технологий и технологических комплексов Ивановского государственного политехнического университета в естественном и сухом состоянии или после тепловой обработки.

5.1.2. Исследования влияния органического заполнителя на физико-механические свойства и сцепление с камнем вяжущего серосодержащего арболита

Из основных положений теории искусственных конгломератов [1, 2, 4-6, 9, 12, 15, 33, 35, 38, 45, 47, 56], устанавливающей взаимосвязь между компонентами в бетонах оптимальной структуры следует, что на прочность серосодержащих бетонов решающие влияние должны оказывать вяжущее, органический заполнитель и контактная зона между ними.

При этом оптимизация структуры серосодержащего арболита может быть достигнута за счет более полного использования свойств органических заполнителей и вовлечения их в «работу» всего арболитобетона.

Роль заполнителей различного минералогического состава в формировании структуры бетона изучена в работе [35, 307].

Для исследования сцепления различного вида органических заполнителей с растворной частью серосодержащего арболита и их влияния на его прочностные свойства использовались измельченные до одинаковой фракции стебли тростника, рисовой соломы и хлопчатника, которые вводили в состав серосодержащего вяжущего.

Оценкой процессов, происходящих, в зоне контакта растворной части серосодержащего арболита с органическим заполнителем служила сила сцепления [35, 307].

Для характеристики величины силы сцепления органических заполнителей с серосодержащей растворной частью, а также ее влияния на прочность серосодержащего арболитобетона был выбран коэффициент эффективности заполнителя в арболите (α), который рассчитывался по результатам определения предела прочности при растяжении.

Исследования показали, что эффективно использование всех исследуемых органических заполнителей - во всех случаях $\alpha > 1$. Более низким коэффициентом обладают образцы при использовании органического заполнителя на основе рисовой соломы (табл. 5.3).

Найдено, что наивысший показатель коэффициента эффективности органических заполнителей в серосодержащем арболите, равный 1,02 и 1,01, имеют образцы на основе измельченного тростника и стеблей хлопчатника, мерсеризованные серосодержащим раствором (табл. 5.4).

Известно [5, 15, 35, 307], что сила сцепления определяется процессами химического взаимодействия, протекающими в контактных зонах, поэтому очевидно, что коэффициент эффективности α будет изменяться при изоляции поверхности заполнителя от растворной части бетона.

За величину, характеризующую влияние химического взаимодействия на силу сцепления в исследуемых бетонах, принят коэффициент φ , указывающий во сколько раз уменьшится коэффициент эффективности заполнителя в бетоне при устранении химического взаимодействия в контакте:

$$\varphi = \frac{\alpha_{\text{неизол}}}{\alpha_{\text{изолир}}}, \quad (5.1)$$

где, $\alpha_{\text{неизол}}$, $\alpha_{\text{изолир}}$ – коэффициенты эффективности неизолированных и изолированных органических заполнителей в арболитобетоне.

Интенсивное химическое взаимодействие с растворной частью серосодержащего арболита наблюдается на органических заполнителях из измельченного тростника и стеблей хлопчатника, для которых коэффициент эффективности φ находится в пределах 2,1-2,3.

При исключении химического взаимодействия с растворной частью арболита рисовой соломы коэффициент эффективности уменьшается 2 раза, что можно объяснить их структурными особенностями.

Основным вопросом данного исследования является изучение влияния пористой структуры органического заполнителя на цементный камень и на характер контактной зоны. Как известно, пористый заполнитель оттягивает часть влаги из прилегающих слоев цементного камня, что способствует их уплотнению. В свою очередь, контактные слои серосодержащего вяжущего также претерпевают изменения.

Для оценки микромеханических свойств контактных слоев серосодержащего цементного камня и органического заполнителя был использован метод определения микротвердости. Испытания проводились на полированных шлифах образцов-кубов размером 30x30x30 мм из серосодержащего цементного теста, в середину которых помещали фибру измельченного тростника. Так как основные изменения структуры контактных слоев серосодержащего цементного камня связаны с миграцией влаги в органическом заполнителе, была установлена зависимость изменения

микротвердости серосодержащего цементного камня на исходном растворе с разным соотношением компонентов в 3-х и 28-суточном возрасте. Совместно с измерениями микротвердости были проведены испытания предела прочности при сжатии образцов.

Таблица 5.4

Коэффициент эффективности различных органических заполнителей в серосодержащем арболите

Вид заполнителя	Предел прочности при растяжениях, МПа			Коэффициент эффективности заполнителя в арболите	φ
	арболита	органического заполнителя	Серосодержащего камня вяжущего		
Измельченные стебли тростника фракции 18мм	3,34	1,24	4,7	1,02	2,6
Измельченные стебли рисовой соломы фракции 18мм	1,27	0,89	4,7	0,85	2,1
Измельченные стебли хлопчатника фракции 18мм	2,73	1,22	4,7	1,01	2,3

Установлено, что высокая микротвердость в контактном слое камня вяжущего и заполнителя снижается по мере удаления от линии контакта. Исследование структуры контактных зон серосодержащего вяжущего с измельченным мерсеризованным тростником на образцах из теста вяжущего с включением фибры измельченного тростника показали, что она имеет плотную и прочную оболочку вяжущего шириной 35-60 мкм. Так микротвердость контактного слоя камня серосодержащего вяжущего с измельченным тростником равна 1550 МПа, что примерно на 15% выше

миротвердости камня вяжущего в межзерновом пространстве. Благодаря высокой пористости органического заполнителя, вяжущее проникает в глубь зерна целлюлозного органического заполнителя 105 – 135 мкм. Пористая оболочка измельченного тростника вследствие влияния эффекта самовакуумирования способствует вовлечению внутрь органического заполнителя теста серосодержащего вяжущего, которое, взаимодействуя с поверхностью стенок пор заполнителя, активирует их, при этом серосодержащее тесто плотно прилегает к поверхности частиц тростника. Контактная зона между серосодержащим вяжущим и измельченным тростником отличается плотным строением, ширина ее составляет 105-135 мкм. Микротвердость и сила сцепления органических заполнителей в арболитобетонах определяются также природой новообразований, возникающих в контактных зонах в результате физико-механических процессов взаимодействия заполнителя с компонентами серосодержащего вяжущего.

5.1.3. Исследование изменения прочности серосодержащего арболита на основе измельченных стеблей тростника в зависимости от времени твердения при различных составах и нагрузках

Исследование изменения предела прочности при сжатии при длительных нагрузках серосодержащего арболита проводилось в 7-ми, 14-ти, 28-ми, 60-ти и 90 суточном возрасте, где в качестве органической составляющей использовали мерсеризованные стебли тростника.

Испытания проводили на образцах-призмах 150x150x600 мм. Постоянную нагрузку на образцы создавали с помощью специально изготовленных пружинных установок.

Через 7 суток твердения в естественных условиях прочность растворной части серосодержащего арболита оказалась невысокой. Этот период времени может быть отнесен к первой фазе твердения арболита.

Исследование показали, что в 28 суточном возрасте образец с 26% -ной серосодержащей добавкой, содержащий наполнитель из измельченного тростника показал меньшую прочность, чем растворная составляющая.

В период от 28 до 60-ти суток наблюдается рост прочности серосодержащего арболита при различных составах и нагрузках (рис. 5.1).

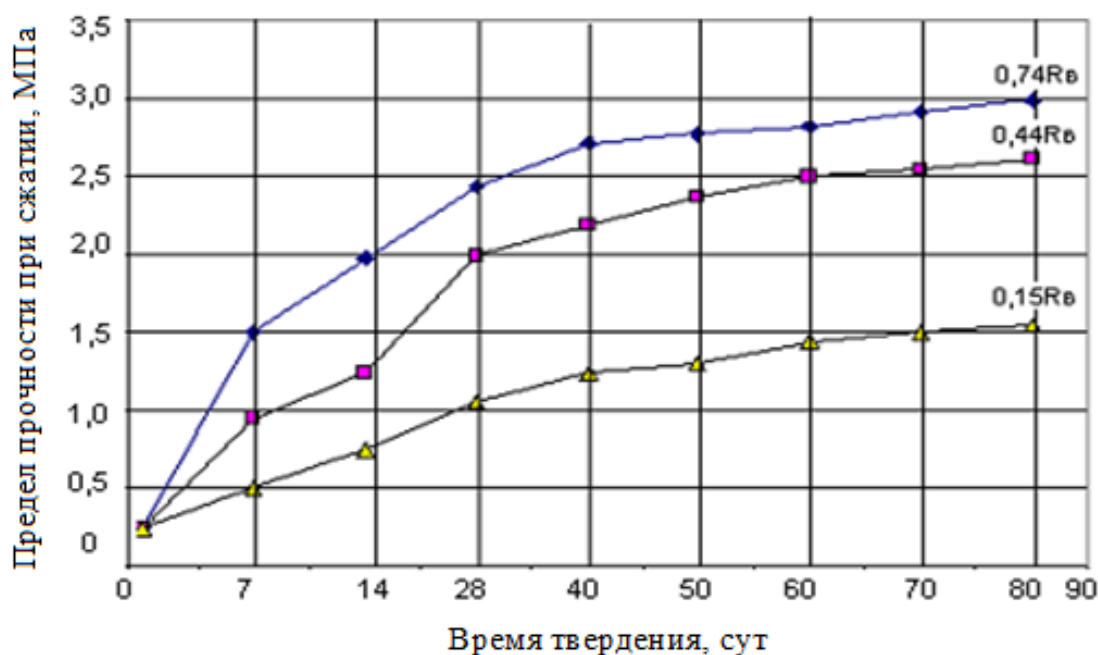


Рис 5. 1. Предел прочности серосодержащего арболита в зависимости от времени твердения при различных составах и нагрузках:

▲ – при 26% -ной серосодержащей добавке; ■ – при 30% -ной серосодержащей добавке; ◆ – при 33% -ной серосодержащей добавке

Как показывают эксперименты, прочность серосодержащего арболита продолжает возрастать даже к 90 суточному возрасту, хотя в этот период рост прочности происходил менее интенсивно, чем в первый.

Полученные результаты дают основание утверждать, что в нагруженном состоянии мерсеризованной органический наполнитель оказывает большое сопротивление нагрузкам, упрочняется и может воспринимать даже большую нагрузку, чем в ненапряженном состоянии. По-видимому, формирование нано- и микроструктуры и упрочнение мерсеризованного органического наполнителя происходит за счет возникновения своеобразной эффекта

«дубления» в волокнах стебля тростника, аналогичного эффекту дубления кожи [55, 56, 268] и изменения модуля деформации составляющих серосодержащего арболита при нагрузке. Кроме того, нельзя исключить появления эффекта, аналогичного вулканизации в технологии резинотехнических изделий, при котором происходит «сшивка» линейных полимеров каучука, за счет образования мостиковых (-S) связей между молекулами полимеров [55, 268]. Можно предположить, что мерсеризация (увеличение доступного количества OH⁻ групп) целлюлозы, облегчает и подготавливает прохождение реакций поликонденсации, т.е. появления дополнительных мостиковых (-O-) кислородных связей между молекулами целлюлозы, что и увеличивает ее прочность.

Термодинамический весьма вероятными процессами являются реакции «сшивки» длинных органических молекул целлюлозы многовалентными элементами (серой, бором, хромом) в результате реакций поликонденсации, при которых две (OH⁻) - группы образуют (-O-) оксо – группу с отщеплением воды (-OH) → (-O-) + H₂O.

С другой стороны, причиной более высокой прочности серосодержащего арболита является «кольматация» нано- и микропор мерсеризованной целлюлозы элементарной серой из серосодержащего состава арболита, который затвердевая, вызывает повышение прочности получаемого изделия.

5.1.4. Влияния химических добавок на свойства органического наполнителя и серосодержащего арболита

Известно, что химическая обработка целлюлозных волокон приводит к комплексному изменению их свойств [55, 56]. В основном это обработка волокон целлюлозных органических наполнителей растворами щелочей.

В данной работе в качестве добавки для химической обработки использована сера и ее производные. Известно, что сера сама является сильным восстановителем, поэтому может влиять на морфологию и химический состав поверхности органического наполнителя

серосодержащих арболитов. Так японскими исследователями для восстановления шестивалентного хрома применена сера в присутствии серосодержащих бактерий [61-63, 142]. Бактерии окисляли элементарную серу до SO_2^{2-} . В качестве промежуточного соединения образовывался H_2SO_3 . Обработка щелочным серосодержащим раствором (мерсеризация) целлюлозы заключается в обработке ее растворами щелочи, в результате чего она приобретает дополнительные (OH^-) группы, что в свою очередь придает ей повышенную сорбционную способность к ионам многовалентных элементов [62, 63, 142, 211-213].

В данной работе органический наполнитель арболита обрабатывали серосодержащими растворами щелочи. Концентрация щелочи в серосодержащем растворе составляла от 5 до 7%.

Оценку влияния мерсеризованной целлюлозы на прочностные свойства серосодержащего арболита проводили на арболитовых кубах $10 \times 10 \times 10$ см плотностью $550-600 \text{ кг/м}^3$. Для определения влияния различной мерсеризации на свойства органических наполнителей использовали стебли тростника и рисовую лузгу. Исследования показали, что мерсеризованные стебли тростника оказывают меньшее воздействие на сроки схватывания и набор прочности арболита по сравнению с необработанными образцами. По-видимому, в процессе такой обработки из стеблей тростника выщелачиваются водорастворимые сахаристые вещества, органические кислоты и минеральные соли. Поэтому в процессе изготовления арболита мерсеризация может заменить операцию предварительного замачивания тростника в растворах химических добавок.

Определение предела прочности при сжатии у серосодержащих арболитов с использованием рисовой лузги, мерсеризованного и немерсеризованного тростника показали, что интенсивной прирост прочности наблюдается в первые 14 суток у всех арболитов, в дальнейшем рост прочности замедляется (рис 5.2).

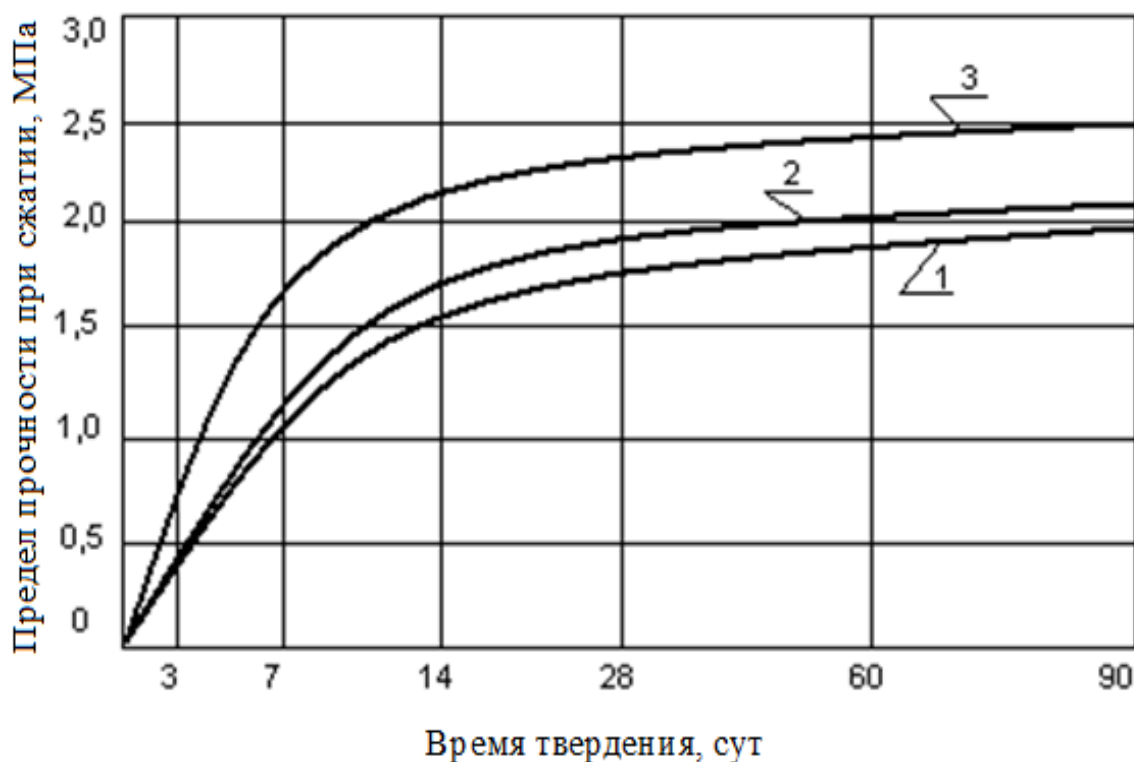


Рис 5.2. Предел прочности при сжатии серосодержащего арболита в зависимости от времени твердения и различных органических заполнителей: 1 – рисовой лузге; 2 – необработанном тростнике; 3 – мерсеризованном тростнике

Наибольший предел прочности при сжатии после 28 суток твердения наблюдается для образцов на основе мерсеризованных стеблей тростника. Рост прочности образцов на основе рисовой лузги к 14 суткам составляет 1,5 МПа, на основе измельченных стеблей тростника без обработки 1,7 МПа и для образцов на основе мерсеризованных стеблей тростника составляет 2,1 МПа. К 28 суткам рост прочности образцов на основе рисовой лузги составляет 1,7 МПа, на основе измельченных стеблей тростника без обработки 1,9 МПа и для образцов на основе мерсеризованных стеблей тростника 2,5 МПа (рис 5.2).

Увеличение прочности у серосодержащих арболитовых образцов на мерсеризованном тростнике можно объяснить еще и тем, что кроме «дубления» стеблей тростника происходит еще и травление его поверхности, в материале образуются нано-, микро- и макропоры. Поры поглощают серу из серосодержащих составов, которая сцепляет молекулы на поверхности

разных фаз при последующем твердении арболитовой смеси. Результаты исследования, составы и свойства серосодержащего арболита приведены в табл. 5.5. Полученные результаты подтверждают, что мерсеризация целлюлозных органических заполнителей серосодержащих арболитов увеличивает его адгезионную способность.

Таблица 5.5

Составы и свойства серосодержащего арболита на основе мерсеризованных стеблей тростника

Компоненты арболитовой смеси	Единицы измерения	Класс по прочности арболита	
		В 2,5	В 3,5
Цемент	%	35	36
Мерсеризованные стебли тростника	%	20	21
Вода на 1м ³ смеси при сухих органических заполнителях	%	30	31
Техническая сера	%	3,2	3,6
Пиритный огарок	%	6,9	7,2
Минерализаторы - хлорид кальция; - хлорид бария	% %	0,4 1,4	0,5 1,6
Плотность	кг/м ³	550-590	590-650
Предел прочности при сжатии	МПа	2,1	2,5
Водопоглощение	%	67	45
Морозостойкость	цикл	50	75
Коэффициент теплопроводности	Вт/м*К	0,100	0,135

5.2. Разработка оптимального состава, изучение свойств и исследование влияние технологических режимов на физико-механические свойства серосодержащих арболитов

5.2.1. Подбор состава серосодержащего арболита

Согласно общим методам проектирования оптимального состава искусственных строительных конгломератов [50], на первом этапе проектирования оптимального состава серосодержащего арболита на основе

мерсеризованных стеблей тростника потребовалось обоснование главных показателей строительно-эксплуатационных и физико-механических свойств арболита в соответствии с ГОСТ 19222 и ГОСТ 25820-2000. Затем проводился подбор состава смеси серосодержащего арболита прочностью не менее 2,5 МПа, плотностью 650 кг/м³, морозостойкостью менее 50 Мрз, коэффициентом теплопроводности не более 0,11 Вт/м*К при наименьшем расходе цемента.

Также определялись составляющие компоненты серосодержащего арболита по выбранной технологии [5, 214].

Плотность серосодержащего арболита определяли по формуле (5.2) с учетом допустимого расхода цемента [35, 42].

$$\rho = OЗ + 1,12Ц + ССД + ХК + ХБ + В \quad (5.2)$$

где, OЗ – расход органического заполнителя в виде измельченных стеблей тростника, кг;

1,12Ц - масса цементного камня с учетом химически связанной воды, кг;

ССД - расход серосодержащей добавки на основе технической серы и пиритного огарка, кг;

ХК - расход хлорида кальция, кг;

ХБ – расход хлорида бария, кг;

В – вода, кг;

Согласно расчетам [1, 214, 215], состав смеси серосодержащего арболита имеет следующее соотношение компонентов (табл. 5.6).

Таблица 5.6

Состав серосодержащей арболитовой смеси

Компоненты	по массе, %
Расход портландцемента	35,9
Расход технической серы	3,6
Расход пиритного огарка	7,2
Расход тростника	20,5
Расход хлорида кальция	0,50
Расход хлорида бария	1,6
Расход воды	30,7

По подобранному составу изготавливали образцы серосодержащего арболита для определения предела прочности при сжатии (при заданном пределе прочности при сжатии $R_{арб}=2,5$ МПа) и находили по формуле (5.3) значение показателя качества измельченных стеблей тростника.

$$R_{арб} = \frac{R_{ц}}{\left(\frac{В/Ц}{В^*/Ц}\right)^n} \quad (5.3)$$

где, - $R_{арб}$ - определяемая прочность серосодержащего арболита, МПа;

- $R_{ц}$ - предел прочности серосодержащего цементного камня при оптимальном фазовом составе В/Ц;

- В/Ц - отношение расхода воды к расходу серосодержащего цемента в арболите оптимального состава;

- $В^*/Ц$ - отношение расхода воды к расходу серосодержащего портландцемента в цементном тесте оптимального состава; n- показатель степени функций, зависящий от качества измельченных стеблей тростника.

Из формулы (5.3) можно определить показатель степени функции n (5.4).

$$n = \frac{\lg R_{арб}^*}{\lg \frac{В/Ц}{В^*/Ц}} \quad (5.4)$$

Вычисленный показатель $n=2,2$ подставляли в формулу (5.4) и, изменяя В/Ц отношение серосодержащей смеси находили максимальный предел прочности серосодержащих арболитовых образцов.

По значениям В/Ц, определенных расчетным способом, проверяли свойства серосодержащего арболита. Данные результатов испытаний приведены на рис. 5.3, 5.4 и в табл. 5.7.

При проектировании расхода измельченных стеблей тростника и серосодержащих вяжущих компонентов для арболита с плотностью не более 650 кг/м^3 использовался метод математического планирования экспериментов.

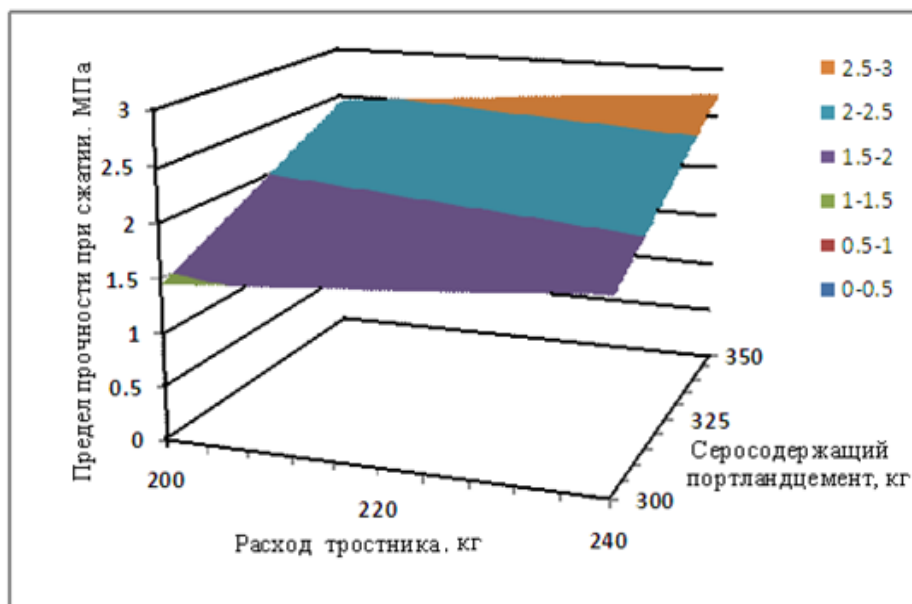


Рис.5.3. Предел прочности при сжатии серосодержащего арболита в зависимости от расхода вяжущих составов и органического заполнителя

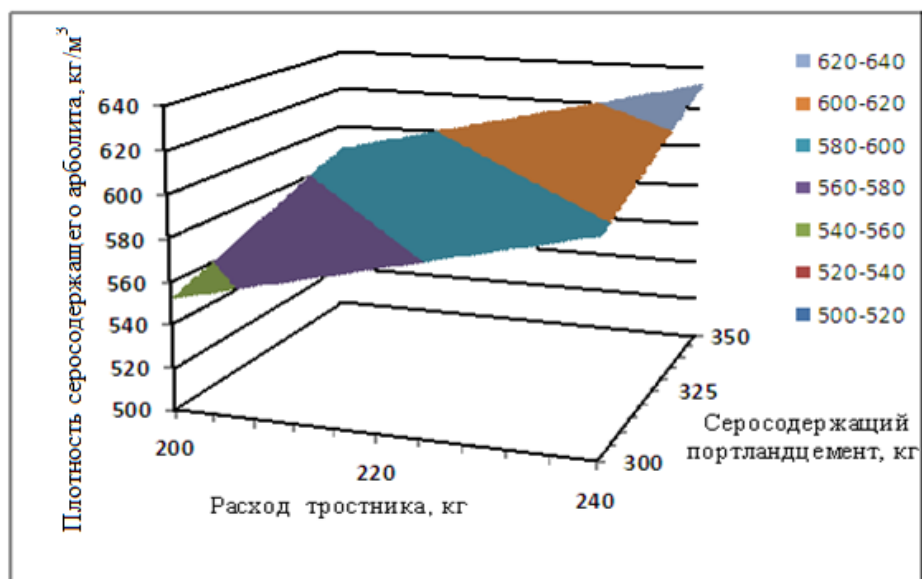


Рис. 5.4. Изменение плотности серосодержащего арболита в зависимости от расхода вяжущих составов и органического заполнителя

При этом в качестве независимых переменных параметров выхода приняты расходы измельченного тростника (x_1) и серосодержащего вяжущего (x_2), а в качестве выходных параметров - предел прочности при сжатии (y_1) и плотность арболитобетона (y_2).

Таблица 5.7

Физико-механические характеристики серосодержащего арболита

Свойства	Результаты испытания при В/Ц		
	1,45	1,50	1,70
Предел прочности при сжатии, МПа	2,0	2,1	2,5
Плотность, кг/м ³	600	600	650
Коэффициент теплопроводности, Вт/м°К	0,11	0,10	0,11
Морозостойкость	29	28	28

Интервалы варьирования и значения x_1 и x_2 на верхнем и нижнем уровне приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Уровни факторов и интервал варьирования

Уровни факторов	Обозначение	Заполнитель, кг	Серосодержащий вяжущий, кг
		X_1	X_2
Основной	0	220	325
Интервал варьирования	x	20	25
Верхний	+1	240	350
Нижний	-1	200	300

В табл. 5.9 приведена матрица планирования эксперимента.

Таблица 5.9

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	X_0	X_1	X_2	$X_1 X_2$	Y_1	Y_2
1	+	-	-	+	1,5	550
2	+	+	-	-	1,7	600
3	+	-	+	-	2,4	590
4	+	+	+	+	2,8	630

После подсчета коэффициентов регрессий [50] получили уравнение регрессий для предела прочности при сжатии и плотности арболита:

$$y_2 = 2,1 + 0,15x_1 + 0,5x_2 + 0 \quad (5.5)$$

$$y_2 = 592,5 + 22,5x_1 + 17,5x_2 - 2,5 x_1 x_2 \quad (5.6)$$

После оценки значимости коэффициентов уравнений регрессий (5.5) и (5.6) они принимают вид:

$$y_2 = 2,1 + 0,15x_1 + 0,5x_2 \quad (5.7)$$

$$y_2 = 592,5 + 22,5x_1 + 17,5x_2. \quad (5.8)$$

Для практических расчетов по проектированию составов серосодержащего арболита уравнения (5.7) и (5.8) с кодированными значениями переменных можно, используя формулы

$$x_1 = \frac{x_1 - 220}{20} \text{ и } x_2 = \frac{x_2 - 325}{25}, \text{ преобразовать в уравнения с именованными}$$

величинами:

$$y_1 = -0,605 + 0,075x_1 + 0,02x_2; \quad (5.9)$$

$$y_2 = 117,5 - 1,125x_1 + 0,7x_2. \quad (5.10)$$

Расчет основных компонентов состава арболита сводится к совместному решению уравнений (5.9) и (5.10). Коэффициенты уравнений регрессии показывают, что предел прочности серосодержащего арболита зависит от расхода серосодержащего вяжущего и органического заполнителя.

Расчетные расходы для конструкционных арболитов с предельной прочностью при сжатии не менее 2,5 МПа компонентов на 1 м³ изделия составляют: измельченного тростника – 204 кг, серосодержащего вяжущего – 345 кг.

Для конструкционно-теплоизоляционных арболитов с предельной прочностью при сжатии не менее 2,0 МПа расход компонентов на 1 м³ изделия составляет: измельченного тростника – 209 кг, серосодержащего вяжущего – 335 кг.

Для теплоизоляционных арболитов с предельной прочностью при сжатии не менее 1,5 МПа, компоненты на 1 м³ изделия составляют: расход измельченного тростника – 216 кг, серосодержащего вяжущего – 321 кг.

Полученные составы серосодержащих арболитов характеризуются постоянством свойств и могут применяться в заводских условиях (таб. 5.10 и рис 5.5). Полученным составам определяли физика и физико-механические свойства серосодержащего арболита. Для сравнения результатов исследований использованы также образцы на портландцементе (рис 5.8 и табл. 5.10-5.13).

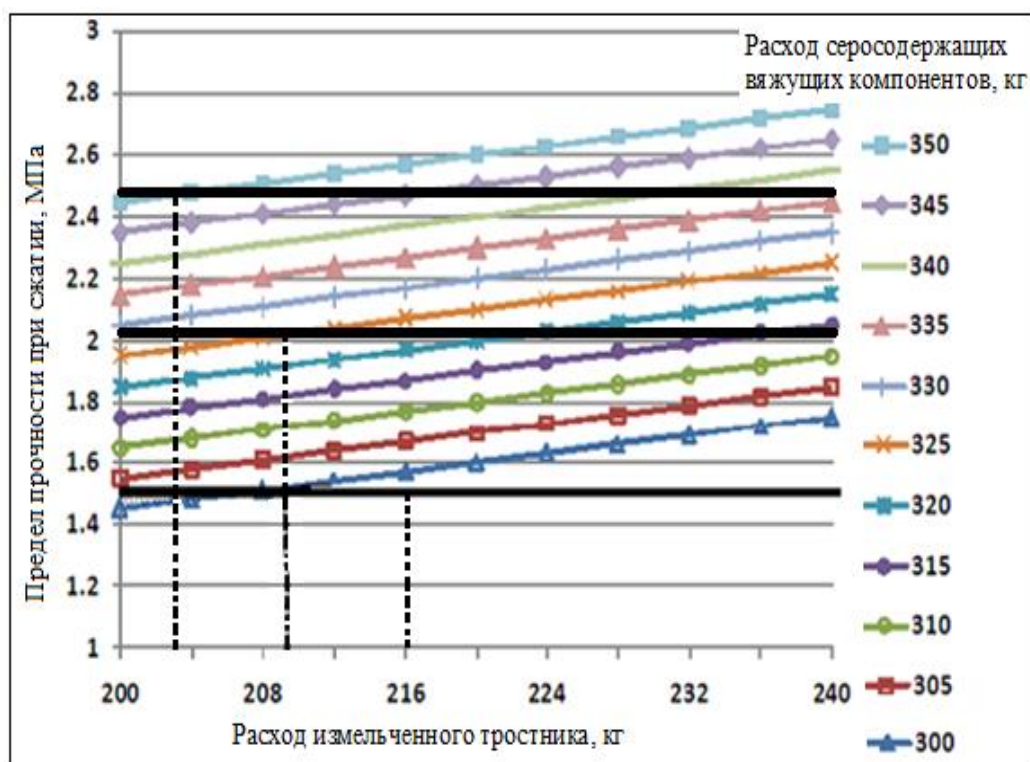


Рис. 5.5. Зависимость предела прочности при сжатии серосодержащего арболита от расхода вяжущих компонентов и органического заполнителя

Результаты испытаний показали, что оптимальным заполнителем для серосодержащего арболита являются измельченные отходы тростника. При этом достигается минимальный расход вяжущего при сопоставимых плотностях, также арболит на основе мерсеризованного тростнике обладает наибольшей прочностью.

С увеличением расхода серосодержащих добавок до 33% от массы вяжущего прочность и плотность арболита увеличиваются.

При одинаковом расходе наполнителей и портландцемента на 1м^3 смеси, прочность серосодержащего арболита существенно выше и соответственно меньше плотность.

Эффективным методом повышения прочности серосодержащего арболита является введение в состав вяжущего комплексных добавок в виде пиритного огарка и технической серы, которое осуществляется при их совместном мокром помоле.

Как видно из приведенных данных водопоглощение и коэффициент теплопроводности у всех типов серосодержащего арболита ниже по сравнению с водопоглощением и коэффициентом теплопроводности у портландцементных арболитов.

Таблица 5.10

Состав серосодержащей арболитовой смеси

Компоненты	Теплоизоляционный арболит		Теплоизоляционно-конструкционный арболит		Конструкционный арболит	
	% по массе	расход на 1 м ³ , кг	% по массе	расход на 1 м ³ , кг	% по массе	расход на 1 м ³ , кг
Портландцемент	33,3	321	34,4	335	34,9	345
Сера (отходы)	3,6	35	3,6	35	3,64	36
Пиритный огарок	7,2	70	7,2	70	7,3	72
Измельченный тростник	22,4	216	21,4	209	20,6	204
Хлорид кальция	0,6	5	0,5	5	0,52	5
Хлорид бария	1,6	16	1,6	16	1,64	16
Вода	31,3	300	31,3	305	31,4	310

Таблица 5.11

Физико-механические свойства серосодержащего арболита

Свойства	Теплоизоляционный арболит	Теплоизоляционно-конструкционный арболит	Конструкционный арболит
Плотность, кг/м ³	550	590	630
Предел прочности при сжатии, МПа	1,6	2,0	2,5
Коэффициент теплопроводности, Вт/м ⁰ К	0,11	0,115	0,117
Водопоглощение, %	51	50	49

Таблица 5.12

Состав арболитовой смеси на портландцементе

Компоненты	Теплоизоляционный арболит		Теплоизоляционно-конструкционный арболит		Конструкционный арболит	
	% по массе	расход на 1 м ³ , кг	% по массе	расход на 1 м ³ , кг	% по массе	расход на 1 м ³ , кг
Портландцемент	37,8	390	27,9	400	37,9	410
Измельченный тростник	20,9	215	20,8	220	20,8	225
Зола-унос	10,2	105	10,4	110	10,6	115
Хлорид кальция	0,5	5,0	0,5	5	0,5	5
Хлорид бария	1,5	16	1,5	16	1,5	16
Вода	29,1	300	28,9	305	28,7	310

Таблица 5.13

Физико-химические свойства арболита на портландцементе

Наименование свойств	Теплоизоляционный арболит	Теплоизоляционно-конструкционный арболит	Конструкционный арболит
Плотность, кг/м ³	580	620	650
Предел прочности при сжатии, МПа	1,5	1,8	2,1
Коэффициент теплопроводности, Вт/м ⁰ К	0,115	0,117	0,119
Водопоглощение, %	53	51	49

Таким образом, предложенная методика определения оптимального состава серосодержащего арболита, основанная на теории искусственных строительных конгломератов и методе математического планирования эксперимента, позволяет проектировать состав серосодержащего арболита оптимальной структуры с заданными свойствами расчетно-экспериментальным путем.

5.2.2. Влияние режимов твердения на свойства серосодержащих арболитов

При разработке технологии получения серосодержащего арболита в данной работе изучалось влияние технологических параметров на его физико-механические и строительно-технические характеристики. Важным технологическим фактором являются режимы твердения арболитового композита.

Как показали исследования на прочность серосодержащего арболита кроме состава влияют и условия его твердения (табл. 5.14).

Таблица 5.14

Свойства серосодержащего арболита после твердения

Наименование свойств	Единица измерения	Условия твердения образцов	
		Твердение в естественных условиях	После тепловой обработки
Плотность	кг/м ³	630	630
Предел прочности при сжатии	МПа	2,0	2,5
Коэффициент теплопроводности	Вт/м*К	0,12	0,115
Водопоглощение	%	52	47

Испытания показали, что оптимальные условия для твердения серосодержащего арболита создаются при тепловой обработке, прочность таких изделий в среднем в 1,5 раза выше, чем у образцов нормального твердения. В естественных условиях процесс твердения серосодержащего арболита идет замедленными темпами. После тепловой обработке изделия из серосодержащего арболита приобретают высокую монтажную прочность при влажности образцов в среднем около 30%. При этом возрастает сцепление заполнителя с серосодержащим цементным камнем.

Таким образом, наилучшими показателями обладают образцы серосодержащего арболита на основе измельченного тростника, твердевшие при тепловой обработке. Полученные результаты показывают, что полученный материал можно использовать для изготовления несущих

стенных блоков наружных стен и перегородок промышленных, жилых и сельскохозяйственных зданий.

5.2.3. Физические и физико-механические характеристики мерсеризованного серосодержащего арболита

К важнейшим строительно-техническим свойствам серосодержащего арболита, применяемого в строительстве как стенового материала, относятся его физические и физико-механические свойства.

Одной из главных характеристик теплоизоляционно-конструкционных материалов является его плотность. Плотность серосодержащего арболита возрастает с увеличением расхода органических заполнителей и добавок.

Исследования показали, что при равной плотности наибольшей прочностью обладают серосодержащие арболиты с применением мерсеризованного тростника по сравнению с обычным арболитом на портландцементе.

Составы и физико-механические характеристики исследуемых арболитовых образцов приведены в табл. 5.10-5.13.

Другой важной характеристикой арболитов является также их теплопроводность. В данной работе определение теплопроводности серосодержащего арболита приводилось по ГОСТ 7076-99 (табл. 5.11).

Полученные данные свидетельствуют, что при равных плотностях коэффициент теплопроводности для серосодержащего арболита находится в тех же пределах, что и для арболитов на портландцементных вяжущих (табл. 5.11 и 5.13). В связи с содержанием в арболите большого количества органического заполнителя большое значение приобретают характеристики по отношению к действию влаги. Арболит на серосодержащем вяжущем обладает значительной гигроскопичностью. Содержание свободной влаги в арболите при температуре 293 К и относительной влажности воздуха 60% достигает 16-17 % по массе. В

условиях повышенной влажности, а также капиллярного подсоса воды влажность арболита по массе достигает 70 % и более.

В данной работе исследовалась зависимость водопоглощения серосодержащего арболита на основе измельченного тростника от времени поглощения влаги. Для сравнения результатов исследование проводилось работы по исследованию водопоглощения серосодержащего арболита и также портландцементного арболита (рис 5.7).

Установлено, что водопоглощение серосодержащего арболита составляет 26,5%, контрольного - 46,9%. Водопоглощение серосодержащего арболита меньше на 5-10% по сравнению с арболитами, обработанными натрий хлором, барий хлором и контрольным (рис.5.7). Линейное набухание контрольных образцов в воде составило 1,8-2,1%, а серосодержащих образцов -1,1-1,4%.

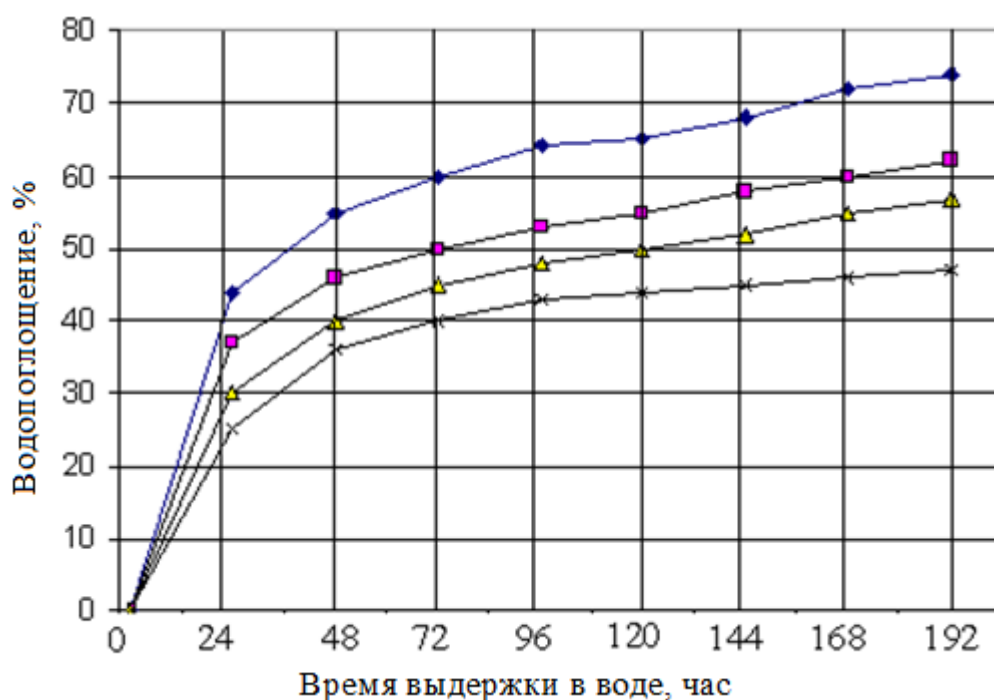


Рис.5.7. Зависимость водопоглощения арболита от времени выдержки в воде и способов обработки тростника: ◇ - контрольный; □ – обработка натрий хлором; ▲ – обработка барий хлором; x – обработка серосодержащим раствором

Водостойкость серосодержащего арболита определяли по коэффициенту размягчения ГОСТ 25192-2012, ГОСТ 7473-2010 и ГОСТ 10180-2012. Это

отношение предела прочности при сжатии влажных образцов к пределу прочности арболита в сухом состоянии. Для арболитовых образцов, изготовленные на основе серосодержащего вяжущего величина коэффициента размягчения составил 0,62 - 0,75.

В состав арболита входит органическая горючая составляющая, поэтому необходимо определять его группу горючести. Для определения горючести образцы серосодержащего арболита подвергались воздействию открытого пламени газовой горелки.

Результаты испытаний показали, что серосодержащий арболит в течение часа обугливается на глубину 2-3 см, при устранении огня горение прекращается.

Результаты изучения горючести серосодержащего арболита позволяют отнести его к группе трудносгораемых материалов, что соответствует требованиям ГОСТ 19222.

Целью настоящей работы является получение высокопрочных арболитов, поэтому исследование набора прочности серосодержащего арболита во времени очень важно. В настоящее время при получении любых бетонов большую роль играет фактор скорости набора прочности при твердении. Это обеспечивает ускоренную оборачиваемость форм и удешевляет продукцию.

Для изучения влияния фактора времени на прочность серосодержащего арболита проводились испытания определения предела прочности при сжатии образцов различного состава, хранившихся в воздушно-сухих условиях и после тепловой обработки. Для сравнения результатов исследований использовались образцы обычного портландцементного арболита. Длительные наблюдения свидетельствуют о стабильности прочностных показателей серосодержащего арболита во времени и его надежности как конструкционного материала (рис. 5.8).

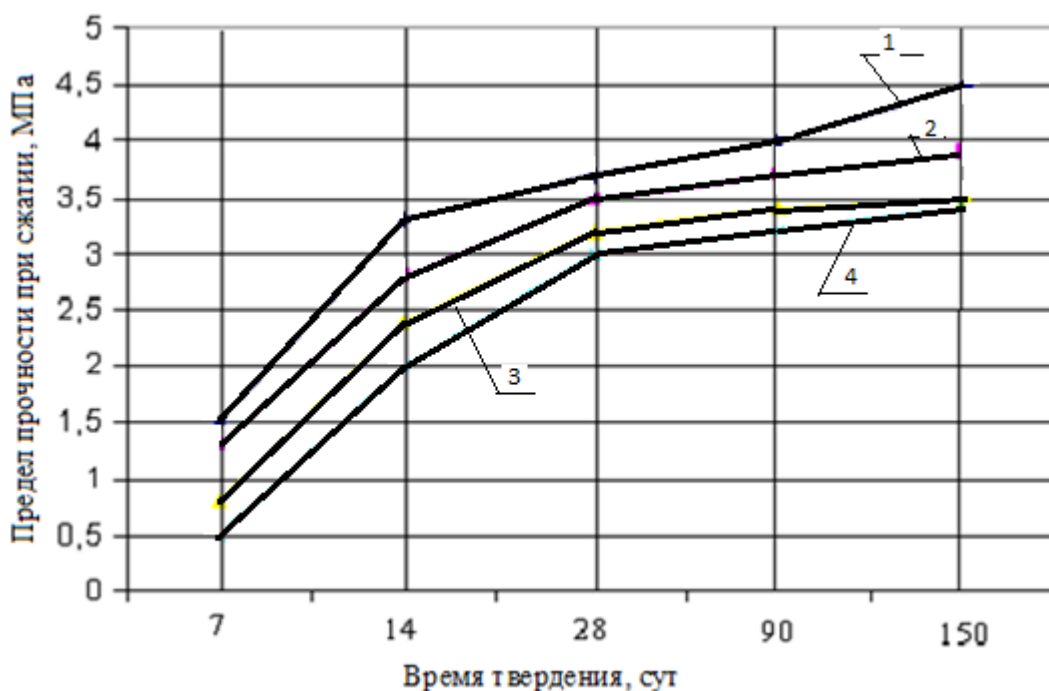


Рис. 5.8. Изменение прочности серосодержащего и обычного арболита во времени: 1 - серосодержащий арболит, подвергшийся тепловой обработке; 2 - серосодержащий арболит нормального твердения; 3 – обычный арболит, подвергшийся тепловой обработке; 4– обычный арболит нормального твердения

Как видно из приведенных графиков для арболита на обычном портландцементе наблюдается снижение предела прочности при сжатии после 150 суток хранения, что можно объяснить воздействием водозэкстрактивных веществ растительного заполнителя на портландцементный камень.

Для образцов серосодержащего арболита нормального твердения характерно постепенное нарастание прочности в течение первого месяца твердения с дальнейшей стабилизацией этого показателя во времени.

Испытания показали, что применение тепловой обработки при твердении серосодержащего арболита положительно сказывается на его физико-механических характеристиках.

Так, у серосодержащего арболита происходит интенсивное нарастание прочности в течение первых 7 - 10 суток после тепловой обработки, что скорее всего связано с удалением избыточной воды из образцов,

увеличением жесткости растительного заполнителя и сцеплением его с камнем вяжущего.

При дальнейшем до 150 сут выдерживании серосодержащего арболита его предел прочности при сжатии стабилизируется, хотя и имеет тенденцию к возрастанию, что можно объяснить увеличением прочности камня вяжущего. Визуальный осмотр образцов с поверхности и на изломе не выявил признаков деструкции растительного заполнителя в серной среде. Также длительное время сохраняется прочный и плотный контакт камня вяжущего и растительного заполнителя. Таким образом, прочность серосодержащего арболита нормального твердений существенно ниже, чем образцов после тепловой обработки, и с течением времени этот разрыв по прочности сохраняется.

Кроме физических и физико-механических свойств при изготовлении строительных конструкции из серосодержащего арболита и во время их эксплуатации приобретают большое значение такие характеристики как морозостойкость и атмосферостойкость.

Одним из основных факторов, определяющих долговечность арболита при длительной эксплуатации в естественных условиях, является его морозостойкость. Морозостойкость арболита определялась по ГОСТ 10060.0-95, результаты испытаний представлены в табл. 5.15 и 5.16. В соответствии с ГОСТ 19222 потеря прочности испытанных на морозостойкость образцов не должна превышать 15% прочности контрольных образцов, а потеря массы не должна превышать 5%.

Исследования показали, что серосодержащий арболит обладает морозостойкостью не менее 35 циклов (табл. 5.15). Морозостойкость арболита на обычном портландцементе составляет 25 циклов (табл. 5.16). Морозостойкость арболита зависит от многих факторов, в том числе и от его строения и пористости. Известно [5], что основной причиной, вызывающей разрушение арболита в условиях попеременного замораживания и оттаивания, является давление на стенки пор и устья микротрещин,

создаваемое замерзающей водой, вызывающей «термическую несовместимость» за счет различия коэффициентов линейного расширения составляющих арболита и образующегося льда.

Таблица 5.15

Морозостойкость серосодержащего арболита

Номера составов (по табл. 5.11)	Предел прочности при сжатии до испытания, МПа	Предел прочности при сжатии после испытаний, МПа		Марка морозостойкости,
		25 циклов	35 циклов	
1	1,6	1,47	1,39	35
2	2,1	1,95	1,85	35
3	2,5	2,25	2,10	35

Таблица 5.16

Морозостойкость цементного арболита

Номера составов (по табл. 5.13)	Предел прочности при сжатии до испытания, МПа	Предел прочности при сжатии после испытаний, МПа		Марка морозостойкости,
		25 циклов	35 циклов	
1	1,5	1,35	1,25	25
2	1,9	1,71	1,44	25
3	2,1	1,82	1,62	25

При замерзании вода увеличивается в объеме более чем на 9%. Ее расширению препятствует твердый каркас арболита, в результате чего в теле арболита создается напряженно-деформированное состояние. Повторяемость процессов замораживания и оттаивания приводит к постоянному нарушению структурных связей в структуре арболита. Заполнение поровой структуры арболита активированным серосодержащим вяжущим высокой дисперсности значительно снижает водопоглощающую способность материала, что объясняет повышение его сопротивляемости к попеременному замораживанию и оттаиванию в насыщенном водой состоянии.

В работе проводились исследования изменения атмосферостойкости серосодержащего арболитобетона по сравнению с обычным арболитом. Для этого определялась способность арболитов без существенного снижения

прочностных характеристик выдерживать попеременное увлажнение и высушивание (табл. 5.17 и 5.18).

Таблица 5.17

Атмосферостойкость серосодержащих арболитовых образцов

Номера составов (по табл. 5.11)	Предел прочности при сжатии до испытания, МПа	Предел прочности при сжатии после испытаний, МПа		Атмосферостойкость после 25 циклов	Атмосферостойкость после 50 циклов
		25 циклов	50 циклов		
1	1,6	1,5	1,45	0,94	0,9
2	2,1	2,05	2,0	0,97	0,95
3	2,5	2,45	2,4	0,98	0,96

Как показывают данные в табл. 5.17 и 5.18, серосодержащий арболит обладает значительной атмосферостойкостью по сравнению с арболитом на обычном портландцементе.

Таблица 5.18

Атмосферостойкость портландцементных арболитовых образцов

Номера составов (по табл. 5.13)	Предел прочности при сжатии до испытания, МПа	Предел прочности при сжатии после испытаний, МПа		Атмосферостойкость после 25 циклов	Атмосферостойкость после 50 циклов
		25 циклов	50 циклов		
1	1,5	1,3	1,2	0,86	0,80
2	1,9	1,65	1,55	0,87	0,81
3	2,1	1,78	1,67	0,84	0,79

Высокие эксплуатационные свойства серосодержащего арболита позволяют рекомендовать его для изготовления арболитовых блоков, предназначенных для малоэтажных зданий.

5.2.4. Разработка технологии получения серосодержащего арболита

Технология производства серосодержащего арболита в основном складывается из тех же операций (подготовка сырья, перемешивание, формование и тепловая обработка), что и технологии получения бетонных и железобетонных изделий.

Анализ состояния производства арболита в странах СНГ [5, 35, 317] показал, что наиболее эффективным способом уплотнения изделий является прессование арболитовой смеси. Однако отличительной особенностью получения изделий из серосодержащего арболита по сравнению с известной технологией производства арболитовых изделий является наличие поста механохимической активации и детоксикации серосодержащих вяжущих, мерсеризация органического заполнителя, а также операционные работы с добавками хлорида кальция и бария (рис.5.9). При использовании в качестве заполнителей отходов деревообработки и растительности на технологической линии предусмотрено применение разного вида дробильных или измельчительных установок. Первый этап производства начинается с вымачивания целлюлозного органического заполнителя в серосодержащем водном растворе в лотковом бассейне непрерывного действия.



Рис. 5.9. Принципиальная технологическая схема производства серосодержащего арболита

Затем органический наполнитель, например, стебли измельченного тростника, с помощью ковша со скиповым подъемником подается в расходный бункер для наполнителя. С помощью объемного или весового дозатора наполнитель выгружается в арболитораздатчик и транспортируется на пост приготовления арболитовой смеси. Из расходных бункеров в барабанную мельницу подается отдозированное количество серосодержащего компонента, воды и химической добавки, которые подвергаются совместному мокрому помолу в течение 10 мин., где происходит их совместная активация. После этого добавляется цемент и оставшееся количество воды до достижения $V/C=0,6$, и осуществляется совместный помол в течение 10 мин. Полученное серосодержащее вяжущее погружается на арболитораздатчик и транспортируется на пост перемешивания, выгружается и уплотняется методом прессования. Отличие предлагаемого способа прессования от известного состоит в возможности конвейерного формования пакета при одновременном прессовании изделий, а также в ускоренной оборачиваемости форм, меньшей металлоемкости и производственной площади. Пост формования выполнен в виде шахты с расположенной над ней стационарной бортоснасткой, жестко сопрягаемой на период формования с последовательно опускаемыми в шахту поддонами, собираемыми в пакет, опертый на лебедочную подъемную платформу. Сущность формования заключается в следующем: арболитовая смесь из раздатчика засыпается в форму, представляющую собой стационарную бортоснастку, внутри которой по мере прессования передвигаются (вверх-вниз) пресс-поддоны. Высота бортоснастки принимается такой, чтобы объем пространства был равен объему арболитовой смеси в рыхлонасыпанном состоянии. В бортоснастке арболитовая смесь прессуется в вертикальном направлении самими пресс-поддонами. Платформа с пакетом пресс-поддонов опускается на вагонетку и вагонеточным конвейером в горизонтальном направлении перемещается на пост твердения, представляющий собой тоннельную сушилку, где подвергается тепловой обработке при температуре

не более 50°C и относительной влажности воздуха 60-70% в течение 5-7 часов.

Описанная технология по сравнению с традиционными технологиями арболита позволит в 1,6-1,8 раз сократить время и энергозатраты при приготовлении арболитовой смеси, в 2-2,5 раза время укладки и уплотнения смеси, в 2-2,5 раза - удельную металлоемкость производства. Реализация общих принципов этой технологии при организации производства арболитоподобных материалов на иной сырьевой базе сохраняет указанные характеристики материалов и технико-экономические показатели их производства.

Выводы по главе 5

1. Проведено исследование влияния основных составляющих компонентов на прочностные свойства серосодержащего арболита. Исследования влияния органического заполнителя на физико-механические свойства и сцепление с камнем вяжущего серосодержащего арболита показали, что микротвердость контактного слоя серосодержащего вяжущего с измельченным тростником равна 1550 МПа, что примерно на 15% выше микротвердости камня вяжущего в межзерновом пространстве. Контактная зона между серосодержащим вяжущим и измельченным тростником отличается плотным строением, ширина ее составляет 105-135 мкм.

2. Проведено исследование влияния химических добавок на свойства органического заполнителя и серосодержащего арболита. Найдено, что обработка щелочным серосодержащим раствором (мерсеризация) может заменить операцию предварительного замачивания тростника в растворах химических добавок. Установлено, что в нагруженном состоянии мерсеризованной заполнитель упрочняется и может воспринимать большую нагрузку, чем в ненапряженном состоянии. Происходит своеобразный

эффект «дублирования» волокон и «кольматация» пор мерсеризованной целлюлозы элементарной серой из серосодержащего состава арболита.

3. Установлено, что оптимальным органическим наполнителем для серосодержащего арболита являются измельченные отходы тростника. С помощью методов регрессионного анализа определены оптимальные составы теплоизоляционного, теплоизоляционно-конструкционного и конструкционного арболитов. Определены физические и физико-механические характеристики расчетных составов арболитов. Установлено, что серосодержащий арболит обладает морозостойкостью не менее 35 циклов, повышенной огнестойкостью.

4. Определены оптимальные условия твердения серосодержащего арболита. Найдено, что оптимальные условия для твердения серосодержащего арболита создаются при тепловой обработке, прочность таких изделий в среднем в 2,3 раза выше, чем у образцов нормального твердения. Установлено, что отличительной особенностью получения изделий из серосодержащего арболита по сравнению с известной технологией является наличие поста механохимической активации и детоксикации серосодержащих вяжущих, мерсеризация целлюлозного органического наполнителя, а также операционные работы с добавками хлорида кальция и бария. Выбранная технология позволяет в 1,6-1,8 раз сократить время и энергозатраты при приготовлении арболитовой смеси, в 2-2,5 раза время укладки и уплотнения смеси, в 2-2,5 раза - удельную металлоемкость производства.

Глава 6. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ФОРМИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И РАЗРУШЕНИЯ СЕРОСОДЕРЖАЩЕГО АРБОЛИТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ

6.1. Исследование ползучести серосодержащих арболитов в зависимости вяжущих компонентов и органического заполнителя

6.1.1. Зависимость прочностных характеристик и ползучести серосодержащего арболита от свойств составляющих компонентов

Исследования показали, что упростить технологию изготовления, улучшить свойства и повысить эффективность производства арболита можно целенаправленным изменением его свойств и структуры добавкой различных промышленных и растительных отходов в состав.

Использование органических целлюлозных заполнителей, таких как измельченные стебли тростника или хлопчатника приводит к увеличению деформативности арболита, что требует постановки дополнительных опытных и экспериментальных работ увеличение его жесткости и твердости [1, 17, 24, 58, 60].

Анализа многочисленных данных [1-7, 236-238] показывает, что в отличие от обычного арболита на основе древесной дробленки, где органический целлюлозный заполнитель чаще всего является наименее прочной составляющей, серосодержащие компоненты растворной части оказывают существенное влияние на его прочностные и деформативные характеристики.

Формирование макро- и микроструктуры серосодержащего арболита в процессе дальнейшего твердения, связанное с конструктивными и деструктивными явлениями, имеющими место в бетоне, косвенно оценивалось по результатам измерений деформации растворной части, контактной зоны и целлюлозного органического заполнителя.

6.1.2. Анализ исследований теории ползучести легких бетонов

Исследование ползучести легких бетонов, включая арболит, показывает, что она оказывает большое влияние на несущую способность конструкций зданий и сооружений [230-235].

Изучение процессов ползучести в арболитобетонах имеет большое значение для рационального выбора этажности зданий при создании несущих и ограждающих стеновых конструкций.

В работах[3, 4, 24, 56, 58, 60, 229,234, 238, 240] предложены способы снижения ползучести легких бетонов с различными видами органических заполнителей, включая серосодержащий арболит.

Изучен характер кривых деформаций ползучести серосодержащих арболитов с различными видами целлюлозных органических заполнителей на основе сельскохозяйственных и растительных отходов.

На рис. 6.1-6.5 показано:

- влияние органических целлюлозных заполнителей на ползучести серосодержащего арболита;
- влияние водоцементного отношения на ползучесть серосодержащего арболита;
- зависимость ползучести серосодержащего арболита от вида цемента;
- зависимость ползучести серосодержащего арболита от влажности;
- влияние характера нагружения на ползучести серосодержащего арболита.

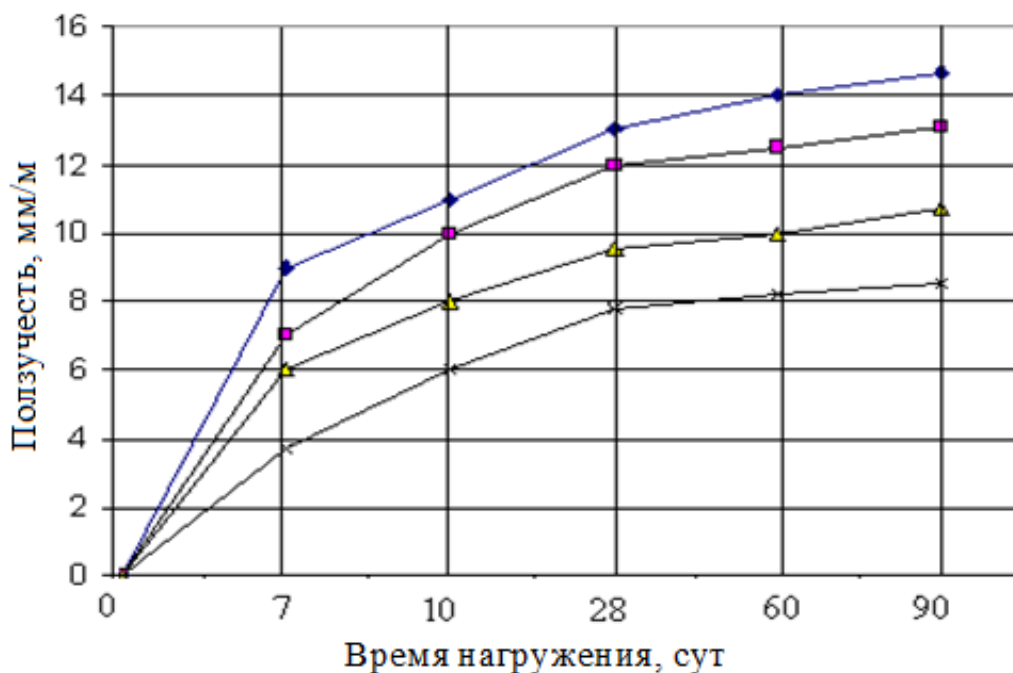


Рис. 6.1. Ползучесть серосодержащего арболита в зависимости от времени нагружения и вида различных целлюлозных органических заполнителей:

- ◆ - костра конопли; ■ - рисовая солома;
- ▲ - хлопчатник; х – тростник

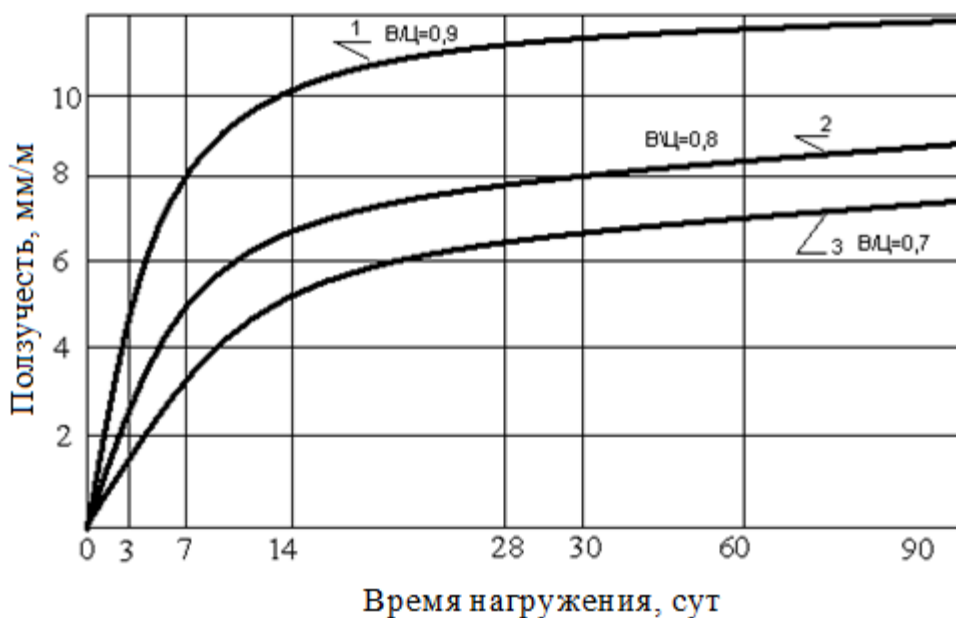


Рис. 6.2. Ползучесть серосодержащего арболита в зависимости от водоцементного отношения и времени нагружения:

- 1 – В/Ц=0,9; 2 – В/Ц=0,8; 3 – В/Ц=0,7

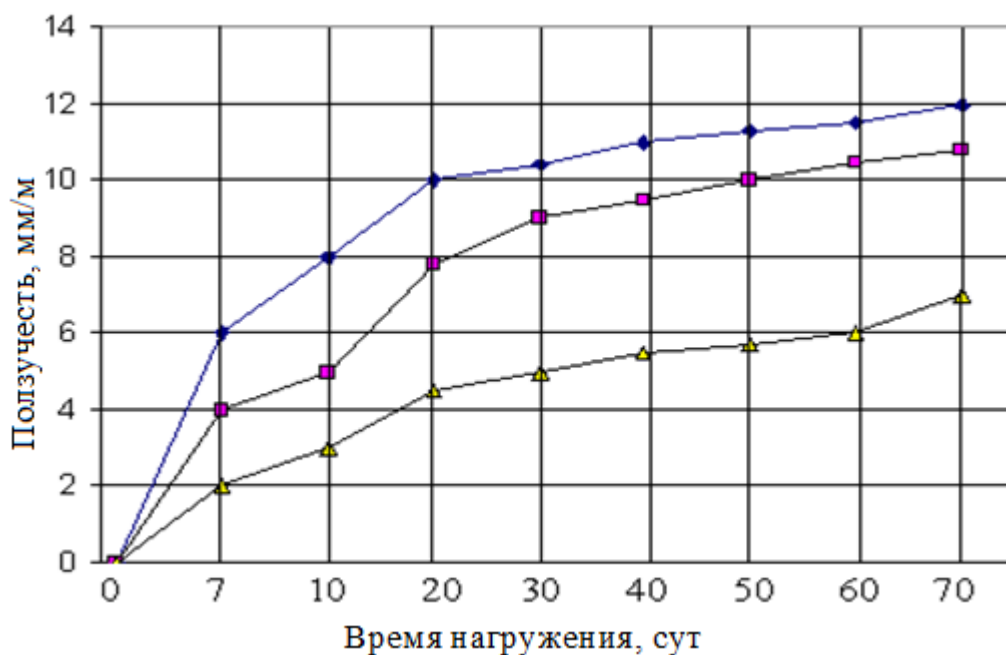


Рис. 6.3. Ползучесть серосодержащего арболита в зависимости от времени нагружения и вида вяжущего:

◆ - арболит на основе серосодержащих вяжущих; ■ - арболит на основе шлакощелочных вяжущих; ▲ - арболит на обычном портландцементе

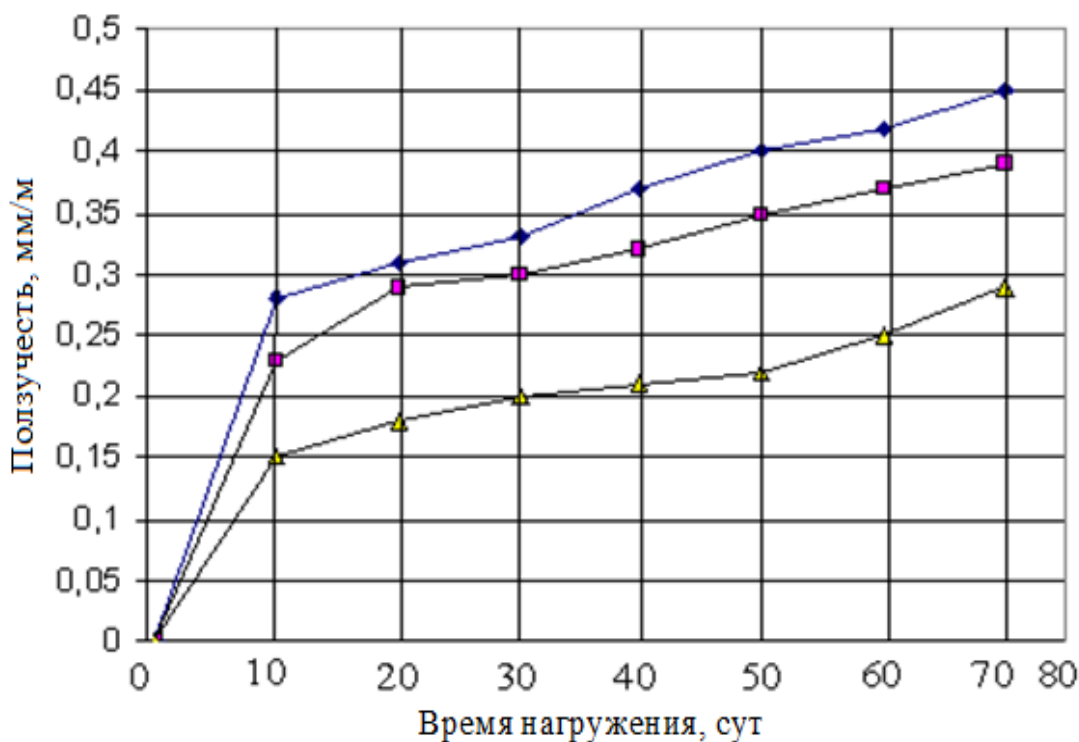


Рис. 6.4. Ползучесть серосодержащего арболита в зависимости от относительной влажности и времени нагружения:

◆ - относительная влажность 30%; ■ - относительная влажность 50%;
▲ - относительная влажность 70%.

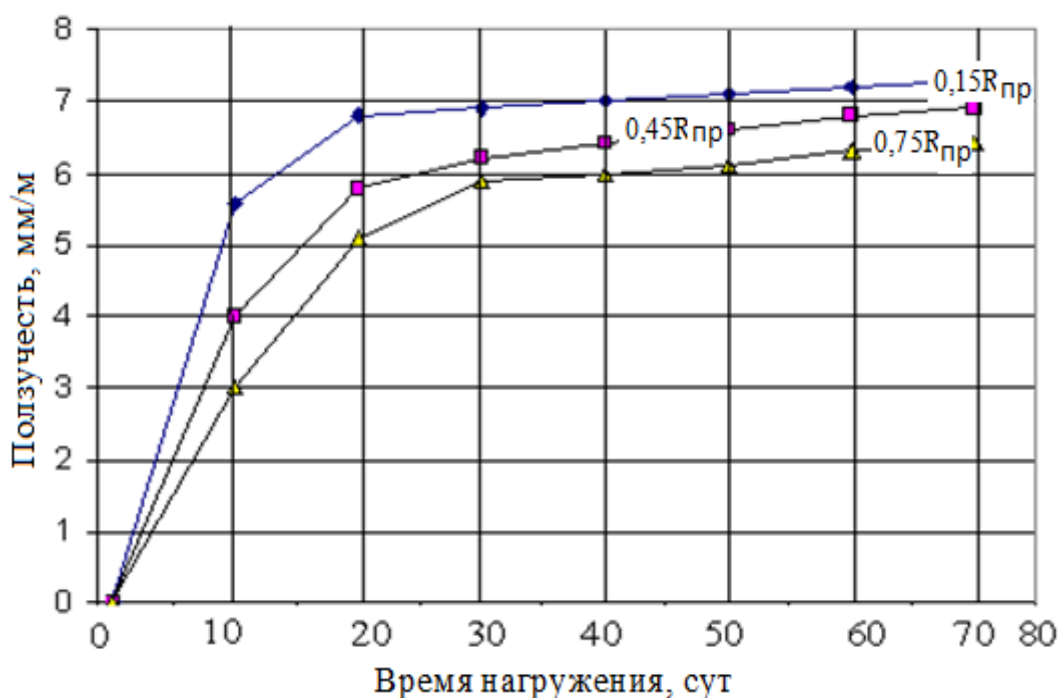


Рис. 6.5. Ползучесть серосодержащего арболита в зависимости от уровня напряжения и времени нагружения:

- ◆ - при уровне напряжений $0,15 R_{пр}$;
- - при уровне напряжений $0,45 R_{пр}$;
- ▲ - при уровне напряжений $0,75 R_{пр}$

Теория Н.Х. Арутюняна является лучшей из всех предложенных до настоящего времени теорий ползучести различного вида бетонов и в том числе серосодержащего арболита [230, 231].

Вместе с тем теория ползучести арболитобетона еще далека от своего окончательного завершения и многие сложные вопросы ждут своего теоретического и экспериментального изучения.

6.1.3. Исследование предела прочности при сжатии и ползучести серосодержащего арболита при различных сжимающих напряжениях

С целью применения серосодержащего арболита в несущих и ограждающих конструкциях были проведены исследования изменения его прочностных характеристик при различных сжимающих напряжениях ($0,15R_{пр}$, $0,45R_{пр}$, $0,75R_{пр}$).

Где, $R_{пр}$ -призменная прочность серосодержащего арболита.

Исследования проводились на образцах серосодержащего арболита в 7-ми, 28-ми и 90 суточном возрасте. Изучение влияния возникающих деформаций на предел прочности при сжатии серосодержащего арболита основывалось на определенных моделях структуры бетона. Серосодержащий арболит рассматривался как двухкомпонентная система, состоящая из фибры измельченного тростника и серосодержащей растворной составляющей, при этом прочность растворной части была величиной переменной.

Для проведения исследования было изготовлено четыре серии образцов из серосодержащего арболита, а пятая серия, для сравнения – из серосодержащего керамзитобетона. Каждая серия состояла из шести образцов призм размером 150x150x600 мм, три из которых (модель I) состояли только из серосодержащей растворной части (отношение серы к пиритному огарку 1:3), а в трех других призмах (модель II) в середину помещались фибры измельченного тростника диаметром около 18-20 мм. Все образцы после тепловой обработки до испытаний хранились в естественных условиях лаборатории.

Регистрация продольных и поперечных деформаций в процессе нагружения образцов выполнялась тензорезисторами с базой 10-50 мм, наклеенными с помощью быстротвердеющего клея «Циакрин ЭО».

Все изучаемые образцы пароизолировались с целью исключения наложения процесса усадки на процесс ползучести. Боковые поверхности призм-образцов изолировали от потери влаги, по торцам призм устанавливали стальные плитки для передачи сжимающей нагрузки, таким образом, чтобы удаление влаги из образцов-призм могло происходить только через торцы.

В исследованиях, проводимых ранее [241-245] ползучесть арболитобетона определялась на непароизолированных образцах. Поэтому процесс усадки накладывался на процесс ползучести, что осложняло анализ

полученных результатов. В данной работе все испытываемые образцы изолировали путем обмазки боковых поверхностей толстым слоем жидкого парафина с марлевой прокладкой. При измерении усадки призм такой метод показал достаточную эффективность изоляции. При длительных испытаниях постоянную нагрузку на испытываемые образцы создавали с помощью специально изготовленных пружинных установок (рис. 6.6).

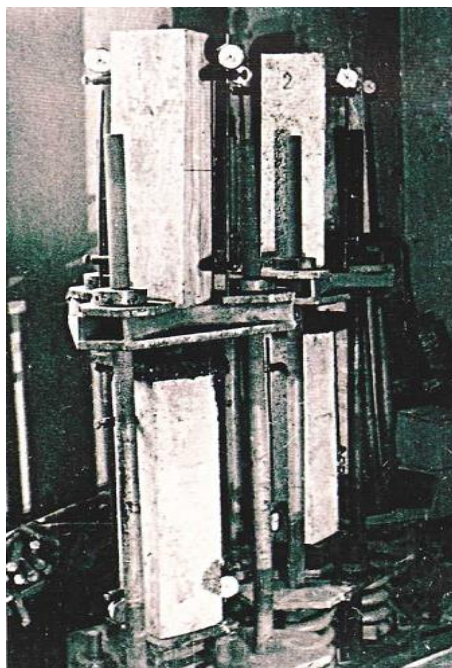


Рис. 6.6. Пружинная установка для испытания арболитовых призм-образцов под длительной нагрузкой

Интервал максимальной нагрузки на испытываемые образцы варьировался от 60 до 120 кН, что определялось предельным уровнем нагружения образцов, равным $0,75R_{пр}$ ($R_{пр}$ -призменная прочность серосодержащего арболита).

Известно [241-245], что ползучесть серосодержащего керамзитобетона, в основном определяется ползучестью геля, входящего в состав цементного камня, поэтому было сделано предположение, что эти закономерности применимы и к серосодержащему арболиту. Состав серосодержащего арболита и серосодержащего керамзитобетона для изготовления опытных образцов приведен в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Состав серосодержащих призм-образцов

№ серий образцов призм	Состав бетона (по массе), %	Водоцементное отношение, В/Ц	Расход цемента на 1м ³ бетона, кг
1. Серосодержащий арболит			
1	цемент 33,3%: измельченный тростник 22,4%: добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,8% : вода 33,5%	1,34	321
2	цемент 34,4% : измельченный тростник 21,4%: добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,8% : вода 33,4%	1,37	335
3	цемент 34,9%: измельченный тростник 20,6%: добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,94% : вода 33,56%	1,4	345
2. Серосодержащий керамзитобетон			
4	цемент 37,8%: керамзит 20,9%: добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,8% : вода 30,5%	0,97	390
5	цемент 38,2%: керамзит 21,8%: добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,8% : вода 29,2%	,1,2	400
6	цемент 38,6%: керамзит 22,7%: добавки в виде технической серы и пиритного огарка 10,8%: вода 27,9%	1,1	410

Относительная влажность воздуха в помещении для испытания призмы составляла от 60 до 75% при температуре воздуха от +15 до +20⁰С. Испытание призм-образцов производилось этапами, соответствующими приращению напряжения от 0,1 до 0,15 МПа, после каждой ступени нагрузки образцы выдерживали в течение пяти минут.

Отсчеты по индикаторам (с точность измерения 0,01мм) брались после приложения каждой ступени нагрузки и перед приложением новой нагрузки. Такая методика испытаний позволяла выделить упругие мгновенные деформации и определить величину начального модуля упругости серосодержащих легких бетонов. Нагрузку на призмы-образцы передавали

через небольшую стальную пластинку, площадью в 1 см^2 , расположенную в центре призмы.

Центровку образцов производили по четырем граням призм пробными нагрузками таким образом, чтобы ее деформации к концу нагружения были одинаковыми. По тем же граням производили, измерения деформации уменьшения размера образца при длительной нагрузке. База измерения деформаций составляла 500 мм.

Одновременно с измерением деформаций образцов, установленных под длительную нагрузку, производили измерение деформаций незагруженных изолированных и неизолированных от влагопотерь призм-образцов.

Ползучесть определяли вычитанием из общих деформаций нагруженных образцов усадочных деформаций, измеренных на незагруженных и изолированных от влагопотерь образцах.

Как показали исследования благодаря наличию пароизоляции, деформации образцов были значительны.

Одновременно сформованием призм-образцов для каждой серии испытаний из того же состава серосодержащих бетонов изготавливали кубы $150 \times 150 \times 150 \text{ мм}$, которые хранились вместе с призмами и испытывались в разные сроки.

По результатам испытаний построены графики изменения предела прочности при сжатии серосодержащих арболитов во времени (рис. 6.7, 6.8).

Из приведенных данных видно, что нарастание прочности серосодержащих бетонов во времени в ряде случаев нельзя описать одной логарифмической зависимостью и в раннем возрасте закономерность оказывается иной, чем в последующий период.

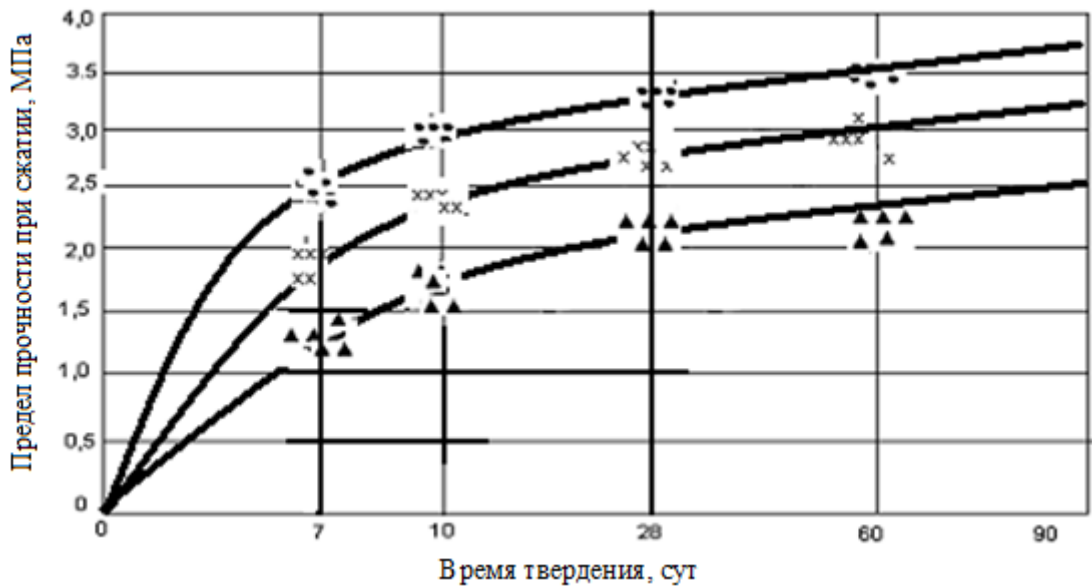


Рис. 6.7. Изменение предела прочности при сжатии серосодержащих арболитовых образцов в зависимости от времени для I -III серий
 ▲ - серия I, х - серия II, О - серия III

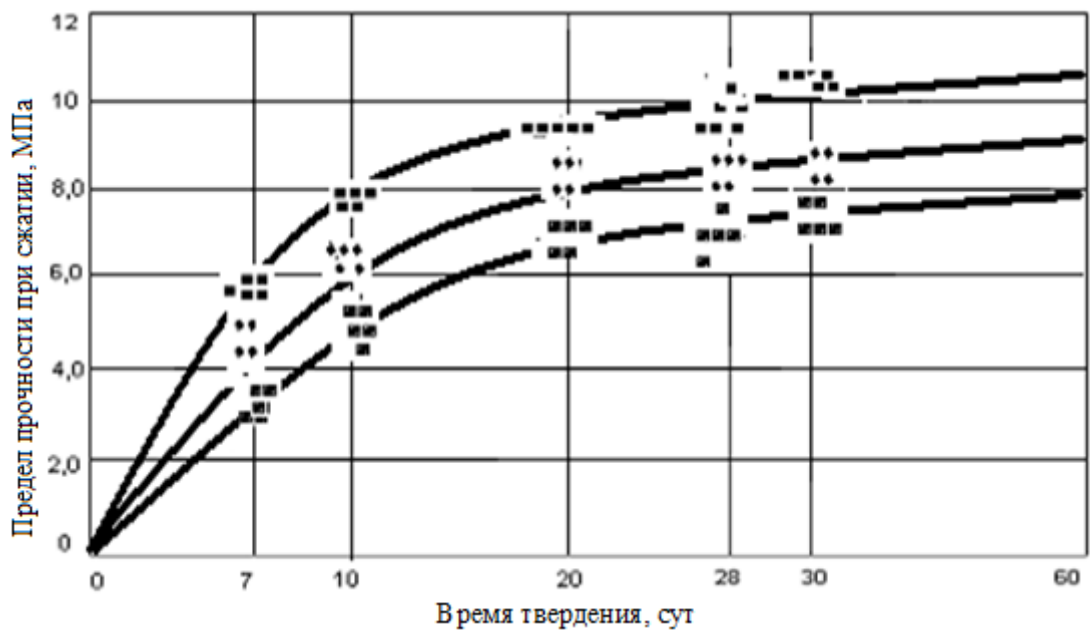


Рис. 6.8. Изменение предела прочности при сжатии серосодержащего керамзитобетонных образцов в зависимости от времени для IV - VI серий
 ● - серия IV, ◆ - серия V, ■ - серия VI

Результатами исследования показали, что деформации, возникающие при приложении нагрузки, растут ей пропорционально. Пропорциональная зависимость упругих мгновенных деформаций от напряжений наблюдалось и другими экспериментаторами [1, 7, 17, 24, 60, 241-245, 248-250] и отклонения

от этой закономерности для серосодержащих легких бетонов наблюдались только при высоких сжимающих напряжениях.

Результаты испытаний образцов–призм на длительную нагрузку при различных уровнях напряжений показаны на рис. 6.9 - 6.10.

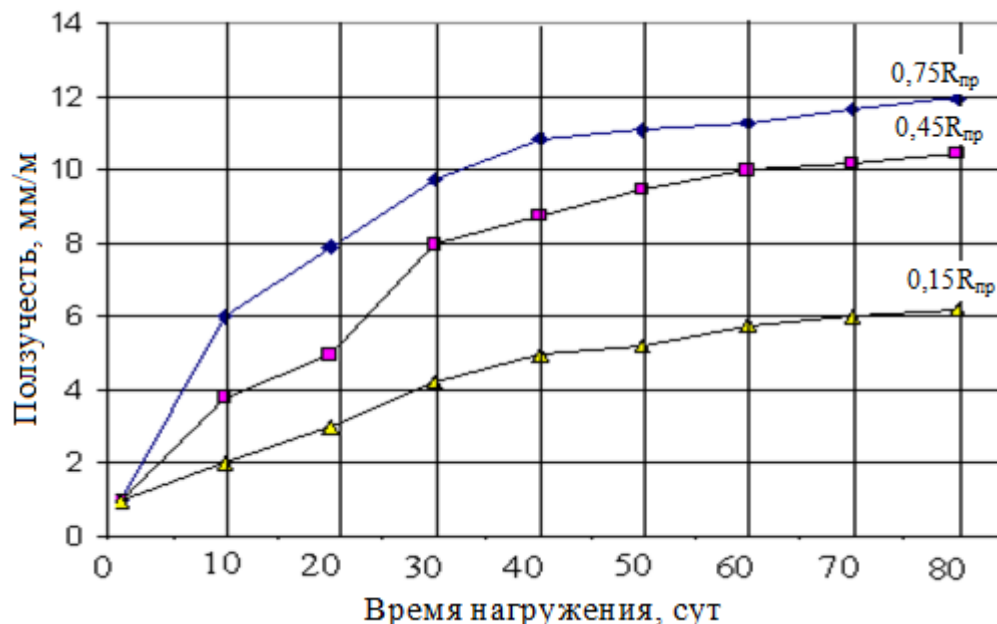


Рис. 6.9. Изменение ползучести серосодержащего арболита в зависимости от уровня и времени нагружения:
 ◆ - серия I; ■ - серия II; ▲ - серия III

Анализ роста деформаций призм-образцов серосодержащего арболитана основе тростника во времени указывает на некоторые отклонения от общей закономерности. Так деформация образцов под напряжением $0,15R_{пр}$ из серосодержащего арболита происходила медленней, чем такая же деформация образцов под более высоким напряжением. Это, по-видимому, объясняется большой неоднородностью серосодержащего арболитобетона на основе измельченного тростника. В образцах из серосодержащего керамзитобетона таких отклонений не наблюдалось.

Для обоих видов серосодержащих легких бетонов ползучесть достигала со временем величины, превышающей упругие деформации в два-три раза. Во всех образцах наблюдалось быстрое нарастание ползучести после момента нагружения, затем рост деформаций постепенно замедлялся.

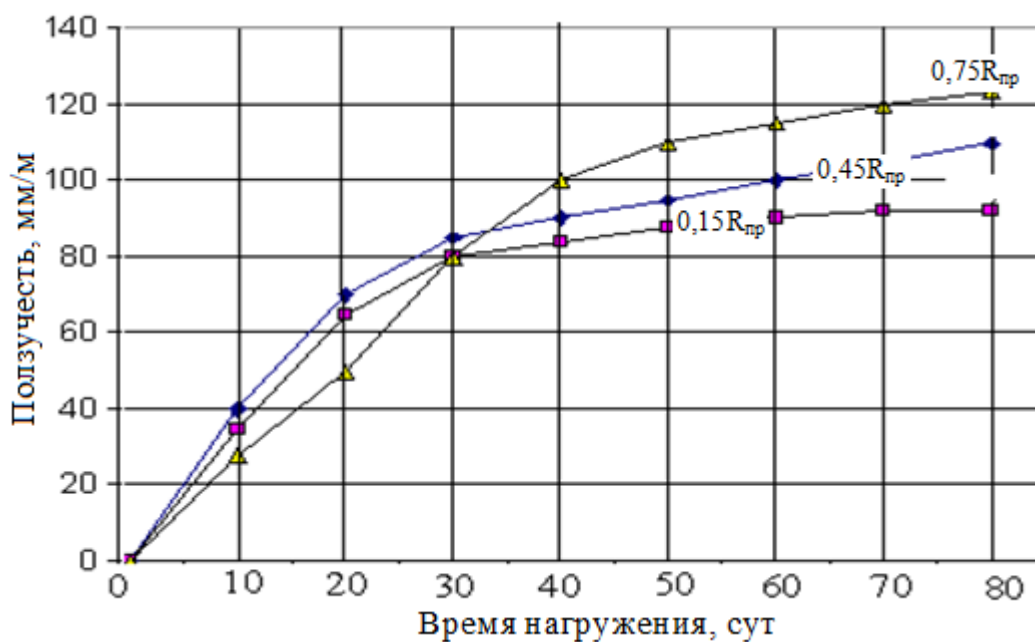


Рис. 6.10.Изменение ползучести серосодержащего керамзитобетона в зависимости от уровня и времени нагружения:
 ▲ - серия IV; ■ - серия V; ◆ - серия VI

Установлено, что скорость роста ползучести во времени зависит не только от величины напряжений, но и от того, сколько времени прошло с момента загрузки.

Как показали испытания, скорость изменения ползучести серосодержащих легких бетонов зависит от скорости нарастания прочности, отражающей процесс твердения бетона. Установлено, что по сравнению с серосодержащим керамзитобетоном ползучесть серосодержащего арболита оказывается значительно ниже.

Деформативные свойства образцов серосодержащего арболита изучались в 7-ми, 28-ми, и 90 суточном возрасте после тепловой обработки и в естественных условиях.

Как показали исследования, в 7-суточном возрасте деформативность серосодержащей растворной части оказывается наименьшей, этот период может быть отнесен к первой фазе твердения арболита.

К 28 суточному возрасту характер деформаций несколько меняется, наблюдается уменьшение деформаций растворной части в связи с ростом прочностных характеристик серосодержащего арболита (рис. 6.9 - 6.10).

Согласно теории [60, 72, 246], начиная с момента, когда деформативность растворной составляющей меньше чем деформативность органического заполнителя, прочность легких бетонов не должна возрастать, так как этому препятствует разрушение заполнителя.

Однако, как показывают результаты данного исследования, прочность серосодержащего арболита продолжает возрастать даже к 90 суточному возрасту, несмотря на превышение деформативности растворной составляющей над деформативностью органического заполнителя.

По-видимому, рост прочности серосодержащего материала во второй фазе твердения объясняется изменением модуля деформации составляющих компонентов серосодержащего арболита при нагружении с различными уровнями напряжений (рис. 6.9).

На графиках (рис. 6.9 - 6.10) видно, что модуль деформации серосодержащей растворной части и материала с возрастанием напряжения уменьшается, а для органического заполнителя в определенном диапазоне относительного напряжения он возрастает.

Можно предположить, что в нагруженном состоянии мерсеризованный целлюлозный заполнитель в виде измельченного тростника упрочняется и может воспринимать большую нагрузку, чем в ненапряженном состоянии.

Упрочение целлюлозного органического заполнителя в изучаемом диапазоне напряжений до $0,8R_3$ (R_3 - прочность органического заполнителя) происходит за счет уменьшения внутрестеблевой пористости в фибрах измельченного тростника и возникновения эффекта «обоймы» в структуре данного материала.

Установлено, что причиной более высокой прочности серосодержащего арболита, по сравнению с низкопрочным органическим заполнителем, является кольматация его пор серосодержащим цементным раствором, который затвердевая, вызывает повышение прочности измельченного тростника. Эти эффекты наблюдались в серосодержащих арболитах плотного строения, в серосодержащих материалах пористого и крупнопористого

строения (с плотностью 450-500кг/м³) проявляются в меньшей степени или практически совсем не проявляются.

Коэффициент призмной прочности серосодержащего арболита определялся в соответствии с рекомендациями [19, 247].

Коэффициент призмной прочности серосодержащего арболитав среднем на 25% выше, чем у обычных легких бетонов, что можно объяснить особенностями его деформативных свойств, отличающихся большей предельной растяжимостью (табл. 6.2).

Таблица 6.2.

Отношение между кубиковой и призмной прочностью легких и тяжелых бетонов $R/R_{пр}$

Тяжелый бетон		Легкий бетон		Ячеистый бетон		Серосодержащий арболит	
Класс Бетона	$R/R_{пр}$	Класс бетона	$R/R_{пр}$	Класс бетона	$R/R_{пр}$	Класс бетона	$R/R_{пр}$
1	2	3	4	5	6	7	8
В 3,5	0,687	В2,5	0,693	В1	0,85	В0,75	0,932
В 5	0,626	В3,5	0,687	В1,5	0,82	В 1,0	0,915
В 7,5	0,654	В 5	0,626	В 2	0,85	В 1,5	0,956
В 10	0,669	В 7,5	0,654	В 2,5	0,857	В 2,0	0,985
В 12,5	0,678	В 10	0,669	В 3,5	0,842	В 3,5	0,978
В 15	0,653	В 12,5	0,678	В 5	0,823	В 5,0	0,988
В 20	0,669	В 15	0,653	В 7,5	0,821		
В 25	0,661	В 20	0,669	В 10	0,803		
В 30	0,653	В 25	0,661	В 12,5	0,749		
В 35	0,650	В 30	0,653	В 15	0,682		
В 40	0,648	В 35	0,650				
В 45	0,633	В 40	0,648				
В 50	0,642						
В 55	0,641						
В 60	0,639						

Поэтому, при нормировании коэффициент призмной прочности ($R_{пр}$) серосодержащего арболита рекомендуется принимать на 20-25% выше, чем для легких и ячеистых бетонов.

6.2. Исследование формирования фазового твердения прочности и последовательности механизма разрушения серосодержащего арболитовых композиции при различных нагрузках

6.2.1. Характер формирования прочности и механизм разрушения серосодержащего арболита при нагружении

Характер формирования прочности и причины разрушения серосодержащего арболита изучали с помощью традиционной тензометрической аппаратуры и глубинных тензодатчиков с базой 10-50 мм, наклеенных на фибры тростника с помощью быстротвердеющего клея «Циакрин», ориентированных, вдоль и перпендикулярно прилагаемой нагрузке к призмами, установленным до бетонирования. Во избежание повреждения тензометрических датчиков производилась их защита эпоксидной смолой.

После естественного твердения на образцы давали поэтапнонагрузку с помощью прессы, которую фиксировали манометром при включенных автоматических измерителях деформаций (рис. 6.11).

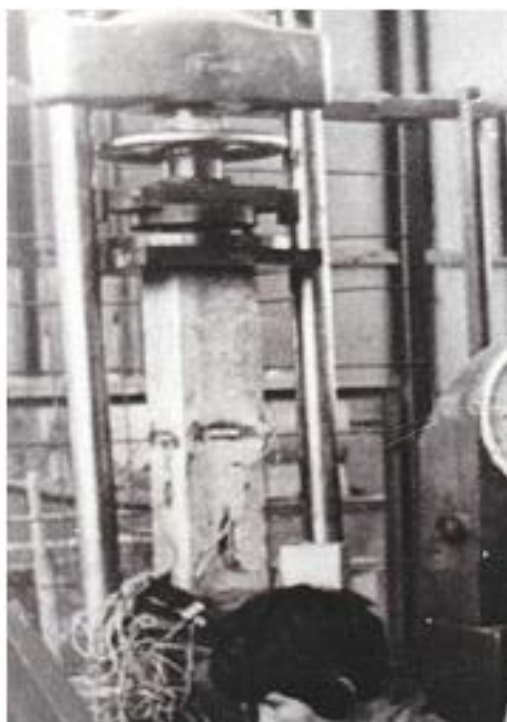


Рис. 6.11. Нагружение призм-образцов гидравлическим прессом

Задача испытаний состояла в том, что глубинные тензометрические датчики были установлены как на фибрах измельченного тростника, так и в серосодержащей растворной составляющей материала, что давало возможность определить первопричину последовательности разрушения отдельных составляющих материала (рис. 6.12).

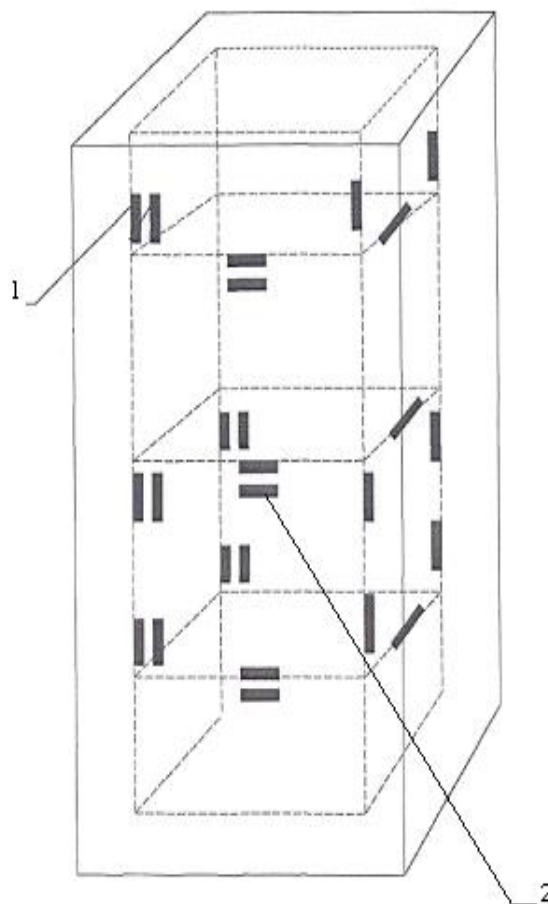


Рис. 6.12.Схема установки глубинных тензодатчиков.
1- датчик на фибрах тростника; 2- датчик в растворной составляющей

Для получения точных результатов, экспериментальное исследование проводилось испытанием более 60 призм-образцов.

Установлено, что в серосодержащем арболите соотношение между кубиковой и призмной прочностью приближается к единице и даже превосходит ее (табл. 6.2).

Исследования показали:

1. Глубинные тензометрические датчики, расположенные в серосодержащей растворной составляющей материала, фиксируют момент его разрушения и достижение предельной растяжимости серосодержащего арболита в призмах перпендикулярно действующей нагрузки прессы. В этом случае стрелка манометра прессы падает, то есть всегда наблюдается первоначальное разрушение серосодержащего материала. При этом тензометрические датчики, закрепленные, на фибрах измельченного тростника и ориентированные вдоль и поперек действующей нагрузки продолжают показывать рост деформаций, а стрелка манометра прессы продолжает показывать рост напряжений. Эти эффекты не выявляются в серосодержащем арболите пористого или крупнопористого строения низкой плотности менее 500 кг/м^3 .

2. При испытаниях серосодержащего арболита плотного строения одновременного разрушения серосодержащей растворной составляющей и органического заполнителя не происходило. Обычно наблюдалось последовательное разрушение, связанное с заполнителем, затем с серосодержащей растворной составляющей, но только во второй фазе твердения. Разрушение же серосодержащего материала по растворной составляющей происходило только в первой фазе твердения.

При испытании серосодержащего арболита плотного, пористого и крупнопористого строения, существенное значение имеет поверхность сцепления фибры измельченного тростника с серосодержащей растворной составляющей, при этом для материала плотного строения прочность сцепления растворной составляющей меньше чем, прочность органического заполнителя. Для пористого и крупнопористого материала прочность сцепления растворной составляющей больше чем, прочность органического заполнителя.

Проведенные исследования дают основание для уточнения гипотез формирования прочности и причины разрушения серосодержащего арболита.

Теория прочности А. И. Ваганова [315] приемлема для объяснения процесса нарастания прочности серосодержащего материала при твердении, когда деформативность серосодержащей растворной составляющей меньше деформативности кольматированных фибр измельченного тростника.

Для объяснения повышения прочности серосодержащего арболита плотного строения во второй фазе твердения, данная теория твердения требует дополнительного уточнения, так как одновременного разрушения органического заполнителя и растворной составляющей не наблюдается.

Разрушение серосодержащего материала во второй фазе твердения происходит ступенчато, сначала органический заполнитель, затем серосодержащий раствор.

Конечная прочность серосодержащего арболита плотного строения во всех испытанных образцах определялась прочностью растворной составляющей. Так при меньшей прочности серосодержащего раствора по сравнению с прочностью заполнителя происходит однофазное твердение и одноступенчатое разрушение – по раствору. При большой прочности серосодержащего раствора по сравнению с прочностью органического заполнителя происходит двухфазное твердение и двухступенчатое разрушение.

Прочность серосодержащего арболита пористого строения формируется в одну фазу, разрушение происходит одноступенчатое – по кольматированному органическому заполнителю, прочность которого и определяет в основном прочность материала.

Проведенные исследования позволяют направленно планировать получение серосодержащего арболита различной прочности в зависимости от фракции зерна или длины фибры органического заполнителя.

6.2.2. Исследование механических свойств серосодержащих арболитовых блоков

Серосодержащие арболитовые блоки при своей небольшой плотности (600-650 кг/м³) имеют достаточно высокую прочность, позволяющую использовать их в качестве теплоизоляционно-конструкционного материала, удовлетворительную морозостойкость и хорошие теплотехнические показатели. Поэтому возникла необходимость определения их поведения при монтаже и эксплуатации.

Исследованию подверглись блоки из серосодержащего арболита со средней плотностью 600-650 кг/м³.

Как известно, предел прочности при сжатии легких бетонов зависит от их плотности. Эта зависимость между плотностью и кубиковой прочностью серосодержащих арболитовых блоков может быть выражена формулой:

$$R_{\text{куб}}^{\text{сух}} = 120\rho_{\text{сух}}^2 - 40,5\rho_{\text{сух}} + 12,5 \quad (6.1)$$

Класс прочности и коэффициент однородности серосодержащего арболита должен устанавливать и гарантировать завод-изготовитель. Показатель однородности будет определяться соотношением:

$$k = R_{\text{min}}/R_{\text{norm}} = M \cdot (1 - 3\sigma/M)/R_{\text{norm}} = M \cdot (1 - 3C_v)/R_{\text{norm}} \quad (6.2)$$

где, C_v - коэффициент вариации, R_{min} - минимальный предел прочности бетона при сжатии, R_{norm} - нормативный предел прочности бетона при сжатии, M - среднее арифметическое по выборке, x - текущее значение прочности, σ - среднее квадратичное отклонение прочности.

Для предварительных подсчетов сопротивлений коэффициент однородности на заводах, где технология хорошо отработана, следует принимать равным 0,5. Для заводов, где технология производства не достаточно отработана $k = 0,25$. Анализ коэффициентов однородности для показателей прочности серосодержащего арболита показал, что их значение ниже, чем у обычных бетонов, вследствие влияния изменчивости плотности.

Исследования изменения прочности с течением времени показали, что предел прочности при сжатии серосодержащего арболита в первые два месяца возрастает на 28%, при дальнейшем хранении в естественных условиях в течение 180 сут прочность практически остается постоянной. Незначительные изменения прочности с течением времени следует отнести за счет изменения влажности опытных образцов.

Наличие свободной влаги серосодержащих арболитов ведет к снижению их предела прочности при сжатии. Влияние свободной влаги на предел прочности при сжатии выражается формулой:

$$\frac{R_{\text{куб}}^{\text{вс}}}{R_{\text{куб}}^{\text{сух}}} = 0,001W^2 - 0,04W + 1 \quad (6.3)$$

где, $R_{\text{куб}}^{\text{вс}}$ и $R_{\text{куб}}^{\text{сух}}$ - соответственно кубиковая прочность серосодержащего арболита в воздушно-сухом и высушенном состоянии, МПа; W – влажность, % по массе.

Серосодержащий конструкционный арболит является достаточно однородным материалом. Предел прочности при сжатии, как показали испытания, не зависит от ориентации направления сжимающей силы.

Для исследования прочности серосодержащего арболита были испытаны блоки по четырехрядной и двухрядной разрезке. Размеры блоков достигали 1200x400x400 и 1200x200x400 мм.

Предел прочности стеновых серосодержащих блоков при центральном сжатии может быть определен по формулам:

$$R_1 = 0,5R_{\text{куб}}^{\text{сух}} \frac{F_{\text{нт}}}{F_{\text{бр}}} \quad (6.4)$$

$$R_2 = 0,7R_{\text{куб}}^{\text{вс}} \frac{F_{\text{нт}}}{F_{\text{бр}}} \quad (6.5)$$

где R_1 , R_2 - прочность серосодержащего арболита в МПа; $F_{\text{нт}}$ и $F_{\text{бр}}$ - соответственно площади сечения блока по нетто и брутто в см².

Формулы (6.4) и (6.5) применимы для сплошных серосодержащих арболитовых блоков при проценте пустотности $P \leq 5\%$. Блоки при сжатии

испытывают сложное напряженное состояние, и прочность их зависит отряда факторов: опорных условий, равномерности передачи нагрузки, однородности блоки, относительной длиноюпорного контура и др.

Разрушение крупных блоков носит хрупкий характер, однако, в отличие от призм появление первых трещин в блоках отмечается при нагрузках, составляющих 0,5-1 % от разрушающей нагрузки (а в отдельных случаях и раньше). Ранее появление трещин в крупных блоках, опорные поверхности которых достигают 5000 см² и более, объясняется тем, что на большой поверхности очень трудно создать равномерную передачу нагрузки. В блоках возникает местное перенапряжение на отдельных участках, что ведет к срезу одной части блока относительно другой. Как правило, первые трещины в блоках имеют продольное или слегка наклонное направление. После появления первых трещин, которые обычно отмечаются на противоположных широких гранях блоков, в них происходит перераспределение давлений, и они выдерживают значительную нагрузку - до 50% и более. Ранее появление трещин имеет место также в блоках с жестким фактурным слоем, который срезается при первых нагружениях. При разрушении в блоках появляются продольные наклонные и горизонтальные трещины, в результате чего происходит откалывание кусков блоков. Окончательное разрушение блока происходит от раздробления отдельных его частей.

Многочисленные исследования серосодержащего арболита при сжатии, растяжении, изгибе и срезе позволили получить достаточно достоверные значения механических характеристик данного исследуемого материала. В зависимости от плотности и класса прочности серосодержащего арболита могут быть рекомендованы следующие нормативные сопротивления в МПа (табл. 6.3).

При исследовании прочности кладки стеновых блоков из серосодержащего арболита было произведено испытание более 10 образцов кладки из двух, трех и четырех крупных блоков на растворах с прочностью

от 50 до 75 МПа. Кроме того, были испытаны образцы кладки на разных растворах.

Таблица 6.3.

Нормативные сопротивления серосодержащего арболита, МПа

Плотность, кг/м ³	Класс прочности	Предел прочности при			
		при осевом сжатии, МПа	при растяжени и, МПа	растяжения при изгибе, МПа	при срезе, МПа
550	В 1,5	0,75	3	6	5
600	В 2,0	1,0	6	10	8
650	В 2,5	1,25	10	16	14

Для кладки были использованы стеновые блоки изготовленных на Актюбинском заводе железобетонных изделий совместно с Актюбинским региональным государственным университетом и Ивановским государственным политехническим университетом.

Опыты показали, что в крупноблочной кладке при центральном сжатии возникают напряжения сжатия, растяжения, изгиба и среза, которые вызывают разрушение блоков в кладке (6.13).

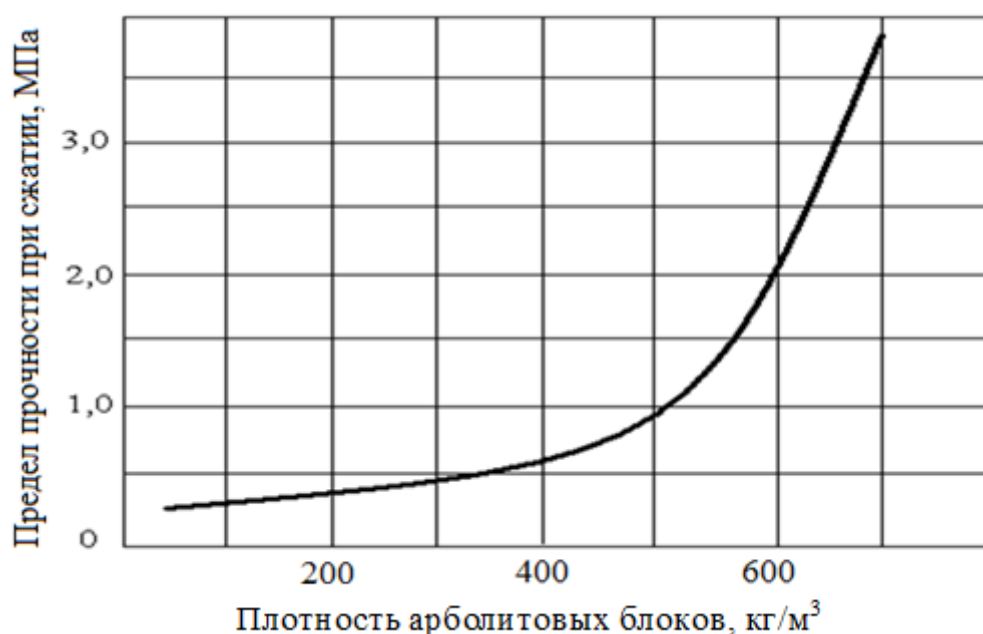


Рис 6.13. Зависимость кубиковой прочности $R_{куб}^{сж}$ серосодержащих арболитовых блоков от его плотности

Первые трещины в образцах кладки на растворах низких марок появились при нагрузках 0,53-0,73 от разрушающих, а при кладке на растворах высоких марок - при нагрузках 0,69 - 0,96 от разрушающих.

Опыты показали, что относительная прочность кладки из блоков $\frac{R_{кл}}{R_1}$ при изменении марки раствора от 0 до 50 и выше соответственно менялось от 0,64 до 1.

Повышенная деформативность и неравномерная плотность слабого раствора в горизонтальных швах, очевидно, явились причиной раннего появления трещин и разрушения образцов кладки на растворе низких марок.

Кладка на растворах высоких марок не дала снижения прочности при сжатии, так как горизонтальные швы, деформативность которых ниже, чем серосодержащего арболита, препятствовали распространению трещин в стеновых блоках.

Проведенные испытания позволили установить зависимость прочности кладки от применяемого класса стеновых блоков и марки кладочных растворов.

Для определения нормативного сопротивления кладки из серосодержащих стеновых блоков может быть применена известная формула профессора Л.И. Онищика [314], предложенная им для кладки каменных работ, с введением в формулу коэффициентов, полученных в результате испытания крупноблочной кладки:

$$R_{кл} = A R_1 \left(1 - a/b + \frac{R_2}{2R_1} \right) \gamma \quad (6.6)$$

где $R_{кл}$, R_1 - пределы прочности присжатии кладки, камня и раствора в МПа; A - конструктивный коэффициент использования камня в кладке; a - коэффициенты, зависящие от вида и размеров камня (определяется опытным путем); γ - коэффициент снижения прочности кладки на растворах низких марок.

Для кладки стеновых блоков из серосодержащего арболита были установлены следующие значения опытных коэффициентов: $A=0,85$; $a=0,1$; $b=0,4$ и $\gamma=0,85-1$ при изменении марок раствора от 0 до 10 МПа.

Таким образом, для кладки стеновых блоков формула (6.6) принимает следующий вид:

$$R_{\text{кл}} = 0,85R_1 \left(1 - 0,1 / 0,4 + \frac{R_2}{2R_1} \right) \gamma \quad (6.7)$$

Пределы прочности кладки при сжатии, определенные по формуле (6.7) сходны с экспериментальными данными. Отклонение опытных данных от теоретических составляют в среднем $\pm 1,9\%$.

Формула (6.7) является справедливой для кладки из крупных стеновых блоков четырехрядной разрезки, выложенных на растворах разных марок.

Снижение предела прочности кладки за счет растворных швов следует объяснить тем, что сопротивление крупного блока в кладке срезу и изгибу снижается вследствие трудностей создания горизонтального шва на большой поверхности. Неровности горизонтального шва вызывает в блоках местное перенапряжение, ведущее к преждевременному разрушению блоков в кладке.

Исследования показали, что относительная прочность кладки из мелких блоков близка с относительной прочностью кладки из крупных блоков. Это объясняется тем, что хотя мелкие блоки имеют сопротивление изгибу и срезу ниже, чем крупные, однако при кладке из мелких блоков значительно легче создать равномерный горизонтальный шов, обеспечивающий равномерную передачу усилий на камень. Поэтому прочность кладки из мелких камней приближается к прочности кладки из крупных блоков.

На основании полученных результатов рекомендуется для практических целей принимать нормативные сопротивления кладки из блоков при высоте ряда кладки 500 мм и выше, согласно данным табл. 6.4.

**Нормативные сопротивления кладки из серосодержащего
арболита, МПа**

Плотность, кг/м ³	Предел прочности стенового блока при сжатии, МПа	Предел прочности кладки стен при сжатии в МПа при марке раствора в МПа					
		0	0,2	0,4	1,0	2,5	5,0 и выше
550	1,5	0,85	0,95	0,95	1,1	1,2	1,2
600	2,5	1,35	1,45	1,55	1,75	1,9	1,95
630	3,5	2,45	2,55	2,7	3,05	3,25	3,45
650	5,0	3,8	3,95	4,15	4,7	4,95	5,2

Для исследования деформативных свойств серосодержащего арболита измеряли деформации призм, блоков и кладки.

Значения относительных деформаций ε и величины начального модуля упругости E определяли по:

$$\varepsilon = \frac{R^1}{E_0} \ln\left(1 - \frac{\sigma}{R^1}\right) \quad (6.8)$$

$$E = E_0\left(1 - \frac{\sigma}{R^1}\right) \quad (6.9)$$

где σ - рассматриваемое напряжение в МПа; R^1 - условный предел прочности при сжатии, МПа; E - действительный модуль упругости, МПа; $E_0 = \alpha R$ - начальный модуль упругости, МПа, α - упругая характеристика кладки из серосодержащего арболита.

Анализ опытных данных по деформативным свойствам образцов-призм из серосодержащего арболита показали, что зависимость между напряжениями и деформациями дает удовлетворительное совпадение опытными данными, если принять среднюю величину $R_1 = 1,75 R$, вместо принятого для обычного бетона и кладки $R_1 = 1,1 R$.

Оценка упруго-пластических свойств с использованием коэффициентов показывает, что при $\sigma = 0,5R$ для образцов призм серосодержащего арболита, испытанных при выдержках на каждой ступени нагрузки в течении 5 и 15 минут, величина коэффициента упругости $\nu = \varepsilon_y / \varepsilon_{\text{полн}}$ менялась в пределах от

0,92 до 0,97. Испытания с повторными нагрузками-разгрузками показали, что при $\sigma=0,45R$, коэффициент $\nu=0,9$, а при $\sigma=0,75R$, $\nu=0,85$. Таким образом, даже при нагрузках, близких к разрушающим, серосодержащий арболит сохраняет свои упругие свойства.

Анализ результатов испытаний деформаций призм и блоков из серосодержащего арболита позволил вывести следующие формулы для определения начального модуля упругости этих материалов:

$$E_0 = 6\gamma_{\text{сух}} \sqrt{R_{\text{пр}}} \quad (6.10)$$

$$E_0 = 4,7\gamma_{\text{сух}} \sqrt{R_{\text{куб}}} \quad (6.11)$$

где $R_{\text{пр}}$ - призменная прочность, МПа.

Значения модулей упругости E_0 , вычисленные по формулам (6.10) и (6.11) дают удовлетворительное совпадение с опытными данными.

В зависимости от плотности и класса прочности серосодержащего арболита нормативные значения начального модуля упругости E_0^H следует принимать согласно данным табл. 6.5.

Таблица 6.5.

Нормативные значения модуля упругости серосодержащих арболитов

Плотность, кг/м ³	Кубиковая прочность, МПа	Призменная прочность, МПа	Начальный модуль упругости, МПа
550	2,0	1,9	1400
600	2,5	2,5	2400
650	3,0	3,0	4000

Таким образом, модули упругости серосодержащего арболита ниже модулей упругости бетонов в 3 раза при соответственно равных пределах прочности при сжатии. Предельная сжимаемость серосодержащего арболита при напряжении $\sigma=0,8R$ составляла 1,56 мм/м.

Сжимаемость серосодержащего арболита при равных кубиковых прочностях в 3 раза выше, чем у тяжелых бетонов. Коэффициент Пуассона серосодержащего арболита μ при $\sigma=0,5R$ равен 0,2, что соответствует

хрупкой природе материала. Величина сдвига серосодержащего арболита, вычисленная по формуле $G = E_0 / 2(1 + 2\mu)$ составила 0,416 E_0 .

$$G = E_0 / 2(1 + 2\mu) \quad (6.12)$$

Исследования деформаций образцов кладки из блоков серосодержащего арболита на разных марках растворов показали, что основными факторами, влияющими на величину модуля упругости, являются прочность материала бетонов и марка раствора. Зависимость между напряжениями σ и деформациями ϵ приближается к прямолинейной.

Анализ прочности и деформаций блоков из серосодержащего арболита, испытанных отдельно, и блоков, испытанных в кладке, показал, что в кладке прочность блока используется в пределах от 0,5 до 0,71 по сравнению с блоком, испытанным отдельно. Этот процент использования в два с лишним раза выше процента использования кирпича в кладке.

На основании опытных данных была установлена зависимость между величиной упругой характеристики кладки из блоков серосодержащего арболита и маркой раствора R_2 . Эта зависимость выражается формулой:

$$\alpha = 500(1 + 1/R_1 + 20/R_2) \quad (6.13)$$

где $\alpha = \frac{E_0}{R_{кл}}$ - упругая характеристика кладки.

Для использования в практических целях следует принимать значения упругой характеристики кладки согласно нижеприведенным данным по табл. 6.6.

Таблица 6.6

Значение упругой характеристики кладки

Марка раствора, МПа	Упругая характеристика, отн. ед.	Марка раствора, МПа	Упругая характеристика, отн. ед.
0 – 0,5	550	2,1 – 5,0	800
0,6 – 1,0	650	5,0 и более	850
1,1 – 2,0	700	10	1000

Исследования предела прочности призм из серосодержащего арболита при сжатии в условиях длительного воздействия нагрузки показали,

что при напряжении $\alpha = 0,3 R$ в течение одного года деформации носили слабозатухающий характер. Установлено, что рост деформаций при длительном нагружении идет за счет деформаций ползучести. Деформации растут интенсивно первые 100 дней, в дальнейшем начинают затухать.

Установлено, что нахождение блоков под нагрузкой $0,15R_{\text{раз}}$ в течении одного года не вызывает снижения предела прочности образцов из серосодержащего арболита при сжатии. Анализ опытных данных позволил установить новую экспериментальную зависимость для вычисления величины несущей способности серосодержащего арболита при внецентренном сжатии:

$$P_p^{\text{BH}} = R + (1 - \frac{e_1}{y}) \quad (6.14)$$

где, P_p^{BH} -разрушающая нагрузка при внецентренном сжатии вкН; R - предел прочности при центральном сжатии в МПа; e_0 -эксцентриситет в см; y - расстояние от центра тяжести до более напряженной грани в см.

Полученная новая формула дает удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными; в среднем отклонение от опытных данных составляет 12,9 %, что примерно в 2 раза меньше отклонений при вычислении несущей способности по формулам сопротивления материалов.

Исследования показали, что серосодержащий арболит является упруго-пластичным материалом и его можно использовать для малоэтажного строительства в виде стеновых материалов.

Выводы по главе 6:

1. Проведено исследование механизма формирования прочности и разрушения серосодержащего арболита в зависимости от составляющих компонентов. Найдена зависимость прочностных характеристик и ползучести серосодержащего арболита от свойств составляющих компонентов. Установлено, что в нагруженном состоянии мерсеризованный органический наполнитель в виде измельченного тростникаупрочняется и может воспринимать большую нагрузку, чем в ненапряженном состоянии.

Упрочение целлюлозного органического заполнителя в изучаемом диапазоне напряжений до $0,8R_3$ (прочность органического заполнителя) происходит за счет уменьшения внутрестеблевой пористости фибрах измельченного тростника и возникновения эффекта «обоймы» в структуре данного материала.

2. Установлено, что причиной более высокой прочности серосодержащего арболита, по сравнению с низкопрочным органическим заполнителем, является кольматация его пор серосодержащим цементным раствором, который вызывает повышение прочности измельченного тростника. Разрушение серосодержащего материала происходит ступенчато, сначала органический заполнитель, затем серосодержащий раствор.

3. Найдено, что в серосодержащем арболите соотношение между кубиковой и призмной прочностью приближается к единице и даже превосходит ее. Поэтому, при нормировании коэффициент призмной прочности серосодержащего арболита рекомендуется принимать на 20-25% выше, чем для легких и ячеистых бетонов.

4. Найдено, что относительная прочность кладки из мелких серосодержащих арболитовых блоков близка с относительной прочностью кладки из крупных блоков. Это объясняется тем, что хотя мелкие блоки имеют сопротивление изгибу и срезу ниже, чем крупные, однако при кладке из мелких блоков значительно легче создать равномерный горизонтальный шов, обеспечивающий равномерную передачу усилий на камень.

ГЛАВА 7. ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ АРБОЛИТОВ

7.1. Производственное внедрение шлакощелочного арболита и его технико-экономическая эффективность

На базе Актюбинского завода железобетонных изделий ТОО «ЖБИ-25» была выпущена опытно-промышленная партия теплоизоляционно-конструкционного арболита на основе шлакощелочного вяжущего.

При изготовлении арболита на основе шлакощелочных вяжущих использовались следующие материалы и добавки: тонкомолотый электротермофосфорный шлак, зола-унос - электрофильтров Актюбинской ТЭЦ, стекло натриевое жидкое, содосульфатная смесь Актюбинского электрохимического предприятия «Электрохимпром» и органические заполнители в виде – измельченных стеблей хлопчатника.

Приготовление арболитовой смеси проводилось следующим образом. Предварительно готовили комплексный щелочной раствор в соотношении 1:1 по объему натриевого стекла (1300 кг/м^3) и водного раствора содосульфатной смеси (1200 кг/м^3).

Отдозированное количество органических заполнителей (измельченные стебли хлопчатника) перемешивали с комплексным щелочным раствором, затем подавался алюмосиликатный компонент, и производилось окончательное перемешивание компонентов. Все компоненты шлакощелочного раствора перемешивались до получения однородной массы и укладывались в форму.

Время приготовления арболитовой смеси составляло 7-9 минут. В дальнейшем изделия с различными сроками выдержки направлялись на тепловую обработку в специально оборудованную сушильную камеру.

Тепловая обработка велась по разработанным режимам в сухой среде при температуре до 80°C в течение 6-8 ч.

После теплообработки изделия расформовывались и помещались на хранение в цеху 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 смазки и условия нанесения смазки на формы и крышки форм;
- вид и величина уплотнения;
- условия и параметры тепловой обработки и время выдержки изделий из арболита перед тепловой обработкой;
- время фиксации формующего усилия;
- тепловая обработка изделий в закрытом и открытом видах.

Рациональные параметры данных факторов определялась 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 поверхности и граней, влажность арболита к моменту испытания и сроки достижения изделиями отпускной (по ГОСТ 19222) -25% влажности.

Для выпуска опытной партии шлакощелочных арболитовых плит использовавшейся при строительстве жилого дома была принята следующая технология производства арболитовых изделий:

- перемешивание – в двухвальном противоточном смесителе с частичным размолотом цельных элементов органического заполнителя, формование в формах с фиксирующимися крышками вибрацией под пригрузом с удельной нагрузкой 0,02-0,04 МПа;

-тепловая обработка в камерах сушки по режиму от 6 до 8 часа при температуре изотермической выдержки $T = 80^{\circ} \text{C}$;

-доводка изделий до отпускных параметров прочности и влажности выдержкой на складе готовой продукции.

Была изготовлена партия теплоизоляционных блоков из шлакощелочного арболита размерами 400x200x200 мм (рис.7.1).



Рис. 7.1. Арболитовый блок из шлакощелочного вяжущего

Выпущенная партия изделий использована при строительстве многоквартирного жилого дома пос. Заречный, Актюбинской области в качестве ограждающей конструкции стен, что позволило применить шлакощелочной арболит взамен керамзитобетона и тяжелого бетона (рис. 7.2).



Рис. 7.2. Строительство многоквартирного жилого дома в пос. Заречный Актюбинской области из шлакощелочных блоков

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

Эффективность производства шлакощелочного арболита определялась по приведенным затратам на 1 м³ готового изделия.

Затраты определялись по изменяемым статьям: материалы, топливо, электроэнергия и удельные капиталовложения и результаты расчета приведены в табл. 7.1.

За базу для сравнения принято производство арболита на портландцементном вяжущем.

Таблица 7.1

Сравнительная калькуляция себестоимости изготовления 1м³ арболита

№	Статьи затрат	Ед. изм.	Расход материалов, 1м ³ арболита		Цена ед, руб	Цена 1 м ³ арболита, руб	
			По существ. технол.	Предл. проект		По существ. технол.	Предл. проект
1	Портландцемент	кг	370	30	4	1480	120
2	Электротермофосфорный шлак	кг		300	0,3	-	90
3	Содосульфатная смесь	кг		36	12		432
4	Жидкое стекло	кг		38	15		570
5	Измельч. стебли хлопчатника	кг	120	120	0,2	24	24
6	Зола-унос	кг	-	250	0,3		75
7	Хлориды кальция	кг	6		6	36	
8	Вода	кг	250	50	0,3	75	15
9	Итого	м ³				1245	1206
10	Осн. зарплата рабочих	руб.	(6чел)	(6чел.)	10000	60000	60000
11	Электроэнергия	кВт	6,2	6,2	4	24,8	24,8
12	Допол. проч. ресурсы	руб.				30	30
13	Общее расходы	руб.				100	100
14	Всего	руб.				61769,8	61480,8

При расчете экономического эффекта использовано производство шлакощелочных арболитовых блоков размером 200x200x400мм, изготовленных согласно ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические требования». Годовой экономический эффект определялся по формуле:

$$\mathcal{E} = [(Z_1 - Z_2) - E_n \frac{K_3}{A}] A \quad (7.1)$$

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.

При мощности цеха 2000 м³шлакощелочныхарболитовых изделий в год приведенные затраты на 1 м³арболита по существующей технологии производства составили 62689,6 руб., по предлагаемому проекту 62476,6 руб. в год.

При этом ожидаемый годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E} = [(61769,8 - 61480,8) - 0,15 \frac{57000}{2000}] 2000 = 569450 \text{ руб. в год.}$$

Дополнительная экономия обеспечивается повышением прочности шлакощелочных арболитовых блоков, изготовленных на основе измельченных стеблей хлопчатника, и снижением брака в количестве 15% от стоимости единицы изделия.

$$\mathcal{E}_1 = (26,5 \times 0,15) \times 2000 = 7950 \text{ руб.}$$

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

$$\mathcal{E}_{\text{ит}} = 569450 + 7950 = 577400 \text{ руб. в год.}$$

Экономический эффект от внедрения в производство теплоизоляционного шлакощелочного арболита в системе Актобестроя составил 577400 руб. в год. Полный расчет технико-экономической эффективности от внедрения приведен в приложении.

7.2. Производственное внедрение серосодержащих арболитов и их технико-экономическая экономическая эффективность

На основании разработанных составов арболита и способа детоксикации серосодержащего вяжущего в производственном участке ТОО «Региональный индустриальный технопарк Актобе» выпущена опытная партия стеновых арболитовых блоков объемом 250 м³, размером 200x200x400 мм и облицовочные плитки размерами 500x400x0,3 мм (рис. 7.3) и вертикальные бруски для ограждающих и несущих конструкций (рис. 7.4).



Рис. 7.3. Облицовочные плитки из серосодержащего арболита



Рис. 7.4. Образцы вертикальных серосодержащих арболитовых брусков

Состав и основные свойства опытной партии арболитовых стеновых блоков представлены в гл. 5.

Для получения серосодержащего арболита использовался пиритный огарок Алгинского химического комбината и сера отходы Атырауского нефтеперегонного завода.

В работе применялся портландцемент марки 400 Чимкентского цементного завода.

Арболитовые блоки изготавливались по следующей технологии: исходное серосодержащее вяжущее активировалось в барабанной шаровой мельнице емкостью 200 л, изготовленной в ремонтно-механическом цехе Актюбинского университета им. С. Баишева и время активации составило 30 мин.

Для получения серосодержащих вяжущих помол пиритного огарка совместно технической серы производили отдельно.

Подготовленные компоненты пиритного огарка и серы взвешивали в соотношениях 200:100, 250:100, 250:150 и загружали в мельницу, размалывали до тонкости, характеризующейся 8 - 10% остатка на сите № 008.

Помол цементного клинкера и последующее введение серосодержащих смешанных добавок обеспечивали тонкое измельчение частиц цемента и его равномерное распределение среди составляющих серосодержащих смесей.

Оптимальная дозировка активных минеральных добавок составляет 25-33% от массы вяжущего.

Предварительно вымоченные стебли тростника обрабатывались сернощелочным раствором и хлорида кальция, бария. Далее облагороженный органический наполнитель перемешивался с активированным серосодержащим вяжущим в смесителе. Продолжительность загрузки компонентов, их перемешивания и выгрузки составила 10 мин.

Полученная арболитовая смесь загружалась в формовочную установку и прессовалась под давлением 0,25 МПа.

Универсальность формовочной установки заключается в изготовлении блоков с пустотами, облицовочных плиток различной конфигурации за счет замены пуансона и бортоснастки.

Отформованные блоки после снятия давления и поднятия пресс-форм оставались на площадке для вызревания. Через каждые 24 ч блоки переносились под навес и укладывались штабелями для твердения в естественных условиях.

При формовании серосодержащих арболитовых блоков параллельно изготавливались кубики из этой же смеси размером 100x100x100 мм, твердевшие в естественных условиях и испытанные через 28 суток.

Полученные арболитовые блоки по своим физико-механическим свойствам 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 для использования в малоэтажном и сельском строительстве.

Определение экономической эффективности от внедрения серосодержащих арболитовых блоков производилось путем сравнения калькуляций себестоимости изготовления единицы продукции по известной технологии и предлагаемому проекту (табл. 7.2).

При расчете экономического эффекта использовано производство серосодержащих арболитовых блоков размером 200x200x400мм, изготовленных согласно ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические требования». Годовой экономический эффект определялся по формуле:

$$\mathcal{E} = [(Z_1 - Z_2) - E_n \frac{K_3}{A}] A \quad (7.2)$$

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.

Таблица 7.2

Сравнительная калькуляция себестоимости изготовления 1 м³ арболита

№	Статьи затрат	Ед изм	Расход материалов, 1 м ³ арболита		Цена ед, руб	Цена 1 м ³ арболита, руб	
			По сущест в. технол.	Предл. проект		По сущест в. технол.	Предл. проект
1	Портландцемент	кг	390	350	3	1170	1050
2	Пиритный огарок	кг	-	70	0,3	-	21
3	Хлорид бария	кг	6	6	120	720	720
4	Техническая сера	кг		35	0,2		7
5	Измельч. тростник	кг	-	200	0,2	-	40
6	Рисовая солома	кг	200	-	0,2	40	-
7	Хлор.кальция	кг	5	4	120	600	480
8	Вода	м ³	0,6	0,5	8	4,8	4,0
9	Итого					2534,8	2322
10	Осн. зарплата рабочих	руб.	(бчел)	(бчел.)	10000	60000	60000
11	Электроэнергия	кВ	6,2	6,2	4	24,8	24,8
12	Допол. проч. ресурсы	руб.				30	30
13	Общие расходы	руб.				100	100
14	Всего	руб.				62689,6	62476,6

При мощности цеха 2000 м³ арболитовых изделий в год приведенные затраты на 1 м³ арболита по существующей технологии производства составили 62689,6 руб., по предлагаемому проекту 62476,6 руб. в год.

При этом ожидаемый годовой экономический эффект составит

$$\mathcal{E} = [(62689,6 - 62476,6) - 0,15 \frac{58000}{2000}] 2000 = 417300 \text{ руб. в год.}$$

Дополнительная экономия обеспечивается повышением прочности арболитовых блоков, изготовленных на основе стеблей тростника, и снижением брака в количестве 15% от стоимости единицы изделия.

$$\mathcal{E}_1 = (25,8 \times 0,15) \times 2000 = 7740 \text{ руб.}$$

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

$$\mathcal{E}_c = 417300 + 7740 = 425040 \text{ руб. в год.}$$

Выводы по главе 7:

1. Произведен производственный выпуск шлакощелочных арболитовых теплоизоляционных блоков с размерами 200x200x400 мм на основе измельченных стеблей хлопчатника. Подсчитан экономический эффект от применения разработанного арболита, который составил 577400 руб. в год.

2. Проведено опытно-промышленное апробирование результатов исследований, которое подтвердило эффективность применения арболита на серосодержащем вяжущем. Произведен расчет экономической эффективности применения арболита на серосодержащем вяжущем. Показано, что при мощности цеха 2500 м³ арболитовых изделий в год по предлагаемому способу ожидаемый экономический эффект составит 425040 руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. С помощью методов системного анализа и теоретических подходов разработаны принципы и научные основы получения высокопрочных арболитобетонов на основе композиционных шлакощелочных и серосодержащих вяжущих, методологически обоснована целесообразность комплексного регионального использования промышленных и сельскохозяйственных отходов. Проведен комплексный анализ особенностей структуры и свойств арболита в зависимости от его состава. Показано, что органическая составляющая бетона оказывает сильное влияние на его свойства, поэтому для получения высокопрочных бетонов требуется разработка новых комплексных вяжущих и применение нетрадиционных добавок. Найдено, что применение шлаков и серосодержащих отходов в качестве шлакощелочных и серосодержащих вяжущих, обладающих высокой активностью и приводящих к возникновению структурообразующих элементов, может привести к повышению прочностных характеристик арболита. Показана возможность использования технической серы и серосодержащих отходов в составах бетонов различного назначения включая арболитобетон. Дана комплексная оценка влияния растворимых компонентов органического заполнителя на сроки схватывания и твердения различных вяжущих, а также на физико-механические свойства арболитобетонов.

2. Выявлены закономерности получения шлакощелочных вяжущих с добавкой высококальциевой золы-уноса повышенной адгезионной способности к органическим заполнителям арболитобетона. Показано, что шлакощелочные композиции с добавкой золы-уноса обладают вяжущими свойствами, а фазовый состав продуктов твердения определяет характер этих свойств. Изучение физико-химических процессов взаимодействия шлакощелочных вяжущих показало, что их фазовый состав определяется видом щелочного компонента и добавки. В продуктах твердения разработанных вяжущих композиций образуются

низкоосновные гидросиликаты типа гиролита, гиллебрандита, трускотита, тоберморита и щелочные новообразования – аналоги природных цеолитов, а также кальцит.

Установлена возможность регулирования свойств вяжущих одинаковых марок путем варьирования соотношения состава вяжущего и изменения соотношения факторов. Найдено, что прочность щелочных вяжущих с добавкой золы – уноса, зависит от дисперсности золы и ее гранулометрического состава. Показано, что наибольшее влияние на прочность вяжущего оказывает плотность и силикатный модуль щелочного компонента. Оптимальное растворошлаковое отношение для шлакощелочной арболитовой смеси находится в пределах 0,8- 1,1 в зависимости от вида органического заполнителя. Установлено, что рациональное соотношение в шлакощелочном вяжущем активных минеральных добавок высококальциевой золы-уноса и электротермофосфорного шлака по массе 1:1, что приводит к повышению его прочности на 50–70 %.

3. Установлено, что введение в состав арболита щелочных компонентов комплексных добавок на основе силиката натрия и содосульфатной смеси приводит к появлению новых гидратных соединений, при этом повышается степень гидратации шлакощелочного камня. Проведенные исследования показали, что введение в качестве добавки содосульфатной смеси значительно углубляет гидратацию шлакового стекла, а также способствует образованию волокнистых гидросульфатоалюминатов кальция, выполняющих роль дополнительной арматуры и уплотняющих структуру камня вяжущего. Разработан состав комплексного шлакощелочного вяжущего, который включает в % по массе: электротермофосфорный шлак 46; содосульфатную смесь 8; добавку золы-уноса 46.

4. Определены возможные механизмы взаимодействия шлакощелочных вяжущих с органической составляющей арболитов. Установлено, что щелочной компонент вяжущего взаимодействуют с органическим

заполнителем позволяя создать оптимальную макроструктурную композицию и обеспечить высокую прочность и долговечность конгломератов в целом. Изучены физико-химические процессы на контакте «заполнитель - шлакощелочной раствор», характер которых, определяют адгезионные связи между органическими заполнителями и шлакощелочным вяжущим камнем. Найдено, что большое значение имеет пористое строение заполнителя, вызывающее отсасывание влаги арболитом из смеси, которое приводит к усилению адгезионных контактов между вяжущим и шероховатыми поверхностями стеблей заполнителя. Установлено влияние растворимых компонентов органического заполнителя - «простых сахаров» на свойства шлакощелочного арболита. Показано, что снижение прочности арболита при введении шлакощелочного раствора и его составляющих в арболитовую смесь происходит только при концентрации сахара в водоекстрактивных веществах на поверхности заполнителя более 0,1 мас. %. Установлено, что в присутствии нейтрализаторов и ускорителей твердения основной минералов, придающим прочность шлакощелочному арболиту является содосульфатная смесь.

5. Получены зависимости, описывающие скорость набора прочности шлакощелочных арболитовых композиций на основе хлопчатника в процессе твердения. Установлены закономерности комплексного влияния органических и неорганических компонентов шлакощелочного арболита на формирование его микроструктуры и прочностных характеристик. Результаты показывают, что для получения материала с высокими прочностными качествами и структурной однородностью оптимальное растворошлаковое отношение Р/Ш для шлакощелочной арболитовой смеси должно находиться в зависимости от типа органического заполнителя в пределах 0,8–1,1.

Разработаны составы шлакощелочного арболитобетона на основе хлопчатника, получены диаграммы графической интерпретации результатов многофакторных экспериментальных исследований, позволяющие

оптимизировать составы вяжущих растворов и хлопчатника для различных видов арболитобетонов – теплоизоляционных, конструкционных и т.п.. Так установлено, что для получения арболита марки 25 при содержании стеблей хлопчатника 90 кг/м^3 и при расходе щелочного компонента 300 л/м^3 , содержание золы-уноса должно составлять 250 кг/м^3 , а при расходе стеблей хлопчатника 120 кг/м^3 , и щелочного компонента 300 л/м^3 расход золы-уноса составляет 210 кг/м^3 . Определено, что наиболее оптимальными фракциями, для конструкционного арболита, являются измельченные стебли хлопчатника, имеющие размеры фракции фибры стеблей не менее 18 - 20мм.

6. Исследовано влияние тепловлажностной и тепловой обработок на прочностные характеристики шлакощелочного арболита. Найдено, что тепловлажностная обработка негативно влияет на свойства органической составляющей арболита. Результаты показали, что вяжущие с добавками высококальциевой золы-уноса и электротермофосфорного шлака, в соотношении по массе 1:1, имеют прочность при сжатии после тепловой обработки от 57,0 до 63,9 МПа, что свидетельствует о ее благоприятном влиянии на набор прочности вяжущего. Найдено, что после тепловой обработке предел прочности арболитовых образцов с содосульфатной смесью при сжатии до 19 % выше, чем у образцов, подвергнутых тепловлажностной обработке и составляет 2,1 и 2,5 МПа соответственно.

7. Установлено влияние добавок серосодержащих отходов нефтехимической промышленности на структурообразование и физико-химические свойства композиционных вяжущих для получения арболитобетонов повышенной прочности. Найдено, что наиболее эффективным способом введения добавок технической серы является их совместный помол с железосодержащими сырьевыми материалами в виде пиритного огарка. Результаты проведенного термодинамического расчёта свидетельствуют о наиболее вероятном протекании процесса связывания серы с оксидами железа при механическом воздействии при температурах, близких к нормальным. Установлено, что механизм активации заключается

во взаимодействии вновь обнажающихся поверхностей частиц вяжущего при мокром домале, интенсификации процесса коагуляции вяжущей смеси и интенсивном образовании каркаса кристаллической решётки за счет образования кристаллогидратов. Определено, что введение добавок серы в цементное вяжущее в количестве 8 - 13 % от массы сухих компонентов смеси вызывает их уплотняющее и упрочняющее действие. На основании результатов фазового исследования установлено, что повышение прочностных характеристик серосодержащих цементных вяжущих происходит в результате повышения относительного содержания в их составе 1,1-нм тоберморита и формирования мелкокристаллической структуры, которое способствует снижению кристаллизационного давления в структуре материала и увеличению количества межкристаллических контактов. Установлено, что введение серосодержащей добавки в количестве 8 - 13%, обеспечивает повышение прочности камня вяжущего до 73,5 МПа при содержании цемента в составе смеси 67 % по массе.

8. Проведено исследование влияния основных составляющих компонентов на прочностные свойства серосодержащего арболита. Исследования влияния заполнителя на физико-механические свойства арболита и сцепление его с камнем вяжущего показали, что микротвердость контактного слоя серосодержащего вяжущего с измельченным тростником равна 1550 МПа, что примерно на 15% выше микротвердости камня вяжущего в межзерновом пространстве. Контактная зона между серосодержащим вяжущим и измельченным тростником отличается плотным строением, ширина ее составляет 105-135 мкм.

9. Проведено исследование влияния химических добавок на свойства органического заполнителя и серосодержащего арболита. Термодинамическими расчетами и экспериментами показано, что соединения железа (VI) в виде феррата натрия Na_2FeO_4 химически разрушают сахарацы целлюлозы, что ведет к увеличению адгезии между органическими и неорганическими компонентами арболитобетонов. Найдено, что обработка

щелочным серосодержащим раствором (мерсеризация) может заменить операцию предварительного замачивания тростника в растворах химических добавок. Установлено, что в нагруженном состоянии мерсеризованной наполнитель упрочняется и может воспринимать большую нагрузку, чем в ненапряженном состоянии. Происходит своеобразный эффект «дублирования» волокон и «кольматация» пор мерсеризованной целлюлозы элементарной серой, что приводит к улучшению как прочностных свойств органического компонента, так и стойкости целлюлозы к биокоррозии. Результаты исследования показали, что оптимальным органическим наполнителем для серосодержащего арболита являются измельченные отходы тростника.

10. Разработаны составы и выявлен характер влияния основных составляющих компонентов на физико-механические свойства серосодержащего арболита с использованием тростника. С помощью методов регрессионного анализа определены оптимальные составы теплоизоляционного, теплоизоляционно-конструкционного и конструкционного арболитов. Предложено с помощью метода трехфакторного эксперимента планировать расходы стеблей тростника и серосодержащих вяжущих компонентов для арболита. Так расчетные расходы для конструкционного арболита на 1 м^3 изделия составляют: измельченного тростника – 204 кг, серосодержащего вяжущего – 345 кг, для теплоизоляционно-теплоизоляционного арболита - тростника – 209 кг, вяжущего – 335 кг и для теплоизоляционного арболита - тростника – 216 кг, вяжущего – 321 кг.

11. Определены физические и физико-механические характеристики расчетных составов арболитов. Установлено, что серосодержащий арболит обладает морозостойкостью не менее 35 циклов и повышенной огнестойкостью. Установлены оптимальные условия твердения серосодержащего арболита. Найдено, что лучшие условия для твердения серосодержащего арболита создаются при тепловой обработке, прочность

таких изделий в среднем в 2,3 раза выше, чем у арболита нормального твердения.

12. Установлены закономерности влияния механизма формирования прочности и разрушения серосодержащего арболита в зависимости от вида и способа нагружения при использовании его в строительных конструкциях. Найдена зависимость прочностных характеристик и ползучести серосодержащего арболита от свойств вяжущего и органического заполнителя. Найдено, что упрочнение органического заполнителя в изучаемом диапазоне напряжений до $0,8 R_3$ (кубиковая прочность органического заполнителя) происходит за счет уменьшения внутрискелевой (для тростника камыша) пористости и возникновения эффекта «обоймы». Показано, что в серосодержащем арболите соотношение между кубиковой и призмочной прочностью приближается к единице и даже превосходит ее. Поэтому, при нормировании коэффициент призмочной прочности серосодержащего арболита рекомендуется принимать на 20-25% выше, чем для легких и ячеистых бетонов.

13. Разработана методика анализа кривых деформирования серосодержащих арболитовых материалов при сжатии, позволяющая определять точки «критических» состояний композита в процессе нагружения. Экспериментально доказано, что при нагружении серосодержащего арболита плотного строения происходит не одновременное, а последовательное разрушение растворной составляющей и органического заполнителя во второй фазе твердения. В первой фазе твердения происходит разрушение материала только по растворной составляющей. Установлено, что прочность серосодержащего арболита пористого строения формируется в одну фазу, разрушение происходит одноступенчатое – по кольматированному органическому заполнителю. Характер разрушения образцов из серосодержащего арболита в различном возрасте наглядно иллюстрируют высказанные дополнения к гипотезам формирования прочности серосодержащего арболита и механизма его

разрушения. Выявлено, что наименьшей пористостью и, как следствие, наиболее высокими прочностными показателями обладают составы, содержащие комплексные добавки с технической серой Жанажолского месторождения и пиритным огарком Алгинского химкомбината «Фосфохим».

Изучено поведение блоков из серосодержащего арболита в кладке. Найдено, что относительная прочность кладки из мелких серосодержащих арболитовых блоков близка с относительной прочностью кладки из крупных блоков. Это объясняется тем, что хотя мелкие блоки имеют сопротивление изгибу и срезу ниже, чем крупные, однако при кладке из мелких блоков значительно легче создать равномерный горизонтальный шов, обеспечивающий равномерную передачу усилий на камень.

14. Разработаны технологии по производству арболита на основе шлакощелочных и серосодержащих вяжущих и отходов из травянистых растений пористой и плотной структур, учитывающие особенности новых композиционных вяжущих и органического заполнителя. Описанная технология для получения шлакощелочноарболита по сравнению с традиционными технологиями арболита позволит в 1,7–1,9 раза сократить время и энергозатраты при приготовлении арболитовой смеси, в 2–2,5 раза – время укладки и уплотнения смеси, в 7–8 раз – длительность цикла твердения изделий, в 1,8–2,5 раза – удельную металлоемкость производства. На базе Актюбинского завода железобетонных изделий произведен выпуск шлакощелочных арболитовых теплоизоляционных блоков на основе измельчённых стеблей хлопчатника. Экономический эффект от применения разработанного состава арболита составил 577400 руб. в год.

Также показано, что отличительной особенностью получения изделий из серосодержащего арболита по сравнению с известной технологией является наличие поста механохимической активации и детоксикации серосодержащих вяжущих, мерсеризация целлюлозного органического заполнителя, а также операционные работы с добавками хлорида кальция и

бария. Выбранная технология позволяет в 1,6-1,8 раз сократить время и энергозатраты при приготовлении арболитовой смеси, в 2-2,5 раза время укладки и уплотнения смеси, в 2-2,5 раза - удельную металлоёмкость производства, длительность твердения – в 6–7 раз. На производственном участке ТОО «Региональный индустриальный технопарк Актобе» выпущена партия стеновых серосодержащих арболитовых блоков. Экономический эффект от применения разработанного состава арболита составил 425040 руб. в год.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов. М.: Стройиздат, 1981. 464 с.
2. Ахвердов, И.Н. Акустическая технология бетона / И. Н. Ахвердов. М.: Стройиздат, 1976. 145 с.
3. Азимов, А. Особенности твердения шлакощелочных песчаных бетонов и тампонажных растворов при повышенных температурах и давлениях: автореф. дис. ... техн. канд. наук / А.Азимов. Киев, 1983. С. 22–23.
4. Аяпов, У.А. Вяжущие и бетоны из минеральных отходов промышленности Казахстана / У.А. Аяпов, С.А. Архабаев, З.Б. Шорманова. Алма-Ата: Наука, 1982. 234 с.
5. Арболит / под ред. Г.А. Бужевича. М: Стройиздат, 1968. 243 с.
6. Абн-Ганнам Файсал, М. Бетон на активированном цементном вяжущем для автодорожного строительства: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.Абн-Ганнам Файсал. Ташкент, 1995. 21 с.
7. Технология ротационно-пульсационной активации зол / А.В. Акимов [и др.] // Экологические проблемы переработки вторичных ресурсов в строительные материалы и изделия: тез. докл. всесоюз. науч.-практ. совещ. (15–17 окт. 1990 г.). Ч. II. Чимкент, 1990. С. 64–65.
8. Акчабаев, А.А. Основы прогрессивной технологии прессуемого

арболита: дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / А.А. Акчабаев. СПб.: ЛИСИ, 1992. 297 с.

9. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. М.: Наука, 1971. С. 145–212.

10. Применение техногенного сырья в производстве кирпича и черепицы / В.З. Абдрахманов [и др.]. СПб.: Недра, 2004. 125 с.

11. Акчабаев, А.А. Активация вяжущего поляризацией как способ повышения прочности арболита / А.А. Акчабаев, К.А. Бисенов, С.С. Удербает // Доклады Министерства науки и высшего образования. Алматы: НАН РК, 1999. № 4. С. 57–60.

12. Акчабаев, А.А. Исследование влияния некоторых технологических факторов на интенсификацию твердения арболита: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / А.А. Акчабаев. М., 1977. 19 с.

13. Арболит – проблемы и перспективы: науч.-темат. сб. / об-ние «Росколхозстрой»; проект.-технол. произв. об-ние «Сельхозстройматериалы»; ред.: М.И. Клименко [и др.]. Саратов: Изд-во Саратов.ун-та, 1982. 79 с.

14. Арболит. Производство и применение / В.А. Арсенцев [и др.]; под ред. А.С. Щербакова, Н.К. Якунина. М.: Стройиздат, 1977. 347 с.

15. Абраменко, Н.И. Поризованный цементный арболит на древесных заполнителях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Н.И. Абраменко. М.: НИИЖБ, 1980. 18 с.

16. Абдрахимов, В.З. Технология стеновых материалов и изделий / В.З. Абдрахимов. Самара, 2005. 192 с.

17. Арутюнян, Н.Х. Расчет строительных конструкций с учетом ползучести / Н.Х. Арутюнян, А.А. Зевин. М.: Стройиздат, 1988. 256 с.

18. Клименко, М. И. Использование местных материалов в сельском строительстве Текст. / М. И. Клименко // Арболит и его применение:

[сборник статей] под ред. М. И. Клименко. Саратов: Изд-во Сарат. унта.- 1976.-С. 23-39.

19. Арсенцев, В. А. Экономическая эффективность производства арболита в строительстве. /Арболит и его применение: сборник статей под ред. М. И. Клименко. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1976. - 133 с.:ил.

20. Антипин, А.А. Крупноразмерные гипсобетонные изделия для индустриального полносборного сельского строительства / А. А. Антипин // Доклады межвузовской научно-технической конференции по применению гипса и ГЦПВ в городском и сельском строительстве. М.: МИСИ, 1969.

21. Агаджанов, В.И. Экономическая эффективность применения серы для модификации бетонов / В.И. Агаджанов, Т.В. Михайлова, Ю.И. Орловский // Бетон и железобетон. 1984. № 10. С 20–21.

22. Боженков, П.И. Технология автоклавных материалов: учеб.пособие / П.И. Боженков. Л.: Стройиздат, 1978. 368 с.

23. Бутт, Ю.М. Портландцемент (Минералогический и гранулометрические составы, процессы модифицирования и гидратации) / Ю.М. Бутт, В.В. Тимашев. М.: Стройиздат, 1974. 328 с.

24. Бутт, Ю.М. Химическая технология вяжущих материалов: учеб. для вузов по спец. «Химическая технология вяжущих материалов» / Ю.М. Бутт, М.М. Сычев, В.В. Тимашев; под ред. В.В. Тимашева. М.: Высш. шк., 1980. 472 с.

25. Ускорение твердения арболита химическими добавками / В.М. Бутерин, А.С. Щербаков, Н.Н. Силина [и др.] // Научные труды Московского лесотехнического института. 1976. Вып. 93. С. 106–112.

26. Баженов, Ю. М. Универсальные органоминеральные модификаторы гипсовых вяжущих веществ Электронный ресурс. / Ю. М. Баженов, В. Ф. Коровяков // Газета «Стройка» 2000. № 39. - Режим доступа: интернет: <http://www.stroyinform.ru>.

27. Бучаченко, А.Л. Магнитные взаимодействия в химических реакциях / А.Л.Бучаченко. М.: Химия, 1980. 228 с.

28. Борковская, Ю.Б. Теория поляризации тонкого двойного слоя в концентрированных дисперсных системах / Ю.Б. Борковская, Н.И.Жарких // Тезисы докладов VIII всесоюзной конференции по коллоидной химии и физико-химической механике. Ташкент, 1983.

29. Баженов, Ю.М. Технология бетона: учеб.пособие для вузов спец. «Производство строительных изделий и конструкций» / Ю.М. Баженов. Изд. 2-е, перераб. М.: Высш. шк., 1987. 55 с.

30. Бауман, В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / В.А. Бауман, Б.В. Клушанцев, Б.Д. Мартынов. М.: Машиностроение, 1975. С. 109.

31. Бисенов, К.А. Ячеистые бетоны на основе отходов промышленности / К.А. Бисенов. М., 1994. 124 с.

32. Борщевский, А.А. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий: учеб. для вузов / А.А. Борщевский, А.С.Ильин. М.: Высш. шк., 1987. 367 с.

33. Батраков, В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика Текст. / В. Г. Батраков. М.: Стройиздат, 1998. - 768 с.

34. Бисенов, К.А. Ячеистые бетоны на основе отходов обогащения флюоритовых руд и шлака: дис. канд. техн. наук:05.23.05 / К.А. Бисенов. М., 1985. 190 с.

35. Легкие бетоны на основе безобжиговых цементов / К.А. Бисенов, И.К. Касимов, А.А. Тулаганов[и др.]. Алма-Ата, 2005. 300 с.

36. Баженов, Ю. М. Некоторые особенности структуры, свойств и технологии бетонополимеров / Ю. М. Баженов // Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве. Тез.докл.М.: Стройиздат, 1976. С. 33-38.

37. Новый вид химической продукции – полимерная сера / В.А. Бороховский, А.И. Салюк [и др.]. М.: Изд-во НИИТЭХИМ, 1982. 40 с.

38. Баженов, Ю.М. 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.

39. Боржоян, Э.А. Применение отходов угледобычи и отсеков дробления в производстве кирпича / Э.А. Боржоян, М.И. Гоголидзе // Реферативная информация ВНИИЭСМа. Сер. Использование отходов, попутных продуктов в производстве строительных материалов и изделий. Охрана окружающей среды. 1980. Вып. 6. С. 45–47.

40. Батырбаев, Г.А. Оборудование для измельчения стеблей хлопчатника для производства арболита / Г.А. Батырбаев // Арболит и его применение/ под ред. М.И. Клименко. Саратов: Изд-во Саратов.ун-та, 1976. С. 65–71.

41. Бухаркин, В.И. Основные факторы формования арболитовой смеси и их влияние на качество изготавливаемых изделий / В.И. Бухаркин, Г.В. Тирновская // Арболит. Производство и применение/ В.А. Арсенцев [и др.]; под ред. А.С. Щербакова, Н.К. Якунина. М.: Стройиздат, 1977. С. 157–165.

42. Батырбаев, Г.А. Параметры изготовления и эффективность арболита дробленых стеблях хлопчатника / Г.А. Батырбаев // Бетон и железобетон. 1977. № 7. С. 28–29.

43. Баженов, Ю.М. Технология сухих строительных смесей: учеб. пособие для вузов / Ю.М. Баженов. М.: АСВ, 2003. 95 с.

44. Бужевич, Г.А. Арболит. Текст. / Г. А. Бужевич. М.: Стройиздат, 1982.-244 с.

45. Батырбаев, Г.А. К подбору состава арболита / Г.А. Батырбаев // Бетон и железобетон. 1975. № 6. С. 117.

46. Болотин, В.В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений / В.В. Болотин // М.: Стройиздат, 1971. 256 с.

47. Беленький, Ю.С. Конструктивные свойства арболита / Ю.С. Беленький // Арболит. Производство и применение. М.: Стройиздат, 1977. С. 178-187.

48. Батырбаев, Г.А. 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: сб. Алма-Ата: КазПИ, 1980. С.75–80.
49. Бахвалов, Н.С. Осреднение процессов в периодических среда / Н.С. Бахвалов, Г.П. Панасенко. М.: Наука, 1984. 140 с.
51. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, С.В. Демьянова, И.В. Калашников. М.: АСВ, 2006. 368 с.
52. Бужевич, Г.А. Лёгкие бетоны на пористых заполнителях / Г.А. Бужевич. М.: Стройиздат, 1970. С. 14–35.
53. Бухаркин, В.И. Использование древесных отходов для производства арболита / В.И. Бухаркин, С.Т. Свиридов, П.Н. Утяков [и др.] М.: Лесная промышленность, 1975. 192 с.
54. 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: 05.23.05 / С.М. Базарбаева. Шымкент: РК ЮКГУ, 2010. 37 с.
55. Boltzmann, S.L. Wissenschaftliche Abhandlungen / S.L. Boltzmann // Band (1865–1874). Leipzig: Verlag von Johann Ambrosius Barth, 1909. 616 p.
56. Волокна с особыми свойствами / Л.А. Вольф [и др.] М.: Химия, 1980. 240 с.
57. Ващук, В.Я. Влияние пористости на прочность бетонополимеров. Перспективы применения бетонополимеров и полимербетонов в строительстве / В.Я. Ващук, В.П. Должков. М.: Стройиздат, 1976. 208 с.
58. Васильков, С.Г. Влияние различных факторов на сырьевую прочность и кажущуюся плотность гранулята / С.Г. Васильков // Эффективные строительные материалы на основе отходов промышленности. Ташкент, 1988. С. 4–11.
59. Высоцкий, С.А. Оценка эффективности и классификация многокомпонентных цементов / С.А. Высоцкий, А.М. Царик // Бетон и

железобетон. 1993. № 1. С.4-8.

60. Виткул, А.Б. Активизация металлургических шлаков для получения вяжущих масс и бетонов высокой прочности и стойкости. Гидратация и твердение вяжущих / А.Б. Виткул, Ю.В. Мелешко, А.Н. Рябцев // Тезисы докладов совещания. Уфа, 1978. С. 321.

61. Валугева, Е.Ф. Стеновые конструкции из арболита на основе костры конопли: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.Ф.Валугева. М., 1998. 20 с.

62. Вайнштейн, М.З. Формирование прочности легкого бетона и механизм его деформации и разрушения / М.З. Вайнштейн // Бетон и железобетон. 1984. № 6. С.8–10.

63. Ваньков, П.И. Новые метода повышения прочности арболита / П.И. Ваньков, Г.В. Клар. Красноярск, 1970. С. 84–89.

64. Сопротивление материалов с основами теории упругости и пластичности / Г.С. Варданян, В.И. Андреев [и др.]. М.: АСВ, 1995. 568 с.

65. Временные нормы технологического проектирования предприятий арболитовых изделий. 1980. М., 1980. С. 125.

66. Временные указания по применению в строительстве изделий из арболита на дробленных стеблях хлопчатника или одубине (РСН 13-71) / Госстрой КазССР. Алма-Ата, 1971. С. 24.

67. Временные рекомендации по механизации уборки и заготовки стеблей хлопчатника для промышленных целей // МСХ УзССР. Ташкент, 1972. С. 19.

68. Волженский, А.В. О перспективах дальнейшего развития производства экономичных бетонов / А.В. Волженский, Ю.Д. Чистов // Бетон и железобетон. 1991. № 2. С. 10–11.

69. Волженский, А.В. Смешанные портландцементы повторного помола и бетоны на их основе / А.В. Волженский, Л.Н. Попов. М., 1961. 220 с.

70. Взаимодействие нейтральных и заряженных частиц с веществом: Каз.пед. ин-т им. Абая. Алма-Ата, 1996. С. 53.

71. Волженский, А.В. Гипсоцементно-пуццолановые вяжущие, бетоны и

изделия / А.В. Волженский, В.И. Стамбулко, А.В. Ферронская. М.: Стройиздат, 1971. 256 с.

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

73. Глуховский, В.Д. Новый строительный материал / В.Д. Глуховский, И.А. Пашков, Г.А. Яворский // Бюллетень информации Главкиевгорстроя. 1957. № 2. С. 13–15.

74. Горчаков, Г.И. Основы стандартизации и управления качеством продукции промышленности строительных материалов: учеб. пособие для студ. вузов по спец. «Производство строительных изделий и конструкции» / Г.И. Горчаков, Э.Г. Мурадов. М.: Высш. шк., 1987. 335 с.

75. Глуховский, В.Д. Грунтосиликаты / В.Д. Глуховский. Киев: Госстройиздат, 1959. 126 с.

76. Шлакощелочные бетоны на мелкозернистых заполнителях / В.Д. Глуховский, П.В. Кривенко [и др.]. Киев: Высш. шк., 1981. 223 с.

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

78. Щелочные и щелочно-щелочноземельные гидравлические вяжущие и бетоны / В.Д. Глуховский, А.В. Волянский, В.А. Гончаров [и др.]. Киев: Высш. шк., 1979. 231 с.

79. Глуховский, В.Д. Грунтосиликаты, их свойства, технология изготовления и области применения: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / В.Д. Глуховский. Киев, 1965. 41 с.

80. Гольдштейн, Л.Я. Использование топливных зол и шлаков при производстве цемента / Л.Я. Гольдштейн, Н.П. Штейерт. Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1977. 108 с.

81. Грушко, И.М. Повышение эффективности электромагнитной обработки вододисперсных систем / И.М. Грушко, Л.А. Белова, В.А.

Бирюков // Магнитная обработка строительных вододисперсных систем. Саласпилс, 1982. С. 7–9.

82. Грушко, Я.М. Вредные неорганические соединения в промышленных сточных водах: справ. / Я.М. Грушко. Л.: Химия, 1979. 169 с.

83. Особенности фазовой и структурной неравновесности металлургических шлаков / Ю.И. Гончаров, А.С. Иванов, М.Ю. Гончарова [и др.] // Изв. вузов. Сер. Строительство. 2002. № 4. С. 50–53.

84. Композиты на основе низкоосновных доменных шлаков / Ю.И. Гончаров [и др.] // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы пятых акад. чтений РААСН. Воронеж: ВГАСА, 1999. С. 94–104.

85. Гончаров, Ю.И. Шлакобетоны с активным заполнителем / Ю.И. Гончаров, Ш.М. Рахимбаев, М.Ю. Гончарова // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: материалы междунар. науч.-практ. конф. Ростов-н/Д, 2000. С. 128–133.

86. ГОСТ 19222-84. Арболит и изделия из него. Общие технические условия. Текст.-Введ. 01.01.85.-М.: Изд-во стандартов, 1984.- 17 с.

87. Прогнозирование прочности и деформативности арболита / А.А. Гуревич, А.С. Щербаков, Б.П. Маслов [и др.] // Комплексное использование древесины при производстве арболита: науч. тр. М.: МЛТИ, 1982. Вып. 121. С. 72–81.

88. Галустов, К.З. Развитие теории ползучести бетона и совершенствование методов расчета железобетонных конструкций: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / К.З. Галустов. М., 2008. 47 с.

89. Гурьева, Ю.А. Упрощенная теория нелинейной ползучести бетона при сжатии / Ю.А. Гурьева // Вестн. граждан.инж. 2008. № 2 (15). С. 37–41.

90. Галустов, К.З. Развитие нелинейной теории ползучести бетона и расчет железобетонных конструкций / К.З. Галустов. М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2006. 248 с.

91. Дейнега, Ю.Ф. Формирование структуры дисперсных систем в электрических полях / Ю.Ф. Дейнега // Труды III национальной конференции

по механике и технологии композиционных материалов. София, 1982. С. 364–367.

92. Дибров, Г.Д. Поляризационные структуры цементных паст / Г.Д. Дибров, Ю.И. Мустафин, З.Л. Винтман // Управление структурообразованием, структурой и свойствами дорожных бетонов: тез. докл. всесоюз. конф. Харьков, 1983. С. 129–130.

93. Духин, С.С. Электропроводность и электрокинетические свойства дисперсных систем / С.С. Духин. Киев, 1975. 246 с.

94. Дворкин, Л.И. Высокопрочные бетоны с активированным зольным наполнителем / Л.И. Дворкин // Бетон и железобетон. 1993. № 6. С. 4–6.

95. Отходы химической промышленности в производстве строительных материалов / Л.И. Дворкин, В.Л. Шестаков, И.А. Пашков [и др.]. Киев: Будевильник, 1986. 128 с.

96. Демин, В.И. Экономика предприятий по производству строительных материалов, изделий и конструкций: учеб. пособие / В.И. Демин, Л.В. Заруева. Новосибирск: НГАСУ, 2001. 180 с.

97. Данилович, И.Ю. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов: учеб. пособие для СПТУ / И.Ю. Данилович, Н.А. Сканави. М.: Высш. шк., 1988. 67 с.

98. Данг, Ши Лан. Высокоэффективный пенобетон с применением золы рисовой шелухи: автореф. дис. ... канд. техн наук: 05.23.05 / Данг Ши Лан. М., 2006. 25 с.

99. Жолнерович, В.Г. Повышение эффективности использования портландцемента в золонаполненных вяжущих / В.Г. Жолнерович, В.А. Кудинов // Строительные материалы. 1998. № 2. С. 26–27.

100. Долидзе, Д.Е. Испытания конструкций и сооружений / Д.Е. Долидзе. М.: Высш. шк., 1975. 252 с.

101. Дьяченко, Д.А. Исследование возможности повышения прочности сцепления неорганического связующего с органическим заполнителем / Д.А. Дьяченко // Исследование в области лесной и деревообрабатывающей

промышленности. М., 1971. Вып. 4. С. 102–108.

102. Еремин, Н.Ф. Влияние гидрофобно-пластифицирующей добавки на основе низкомолекулярного полиэтилена на свойства бетонов / Н.Ф. Еремин И.М. Мордухович, В.Н. Соков // Строительные материалы и конструкции. 1978. № 4. С. 250.

103. Евстратова, К.И. Физическая и коллоидная химия / К.И. Евстратова, И.А. Купина, Е.Е. Малахова. М.: Высш. шк., 1990. 487 с.

104. Ефремов, И.О. Периодические коллоидные структуры / И.О. Ефремов. Л.: Химия, 1971. 192 с.

105. Евтушенко, Е.И. Процессы кристаллизации и активность доменных граншлаков / Е.И. Евтушенко, И.В. Старостина, Е.И. Кварцов // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы пятых акад. чтений РААСН. Воронеж, 1999. С. 130–133.

106. Злочевская, Р.И. Электроповерхностные явления в глинистых породах / Р.И. Злочевская, В.К. Королев. М.: Изд-во МГУ, 1988. 177 с.

107. Зыскин, А.В. Применение добавки ПАЩ-1 при пароразогреве бетонных смесей / А.В. Зыскин, В.Н. Андрющенков, О.Э. Гейхман // Строительные материалы и конструкции. 1978. № 1.

108. Ицкович, С.М. Технология заполнителей бетона / С.М. Ицкович, Л.Д. Чумаков, Ю.М. Баженов. М.: Высш. шк., 1991. 272 с.

109. Ильин, В.П. Высокопрочный кирпич на шлакощелочном вяжущем / В.П. Ильин, Г.Г. Рябов // Строительные материалы и конструкции. 1979. № 1. С. 12.

110. Искусственные пористые заполнители и легкие бетоны на их основе. Справочное пособие / под ред. Ю.П. Горлова. М.: Стройиздат, 1987. 304 с.

111. Иванов, Ю.М. Безопасность деревянных конструкций с учетом длительности действия нагрузки / Ю.М. Иванов // Исследования в области деревянных конструкций: сб. М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, 1985. С. 4–11.

112. СН 549-82. Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций и изделий из арболита. М.: Госстрой СССР. 1983. С.47.
113. Книгина Г.И. Лабораторные работы по технологии строительной керамики и искусственных пористых заполнителей: учеб.пособие / Г.И. Книгина, Э.Н. Вершинина, Л.Н. Тацки. М.: Высш. шк., 1985. 223 с.
114. Крылов, Г.А. Механизация переработки сырья в производстве древесностружечных плит / Г.А. Крылов. М.,1984.-- Вып.12.-20с.
115. Куликов, В.А. Технология клееных материалов и плит / В.А. Куликов, А.Б. Чубаров. М., 1984. 338 с.
116. Капустин, Ф.Л. Особенности грануляции высококальциевых зол ТЭС / Ф.Л. Капустин, В.М. Уфимцев, И.К. Доманская // Физикохимия и технология оксидно-силикатных материалов: материалы междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург, 2000. С. 216–219.
117. Карасев, Е.И. Оборудование предприятия для производства древесинных плит / Е.И. Карасев. М., 1984. 359 с.
118. Комар, А.Г. Строительные материалы и изделия / А.Г. Комар. М., 1983. 483 с.
119. Коротаяев, Э.И. Производство строительных материалов из древесных отходов / Э.И.Коротаяев, М.И. Клименко. М., 1977. 164 с.
120. Гранулируемостьвысококальциевых зол ТЭС / Ф.Л. Капустин [и др.] // Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов: материалы междунар. науч.-техн. конф. Белгород, 2000. Ч. 1. С. 124–128.
121. Кириллов, А.П. Ползучесть бетона в условиях двухосного сжатия / А.П. Кириллов, Э.Я. Багрий // Бетон и железобетон. 1990. № 1. С. 13–14.
122. Клименко, М.И. Исследование арболита на основе высокопрочного гипса. / Автореф. дисс. канд. техн. наук. М.: ВНИИНСМ, 1970. - 18 с.
123. Касимов, И.К. Забытая гуза-пая / И.К. Касимов // Правда востока. 1984. № 269. С. 4.

124. Корнеев, А.Д. Строительные композиты на основе шлаковых отходов / А.Д. Корнеев, Н.Ф. Сапронов, М.А. Гончарова // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы пятых акад. чтений РААСН. Воронеж: ВГАСА, 1999. С. 215.

125. Корнеев, А.Д. Строительные композиционные материалы на основе шлаковых отходов / А.Д. Корнеев, М.Ю. Гончарова, Е.А. Бондарев. Липецк, 2002. 120 с.

126. Камилов, Х.Х. Технология и свойства арболита на основе безобжигового вяжущего и сельскохозяйственных отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Х.Х. Камилов. Ташкент, 1997. 20 с.

127. Касимов, И.К. Шлакощелочной арболит: пути использования вторичных ресурсов для производства строительных материалов и изделий / И.К. Касимов, А.А. Тулаганов // Тезисы докладов всесоюзного совещания. Чимкент, 1986. С. 467.

128. Состав, свойства и технология шлакощелочного арболита на основе сельскохозяйственных отходов: шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции / И.К. Касимов, А.А. Тулаганов, Х.Х. Камилов [и др.] // Тезисы докладов 3-й всесоюзной научно-практической конференции: в 2 т. Киев: КИСИ, 1989. Т. 2. С. 152–153.

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

130. Подбор составов шлакощелочного арболита / И.К. Касимов, А.А. Тулаганов, О.Б. Косимое [и др.] // Безобжиговые щелочные вяжущие и бетоны: науч. тр. ученых РУЗ. Ташкент, 1994. С. 59–64.

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

132. Косимое, О.Б. Шлакощелочной конструкционный арболит на основе местных отходов сельского хозяйства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / О.Б. Косимое. Киев, 1990. 17 с.

133. Кривенко, П.В. Специальные шлакощелочные цементы / П.В. Кривенко. Киев:Будивельник, 1992. С. 192.
134. Калашников, В.И. Кинетика процессов структурообразования шлаковых вяжущих / В.И. Калашников, В.Ю. Нестеров // Актуальные проблемы современного строительства: сб. ст. докторантов. СПб.: СПбГАСУ, 1994. С. 43–50.
135. Каушанский, В.Е. Термообработка доменного гранулированного шлака как один из способов его гидравлической активности / В.Е. Каушанский, О.Ю. Баженова, А.С. Трубицын // Известия вузов. Сер. Строительство. 2002. № 4. С. 54–56.
136. Колесов, А.В. Исследование длительной прочности и деформативности стержнеобетона: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Колесов. М., 1995. 24 с.
137. Король, Е.А. Трёхслойные ограждающие железобетонные конструкции из лёгких бетонов и особенности их расчёта / Е.А. Король. М.: АСВ, 2001. 256 с.
138. Касимов, И.К. Пропитанные плиты заводской готовности / И.К. Касимов // Строительство и архитектура Узбекистана. 1972. № 8. С. 33–39.
139. Каскин, К.К. Комплексное использование сырья и отходов при переработке хромитовых руд / К.К. Каскин, А.М. Сарсенов. Актобе: Актюбинский центр науч.-техн. инф., 2003. 20 с.
140. Королев, А.С. Управление водонепроницаемостью цементных композитов путем направленного уплотнения гидратной структуры цементного камня / А.С. Королев. Челябинск, 2008. 147 с.
141. Котенко, В.Д. Прогнозирование свойств композиционных материалов с древесными и другими армирующими наполнителями: дис. ... д-ра техн. наук / В.Д. Котенко. М., 1995. 364 с.
142. Кучерявый, В.И. Арболит на основе волокнистого древесного заполнителя: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.И. Кучерявый. М.: Моск. лесотехн. ин-т, 1989. 20 с.

143. Кузинец, Б.З. Изучение эффективности применения золы при производстве арболита / Б.З. Кузинец, И.М. Якушина, К.А. Левинский // Науч. тр. Моск. лесотехн. ин-та. 1989. Вып. 216. С. 17–23.
144. Корткина, М.Р. Новый подход к математическому моделированию статистически неоднородных сред / М.Р. Корткина, В.И. Запруднов, О.М. Полещук // Науч. тр. М.: МГУЛ, 1999. Вып. 299. С. 29–31.
145. Кузнецов, А.М. Исследование твердения алюминатного и сульфатно-алюминатного цементов / А.М. Кузнецов. Пермь, 2003. 332 с.
146. Кайбичева, М.Н. Физико-химические особенности грануляции высококальциевых зол КАТЭК / М.Н. Кайбичева, И.К. Доманская // Комплексное использование зол углей СССР в народном хозяйстве: тез. докл. всесоюз. совещ. Иркутск, 1989. С. 70–72.
147. Карасев, Е.И. Теплоизоляционные плиты из отходов деревообработки / Е.И. Карасев, В.В. Стриженко // Научные труды. М.: МГУЛ, 1997. Вып. 293. С. 33–37.
148. Лохова, Н.А. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема: учеб. пособие / Н.А. Лохова, И.А. Макарова, С.В. Патраманская. Братск: БрГТУ, 2002. 163 с.
149. Линьков, В.И. Деревянные конструкции на основе составных элементов с соединениями на наклонных металлических стержнях без применения клея: дис. ... д-ра техн. наук / В.И. Линьков. М., 1994. 414 с.
150. Логвиненко, А.Т. Влияние органических добавок на гидратацию, портландцемента / А.Т. Логвиненко, Т.Д. Урваева, А.С. Третьякова // Известия СО АН СССР. 1970. № 3. Вып. 5. С. 125–133.
151. Ломакин, В.Л. Статистические задачи механики твёрдых деформируемых тел / В.Л. Ломакин. М.: Наука, 1970. 134 с.
152. Мальцев, В.В. Новые теплоизоляционные материалы в малом деревянном домостроении / В.В. Мальцев, В.И. Запруднов, А.В. Разумовский // Науч. тр. М.: МГУЛ, 1999. Вып. 299. С. 5–10.
153. Маменов, М.А. Разработка арболита на основе гипсосодержащих

отходов производства фосфатных удобрений: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / М. А. Маменов. М., 1984. 21 с.

154. Москвитин, Н.И. Физико-химические основы процессов склеивания и прилипания / Н.И. Москвитин. М.: Леспром, 1974. 191 с.

155. Мальцев, В.В. Технология производства теплоизоляционных материалов из древесных опилок / В.В. Мальцев, В.И. Запруднов, А.В. Разумовский // Науч. тр. М.: МГУЛ, 2000. Вып. 310. С. 33–37.

156. Мельникова, Л.В. Технология композиционных материалов из древесины / Л.В. Мельникова. М.: МГУЛ, 1999. 226 с.

157. Мещеряков, Ю.Г. Гипсовые попутные промышленные продукты и их применение в производстве строительных материалов / Ю.Г. Мещеряков. Л.: Стройиздат, 1982. 144 с.

158. Мощанский, Н.А. Конструктивные и химически стойкие полимербетоны / Н.А. Мощанский, В.В. Патуроев. М.: Стройиздат, 1970. 194 с.

159. Методические рекомендации по проектированию железобетонных трехслойных панелей на гибких связях с эффективным утеплителем для производственных зданий. Киев: НИИСК, 1983. 47 с.

160. Механика композитных материалов и элементов конструкций: в 3 т. / под общ.ред. А.Н. Гузя. Т. 1: Механика материалов / под ред. Л.П. Хорошуна. Киев: Наук.думка, 1982. 368 с.

161. Применение гранулированного фосфополуhydrата в производстве цемента / Ю.Г. Мещеряков, Г.Е. Лисица, О.И. Иванов [и др.] // Цемент. 1987. № 5. С. 22–24.

162. Михайлов, К.В. Полимербетоны и конструкции на их основы / К.В. Михайлов, В.В. Патуроев. М.: Стройиздат, 1989. 304 с.

163. Мозговой, Н.В. Современная технология производства бетонных работ в строительстве / Н.В. Мозговой, А.А. Пак // Бетон и железобетон. 1984. № 6. С.31–32.

164. Меркин, А.П. Оптимальная гранулометрия песка конструктивных ячеистых бетонов / А.П. Меркин, М.И. Зейфман // Бетон и железобетон. 1981. № 12. С. 20–21
165. Минос, А.И. Специфические свойства арболита / А.И. Минос, И.Х. Наназашвили // Бетон и железобетон. 1978. № 6. С. 19–20.
166. Молчанов, В.И. Активация минералов при измельчении / В.И. Молчанов, О.Г. Селезнева, Е.Н. Жирнов. М.: Недра, 1988. 208 с.
168. Мень, А.Н. Физико-химические свойства нестехиометрических оксидов / А.Н. Мень, Ю.П. Воробьев, Г.И. Чуфаров. М.: Химия, 1973. 224 с.
169. Наназашвили, И.Х. Арболит – эффективный строительный материал / И.Х. Наназашвили. М.: Стройиздат, 1984. 122 с.
170. Никифоров, А.Ю. Технология и оборудование мобильных производств арболита: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Ю. Никифоров. Красноярск, 1998. 24 с.
171. Нехорошев, А.В. О влиянии электрических и магнитных полей на процессы структурообразования коллоидных систем / А.В. Нехорошев, С.А. Щербак, Ю.М. Мустафин // Труды VIII всесоюзной конференции по коллоидной химии и физико-химической механике. М.: 1983. С. 93–94.
172. Ресурсосберегающие технологии керамики, силикатов и бетонов / А.В. Нехорошев, Г.И. Цителаури, Е. Хлебионек [и др.]. М.: Стройиздат, 1991. С. 193, 281–297.
173. Наназашвили, И.Х. Структурообразование древесно-цементных композитов на основе ВНВ / И.Х. Наназашвили // Бетон и железобетон. 1991. № 12. С. 15–17.
174. Наназашвили, И.Х. Основы направленного структурообразования древесно-цементных композитов и управление их качеством: дис. ... д-ра техн. наук в форме науч. докл. / И.Х. Наназашвили. М.: НИИЖБ, 1992. 43 с.
175. Новицкий, Н.В. Особенности оптимизации приготовления бетонных смесей / Н.В. Новицкий // Механизация строительства. 1998. № 8. С. 20–22.

176. Наназашвили, И.Х. Повышение качества арболита с учётом особенностей древесного заполнителя / И.Х. Наназашвили // Строительные материалы и конструкции, здания и сооружения: Экспресс-информация / ЦНИИЭПсельстрой. М., 1986. - Вып. 6. - С. 22-25.

177. Омарова, К.И. Методические разработки по измерению электрокинетического потенциала дисперсных систем методом электрофореза: для студ. хим. фак. / К.И. Омарова, Н.К. Тусупбаев, К.Б. Мусабеков. Алма-Ата, 1986. С. 19.

178. Онина, М.М. Новый способ активации вяжущего / М.М. Онина // Бетон и железобетон. 1993. № 4. С. 12-14.

179. Оцоков, К.А. Повышение эффективности пенобетона путем использования местных материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / К.А. Оцоков. М.: МГСУ, 2002. 24 с.

180. Оболевская, А.Б. Химия древесины и полимеров / А.Б. Оболевская, В.П. Щеглов. М., 1980. 168 с.

181. Орловский, Ю.И. Бетон и изделия на основе серосодержащих отходов / Ю.И. Орловский, А.С. Семченков, В.И. Хоржевский // Бетон и железобетон. 1995. № 3. С. 21–24.

182. Орловский, Ю.И. Полимерсерные бетоны / Ю.И. Орловский // Применение серы и серосодержащих отходов в строительной индустрии. 1990. С. 3–5.

183. Пономарев, И.А. Расширяющиеся цементы / И.А. Пономарев // Строительные материалы и конструкции. 1977. № 3. С. 29.

184. Основные проблемы ресурсосбережения производства легких бетонов / И.Е. Пятляев [и др.] // Ресурсосберегающие технологии производства бетона и железобетона / под ред. Б.А. Крылова. М.: НИИАСБ, 1988. С. 3–16.

185. Патуроев, В.В. Свойства и перспективы применения серного бетона / В.В. Патуроев, А.Н. Волгушев, Ю.И. Орловский // Бетон и железобетон. 1985. № 5. С. 16–17.

186. Парфенюк, С.А. Опыт использования серы и серосодержащих отходов при устройстве асфальтобетонных покрытий / С.А. Парфенюк // Автомобильные дороги. 1987. № 2. С. 16.

187. Попов, Л.Н. Строительные материалы из отходов промышленности / Л.Н. Попов. М.: Знание, 1978. 45 с.

188. Джаши, Н.А. Серосодержащие композиты на основе низкопрочных цементных и гипсовых материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.А.Джаши. СПб.: СПбГУПС, 1996. 23 с.

189. Разработка декоративного шлакового цемента / В.Ф. Панова, В.С. Фельдман, С.А. Панов [и др.] // Современные строительные материалы и ресурсосберегающие технологии: тр. НГАСУ. Новосибирск: НГАСУ, 2003. Т. 6. № 2 (23). С. 92–97.

190. Пузанов, В.П. Структурообразование из мелких материалов с участием жидких фаз / В.П. Пузанов, В.А. Кобелев // Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 634 с.

191. Поздняков, А.А. Прочность и упругость композиционных древесных материалов / А.А. Поздняков. М.: Лесная промышленность, 1988. 136 с.

192. Прокопец, В.С. Влияние механоактивационного воздействия на активность вяжущих веществ / В.С. Прокопец // Строительные материалы. 2003. № 9. С. 28–29.

193. Пухаренко, Ю.В. Прочность и долговечность ячеистогофибробетона / Ю.В. Пухаренко // Строительные материалы. 2004. № 12. С. 40–41.

194.Петраков, А.И. О мерах по развитию промышленности строительных материалов / А.И. Петраков // Строительные материалы. 2004. № 1. С. 4–8.

195. Патуроев, В.В. Технология полимербетонов / В.В. Патуроев. М.: Стройиздат, 1977. 240 с.

196. Патуроев, В.В. Мастики, полимербетоны и полимерсиликаты /

В.В.Патуроев, И.Е.Путляев. М.: Стройиздат, 1975. 219 с.

197. Патуроев, В.В. Применение эффективных П-бетонов в машиностроении и строительстве / В.В. Патуроев, Ю.И. Орловский // Сб. тез.докл. Вильнюс, 1989. С. 121–123.

198. Патуроев, В.В. Серые бетоны, пропитанные серой / В.В. Патуроев, А.Н. Волгушев, Ю.И. Орловский // Строительные материалы. Сер. 7. Вып. 1. М.: ВНИИИС Госстроя СССР, 1985. С. 59.

199. Войтович, В. А. Высокоэффективные древесносмоляные добавки для бетонов Текст. / В. А. Войтович, Ю. М. Гольдшмидт, М. З. Дубиновский, В. А. Мартыненко и др. // Перспективные задачи инженерной науки.-2002.-С. 275-279.

200. Прозоровский, Г.Н. Анализ технологических схем формования изделий из арболита / Г.Н. Прозоровский // Арболит. Производство и применение / В.А. Арсенцев [и др.]; под ред. А.С. Щербакова, Н.К. Якунина. М.: Стройиздат, 1977. С. 132.

201. Пономаренко, Б.Н. Индустриальные конструкции из арболита на местных заполнителях (по материалам Краснодарского края): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Б.Н. Пономаренко. Ростов-н/Д: Ростов. инж.-строит. ин-т, 1974. 16 с.

202. Эффективность применения ячеистых бетонов в строительстве России / В.И. Песцов, К.А. Оцоков, В.П. Вылегжанин [и др.] // Строительные материалы. 2004. № 3. С. 7–8.

203. Пирадов, К.А. Подход к оценке напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов через параметры механики разрушения / К.А. Пирадов, Е.А. Гузеев // Бетон и железобетон. 1994. № 5. С. 19–23.

204. Пирадов, К.А. Механика разрушения железобетона / К.А. Пирадов, Е.А. Гузеев. М.: Новый век, 1998. 192 с.

205. Разумовский, В.Г. Производство и применение арболита / В.Г. Разумовский, С.Г. Свиридов, Б.Н. Смирнов; под ред. С.М. Хасдана. М.: Лесная промышленность, 1981. 216 с.

206. Хорошун Л.П. Статистическая механика и эффективные свойства материалов / Л.П. Хорошун, Б.П. Маслов Б.П, О.М. Шикула [и др.]. Киев: Наук.думка, 1993. 390 с.
207. Пономаренко, Б.Н. Арболит в сельском строительстве / Б.Н. Пономаренко. Краснодар, 1973. С. 120.
208. Хорошун, Л.П. Прогнозирование эффективных свойств пьезоактивных композитных материалов / Л.П. Хорошун, Б.П. Маслов, П.В. Лещенко. Киев: Наук.думка, 1989. 206 с.
209. Хорошун, Л.П. Прочность и деформативность арболита / Л.П. Хорошун, А.С. Щербаков. Киев: Наук.думка, 1979. С.192.
210. Павлов, Н.Н. Неорганическая химия / Н.Н. Павлов. М.: Высш. шк., 1986. 336 с.
211. Патент РК № 7101. Способ активации вяжущего / А.А. Акчабаев, К.А. Бисенов, С.С. Удербаев. Заявл. 28.06.97. Оpubл. 1999 г., бюл. II.
212. Петропавловский, О.Н. Шлакощелочные вяжущие системы и бетоны на основе шлаков сталеплавильного производства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / О. Н. Петропавловский. Киев, 1987. 19 с.
213. Патент РК № 7888. Механо-электрополяризованный состав вяжущего / А.А. Акчабаев, К.А. Бисенов, С.С. Удербаев [и др.]. Заявл. 17.03.98 г. Оpubл. 16.08.99 г., бюл. № 8.
214. Патент РК № 7745. Барабанная электрополяризационная мельница / А.А. Акчабаев, К.А. Бисенов, С.С. Удербаев [и др.]. Заявл. 17.03.98. Оpubл. 15.07.99 г., бюл. № 7.
215. Полак, А.Ф. Образование кристаллизационной структуры /А.Ф. Полак // Гидратация и твердение вяжущих. Тезисы докладов и сообщенииивсесоюзного совещания.-Уфа: 1978, с.40-43.
216. Павленко, С.И. Мелкозернистый бетон на основе шлаков и зол ТЭС / С.И. Павленко, Б.А. Крылов // Энергетическое строительство. 1989. № 1. С. 26–27.
217. Евтушенко, Е.И. Процессы кристаллизации и активность доменных

граншлаков/ Е.И. Евтушенко, И.В. Старостина, Е.И. Кварцов // Современные проблемы строительного материаловедения. Материалы пятых академических чтений РААСН. Воронеж.- 1999.- С. 130-133.

218. Попов, В.В. Несущие внутренние стеновые панели из шлакожелезобетона / В.В. Попов // Реферативная информация ВНИИЭСМа. Сер. Использование отходов и попутных продуктов для изготовления строительных материалов, изделий и конструкций. 1976. Вып. № 4. С 51–55.

219. Павленко, С.И. Мелкозернистые бетоны из отходов промышленности / С.И. Павленко. М., 1997. 175 с.

220. Рахимбаев, Ш.М. Квалиметрия шлаков и зол / Ш.М. Рахимбаев, Е.А. Поспелова, А.М. Гридчин // Известия вузов. Сер. Строительство. 1998. № 7. С. 41–45.

221. Рахимбаев, Ш.М. Регулирование прочности межфазных контактных связей в искусственных конгломератах / Ш.М. Рахимбаев // Проблемы материаловедения и совершенствование технологии производства строительных изделий. Белгород: БТИСМ, 1980. С. 51–60.

222. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.П. Розенберг. М.: Стройиздат, 1973. 207 с.

223. Разумовский, А.В. Прочность и деформативность деревянных конструкций перекрытий с утеплителем на основе опилок: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.В. Разумовский. М., 2001. 19 с.

224. Руководство по конструкциям опалубок и производства опалубочных работ. М.: Стройиздат, 1983. 501 с.

225. Рыбьев, И.А. Общая теория и единая классификация строительных материалов на основе вяжущих веществ / И.А. Рыбьев // Строительные материалы. 1975. № 5. С. 29–31.

226. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение: учеб. пособие для вузов / И.А. Рыбьев. М.: Высш. шк., 2007. 435 с.

227. Рыков, Р.И. Прочность и деформативность деревянных конструкций при тепловых воздействиях, отвечающих условиям пожара: дис.

... д-ра техн. наук / Р.И.Рыков. Улан-Удэ, 1990. 337 с.

228. Рекомендации по технологии изготовления слоистых ограждающих конструкций с применением вспененных пластмасс. М.: Производственно-экспериментальные мастерские ВНИИЦС Госстроя СССР, 1984. 105 с.

229. Имиль, А. А. Исследования арболита на костре льна и гипсоцементно-пуццолановом вяжущем Текст. / А. А. Имиль, Ю. С. Цуканов // Арболит и его применение: [сборник статей] под ред. М. И. Клименко. Саратов: Изд-во Сарат. Ун-та. - 1976. С 85 - 91.

230. Рыбьев, И.А. Две важнейшие закономерности в свойствах материалов с конгломератным типом структуры/ И.А. Рыбьев// Строительные материалы. 1965. № 1. С. 17–20.

231. Румако, Т.К. Исследования влияния водорастворных веществ гуза-паи на гидратацию портландцемента в арболите / Т.К. Румако, И.Ф. Замасова // Арболит и его применение/ под ред. М.И. Клименко.Саратов: Изд-во Саратов.ун-та,1976. С.114–120.

232. Рекомендации по механизированной уборке хлопчатника для промышленной переработки /Министерство сельского хозяйстваУзССР. Ташкент,1982. С.19.

233. Рекомендации по расчету и изготовлению изделий из поризованного арболита. М.: НИИЖБ Госстроя СССР,1983. С.64.

234. Рекомендации по применению химических добавок в бетоне / НИИЖБ Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1977. С.16.

235. Ржаницын, А.Р. Строительная механика: учеб.пособие для вузов / А.Р. Ржаницын. М.: Высш.шк., 1982. 400 с.

236. Ржаницын, А.Р. Строительная механика: учеб.пособие для вузов / А.Р. Ржаницын. М.: Высш. шк., 1991. 499 с.

237. Исакулов, Б.Р. Применение промышленных отходов в строительстве / Б.Р. Исакулов // Вестник Каракалпакского отделения Академии наук Республики Узбекистан. Нукус, 2005. № 2 (201). С. 33–34.

238. Цепяев, В.А. Длительная прочность и деформативность

конструкционных древесно-цементных материалов и несущих элементов на их основе: Дис. . д-ра тех. наук / В.А. Цапаев.Нижегор. арх.-строит. университет. Н. Новгород, 2001. - 473 с.

239. Савин, В.И. Стеновые панели из поризованного арболита / В.И. Савин, Г.Е. Колосов, Б.А. Соколов // Лёгкие бетоны на основе отходов промышленности и конструкции из них. М.: НИИЖБ, 1983. С. 8–14.

240. Сычев, М.М. Твердение вяжущих веществ / М.М. Сычев. Л.: Стройиздат. Ленингр.отд-ние, 1974. 66 с.

241. Стольников, В.В. Исследование цементов и бетонов с высокими дозировками золы-уноса / В.В. Стольников, В.А. Фоминых // Научные исследования по гидротехнике в 1970 г. Л.: Энергия, 1971. С. 248–249.

242. Справочник по производству и применению арболита / П.И. Крутов, И.Х. Наназашвили, Н.И. Склизов [и др.]; под.ред. И.Х. Наназашвили. М.: Стройиздат, 1987. 208 с.

243. Физико-химические процессы структурообразования в строительных материалах из минеральных отходов промышленности/ С. Т. Сулейменов // М.: Науч.-исслед. и изд. фирма "Манускрипт", 1996. 298 с.

244. Легкобетонные стеновые панели на основе фосфорношлаковых вяжущих / С.И.Сулейменов К.К. Куатбаев, В.М. Авдеев[и др.] //Строительные материалы. 1984. №9. С. 22–23.

245. Султанов, А.А. Шлакощелочные вяжущие и бетоны на основе гранулированных шлаков цветной металлургии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / А.А.Султанов.Киев, 1985. 21 с.

246. Сухов, В.В. Безавтоклавные стеновые материалы на основе местного сырья: автореф.дис. ... канд.техн. наук: 05.23.05/В.В. Сухов. Самара. 1996. 20 с.

247. Страхов, Ю.М. Использование искровых разрядов для активации растворных и бетонных смесей / Ю.М. Страхов, Т.Н. Майборода, Б.Г. Рясный//Бетон и железобетон. 1993. №3. С. 9–11.

248. Технология получения искусственного пористого гранулированного

наполнителя из отходов от сжигания твердого топлива / Э.Я. Серебрянникова, Е.С. Чехов, М.С. Зак[и др.]//Цветная металлургия. 1993.№ 2. С. 35.

249. Сулименко, Л.М. Технология минеральных вяжущих материалов и изделий на их основе: учеб.для вузов / Л.М. Сулименко. М.: Высш.шк., 2005. 334 с.

250. Цепяев, В.А. Исследование влияния влажности цементного арболита на развитие деформаций ползучести / В.А. Цепяев // Изв. вузов. Строительство. 1996. - №4. С. 119-124.

251. Склизов, Н.И. Эффективный способ формования арболита / Н.И. Склизов, И.Х. Наназшвили//Бюллетень строительной техники. М.,1978. №4. С.47–48.

252. Слесарев, Ю.М. Приготовление бетонной смеси и строительного раствора/ Ю.М. Слесарев.М., 1984. С.135.

253. Крылов, Б. А. Состояние и проблемы монолитного строительства. Текст. / Б. А. Крылов // Бетон и железобетон. 1995. - №2. С. 4 - 5.

254. СН 549-82. Инструкция по проектированию, изготовлению и применению конструкций из арболита. -М.: Стройиздат, 1983. -41 с.

255. Симонов, М.З. Усадка конструктивно-теплоизоляционных бетонов на некоторых видах пористых заполнителей Армянской ССР/ М.З. Симонов, Р.Р. Саркисян, Н.Г. Ашхарян//Научные сообщения АИСМ. Ереван, 1972. Вып. 16. С. 121–140.

256.ГОСТ 10181-2000. Бетонные смеси. Методы испытаний Текст. Взамен ГОСТ 10181.0-81 - ГОСТ 10181.4-81; введ. 01.07.2001.- М.: Изд-во стандартов, 2001. - 19 с.

257. ГОСТ 25820-2000. Бетоны легкие. Технические условия Текст. - Введ. 07.01.2001.-М.: Изд-во стандартов, 2000.-21 с.

258. Савин, В.И. Технология и свойства поризованного арболита/ В.И.Савин, Н.И. Абраменко, Л.Е. Будашкин// Тезисы докладов научно-технической конференции 2-4 сентября 1980г. Владивосток, 1980. С. 30.

259. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий Текст.: утв. Госстроем России 19.04.2004: дата введ. 01.01.2005. М.: ФГУП ЦПП, 2004. - 25 с.

260. Справочник строителя. Бетонные и железобетонные работы. М.: Стройиздат, 1987. 319 с.

261. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции Текст.: утв. Госстроем СССР 04.12.87: дата введ. 01.07.88. М.: ГП ЦПП, 1996. - 192 с.

262. Созинов, В.В. Учет линейной ползучести и усадки бетона в расчетах сложных железобетонных конструкций: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Л.: ЛИСИ, 1982. 24 с.

263. Сарсенов, А. Экологическая безопасность и ресурсосбережение при переработке хромитовых и боратовых руд Западного Казахстана / А. Сарсенов. Алматы: ВШ РК, 2009. С. 343.

264. Баженов, Ю.М. Технология бетона, строительных изделий и конструкций / Ю.М. Баженов. М.: АСТ, 2006. 235 с.

265. Тойшибаев, Н.К. Повышение эффективности вяжущего с помощью гидродинамического излучателя: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Н.К. Тойшибаев. М., 1990. 16 с.

266. Тарасов, В.В. Применение фибробетона в строительстве / В.В. Тарасов // Промышленное строительство. 1974. № 7. С. 44–45.

267. Танин, В.П. Экспериментальные исследования влияния электромагнитного поля на твердение бетона / В.П. Танин // Тепловая обработка железобетонных изделий и конструкций в электромагнитном поле тока промышленной частоты. Минск: ИТМОАН БССР, 1975. С. 103–111.

268. Легкие бетоны на основе отходов промышленности и конструкции из них. Сборник научных трудов. Под редакцией Е.И. Путляева и В.И. Савина. – М.: НИИЖБ, 1983. с. 81.

269. Усъяров, О.Г. Исследование коагуляции дисперсных частиц в электрическом поле / О.Г. Усъяров, Ф.С. Каплан // Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем. Киев, 1978. Вып. 10. С. 70–85.

270. Урьев, И.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных

систем и материалов / И.Б. Урьев. М.: Химия, 1988. 256 с.

271. Урьев, Н.Б. Коллоидные цементные растворы / Н.Б. Урьев, И.С. Дубинин. Л.: Стройиздат, 1980. 192 с.

272. Жупиков, И. И. Устойчивость и предварительные напряжения в арматуре железобетонных конструкций с учетом ползучести: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.02.04 / И.И. Жупиков. М., 2007. 110 с.

273. Пыжов, А. С. Дорожные цементные бетоны с добавками битума, эмульгированного в бетонной смеси: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / А.С. Пыжков. Саратов, 2011. 223 с.

274. Поздняков, А.А. Прочность и упругость композиционных древесных материалов / А.А. Поздняков. М.: Лесная промышленность, 1988. 136 с.

275. Исакулов, Б.Р. Подбор состава и исследование свойств бетона с добавками золы-уноса и пластификатора / Б.Р. Исакулов // Проблемы архитектуры и строительства: науч.-техн. журн. Самарканд, 2009. №4. С. 46–48.

276. Исакулов, Б.Р. Использование отходов нефтегазовой промышленности в производстве строительных материалов / Б.Р. Исакулов // Материалы международной научно-практической конференции Оренбургского государственного университета. Оренбург, 2010. С. 120–123.

277. Исакулов, Б.Р. Разработка рецептур, технология получения гипсошлаковых вяжущих / Б.Р. Исакулов // Поиск. Научно-технический журнал. Алматы, 2011. №1. С. 127–131.

278. Исакулов, Б.Р. Использование промышленных и сельскохозяйственных отходов Казахстана для получения легких бетонов / Б.Р. Исакулов // Науч.-техн. естн. Поволжья. Казань, 2011. № 4. С. 180–183.

279. Исакулов, Б.Р. Улучшение физико-механических свойств легких бетонов путем пропитки серой-отходом нефтегазовой промышленности Казахстана / Б.Р. Исакулов, А.С. Жив, А.М. Сарсенов // Научно-технический

вестник Поволжья. Казань, 2011. № 4. С. 163–167.

280. Исакулов, Б.Р. Использование отходов промышленности и местных сырьевых ресурсов для производства строительных материалов / Б.Р. Исакулов // Вестник Актюбинского ун-та. Актобе: Дуние, 2009. №2. С. 58–63.

281. Попов, Н.Н. Проектирование и расчёт железобетонных и каменных конструкций: Учеб. для строит, спец. вузов / Н.Н. Попов, А.В. Забегаев. М.: Высшая школа, 1989. - 400 с.

282. Ферронская, А.В. Гипсовые материалы и изделия / А.В. Ферронская. М.: АСВ, 2004. 485 с.

283. Арболит – эффективный строительный материал / С.М. Хасдан, В. Г. Разумовский, Ю.С. Белинкин [и др.]. М., 1983. 83 с.

284. Холянский, М.М. К механизму деформирования и разрушения бетона при сжатии / М. М. Холянский // Бетон и железобетон. 1989. № 9. С. 5.

285. Исакулов, Б.Р. Экспериментальные исследования свойств шлакощелочных вяжущих на основе отходов промышленности Западного Казахстана / Б.Р. Исакулов // Поиск. Научно-технический журнал. Алматы, 2011. № 1. С. 121–127.

286. Исакулов, Б.Р. Исследование свойств шлакощелочных вяжущих на основе промышленных отходов Казахстана / Б.Р. Исакулов, М.Д. Джумабаев, У.К. Акишев [и др.] // NaukowaprzestrzenEuropy – 2012:[материалы VIII междунар. науч.-практ. конф.].Przemysl, 2012. С. 58–64.

287. Электромеханическая активация золошламовых вяжущих для получения легких бетонов /М.В. Акулова, Б.Р.Исакулов, Ж.Б.Тукашев [и др.] // Новейшие достижения науки – 2013: материалы междунар. науч.-практ. конф. София, 2013. С. 72–77.

288. Христофоров, А.И. Нанокерамика: учеб.пособие / А. И. Христофоров. Владимир: ВлГУ, 2007. 115 с.

289. Ходжаев, Ш. А. Модифицированный арболит на основе отходов сельского хозяйства и промышленности: автореф. дис. ... канд.техн.наук:

05.23.05 / Ш.А. Ходжаев. Алма-Ата, 1992. 20 с.

290. Разработка и исследование свойств вяжущих на основе отходов промышленности / М.В. Акулова, Б.Р. Исакулов, М.Д. Джумабаев [и др.] // Вестник РААСН. Курск; Воронеж, 2013. С. 256–260.

291. Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции: тез. докл. I всесоюз. науч.-практ. конф. Киев, 1979. 208 с.

292. Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции: докл. и тез. докл. III всесоюз. науч.-практ. конф.: в 2 т. Киев, 1989. 564 с.

293. Шилов, В.П. Теория поляризации диффузной части тонкого двойного слоя сферической частицы в переменном электрическом поле / В.П. Шилов, С.С. Духин // Коллоидный журнал. 1970. Т. 32. № 1. С. 117–123.

294. Комплексная электромеханическая активация золошламовых вяжущих для получения легких арболитобетонов / М.В. Акулова, Б.Р. Исакулов, М.Д. Джумабаев [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. Казань, 2014. № 1. С. 45–49.

295. Гаврикова, Т. А. Механизация бетонных работ для малоэтажного монолитного строительства из кастробетона Текст. / Т. А. Гаврикова, А. А. Яворский // Итоги строительной науки : тез. докл. IV Междунар. науч.-техн. конф. / ВлГУ. Владимир, 2005. - С. 156-157.

296. Федосов, С.В. Нейтрализация токсичных отходов для получения вяжущих при производстве строительных материалов / М.В. Акулова, Б.Р. Исакулов, Б.А. Имангазин // Информационная среда вуза: материалы XX междунар. науч.-техн. конф. Иваново: ИГАСУ, 2013. С. 233–235.

297. Исакулов, Б.Р. Исследование прочностных характеристик поризованных легких бетонов на основе отходов промышленности и растительного сырья Центральной Азии / Б.Р. Исакулов // Научно-технический вестник Поволжья. Казань, 2011. № 5. С. 125–131.

299. Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции: тез. докл. II всесоюз. науч.-практ. конф. / редкол.: В.Д. Глуховский (отв. ред.) [и др.]. Киев, 1984. 376 с.

300. Исакулов, Б.Р. Исследование характера и механизма разрушения легких поризованных арболитобетонов на основе отходов промышленности и растительного сырья / Б.Р. Исакулов, А.С. Жив // Строительные материалы, М., 2012. №12. С. 6–12.

301. Щербаков, А.С. Арболит. Повышение качества и долговечности / А.С. Щербаков, А.П. Хорошун, В.С. Подчуфоров. М.: Лесная промышленность, 1979. 160 с.

302. Щербаков, А.С. Влажностные деформации арболита / А.С. Щербаков // Бетон и железобетон. 1976. № 10. С. 51.

303. Щербак, С.А. Электромагнитные явления в процессах структурообразования / С.А. Щербак, В.Н. Мамонтов, А.В. Нехорошев // Новые строительные материалы и конструкции для сельского строительства. М.: МИИЗ, 1985. С. 74–78.

304. Щепкин, А.Е. Структура, прочность и трещиностойкость цементного камня / А.Е. Щепкин. М.: Стройиздат, 1974. 191 с.

305. Чумаков, Л.Д. Технология заполнителей бетона: учеб. пособие для вузов / Л.Д. Чумаков. М.: АСВ, 1999. 120 с.

306. Чернецки, Л. Парадигмы в полимерных бетонах / Л. Чернецки, Ф. Сандрошны // Бетон и железобетон. 1999. №3. С. 27–38.

307. Чистяков, Б.З. Использование минеральных отходов промышленности строительных материалов / Б.З. Чистяков, А.Н. Лялинов. Л.: Стройиздат, 1984. 152 с.

308. Шлакощелочные легкие бетоны / В.Д. Глуховский, А.А. Тулаганов, Г.В. Румына [и др.]. Ташкент.: Изд-во «Фан» Академии наук Респ. Узбекистана Будівельник, 1992. 150 с.

309. Яшин, А.В. Прочность и деформации бетона при кратковременной и длительной нагрузках / А.В. Яшин // Структура и строительно-технические свойства гидротехнического бетона: тр. ин-та НИИЖБ. 1972. Вып. 73. С. 148–152.

310. Исакулов, Б.Р. Прочность деформативность поризованного

арболита / Б.Р. Исакулов. Актобе, 2007. 132 с.

310. Рахимов, М. М. Композиционные шлакощелочные вяжущие с использованием цеолитсодержащего сырья природного и техногенного происхождения, растворы и бетоны на их основе: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / М.М. Рахимов. Казань, 2007. 174 с.

311. Бетон и железобетонные конструкции. Состояние и перспективы применения в промышленном и гражданском строительстве / под.ред. К.В. Михайлова, Ю.М. Волкова. М.: Стройиздат, 1983. 360 с.

312. Получение конструкционных высокопрочных легких бетонов с улучшенной структурой и новыми физико-механическими свойствами и пути сокращения цемента / И.Н. Ахвердов, Р.К. Житкович, Л.С. Цивень[и др.] // Перспективы развития производства и применения легких бетонов и конструкций из них: материалы II всесоюз. конф. Минск, 1975. С. 204–207.

313. Чентемиров, М.Г. Проблемы легкогобетонного строительства / М.Г. Чентемиров/ М.Г. Чентемиров // Бетон и железобетон. 1980. №10. С. 2–5.

314. Иванов, Ю.М. Длительная прочность древесины при растяжении поперёк волокон / Ю.М. Иванов, Ю.Ю. Славик // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1986. - №10. - С. 22-26.

315. Ваганов, А.И. Зависимость прочности легкого бетона от свойств раствора и заполнителей / А.И. Ваганов// Строительная промышленность. 1950. №5. С. 15–18.

316. Бужевич, Г.А. Легкие бетоны на пористых заполнителях /Г.А. Бужевич. М.: Стройиздат, 1970. 272 с.

317. Иванов, И.А. О некоторых закономерностях повышения прочности бетонов с пористыми заполнителями / И.А. Иванов, А.И. Кротов, А.И. Тимофеев // Бетон и железобетон. 1986. №4. С. 38–41.

318. Бужевич, Г.А. Вопросы структуры, прочности и деформативности легких бетонов на пористых заполнителях / Г.А. Бужевич // Структура, прочность и деформация легкого бетона. М.: Стройиздат, 1973. С. 5–23.

319. Исакулов, Б.Р. Исследование прочности и деформативности

поризованного арболита на основе отходов хлопчатника автореф. дис. ...
канд. техн. наук: 05.23.05 / Б.Р. Исакулов. Владимир, 2000. 18 с.

320. Акулова, М.В. Механохимическая активация и детоксикация
промышленных отходов для получения вяжущих легких бетонов / М.В.
Акулова, Б.Р. Исакулов // Вестник ВолГАСУ. Сер. Строительство и
архитектура. Волгоград, 2013. Вып. 31 (50). Ч. 2. Строительные науки. С.
75–80.

Приложение 1

«УТВЕРЖДАЮ»
Председатель сельского
хлопководческого хозяйства


 18.07.2012

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор Нукусского
завода железобетонных
изделий


 18.07.2012

А К Т

Об измельчении стеблей хлопчатника на кормодробилке КДУ-2,0-1 «Украинка» и использование их в арболите

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе главного технолога Нукусского завода железобетонных изделий Калпакбаева Г.Б.(председатель) и членов комиссии: главного инженера хлопководческого хозяйства «Чимбай» Дарибаева М.Р., к.т.н., доцента Актюбинского университета им. С.Баишева Исакулова Б.Р., а также зав. каф. «Строительство» Каракалпакского государственного университета к.т.н., доц. Ешниязова Р.Н. составили настоящий акт нижеследующем:

В кормоцехе ХХ «Чимбай» измельчены стебли хлопчатника на кормодробилке КДУ-2,0-1 «Украинка», затем использовались в качестве крупного заполнителя для арболита.

Физико-химический состав стеблей хлопчатника с полей ХХ «Чимбай» следующее: влажность – 8%; целлюлоза – 56,12%; пентованы – 6,72%; лигнин – 57,32%; инертный сахар – 11,3%; зола – 3,0%.

Технология приготовления измельченных стеблей хлопчатника ниже указанного фракционного состава следующая. Стебли хлопчатника подвергали измельчению в кормодробилке КДУ-2,0-1 «Украинка» с заменой решета ее, предназначенной для регулирования фракционного состава получающих частиц, на решетки с размером отверстий 10, 15, 28, 35мм. Фракционный состав и физические свойства измельченных стеблей хлопчатника приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Фракционный состав измельченных стеблей хлопчатника

№	Решетки дробилки с диаметром отверстий, мм	Размер отверстий стандартных сит и частные остатки на них, % по массе					
		40мм	20мм	10мм	5мм	2,5мм	менее 2,5мм
1	10	-	-	1,78-4,7	25,2-34,1	35,7-40,2	30,2-38,9
2	15	-	5,2-7,7	3,7-9,2	36,9-41,9	25,9-32,7	17,1-20,5
3	20	1,79-1,97	7,7-8,5	4,1-48,1	4,9-45,2	19,5-23,1	7,5-12,1
4	28	8,8-17,2	3,5-5,9	9,7-12,5	35,9-37,9	19,7-24,1	9,5-15,1
5	35	27,9-35,3	6,3-7,5	21,4-25,7	20,6-23,8	10,2-14,2	5,7-6,4

Таблица 2
Физические свойства измельченных стеблей хлопчатника

№	Решетки дробилки с диаметром, мм	Средняя плотность, кг/м ³	Водопоглощение за 15 мин. по массе, %	Содержание очесов, по массе, %
1	10	140 – 150	200	-
2	15	125 – 130	183	5,67 – 7,79
3	20	93 – 97	175	9,25 – 10,36
4	28	75 – 89	167	12,79 – 23,1
5	35	55 – 65	159	21,19 – 30,78

Технология изготовления арболитовых образцов следующая. После измельчения в необходимом количестве для одного замеса стебли хлопчатника помещали в сетчатую емкость и погружали бак с водой, вымачивали 15 мин. Далее сетчатую емкость вынимали из бака и в течение 5 мин. происходило стекание с нее воды. Затем наполнитель загружали в смеситель принудительного действия, смешивали до достижения однородности (3 мин) с водным раствором жидкого стекла плотностью 1,32 г/см³, портландцементом и водным раствором хлорида кальция плотности 1,29 г/см³. Готовую смесь укладывали в форму устанавливали крышку с пуансоном далее подвергали вибропрессованию и через сутки расформовывали. Образцы твердели при температуре 20°С и относительной влажности 70%. Разработанные составы арболитовых смесей приведены в таблице 3.

Таблица 3
Составы арболитовой смеси

Наименование компонентов	На фракциях, полученных с применением решеток с различными размерами отверстий, мм				
	I	II	III	IV	V
Измельченные стебли хлопчатника, кг	235	215	195	170	155
Портландцемент, кг	325	325	325	325	325
Стекло натриевое жидкое, кг	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Хлорид кальция, кг	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Вода, л	500	480	465	430	400

Изготовление и испытание арболитовых образцов произвели по существующим методикам: прочность арболита на сжатие ГОСТ – 10180 – 78, среднюю плотность по ГОСТ – 12730.1 – 78, коэффициент теплопроводности по ГОСТ – 7076 – 78, морозостойкость по ГОСТ – 7025 – 78. Результаты физико – механических испытаний арболитовых образцов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Физико – механические свойства арболита

Свойства	Показатели свойств арболита на различных фракциях заполнителя				
	I	II	III	IV	V
Предел прочности при сжатии во времени, МПа через 7 суток	0,8	1,1	1,25	1,1	0,9
	1,2	1,75	1,5	1,6	1,0
Средняя плотность, кг/м ³	600	570	550	540	525
Морозостойкость, Мрз (цикл)	25	27	28	29	27
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,11	0,10	0,095	0,08	0,075

Из приведенных данных следует, что использование в арболите измельченных стеблей хлопчатника при следующем соотношении фракций, масс. % остатков на ситах диаметром отверстий: 40мм – 1,79 – 17,0; 20мм – 7,7 – 8,4; 10мм – 3,8 – 15,5; 5мм – 4,9 – 45,2; 2,5мм – 19,2 – 30,9; менее 2,5мм – 7,5 – 20,5 повысило качество арболита и отвечает требованиям ГОСТ 19222 – 84 “Арболит и изделия из него”.

Ожидаемый экономический эффект составляет 7,35 долларов США на 1м³ готовой продукции.

Председатель комиссии
Члены комиссии:

 Калпакбаев Г.Б.
 Дарибаев М.Р.
 Ешниязов Р.Н.
 Исакулов Б.Р.

Приложение 2



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор Нукусского
завода железобетонных
изделий

[Signature]
17 08 2012

А К Т

о выпуске изделий из цементного арболита на измельченных стеблях хлопчатника

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе главного технолога Нукусского завода железобетонных изделий Калпакбаева Г.Б.(председатель) и членов комиссии: начальника лаборатории Буркитбаева Ж.Г., начальника ОТК Байбулова А.К., к.т.н., доцента Актюбинского университета им. С.Баишева Исакулова Б.Р., а также зав. каф. «Строительство» Каракалпакского государственного университета к.т.н., доц. Ешниязова Р.Н. составили настоящий акт нижеследующем:

В Нукусском заводе железобетонных изделий выпущены стеновые блоки из цементного арболита на основе измельченных стеблей хлопчатника размерами 200х200х400 и 400х400х600 мм.

При выпуске арболитовых блоков использованы следующие материалы: хлорид кальция по ТУ 6.09.4711 – 81; стекло натриевое жидкое по ГОСТ 13078 – 82; алюминий сернистый по ГОСТ 3758 – 75; аммоний азотнокислый по ГОСТ 371 – 65; портландцемент марки 500 Навоинского цементного завода; стебли хлопчатника хлопководческого хозяйства ХХ «Чимбай», измельченные на кормодробилке КДУ-2,0-1 «Украинка», у которой решетка для отсева заменены на решетку с диаметром отверстий 20мм в свету. Физические свойства измельченных стеблей хлопчатника: частные остатки на ситах, масс.%; 40мм – 2, 20мм – 9, 10мм – 15, 5мм – 45, 2,5мм – 2,0, менее 2,5мм – 9; средняя плотность – 92 кг/м³; водопоглощение за 15 мин – 200 масс.%; содержание очесов и хлопка – 13 масс.%; зола ТЭЦ города Нукус. Фракционный состав золы – частные остатки на ситах, масс.%; 20мм – 2,5; 10мм – 12; 5мм – 24; 2,5мм – 21; 1,25мм – 5,5; 0,63мм – 13; 0,315мм – 15; 0,14мм – 5; менее 0,14мм – 2. Средняя плотность золы – 800 кг/м³.

Технология изготовления арболитовых блоков следующая. Водные растворы добавок применены плотностью: стекло натриевое жидкое – 1,32; хлорид кальция – 1,28; алюминий сернистый – 1,16; аммоний азотнокислый – 1,15. Измельченные стебли хлопчатника в небольшом количестве для одного замеса помещали в сетчатый контейнер и погружали в бак с водой, вымачивали 10 – 15 мин. Далее контейнер вынимали из бака и в течение 5 минут происходило стекание из него воды. Затем составляющие

компоненты пяти арболитовой смеси в смеситель подавались в следующей последовательности:

1. Заполнитель, водный раствор жидкого стекла, портландцемент, водный раствор хлорида кальция;
2. Заполнитель, водный раствор жидкого стекла, водный раствор алюминия сернокислого, портландцемент;
3. Заполнитель, водный раствор алюминия сернокислого, портландцемент, водный раствор хлорида кальция;
4. Заполнитель, водный раствор алюминия сернокислого, портландцемент, водный раствор аммония азотнокислого;
5. Заполнитель, водный раствор жидкого стекла, зола, портландцемент, водный раствор хлорида кальция.

Арболитовую смесь перемешивали до получения однородной массы и готовую смесь укладывали в форму устанавливали крышку с пуансоном далее подвергали прессованию с удельным давлением 1 – 3 кгс/см².

Расформовку арболитовых блоков производили через 18 часов. Изделия твердели при температуре 15 - 20°C с относительной влажностью воздуха 70 - 80%. Состав арболитовой смеси приведены в таблице 1.

Таблица 1

Состав арболитовой смеси

Наименование компонентов	Количественное соотношение компонентов, на 1 м ³ арболита, кг				
	I	II	III	IV	V
Измельченные стебли хлопчатника, кг	215	215	215	215	215
Портландцемент, кг	325	325	325	325	325
Зола ТЭЦ	50	50	50	50	90
Стекло натриевое жидкое, кг	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Хлорид кальция, кг	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
Алюминий сернокислый, кг	-	5	5	5	-
Аммоний азотнокислый, кг	-	-	-	5	-
Вода, л	500	480	485	485	485

Испытание контрольных образцов произвели по следующим методикам: предел прочности при сжатии по ГОСТ – 10180 – 78, среднюю плотность по ГОСТ – 12730.1 – 78, коэффициент теплопроводности по ГОСТ – 7076 – 78, морозостойкость по ГОСТ – 7025 – 78.

Результаты физико-механических испытаний арболитовых образцов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Физико – механические свойства арболита

Свойства	Показатели свойств арболита на различных фракциях заполнителя				
	I	II	III	IV	V
Предел прочности при сжатии во времени, МПа					
через 7 суток	0,85	1,2	1,25	1,2	0,9
28 суток	1,3	1,8	1,7	1,8	1,2
Средняя плотность, ГК/м ³	600	570	550	540	525
Морозостойкость, Мрз (цикл)	25	27	28	29	27
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м°С)	0,11	0,10	0,095	0,08	0,075

Из приведенных данных следует, что при оптимальном использовании в арболите различных добавок и наполнителей (стебли хлопчатника, золошламы ТЭЦ, жидкое стекло, хлорид кальция, сернистого алюминия и азотнокислого аммония) повышает прочностные характеристики арболита и отвечает требованиям ГОСТ 19222 – 84 «Арболит и изделия из него». Разработанные составы арболита можно использовать в качестве стенового материала для малоэтажного строительства.

Ожидаемый экономический эффект составляет 11,35 долларов США на 1м³ готовой продукции.

Председатель комиссии
Члены комиссии:

 Калпакбаев Г.Б.
 Буркитбаев Ж.Г.
 Байбулов А.К.
 Ешниязов Р.Н.
 Исакулов Б.Р.

Приложение 3

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

10.09.2012



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ТОО
"Региональный индустриальный
технопарк "Актобе",
К.Т.П. Бондаренко И.В.

10.09.2012



АКТ

Производство опытной партии арболитовых изделий на цементнозолюшламовом активированном вяжущем

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе начальника испытательного центра по строительным материалам и конструкциям Оразалина Ж.К (председатель) и членов комиссии: главного специалиста Макбузов А.С, доцента Актюбинского университета им. С. Баишева Исакулова Б.Р составили настоящий акт нижеследующем:

На основании разработанных и экспериментальных данных по составу арболита и и способу активации цементнозолюшламового вяжущего на Актюбинском ТОО "Региональный индустриальный технопарк "Актобе", выпущена опытная партия стеновых арболитовых блоков объемом 250м³, размером 200x200x400мм и 400x400x600мм с использованием вяжущего, активированного МХЭП способом. Состав основные свойства арболитовых блоков опытной партии представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Состав цементнозолюшламовой арболитовой смеси

Компоненты	В % по массе	Расход на 1 м ³ , кг
Портландцемент	20,9	210
Зола унос	10,5	105
Бокситовый шлам	3,4	35
Хлорид бария	2,0	20
Стебли хлопчатника	19,8	200
Хлорид кальция	0,5	5
Вода	42,9	430

Таблица 2

Физико-химические свойства цементнозолюшламового арболита

Наименование свойств	Единица измерения	Показатели свойств блоков изготовленных в условиях	
		Лаборатор.(28)	П/ промыш.(28)
Плотность	Кг/м	700	680
Прочность при сжатии	МПа	3,72	3,52
Теплопроводность	Вт/м ² С	0,12	0,115
Водопоглощение	%	49	53

Арболитовые блоки изготавливались по следующей технологии: исходное цементнозолашломовое вяжущее активировалось в барабанной электрополяризационной мельнице емкостью 200 л, изготовленной в механическом цехе завода ЖБИ в г. Актобе по методике работ ученых [35,36]. Размеры мельницы: D=0,58м, L=0,75м. Общее время активации составило 30 мин. Первый этап активации – золашлом с хлоридом бария при В/З=1,0, продолжительностью 20 мин, и причем через каждые 5 мин создается электрическое поле постоянного тока напряжением 60В. Второй этап активации заключался в совместном измельчении золашлама с цементом при В/Ц=0,6 в течение 10 мин. Предварительно вымоченная стебли хлопчатника обрабатывалась водным раствором хлорида кальция. Далее обогащенный наполнитель перемешивался с механохимически-электрополяризованным вяжущим в смесителе. Продолжительность загрузки компонентов, их перемешивания и выгрузки составило 10 мин. Затем полученная арболитовая смесь вручную загружалась в формовочную установку и прессовалась при давлении 0,25-0,30 МПа. Универсальность формовочной установки заключается в изготовлении блоков с пустотами и различной конфигурации за счет замены пуансона и бортоснастки (рис.5.30.). Отформованные блоки после снятия давления и 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 видно, что полученные арболитовые блоки по своим физико-механическим свойствам 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 арболита выполнен согласно «Инструкции по определению экономической эффективности в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений» СН 509-78 [93]. Определение экономической эффективности от внедрения МХЭП активации 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, изготовленные по предлагаемой технологии подготовки наполнителя, размером 0,2х0,2х0,4 м, базового материала – арболитовые блоки размером 0,2х0,2х0,4м, изготовленные согласно ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические требования».

Годовой экономический эффект определен по формуле:

$$Э = [(Z_1 - Z_2) - E_n K_1] \times A,$$

А

где Z_1 и Z_2 - приведенные затраты на производство базового и нового материала, тенге; E_n - нормативный коэффициент, равный 0,15; K_2 - капитальные затраты на внедрение мероприятия, тенге; А- годовой объем выпускаемой продукции, м³

Таблица 3
Сравнительная калькуляция себестоимости изготовления 1м³ арболита

№	Статьи затрат	Ед. изм.	Количество материалов м ³ арболита		Цена единицы, тенге	Сумма за 1м ³ арболита, тенге	
			По существ. технологии	Предлагаемый проект		По существ. технологии	Предлагаемый проект
1	Портландцемент	кг	360	210	3	1080	630
	Зола-унос	кг	-	105	0,3	-	31,5
	Бокситовый шлам	кг	-	35	0,25	-	8,75
	Хлорид бария	кг	-	18	120	-	2160
	Жидкое стекло	кг	19,8	-	100	1980	-
	Стебли хлопчатника	кг	240	200	0,2	48	40
	Хлорид кальция	кг	8	4,8	120	960	576
	Вода	м ³	0,66	0,70	8,32	5,5	5,8
2	Итого					4073,5	3452
3	Основная зарплата рабочих	тг	-(6чел)	-(7чел.)	13000	468	546
4	Электроэнергия	квт	6,2	12,2	4	24,8	48,8
	Дополнительная амортизация и прочие меняющиеся ресурсы	тг				40	60
5	Общехозяйские расходы	тг				120	160
	Всего	тг				4726,3	4266,8

При мощности цеха 2000м³ арболитовых изделий в год приведенные затраты на 1м³ арболита по существующей технологии производства составили 4726,3 тенге, а по предлагаемому проекту 4266,8 тенге.

При этом ожидаемый годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E} = [(4726,3 - 4266,8) - 0,15 \cdot \frac{200000}{2000}] \times 2000 = 889000 \text{ тенге/год.}$$

Или с каждого м³ арболитовых изделий 459,5 тенге экономии. Дополнительная экономия обеспечивается повышением прочности арболитовых блоков, изготовленных на стеблях хлопчатника и снижения количества брака в количестве 15% от стоимости единицы изделия.




$$\mathcal{E}_1 = (459,5 \cdot 0,15) \times 2000 = 137850 \text{ тенге.}$$

Таким образом, суммарный экономический эффект от внедрения технологии арболита на вяжущем, активированном МХЭП способом, составит:

$$\mathcal{E}_c = 889000 + 137850 = 1026850 \text{ тенге (6845,7 долл. США).}$$

Председатель комиссии

Члены комиссии:

 Оразалина Ж.К.
 Макбузов А.
 Исакулов Б.Р.

Приложение 4

СОГЛАСОВАНО

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

15.06.2013

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ТОО
«Региональный индустриальный
технопарк «Актобе»,
к.т.н. Билаларов И.В.

15.06.2013

АКТ

о производстве опытной партии серусодержащих арболитовых изделий улучшенных методом механо-химической активации и детоксикации

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе начальника испытательного центра по строительным материалам и конструкциям Оразалина Ж.К (председатель) и членов комиссии: главного специалиста Макбузова А.С, доцента Актюбинского университета им. С. Баишева Исакулова Б.Р составили настоящий акт нижеследующем:

На основании разработанных и экспериментальных данных по составу арболита и и способу активации серусодержащего вяжущего на производственном участке ТОО «Региональный индустриальный технопарк Актобе» выпущена опытная партия стеновых арболитовых блоков объемом 250м³, размером 20х20х40 см с использованием серусодержащего вяжущего, улучшенной путем механохимической активации и детоксикации (МХАД). Состав и основные свойства арболитовых блоков опытной партии представлены в таблицах 1 и 2. Арболитовые блоки изготавливались по следующей технологии: исходное серусодержащее вяжущее активировалось в барабанной шаровой мельнице емкостью 200 л, изготовленной в ремонтно-механическом цехе Актюбинского университета им. С. Баишева. Общее время активации и детоксикации составило 30 мин. Объектом исследования приняты пиритной огарок Алгинского химического комбината и сероотходы Атырауского нефтеперегонного завода. В работе применялся также портландцемент марки 400 Чимкентского цементного завода. Испытание цемента проводили в соответствии с ГОСТом 310.1-76, 310.2-76, 310,3-76, 310,4-76.

Для получения серусодержащих вяжущих помол пиритного огарка и серы производили отдельно. Подготовленные компоненты пиритного огарка на серы взвешивали в соотношениях 200:100, 250:100, 250:150 и загружали в мельницу, размалывали до тонкости, характеризующейся 8—10% остатка на сите № 008 и перемешивали в лабораторной мельнице в течение 20 мин. При этом количество добавок равнялось 25, 30 и 35% от массы вяжущего. Помол цементного клинкера и последующее введение серусодержащих смешанных добавок обеспечивали тонкое измельчение частиц цемента и его равномерное распределение среди составляющих серусодержащих смесей. Оптимальная дозировка активных минеральных добавок составляет 25-35% по массе

вяжущего. Предварительно вымоченная тростник камыша обрабатывалась водным раствором хлорида кальция. Далее обогащенный наполнитель перемешивался с активированным серусодержащим вяжущим в смесителе. Продолжительность загрузки компонентов, их перемешивания и выгрузки составило 10 мин. Затем полученная арболитовая смесь вручную загружалась в формовочную установку и прессовалась при давлении 0,25 МПа. Универсальность формовочной установки заключается в изготовлении блоков с пустотами, облицовочных плиток различной конфигурации за счет замены пуансона и бортовоснастки. Отформованные блоки после снятия давления и поднятия пресс-форм оставались на площадке для вызревания. Через каждые 24 ч блоки переносились под навес и укладывались штабелями для твердения в естественных условиях.

Таблица 1

Состав серусодержащей арболитовой смеси

Компоненты	В % по массе	Расход на 1 м ³ , кг
Портландцемент	35,9	350
Сера отходы	3,6	35
Пиритный огарок	7,2	70
Тростник камыша	20,5	200
Хлорид кальция	0,50	4,0
Хлорид бария	1,6	12
Вода	30,7	280

Таблица 2

Физико-химические свойства серусодержащего арболита

Наименование Свойств	Единица измерения	Показатели свойств блоков изготовленных в условиях	
		Лаборатор.(28)	П/ промыш.(28)
Плотность	Кг/м	620	600
Прочность при сжатии	МПа	3,9	3,4
Теплопроводность	Вт/м°С	0,12	0,115
Водопоглощение	%	49	53

При формировании арболитовых блоков параллельно изготавливались кубики из этой же арболитовой смеси размером 100x100x100 мм, твердевшие в естественных условиях и испытанные через 28 сут.

Кроме арболитовых блоков также выпущены облицовочные плитки из серусодержащего арболита на основе вяжущего, улучшенным методом механо-химической активации и детоксикации (МХАД).

Из таблицы видно, что полученные арболитовые блоки по своим физико-механическим свойствам 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.

Экономической эффективности опытно-промышленного внедрения основных результатов исследований

Определение экономической эффективности от внедрения МХАД активации вяжущего при производстве арболитовых блоков производилось путем сравнения калькуляций себестоимости изготовления единицы продукции (табл. 3) по известной технологии и предлагаемому проекту.

Таблица 3
Сравнительная калькуляция себестоимости изготовления 1м³ арболита

№	Статьи затрат	Ед. изм.	Количество материалов м ³ арболита		Цена единицы, тенге	Сумма за 1м ³ арболита, тенге	
			По существ. технологии	Предлагаемый проект		По существ. Технологии	Предлагаемый проект
1	Портландцемент	кг	390	350	3	1170	1050
	Пиритной огарок	кг	-	70	0,3	-	21
	Хлорид бария	кг	16	12	120	1920	1440
	Сера отходы	кг	-	35	0,2	-	7
	Тростник камыша	кг	-	200	0,2	-	40
	Рисовая солома	кг	200	-	0,2	40	-
	Хлорид кальция	кг	5	4	120	600	480
	Вода	м ³	0,6	0,5	8,32	4,99	4,16
2	Итого					3735	3042,2
3	Основная зарплата рабочих	тг	-(6чел)	-(6чел.)	25000	150000	150000
4	Электроэнергия	квт	6,2	10,2	4	24,8	40,8
5	Дополнительная амортизация и прочие меняющиеся ресурсы						
	Общехозяйские расходы					30	30
	Всего	тг				100	120
		тг				153889,8	153233

При расчете экономического эффекта в качестве нового материала приняты арболитовые блоки, изготовленные по предлагаемой подготовки заполнителя, размером 0,2х0,2х0,4 м, базового материала – арболитовые блоки размером 0,2х0,2х0,4м, изготовленные согласно ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические требования».

Годовой экономический эффект определен по формуле:

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

где Z_1 и Z_2 - приведенные затраты на производство базового и нового материала, тенге;

E_n - нормативный коэффициент, равный 0,15;

K_1 - капитальные затраты на внедрение мероприятия, тенге;

A - годовой объем выпускаемой продукции, м³

При мощности цеха 2000 м³ арболитовых изделий в год приведенные затраты на 1 м³ арболита по существующей технологии производства составили 153889,8 тг., по предлагаемому проекту 1532396 тенге.

При этом ожидаемый годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E} = \frac{[(153889,8 - 153233) - 0,15 \times 200000]}{2000} \times 2000 = 13133000 \text{ тенге/год.}$$

Или с каждого м³ арболитовых изделий 656,8 тенге экономии. Дополнительная экономия обеспечивается повышением прочности арболитовых блоков, изготовленных на рисовой лузге и снижения количества брака в количестве 15% от стоимости единицы изделия.

$$\mathcal{E}_1 = (656,8 \times 0,15) \times 2000 = 197040 \text{ тенге.}$$

Таким образом, суммарный экономический эффект от внедрения технологии арболита на вяжущем, активированном МХЭП способом, составит:

$$\mathcal{E}_c = 197040 + 13133000 = 13330040 \text{ тенге (8886,7 долл. США по ценам 2011г)}$$

Председатель комиссии

Члены комиссии:

Оразалина Ж.К

Макбузов А.С

Исакулов Б.Р

Приложение 5

СОГЛАСОВАНО
Проректор по научной работе
Актюбинского университета
им. С. Байшева, д.ф.н, проф.
Кусанова Б.Х.



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



АКТ

**Производственное внедрение и технико-экономическая эффективность
шлакощелочного арболита**

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе зам. директора по качеству Битурина Д.В. (председатель) и членов комиссии: главного инженера Успанова А.Ж., главного специалиста к.т.н Макбузова А.С., доцента Актюбинского университета им. С. Байшева Исакулова Б.Р. составили настоящий акт нижеследующем:

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

При изготовлении теплоизоляционного арболита на основе смешанных заполнителей тростника камыша и рисовой лузги использовались следующие материалы: тонко молотый электротермофосфорный шлак, зола-унос-электрофильтров Актюбинской ТЭЦ, стекло натриевое жидкое Чимкентского ЭЭСМ, содоосульфатная смесь Актюбинского электрохимического предприятие «Электрохимпром» и смешанные заполнители - тростник камыша (растительные отходы использованных для очищение от бора и хрома реки Илек Актюбинской области) и рисовая лузга (отход рисосеющих областей Казахстана).

Приготовление арболитовой смеси проводилось следующим образом. Предварительно готовили комплексный щелочной раствор в соотношении 1:1 по объему стекла натриевого (-1300кг/м³) и водного раствора содоосульфатной смеси (-1200 кг/м³).

Отдозированное количество смешанных заполнителей (тростника камыша и рисовой лузги) смешивали с комплексным щелочным раствором, затем подавался алюмосиликатный компонент, и производилось окончательное смешивание компонентов. Все отдозированные компоненты смешивались до получения однородной массы, укладывались в форму с ячейками 1000x500мм. Общее время приготовления арболитовой смеси составляло во всех случаях 7-9 мин. Сверху на смесь устанавливались металлические крышки с бетонным пригрузом и под совместным действием вибрации и пригруза смесь уплотняли.

В дальнейшем изделия с различными сроками выдержки направлялись на термообработку в специально оборудованную сушильную камеру. Термообработка велась по рекомендуемым нами режимам в сухой среде при температуре до 80° С в течение 12-14 ч. После термообработки изделия расформовывались и до проведения испытаний хранились в условиях цеха с исключением увлажнения, попадания прямых солнечных лучей при температуре 18-24° С.

Процессе изготовления изделий из арболита с оптимальными показателями прочности и влажности.

При этом обрабатывались следующие факторы:

- Порядок перемешивания компонентов; общая продолжительность процесса;

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

- Вид смазки и условия нанесения смазки на формы и крышки форм;

- Вид и величина уплотнения;

- Условия и параметры тепловой обработки; время выдержки изделий

из арболита перед тепловой обработкой; время фиксации формирующего усилия; тепловая обработка изделий в закрытом и открытом видах.

Оптимальность того или иного вида, типа или значения указанных выше параметров определялись в зависимости от показателя прочности- плотности получаемого арболита при твердении в нормальных условиях и условиях термообработки в различном возрасте. Учитывались также 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 19222-84) - 25% влажности.

Комплексный анализ экспериментальных данных привел к принятию решения о выпуске опытной партии теплоизоляционных арболитных плит для использования при строительстве монолитного жилого дома.

Была принята следующая технология производства арболитовых изделий: перемешивание - двухвальном противоточном противоточном смесителе с частичным разломом цельных элементов органического заполнителя, формирование- в формах с фиксирующимися крышками вибрацией под пригрузом с удельной нагрузкой 0,02-0,04 МПа; тепловая обработка в камерах сушки по режиму 2+3+6-8+2ч при температуре изотермической выдержки T= 80° С; армирование крупногабаритных изделий проволокой (-3 мм) сеткой с шагом ячеек 250-300 мм; доводка изделий до отпускных параметров прочности и влажности производилась выдержкой на складе готовой продукции.

По выше указанной технологии выпущена партия теплоизоляционных плит из шлакощелочного арболита размерами 2500х1000х100 мм.

Выпущенная партия изделий использована при строительстве пос. Заречный Актюбинской области, монолитного многоквартирного жилого дома в качестве теплоизоляционной прослойки наружных трехслойных стен, что позволило взамен керамзитобетона и тяжелого бетона. Кроме того, шлакощелочной теплоизоляционный арболит использован также при

теплоизоляции кровельных покрытий зданий животноводческих комплексов и социально- культурного назначения на объектах Актюбинской области и регионах Западного Казахстана.

Технико- экономическая эффективность внедрения

Производство опытно- промышленной партии шлакощелочного арболита показало высокую технико-экономическую эффективность таких материалов, получаемых за счет низкой себестоимости и высокой активности шлакощелочного вяжущего по отношению к заполнителям.

Эффективность шлакощелочного арболита определена по развитости приведенных затрат на 1м³ готового изделия. Затраты определены по изменяемым статьям: материалы, топливо, электроэнергия и удельное капиталовложения.


За базу для сравнения для сравнения принято производство арболита на портландцементном вяжущем.

Экономический эффект от внедрения определяли по формуле:

$$Э = (Э_к - Э_с) \cdot A,$$

где Э_к-Э_с - себестоимость возведения кровли по сравниваемым вариантам; А- объем внедрения.

Экономический эффект от внедрения в производство теплоизоляционного арболита в системе Актюбестроя составил 49575тг. (350 долл. США) на 100 м² утеплителя по ценам 2011г.

Председатель комиссии  Битурина Д.В.

Члены комиссии:  Успанов А.Ж.

Макбузов А.С.

Исакулов Б.Р.

Приложение 6



А К Т
о производстве опытной партии арболитовых изделий методом
механо-химической активации и детоксикации

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе главного технолога Нукусского завода железобетонных изделий Калпакбаева Г.Б.(председатель) и членов комиссии: начальника лаборатории Буркитбаева Ж.Г., начальника ОТК Байбулова А.К., к.т.н., доцента Актюбинского университета им. С.Баишева Исакулова Б.Р., а также зав. каф. «Строительство» Каракалпакского государственного университета к.т.н., доц. Ешнйязова Р.Н. составили настоящий акт нижеследующем:

на основании разработанных и экспериментальных данных по составу арболита и способу механо-химической активации и детоксикации цементно-зольного вяжущего на производственном участке КСМК выпущена опытная партия стеновых арболитных блоков объемом 250 м³, размером 20х20х40см с использованием вяжущего, активированного МХАД способом.

Состав и основные свойства арболитных блоков опытной партии представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Состав арболитовой смеси

Компоненты	В, % по массе	Расход на 1м ³ , кг
Портландцемент	20,5	215
Зола унос	14,2	145
Хлорид бария	1,7	20
Рисовая лузга	23,1	250
Хлорид кальция	0,45	5
Вода	40,3	425

Таблица 2

Физико-механические свойства арболита






Наименование свойства	Единица измерения	Показатели свойств арболитовых блоков изготовленных в разных условиях	
		Лабораторный (28)	Производственный (28)
Плотность	кг/м ³	670	650
Прочность при сжат.	МПа	3,75	3,62
Теплопроводность	Вт/м ² С	0,12	0,11
Водопоглощение	%	50	52

Арболитовые блоки изготавливались по следующей технологии: исходное цементно-зольное вяжущее активировалось в барабанной шаровой мельнице емкостью 200 л, изготовленной в механическом цехе ТЭЦ г. Нукус. Размеры мельницы: D=0,58м, L=0,75м. Общее время активации составило 30 мин. Первый этап активации - зола с хлоридом бария при В/З=1,0, продолжительностью 20 мин. Второй этап активации заключался в совместном измельчении золы с цементом при В/Ц=0,6 в течение 10 мин. Предварительно вымоченная рисовая лузга обрабатывалась водным раствором хлорида кальция. Далее обогороженный наполнитель перемешивался с механо-химическим активированным вяжущим в смесителе. Продолжительность загрузки компонентов, их перемешивания и выгрузки составило 10 мин. Затем полученная арболитовая смесь вручную загружалась в формовочную установку и прессовалась при давлении 0,25 МПа. Универсальность формовочной установки заключается в изготовлении блоков с пустотами, тротуарных плиток различной конфигурации за счет замены пуансона и бортовоснастки. Отформованные блоки после снятия давления и поднятия пресс-форм оставались на площадке для вызревания. Через каждые 24 ч блоки переносились под навес и укладывались штабелями для твердения в естественных условиях. При формовании арболитовых блоков параллельно изготавливались кубики из этой же арболитовой смеси размером 100x100x100 мм, твердевшие в естественных условиях и испытанные через 28 сут.

Из таблицы видно, что полученные арболитовые блоки по своим физико-механическим свойствам 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. Опытно-промышленное апробирование результатов исследований подтвердило эффективность применения арболита на механо-химическом вяжущем. Экономический эффект от выпуска опытной партии арболитовых блоков объемом 250 м³ составляет 20,05 тыс. руб. При мощности цеха 2000 м³ арболитовых изделий в год по предлагаемому способу ожидаемый экономический эффект составит 178138 тыс. руб.

Председатель комиссии

Члены комиссии:

 Калпахбаев Г.Б.
 Буркитбаев Ж.Г.
 Байбулов А.К.
 Ешниязов Р.Н.
 Исакулов Б.Р.

Приложение 7



**АКТ ВНЕДРЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВА ОПЫТНОЙ ПАРТИИ
АРБОЛИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТАННЫМИ
ЩЕЛОЧАМИ ДРОБЛЕННЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ**

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе:

1. Турсаев Ш. Б. (К.Т.Н. доц.)
2. Абдуллаев Х. Т. (К.Т.Н. доц.)
3. Будышев Б. Б.
4. Шоакулов Б. Р. (К.Т.Н. доц.)

составили настоящий акт нижеследующем:

На основании разработанных и экспериментальных данных на базе ТОО «АкРам» выпущена опытная партия стеновых арболитовых блоков объемом 250м³, размером 20х20х40 см с использованием коагулянта, содержащего шестивалентный железо в виде феррата натрия и сульфат алюминия. Технология изготовления арболита следующая:

Отработанный коагулянт, с целью его более полного комплексного использования и защиты биосреды утилизируется с составе многокомпонентной сырьевой смеси, содержащей отходы производства для изготовления строительных материалов и изделий. Для получения легкого и дешевого арболитобетона, с лучшими теплоизоляционными свойствами, в состав смеси вводят органические отходы растительного происхождения, в виде измельченные стебли тростника, древесные стружки, опилки т.п. Описано, что обработанные щелочами дробленые растительные отходы приобретают свойства необратимого извлечения из загрязненных вод соединений хрома и бора. Хром- и борсодержащие целлюлоза приобретают лучшую механическую и химическую устойчивость.

Предлагаемый метод можно применять в области промышленной экологии: очистки, обеззараживание и дезинфекции вод, а также в технологии получения легких арболитобетонов, в составе которого имеются дробленые растительные отходы.

Следует отметить, что введение состав смесей хром- и борсодержащих отходов растительного происхождения ведет к одновременному экономии цемента и увеличению физико-механических свойств арболитобетонов.

Состав и основные свойства арболитовых блоков опытной партии представлены в таблице.

Таблица

СОСТАВЫ И СВОЙСТВА АРБОЛИТОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Наименование показателей	Единица измерения	Величина показателей для арболита				
		В 0,75	В 1,0	В 1,5	В 2,5	В 3,5
1. Расход пуццоланового цемента марки 400	кг	250	280	300	325	350
2. Расход гипса марки 100	кг	100	100	100	110	120
3. Расход обрешивные щеполаки дробленые растительные отходы органического заполнителя (измельченные стебли тростника)	кг	175	195	215	235	250
4. Расход воды на 1м ³ смеси	л/м ³	270	300	325	350	370
5. Плотность в насыщенном состоянии	кг/м ³	400-430	450-460	500-540	540-590	590-640
6. Прочность при сжатии R _{сж}	МПа	0,8	1,5	2,1	2,5	3,1
7. Модуль упругости при сжатии σ = 0,3 R _{сж}	МПа	200-250	250-400	400-650	650-1100	1000-1300
8. Водопоглощение (по массе) через 48 часов	%	95	85	75	67	45
9. Морозостойкость	цикл	5	20	35	50	75
10. Коэффициент теплопроводности	Вт/м ² К	0,05	0,065	0,085	0,10	0,135

При формировании арболитовых блоков параллельно изготавливались кубики из этой же арболитовой смеси размером 100x100x100 мм, твердение в естественных условиях и испытанные через 28 сут.

Из таблицы видно, что полученные арболитовые блоки по своим физико-механическим свойствам 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 малозэтажном и сельском строительстве.

Определение экономической эффективности от внедрения в производства арболитовых блоков производилось путем сравнения калькуляций себестоимости изготовленной единицы продукции по известной технологии и предлагаемому проекту. При расчете экономического эффекта в качестве нового материала приняты арболитовые блоки, изготовленные по предлагаемой подготовке заполнителя, размером 0,2x0,2x0,4 м, базового материала – арболитовые блоки размером 0,2x0,2x0,4м, изготовленные согласно ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические требования».

Годовой экономический эффект определен по формуле:

$$\mathcal{E} = [(Z_1 - Z_2) - E_n K_1] \times A,$$

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

При мощности пеха $2500m^3$ арболитовых изделий в год приведенные затраты на $1m^3$ арболита по существующей технологии производства составили 5696,3 тенге, а по предлагаемому проекту 5296 тенге.
При этом ожидаемый годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E} = \frac{[(5675,3 - 5275) - 0,15 \cdot \frac{2500000}{2500}] \times 2500}{2500} = 963250 \text{ тенге/год.}$$

Или с каждого m^3 арболитовых изделий 400,3 тенге экономии.
Таким образом, суммарный экономический эффект от внедрения технологии арболита составит:

$$\mathcal{E}_t = 963250 + 150112,5 = 1113362,5 \text{ тенге (7573,9 долл. США (2012г.)).}$$

Председатель комиссии

Члены комиссии:



Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрлігі Министерство здравоохранения Республики Казахстан		Нысанның БҚСЖ бойынша коды Код формы по ОКУД _____ КУЖЖ бойынша ұйым коды Код организации по ОКПО _____
Санитариялық-эпидемиологиялық қызметтің мемлекеттік органының атауы Наименование государственного органа санитарно- эпидемиологической службы		Қазақстан Республикасы Денсаулық сақтау министрінің 2011 жылғы 20 желтоқсандағы № 902 бұйрығымен бекітілген № 199 /е 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**

№ 275
«17» 08 14 20__ ж. (г.)

1. Санитариялық-эпидемиологиялық сараптау (Санитарно-эпидемиологическая экспертиза) – **Рабочий проект, серосодержащие арболитовые блоки с размерами 200x200x400мм.**

(пайдалануға берілетін немесе қайта жаңартылған нысандардың, жобалық құжаттардың, тіршілік ортасы факторларының, шаруашылық және басқа жұмыстардың, өнімнің, қызметтердің, көліктердің 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 №07/09, ТОО «Стройдеталь»**

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

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, серосодержащие арболитовые блоки с размерами 200x200x400мм.**

сала, қайраткерлік ортасы, орналасқан орны, мекен-жайы

(вид деятельность)

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

5. Ұсынылған құжаттар (Представленные документы) – **Отношение №07/09. Рабочий проект, серосодержащие арболитовые блоки с размерами 200x200x400мм.**

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

7. Басқа ұйымдардың сараптау қорытындысы (егер болса) (Экспертное заключение других организации 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, серосодержащие арболитовые блоки с размерами 200x200x400мм. В разработке проекта нормативов «серосодержащие арболитовые блоки с размерами 200x200x400мм» для ТОО «Стройдеталь» принимали участие сотрудники Актюбинское 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 техдокументации, 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 уровня
Удельная эффективная активность (среднее)	До 370 Бк / кг	70 Бк / кг
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 незначительны и не окажут особого 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. Результаты расчетов показали, что максимальные концентрации загрязняющих веществ с учетом фона не превышают ПДК по всему расчету.

9. Күршіл салуға бөлінген жер учаскесінің, қайта жаңартылатын 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 здоровье 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, серосодержащие арболитовые блоки с размерами 200x200x400мм.

(нысанның, шаруашылық жүргізуші субъектінің (керек-жарак) пайдалануға берілетін немесе қайта жаңартылған нысандардың, жобалық құжаттардың, тіршілік ортасы факторларының, шаруашылық және басқа жұмыстардың, өнімнің, қызметтердің, автокөліктердің және т.б. толық атауы)

(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 правилам и гигиеническим нормативам) сай немесе сай еместігін көрсетіңіз (соответствует или не соответствует) (нужное подчеркнуть)


(указать)

Ұсыныстар (Предложения): _____

ҚР 18.09.2009 жылғы №193-ІҮ «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-ІV 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)

Приложение 9

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН
МИНИСТЕРСТВО ИНДУСТРИИ И НОВЫХ ТЕХНОЛОГИИ
ТОВАРИЩЕСТВО ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ
«БАТЫСГАЗПРОМ» ЛТД
СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

СОГЛАСОВАНО

Проректор по научной работе
АРГУ им. К. Жубанова,
к.ф.-м.н. проф.
Бекбауова А.У.
2015 г.




«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ТОО
«БатысГазПРОМ» ЛТД
Жаманкулов Ж.Т.
2015 г.



Стеновые арболитовые блоки из твердой части
бурового шлама (ТЧБШ)

Научный руководитель
к.т.н. доцент

 Исакулов Б.Р.

Менеджер ТОО «БатысГазПРОМ» ЛТД

 Аскарлова Ж.

Ответственный исполнитель
магистр техники

 Имангазин Б.А.

г. Актобе 2015

Предисловие

Стандарт организации (СТО)

1. РАЗРАБОТАН:

АРГУ им. К. Жубанова, ректор Кенжебаев К.К.

2. ВНЕСЕН: АО «Ақпан»

3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ:

ТОО «БатысГазПРОМ» ЛТД

«17» 04 2015 г.

4. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

5. Стандарт соответствует требованиям республики Казахстан

Настоящий стандарт организации запрещается полностью или частично воспроизводить, тиражировать и распространять без разрешения ТОО «БатысГазПРОМ» ЛТД и АРГУ им. К. Жубанова, 2015.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Область применения	5
2 Нормативные ссылки.....	6
3 Термины и определения.....	8
4 Общие положения.....	9
5 Номенклатура стеновых камней, производства ТОО «БатысГазПромЛТД»	10
6. Технологическая схема и регламент изготовления стеновых арболитовых блоков из твердой части бурового шлама.....	13
7 Нормативные требования по теплозащите и пожарной безопасности наружных стен.....	14
7.1 Нормативные требования по теплозащите наружных стен.....	14
7.2 Требования к обеспечению пожарной безопасности.....	17
8 Конструктивные решения наружных стен, выполненных с применением стеновых арболитовых блоков из твердой части бурового шлама.....	18
8.1 Наружные стены из арболитобетонных камней нестандартных размеров.....	19
8.1.1 Однослойные наружные стены с фактурным покрытием фасадной системы...19	
8.1.2 Однослойные наружные стены, облицованные плиткой фасадной системы...23	
9 Строительные узлы наружных стен с использованием арболитобетонных камней... ..25	
Приложение А (справочное) Теплофизические характеристики материалов, используемых при возведении наружных стен из арболитобетонных камней производства ТОО «БатысГазПромЛТД».....	28
Приложение Б (справочное) Теплофизический расчет наружной стены (пример расчета).....	30
Приложение В Перечень используемого оборудования и расходных материалов (на 1м ³ блоков при плотности арболитобетона 800 кг/м ³).....	37

Введение

Настоящий стандарт организации разработан в соответствии с целями и принципами стандартизации в Республики Казахстана, установленными законом РК, а также правилами применения национальных стандартов РК. В настоящем стандарте реализованы положения закона РК «О техническом регулировании».

Объектами стандартизации настоящего стандарта организации являются:

- номенклатура стеновых камней, выполненных из арболитовых блоков из твердой части бурового шлама;
- технология производства арболитовых блоков из твердой части бурового шлама;
- конструктивные решения наружных стен, выполненных из стеновых арболитовых блоков из твердой части бурового шлама производства ТОО «БатысГазПромЛТД».

Настоящий стандарт организации разработан в полном соответствии с действующими строительными нормами и правилами и регламентирует применение материалов, разработанных и поставляемых в соответствии с государственными стандартами или техническими условиями, утвержденными в установленном порядке.

Положения, содержащиеся в настоящем документе, могут быть в дальнейшем дополнены, изменены или отменены.

Стандарт может быть использован проектными и строительными организациями.

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на стеновые камни производства ТОО «БатысГазПромЛТД», выполненные из арболитовых блоков из твердой части бурового шлама.

Настоящий стандарт устанавливает требования к проектированию и строительству наружных стен, выполняемых с применением стеновых арболитобетонных камней.

Настоящий стандарт применяется во всех регионах РК в соответствии с условиями, изложенными в разделе 7.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ФЗ-123 от 08.08.08 г.	Технический регламент о требованиях пожарной безопасности
ГОСТ 1.1-2002	Межгосударственная система стандартизации. Термины и определения
ГОСТ Р 1.10-2004	Стандартизация в РК. Правила стандартизации и рекомендации по стандартизации. Порядок разработки, утверждения, изменения, пересмотра и отмены
ГОСТ Р 1.4-2004	Стандартизация в РК. Стандарты организаций. Общие положения
ГОСТ Р 1.5-2004	Стандарты национальные РК. Правила построения, изложения, оформления и обозначения
СНиП 21-01-97*	Пожарная безопасность зданий и сооружений
СНиП 23-02-2003	Тепловая защита зданий
ГОСТ 6133-99	Камни бетонные стеновые. Технические условия
ГОСТ 530-2007	Кирпич и камень керамические. Общие технические условия
ГОСТ 30494-96	Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях
СП 23-101-2004	Проектирование тепловой защиты зданий
СТО 000 44807-001-2006	Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий. Стандарт организации
ТУ 5741-001-43878747-2007	Камни стеновые из легкого крупнопористого беспесчаного керамзитобетона. Технические условия.
СТО СГАСУ 21.13.33-08	Определение огнестойкости каменных конструкций зданий

При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов и классификаторов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте национального органа РК по стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться замененным (измененным) документом. Если ссылочный документ отменен без замены то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте использованы термины и определения, установленные в национальном стандарте РК на термины и определения согласно ГОСТ 1.1-2002, ГОСТ Р 1.12 или в действующем в этом качестве межгосударственном стандарте на термины и определения, а также термины с соответствующими определениями, относящиеся к области применения применения данного СТО, приводимые ниже.

Специальная терминология

Арболитовые блоки из твердой части бурового шлама (ТЧБШ) – легкий бетон, получаемый в результате склеивания гранул твердой части бурового шлама за счет активной гидратации его компонентов, состоящего из цемента, ТЧБШ, отходов угля, органических материалов и воды.

Стандартный стеновой арболитовый блок из твердой части бурового шлама – строительный материал, имеющий стандартные геометрические размеры, указанные в ГОСТ 6133-99.

Нестандартный арболитовый блок из твердой части бурового шлама – строительный материал, имеющий нестандартные геометрические размеры.

Крупногабаритный нестандартный арболитовый блок из твердой части бурового шлама – полнотелый стеновой камень длиной 1220 или 2440 мм, требующий при кладке использования малых средств механизации.

Малогабаритный нестандартный арболитовый блок из твердой части бурового шлама – полнотелый арболитовый камень предназначенный для ручной кладки наружных стен.

«Теплый» раствор – цементный раствор, приготовленный на твердой части бурового шлама (ТЧБШ).

4 Общие положения

1 Настоящий стандарт организации содержит технологическую схему, регламент, оборудование и расходные материалы, а также техническую документацию, рабочие чертежи наружных стен и строительных узлов отапливаемых зданий различного назначения с применением стеновых арболитобетонных камней на основе твердой части бурового шлама производства ТОО «БатысГазПромЛТД».

2 Стандарт организации разработан для следующих условий:

- здания одно- и двухэтажные, I-V степени огнестойкости с сухим, нормальным и влажным влажностным режимом помещений;
- стены несущие или самонесущие из штучных материалов;
- температура холодной пятидневки – до минус 40 °С.

5 Номенклатура стеновых камней производства ТОО

«БатысГазПромЛТД»

На предприятии ТОО «БатысГазПромЛТД» организован выпуск стеновых камней из арболитового блока из твердой части бурового шлама в соответствии с

ТУ 5741-001-43878747-2007 от 01.02.2014 г.

Технические требования

1 Камни изготавливают из ТЧБШ по ГОСТ 25820 и ТУ 5741-001-43878747-2007.

2 Камни выпускают в виде полнотелых прямоугольных параллелепипедов и в зависимости от назначения и области применения подразделяют на рядовые (Р), стеновые (С) или перегородочные (П).

Допускается по заявке потребителя изготавливать камни другой формы и размеров в соответствии с ТУ 5741-001-43878747-2007.

3 Торцы камней изготавливают плоскими.

4 Номинальные размеры арболитобетонных камней, производимых ТОО «БатысГазПромЛТД» приведены в таблице 51.

Таблица 5.1 – Номинальные размеры арболитобетонных камней, выпускаемых по ГОСТ 25820

Тип камней	Длина l , мм	Ширина b , мм	Высота h , мм
для кладки стен	400	200	200
	400	200	100

5 Камни по прочности на сжатие подразделяются на марки: 35, 25, 20, 15 – на основе твердой части бурового шлама.

6 Камни по морозостойкости имеют марку: F 35 – на основе твердой части бурового шлама.

Требования по морозостойкости установлены только для стеновых камней. Для перегородочных камней морозостойкость не нормируется.

7 Камни по плотности.

марки М 15 – D 550 кг/м³;
 марки М 20 – D 600 кг/м³;
 марки М 25 – D 700 кг/м³;
 марки М 35 – D 800 кг/м³.

8 Условное обозначение камней при заказе должно состоять из записанных через дефис: сокращенного обозначения камня (К); его области применения и назначения (С, П, Р); вида камня с точки зрения его использования в кладке (ПР - порядовочный); наличия пустот (ПТ - полнотельный); длины в см; марки по прочности; марки по морозостойкости; средней плотности; обозначения ТУ.

Например: для камней стеновых полнотельных рядовых, порядовочных длиной 400 мм с маркой по прочности М 35, маркой по морозостойкости F 35, средней плотностью D 800 кг/м³ – КСР-ПР-ПТ-39-20-F 35-800- ТУ 5741-001-43878747-2007.

9 Теплопроводность арболитобетонных камней, предназначенных для строительства наружных стен зданий и сооружений приведена в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Коэффициент теплопроводности кладки стенового камня по ГОСТ 530

Каменная кладка, вариант исполнения	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м ⁰ К (в сухом состоянии)	Расчетное массовое отношение влаги в материале ω , % (при условиях эксплуатации)		Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(м·°С) (при условиях эксплуатации)	
		А	Б	А	Б
		1	0,13	5	10
2	0,13	5	10	0,16	0,19
3	0,13	5	10	0,16	0,19
4	0,14	5	10	0,17	0,20
5	0,17	5	10	0,20	0,23
6	0,13	5	10	0,14	0,16
7	0,13	5	10	0,14	0,16
8	0,125	5	10	0,135	0,155

Варианты исполнения кладки

Вариант 1 – стена толщиной 200 мм из стенового камня арболитобетона на основе ТЧБШ марки М 15 на «теплом» растворе из ТЧБШ и мелкой фракции (отсева) Момьгского угля и ракушняка.

Вариант 2 – стена толщиной 200 мм из камня стенового полнотелого из легкого арболитобетона марки М 20 на «теплом» растворе из ТЧБШ.

Вариант 3 – стена толщиной 200 мм из камня стенового полнотелого из легкого арболитобетона марки М 25 на «теплом» растворе из ТЧБШ.

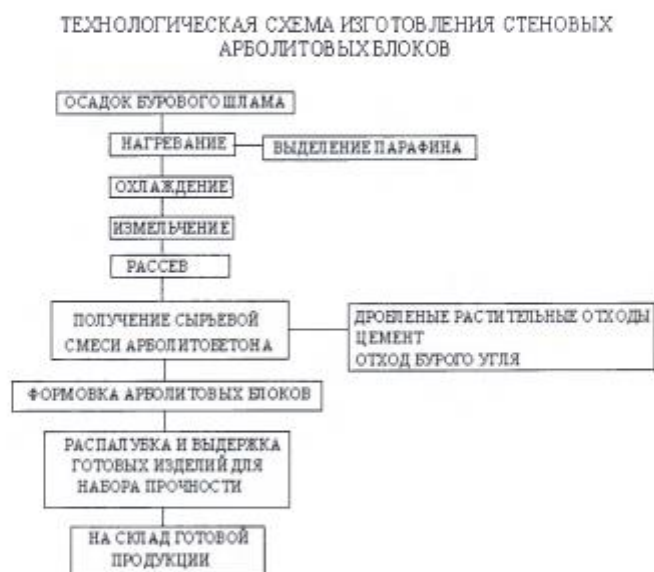
Вариант 4 – стена толщиной 400 мм из камня стенового полнотелого из легкого арболитобетона марки М 35 на «теплом» растворе из ТЧБШ.

Вариант 5 – стена толщиной 600 мм из камня стенового полнотелого из легкого арболитобетона марки М 35 на «теплом» растворе из ТЧБШ.

Вариант 6 – стена толщиной 400 мм из малогабаритного стандартного камня стенового полнотелого из легкого арболитобетона марки М 25 на «теплом» растворе из ТЧБШ.

6. Технологическая схема и регламент изготовления стеновых арболитовых блоков из твердой части бурового шлама

На предприятии ТОО «БатысГазПромЛТД» разработана технология получения легкого арболитобетона на основе из твердой части бурового шлама. Для получения арболитобетона на основе твердой части бурового шлама, обладающего повышенными эксплуатационными свойствами, необходимо проведение следующих последовательных технологических операций:



Технологический регламент изготовления стеновых арболитовых блоков

Согласно технологической схеме, твердая часть (осадок) бурового шлама направляют печь для просушки (250 - 300°C) в течение 25 -30 мин. При этом, выделившийся парафин отделяют и утилизируют. Обезвоженный осадок охлаждают до температуры окружающей среды и измельчают на шаровой мельнице. Шаровая мельница работает в паре с набором сит для отсева на

фракцию выше (+0,01мм) направляют обратно на доизмельчение в шаровую мельницу.

На стадии получения сырьевой смеси в бетономешалку вводят дополнительно, кроме воды (до сметанообразной густоты), еще и дробленые растительные отходы до 30%, цемент до 15% и отход бурого угля до 5%. Вязкость и требуемую густоту смесей проверяют на лабораторном приборе (прибор Вика и вискозиметр Суттарда).

На стадии формования используют железные формы с размерами 400x200x200 мм, 400x100x200 мм, смазанные внутри формовочным маслом. Для уплотнения изделия используют виброплощадки или вибростолы, причем процесс проводят до прекращения выделения воздуха. Время выдержки изделия в естественно-влажных условиях составляет 28 час. Затем изделия подвергают распалубке и направляют на склад готовой продукции.

7 Нормативные требования по теплозащите и пожарной безопасности наружных стен

7.1 Нормативные требования по теплозащите наружных стен

Согласно СНиП 23-02 при выборе уровня теплозащиты здания следует руководствоваться одним из двух альтернативных подходов оценки энергетической эффективности здания. При использовании предписывающего подхода нормативные требования предъявляются к отдельным ограждающим конструкциям. При реализации потребительского подхода энергетическая эффективность здания оценивается по величине удельного расхода тепловой энергии на отопление здания в целом или его отдельных замкнутых объемов – блок секций, пристроек и прочего. Выбор подхода разрешается осуществлять заказчику к проектной организации. При использовании предписывающего подхода строительные ограждающие конструкции здания должны удовлетворять нижеследующим требованиям.

1. Санитарно-гигиеническим и комфортным условиям, определяемым значением приведенного сопротивления теплопередаче, определяемого по формуле

$$R_{0i}^{np} = \frac{n \cdot (t_i - t_e)}{\Delta t^* \cdot \alpha_e}, \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт} \quad (7.1)$$

где n – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху согласно СНиП 23-02;

t_i – расчетная температура внутреннего воздуха, °C;

t_e – расчетная температура наружного воздуха в холодный период года, °C;

Δt^* – нормативный перепад, °C, принимаемый согласно СНиП 23-02 в зависимости от вида здания и ограждающей конструкции;

α_e – коэффициент теплопередачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/м²·°C, принимаемый согласно СНиП 23-02.

2. Требованиям энергосбережения, согласно которым приведенное сопротивление теплопередаче должно быть не ниже минимального значения теплопередаче, определенного по второму этапу повышения теплотщиты. Нормативные значения приведенного сопротивления теплопередаче приведены в СНиП 23-02.

При реализации потребительского подхода за критерий энергетической эффективности следует принимать величину удельного расхода тепловой энергии на отопление проектируемого здания q_n , кДж/ м²·°C·сут, кДж/ м³·°C·сут.

Выбор величин приведенного сопротивления теплопередаче отдельных ограждающих конструкций следует принимать равными не ниже значений, определяемых по формуле (6.2) для стен жилых и общественных зданий, либо по формуле (7.3) – для остальных ограждающих конструкций

$$R_0^{min} = R_0^{np} \cdot 0,63; \quad (7.2)$$

$$R_0^{min} = R_0^{np} \cdot 0,8, \quad (7.3)$$

где R_0^{np} – нормируемые значения сопротивлений теплопередаче, соответствующие требованиям второго этапа энергосбережения, (м²·°C)/Вт.

Величина требуемого удельного расхода тепла на отопление жилых и общественных зданий определяется по таблицам, приведенным в СНиП 23-02.

Согласно СНиП 23-02 значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций определяется по формуле

$$R_0^{sp} = R_0^{ext} \cdot r, \text{ (м}^2\text{°C)/Вт,} \quad (7.4)$$

где R_0^{ext} - сопротивление теплопередаче для глади ограждающей конструкции, (м²°C)/Вт;

r - коэффициент теплотехнической однородности, принимаемый согласно СП 23-101.

В таблицах 7.1, 7.2 приведены нормативные значения сопротивления теплопередаче глади наружных стен при предписывающем и потребительском подходе соответственно.

Таблица 7.1 - Нормативные значения сопротивления теплопередаче глади наружных стен при предписывающем подходе

Тип здания	ГСОП, градусо-сутки	Сопротивление теплопередаче глади наружных стен R_0^{sp} , (м ² °C)/Вт в зависимости от коэффициента теплотехнической однородности r					
		R_0^{sp} , (м ² °C)/Вт в зависимости от коэффициента теплотехнической однородности r					
		0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
Жилые, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4000	4,00	3,73	3,50	3,29	3,11	2,95
	4500	4,25	3,97	3,72	3,50	3,31	3,13
	5000	4,50	4,20	3,94	3,71	3,50	3,32
	5500	4,75	4,43	4,16	3,91	3,69	3,50
	6000	5,00	4,67	4,38	4,12	3,89	3,68
	6500	5,25	4,90	4,59	4,32	4,08	3,87
Общественные, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4000	3,43	3,20	3,00	2,82	2,67	2,53
	4500	3,64	3,40	3,19	3,00	2,83	2,68
	5000	3,86	3,60	3,38	3,18	3,00	2,84
	5500	4,07	3,80	3,56	3,35	3,17	3,00
	6000	4,29	4,00	3,75	3,53	3,33	3,16
	6500	4,50	4,20	3,94	3,71	3,50	3,32

**Таблица 7.2 - Нормативные значения сопротивления теплопередаче
 глади наружных стен при потребительском подходе**

Тип здания	ГСОП, градуссутки	Сопротивление теплопередаче глади наружных стен $R_0^{сп}$, (м ² ·°С)/Вт, в зависимости от коэффициента теплотехнической однородности r					
		0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95
		Жилые, лечебно- профилактические и детские учреждения, школы, интернаты	4000	2,52	2,35	2,21	2,08
	4500	2,68	2,50	2,34	2,21	2,08	1,97
	5000	2,84	2,65	2,48	2,33	2,21	2,09
	5500	2,99	2,79	2,62	2,46	2,33	2,21
	6000	3,15	2,94	2,76	2,59	2,45	2,32
	6500	3,31	3,09	2,89	2,72	2,57	2,44
Общественные, административные и бытовые, за исключением помещений с влажным или мокрым режимом	4000	2,16	2,02	1,89	1,78	1,68	1,59
	4500	2,30	2,14	2,01	1,89	1,79	1,69
	5000	2,43	2,27	2,13	2,00	1,89	1,79
	5500	2,57	2,39	2,24	2,11	2,00	1,89
	6000	2,70	2,52	2,36	2,22	2,10	1,99
	6500	2,84	2,65	2,48	2,33	2,21	2,09

7.2 Требования к обеспечению пожарной безопасности

Строительные конструкции зданий и сооружений и противопожарные мероприятия в них могут приниматься на основе оценки пожарной опасности и уровня защищенности, выполняемых при страховании объекта на случай пожара. Требования пожарной безопасности настоящих норм и правил основываются на положениях и классификациях, принятых в законе РК. Согласно РЗ-123 от 08.08.08 г. арболитобетон относится к группе не горючих материалов, для которых показатели пожароопасности: температуры воспламенения и самовоспламенения, коэффициент дымообразования и показатель токсичности продуктов горения – не регламентируются. Арболитобетон как строительный материал относится к группе не воспламеняемых материалов.

Арболитобетон как строительный материал относится к группе не воспламеняемых материалов.

Конструктивное исполнение строительных элементов, выполненных из арболитобетонных камней, не является причиной распространения горения по зданию. Согласно РЗ-123 от 08.08.08 г. и СНиП 21-01 конструкции из арболитобетонных камней соответствуют классу конструктивной пожароопасности (не пожароопасные).

Предел огнестойкости каменных стен из арболитобетонных камней регламентируется толщиной стены, интенсивностью силовых напряжений в расчетном сечении, коэффициентом продольного изгиба стены, показателем тепловой диффузии арболитобетона, временным сопротивлением сжатию кладки (РЗ-123 от 08.08.08 г.; СТО КГАСА 21.13.33-08).

8. Конструктивные решения наружных стен, выполненных с применением стеновых арболитобетонных блоков производства ТОО «БатысГазПромЛТД»

В данном разделе представлены проектные решения наружных стен с использованием стеновых арболитобетонных камней производства ТОО «БатысГазПромЛТД». В таблицах приведены значения сопротивления теплопередаче и паропрооницанию, полученные с использованием программного комплекса

«Диффузия–2005», разработанного авторами данного стандарта. На указанный выше программный комплекс получено свидетельство об отраслевой регистрации разработки (дата регистрации 4 июля 2014 г.).

В данном разделе в табличной форме приведены значения сопротивления теплопередаче и паропрооницанию при коэффициенте теплотехнической однородности $\mu=1$, т.е. для глади стены. При выполнении теплотехнического расчета необходимо предварительно задать значение коэффициента теплотехнической однородности, руководствуясь рекомендациями, приведенными в СТО 00044807-001-2006 «Теплозащитные свойства ограждающих конструкций». Требуемое сопротивление теплопередаче для

гладки стены можно определить с помощью таблиц 7.1 и 7.2.

Далее по величине требуемого сопротивления теплопередаче с помощью таблиц, приведенных в данном разделе, определяется требуемая толщина кладки наружной стены, выполненной из арболитобетона на основе ТЧБШ. Теплофизические характеристики материалов, используемых, в конструктивных решениях ограждающих конструкций представлены в приложении А.

8.1 Наружные стены из арболитобетонных камней нестандартных размеров

В данном разделе на рисунках 8.1+8.49 представлены конструктивные решения, а также в табличной форме (таблицы 8.1+8.49) результаты теплофизического расчета наружных стен, выполненных с применением стеновых арболитобетонных камней производства ТОО «БатысГазПромЛТД» по ТУ 57441-001-43878747-2007.

8.1.1 Однослойные наружные стены с фактурным покрытием фасадной системы

Вариант № 1



Таблица 8.1 - Результаты теплофизического расчета наружной стены

Марка основного арболитобетонного камня	Плотность арболитобетонного камня в сухом состоянии, кг/м ³	Сопротивление		
		теплопередаче гряди стены, (м ² ·°С)/Вт в условиях эксплуатации		паропроницанию гряди стены, (м ² ·ч·Па)/мг
		А	Б	
М 20	600	3,15	2,77	2,21
М 25	700	3,05	2,69	2,41
М 35	800	2,69	2,29	2,65

Вариант № 2



Рисунок 8.2 – Конструкция наружной стены

Таблица 8.2 - Результаты теплофизического расчета наружной стены

Марка основного арболитобетонного камня	Плотность арболитобетонного камня в сухом состоянии, кг/м ³	Сопротивление		
		теплопередаче гряди стены, (м ² ·°С)/Вт в условиях эксплуатации		паропроницанию гряди стены, (м ² ·ч·Па)/мг
		А	Б	
М 20	600	3,17	2,78	2,26
М 25	700	3,07	2,70	2,46
М 35	800	2,71	2,31	2,71

Вариант № 3

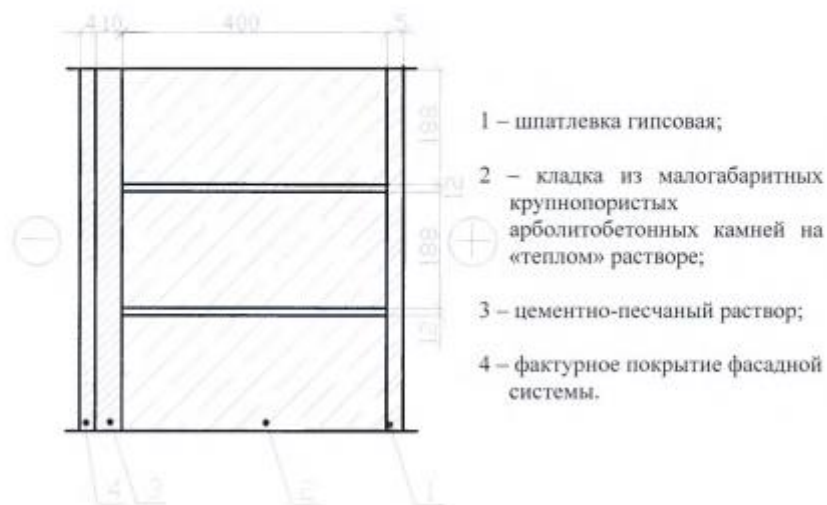


Рисунок 8.3 – Конструкция наружной стены

Таблица 8.3 - Результаты теплофизического расчета наружной стены

Марка основного арболитобетонного камня	Плотность арболито-бетонного камня в сухом состоянии, кг/м ³	Сопротивление		паропроницанию глади стены, (м ² ·ч·Па)/мг
		теплопередаче глади стены, (м ² ·°С)/Вт в условиях эксплуатации	А	
М 20	600	3,17	2,78	2,16
М 25	700	3,06	2,70	2,36
М 35	800	2,70	2,30	2,61

Вариант № 4



Рисунок 8.4 – Конструкция наружной стены

Таблица 8.4 - Результаты теплофизического расчета наружной стены

Марка арболитобетонного камня	Плотность арболитобетонного камня в сухом состоянии, кг/м ³	Сопротивление		
		теплопередаче глади стены, (м ² ·°С)/Вт в условиях эксплуатации		паропроницанию глади стены, (м ² ·ч·Па)/мг
		А	Б	
М 15	550	3,88	3,29	3,11
М 20	600	3,88	3,29	3,11
М 25	700	3,66	3,14	5,22
М 35	800	3,14	2,75	5,67

8.1.2 Однослойные наружные стены,
облицованные плиткой фасадной системы

Вариант № 5



Рисунок 8.5 – Конструкция наружной стены

Таблица 8.5 - Результаты теплофизического расчета наружной стены

Марка основного арболитобетонного камня	Плотность арболитобетонного камня в сухом состоянии, кг/м ³	Сопротивление		
		теплопередаче глади стены, (м ² ·°С)/Вт в условиях эксплуатации		паропроницанию глади стены, (м ² ·ч·Па)/мг
		А	Б	
М 20	600	3,25	2,84	2,81
М 25	700	3,14	2,75	3,01
М 35	800	2,78	2,38	3,26

Вариант № 6



Рисунок 8.6 – Конструкция наружной стены

Таблица 8.6 - Результаты теплофизического расчета наружной стены

Марка арболитобетонного камня	Плотность арболитобетонного камня в сухом состоянии, кг/м ³	Сопротивление		
		теплопередаче глади стены, (м ² ·°С)/Вт в условиях эксплуатации		паропроницанию глади стены, (м ² ·ч·Па)/мг
		А	Б	
М 15	550	3,97	3,37	3,77
М 20	600	3,97	3,37	3,77
М 25	700	3,76	3,21	5,88
М 35	800	3,24	2,83	6,33

9 Строительные узлы наружных стен с использованием арболитобетонных камней

Согласно СНиП 23-02 приведенное сопротивление теплопередаче R_0^c для наружных стен следует рассчитывать для фасада здания, либо для одного промежуточного этажа с учетом откосов проемов без учета их заполнений с проверкой условия отсутствие выпадения конденсата на участках в зонах теплопроводных включений.

В данном разделе приводится ряд строительных узлов с использованием арболитобетонных камней производства ТОО «БатысГазПромЛТД» г. Актобе. С помощью специализированной программы THERM 5.0, в которой реализован метод конечных элементов, выполняется расчет двумерного температурного поля в строительных узлах применительно к конкретному зданию. Определяя долю каждого строительного узла в площади фасада здания, находится приведенное сопротивление теплопередаче строительного узла, а затем и фрагмента наружной стены.

Рассмотрены следующие варианты самонесущих наружных стен с применением керамзитобетонных камней:

- однослойные наружные стены с фактурным покрытием фасадной системы (рис. 9.1);
- двухслойные наружные стены с облицовкой керамическим кирпичом (рис. 9.2);

Для исключения выпадения конденсата на внутренних поверхностях наружных стен в местах примыкания к монолитным плитам перекрытий, рекомендуется произвести дополнительное утепление фасада “теплым” раствором.

Однослойные наружные стены с отделкой облицовочной плиткой

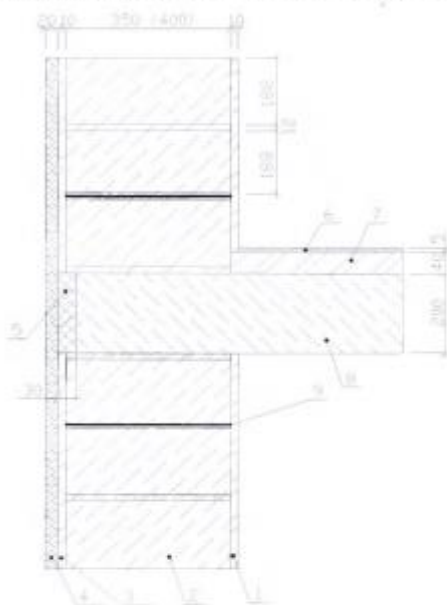


Рисунок 9.1 – Вертикальное сечение по наружной стене:

- 1 – цементно-песчаный раствор на основе бурового шлама;
- 2 – кладка из стеновых арболитобетонных камней производства АО «Акпан» на цементном растворе с ТЧБШ;
- 3 – цементно-песчаный раствор;
- 4 – облицовочная плитка;
- 5 – “теплый” раствор;
- 6 – линолеум;
- 7 – цементно-песчаная стяжка;
- 8 – монолитная железобетонная плита перекрытия;
- 9 – армирующая сетка

Двухслойные наружные стены с облицовкой керамическим кирпичом

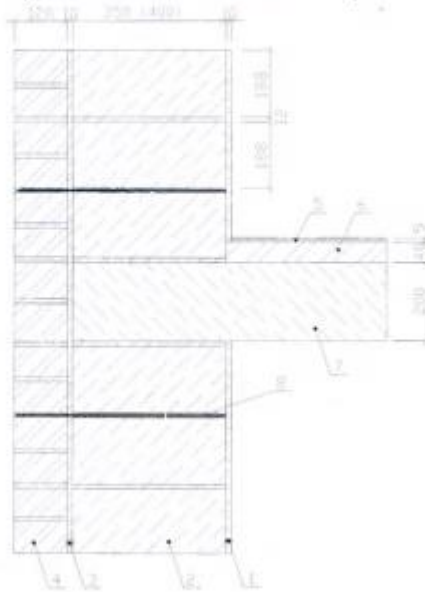


Рисунок 9.2 – Вертикальное сечение по наружной стене:

- 1 – цементно-песчаный раствор;
- 2 – кладка из стеновых арболитобетонных камней производства АО «Акпан» на цементном растворе с ТЧБШ;
- 3 – цементно-песчаный раствор;
- 4 – кладка из облицовочного керамического кирпича на цементно-песчаном растворе;
- 5 – линолеум;
- 6 – цементно-песчаная стяжка;
- 7 – монолитная железобетонная плита перекрытия;
- 8 – армирующая сетка.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(справочное)

**Теплофизические характеристики материалов, используемых при
возведении наружных стен из арболитобетонных стеновых камней
производства ТОО «БатысГазПромЛТД»**

№ п/ п	Наименование материала	Плотность материала в сухом состоянии, кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)		
			теплопроводности, Вт/(м·°С)		паропроницаемо сти, мг/(м·ч·Па)
			А	Б	А, Б
1	2	3	4	5	6
1	Кладка из арболитобетонных камней марки М 15 на «теплом» растворе из твердой части бурового шлама (ТЧБШ)	550	0,16	0,19	0,21
2	Кладка из арболитобетонных камней марки М 20 на «теплом» растворе из твердой части бурового шлама (ТЧБШ)	600	0,16	0,19	0,21
3	Кладка из арболитобетонных камней марки М 25 на «теплом» растворе из твердой части бурового шлама (ТЧБШ)	700	0,17	0,20	0,12
4	Кладка из доборных стеновых арболитобетонных камней марки М 15 на «теплом» растворе из твердой части бурового шлама (ТЧБШ)	550	0,16	0,19	0,21
5	Кладка из доборных	600	0,16	0,16	0,21

	стеновых арболитобетонных камней марки М 20 на «теплом» растворе из твердой части бурового шлама (ТЧБШ)				
6	Кладка из доборных стеновых арболитобетонных камней марки М 25 на «теплом» растворе из твердой части бурового шлама (ТЧБШ)	700	0,17	0,20	0,12
7	Кладка из арболитобетонных камней марки М 35 на «теплом» растворе из твердой части бурового шлама (ТЧБШ)	800	0,20	0,23	0,11
8	Кладка из доборных стеновых арболитобетонных камней марки М 35 на «теплом» растворе из твердой части бурового шлама (ТЧБШ)	800	0,20	0,23	0,11

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

Теплофизический расчет наружной стены

В данном приложении приведен теплофизический расчет наружной стены коттеджа, выполненной с применением арболитобетонных камней производства ТОО «БатысГазПромЛТД».

В таблице Б.1 показан состав ограждения, а на рисунке Б.1 представлен порядок расположения слоев в конструкции.

Таблица Б.1 – Состав ограждения

№ п/п	Наименование	Толщина $\delta, м$	Плотность $\gamma, кг / м^3$	Коэффициент теплопроводности $\lambda, Вт / (м^{\circ}С)$	Коэффициент паропроницаемости $\mu, мг / (м \cdot ч \cdot Па)$
1	Шпатлевка гипсовая	0,005	800	0,19	0,075
2	Кладка из арболитобетонных камней на «теплом» растворе на основе твердой части бурового шлама	0,35	700	0,14	0,19
3	Плиточный клей	0,005	1800	0,76	0,09
4	Облицовочная керамическая плитка	0,02	1200	0,19	0,03

Теплотехнический расчет наружной стены

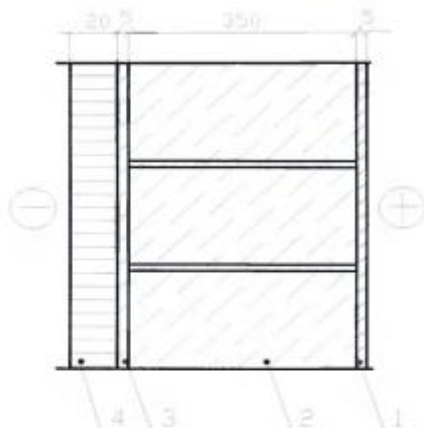


Рисунок Б.1 – Состав конструкции наружной стены

Находим градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) по формуле

$$\text{ГСОП} = (t_n - t_{o.n.}) \cdot Z_{o.n.}$$

где t_n – средняя температура воздуха в помещении, °С;

$t_{o.n.}$ – средняя температура отопительного периода, °С;

$Z_{o.n.}$ – продолжительность отопительного периода, сут.

Для жилого здания, строящегося в г. Актобе:

$$t_n = 20 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad t_{o.n.} = -5,2 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad Z_{o.n.} = 203 \text{ сут.}$$

$$\text{ГСОП} = (20 + 5,2) \cdot 203 = 5116 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут.}$$

Согласно СНиП 23-02 определяем

$$R_0^{*} = 3,19 \frac{\text{M}^2 \cdot \text{C}}{\text{Bm}}$$

В соответствии с требованиями СНиП 23-02 при реализации потребительского подхода минимальное значение сопротивления теплопередаче наружной стены определяем по формуле

$$R_0^{**} = R_0^{*} \cdot 0,63 = 3,19 \cdot 0,63 = 2,0 \frac{\text{M}^2 \cdot \text{C}}{\text{Bm}}$$

Принимаем коэффициент теплотехнической однородности наружной стены $\gamma=0,95$.

Определяем приведенное сопротивление конструкции:

$$R_0^{\text{пр}} = \gamma \left(\frac{1}{\alpha_s} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \frac{1}{\alpha_n} \right) \\ = 0,95 \cdot (1/8,7 + 0,005/0,19 + 0,35/0,14 + 0,005/0,76 + 0,02/0,19 + 1/23) = 0,95 \cdot 2,8 = 2,66 \\ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}$$

Коэффициент теплопередачи для ограждения

$$k = \frac{1}{R_0^{\text{пр}}} = 1/2,66 = 0,376 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

Для проверки условий конденсации влаги на внутренней поверхности ограждения определяем температуру этой поверхности t_s . Для этого вычислим удельный тепловой поток, проходящий через ограждение при температуре наружного воздуха, равной средней температуре наиболее холодной пятидневки $t_{вс}$.

$$q = k(t_n - t_{вс}) = 0,376 \cdot (20 + 30) = 18,8 \text{ Вт/м}^2$$

$$t_s = t_n - \frac{q}{\alpha_s} = 20 - 18,8/8,7 = 17,8 \text{ °C.}$$

Точка росы при $t_n = 20 \text{ °C}$ и $\varphi_n = 55 \%$; $t_p = 10,7 \text{ °C}$;

$$t_s > t_p; \quad 17,8 > 10,7 \text{ °C.}$$

Так как температура точки росы при заданных параметрах внутреннего воздуха меньше температуры внутренней поверхности конструкции, то конденсация влаги маловероятна.

Расчет влажностного режима ограждения

Определяем сопротивление паропроницанию конструкции согласно СНиП 23-02

$$R_{\text{п,о}} = \sum_{i=1}^n R_{\text{п,и}}$$

где n - число слоев ограждения: $n=4$;

$$R_{\text{п,и}} = \frac{\delta_i}{\mu_i}$$

Согласно метода расчета влажностного режима ограждающих конструкций, разработанного авторами настоящего стандарта, определяем значения безразмерных переменных X_i и Y_i на границах слоев по следующим формулам:

$$X_i = \frac{\sum_{j=1}^n R_j}{R_0}; \quad Y_i = \frac{\sum_{j=1}^n R_{0j}}{R_{0n}}$$

где X_i – безразмерное термическое сопротивление строительной конструкции до рассматриваемого сечения;

Y_i – безразмерное сопротивление паропрооницанию строительной конструкции до рассматриваемого сечения.

Сопротивления и безразмерные переменные заносим в таблицу Б.2.

На рисунке Б.2 представлена зависимость безразмерного сопротивления паропрооницанию Y от безразмерного термического сопротивления X для рассматриваемой конструкции. Кривая Y_n характеризует значения безразмерного сопротивления паропрооницанию для состояния полного насыщения влажного воздуха водяным паром.

Таблица Б.2 – Сопротивления и безразмерные переменные

№ п/п	$R_j = \frac{\delta_j}{\lambda_j}, \text{ м}^2\text{°C/Вт}$	$R_{0j} = \frac{\delta_j}{\mu_j}, \text{ м}^2\text{чПа/мг}$	$X_i = \frac{\sum R_x}{R_0}$	$Y_i = \frac{\sum R_{0i}}{R_{0n}}$
1	0,03	0,07	0,0505	0,0253
2	2,50	1,84	0,9445	0,7255
3	0,01	0,06	0,9468	0,7466
4	0,11	0,67	0,9845	1,0

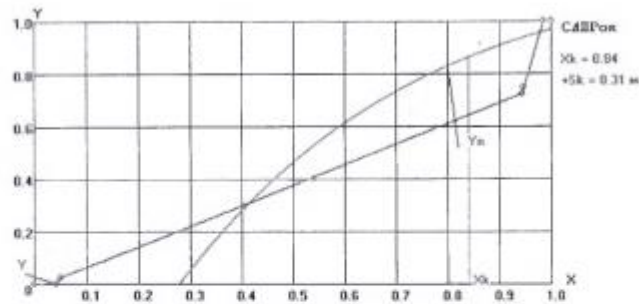


Рисунок Б.2 – Зависимость безразмерного сопротивления паропрооницанию Y от безразмерного термического сопротивления X

Кривая Y_n построена для значений температуры внутреннего воздуха $t_{int} = 20$ °С и относительной влажности $\varphi_{in} = 55$ % и наружного воздуха $t'_{ext} = -13,5$ °С ; $\varphi_{ext} = 84$ %.

$$Y_n = \frac{e_{in} - 10^N}{e_{in} - e_{ext}}$$

$$\text{где } N = 2,125 + \frac{156 + 8,12 \cdot [t_{int} - X(t_{int} - t_{ext})]}{236 + t_{int} - X(t_{int} - t_{ext})}$$

Пересечение линий Y и Y_n определяет область возможной конденсации водяного пара в толще ограждения. Плоскость возможной конденсации соответствует максимальному значению разности величин $Y - Y_n$ внутри этой области.

Так как линии Y и Y_n пересекаются, то имеет место конденсация водяного пара в толще рассматриваемой конструкции, поэтому необходимо выполнить расчет на влагонакопление.

Защита от переувлажнения ограждающих конструкций

Определяем температуру в зоне конденсации для трех периодов года:

а) зимний период $t_1 = t_{ext} - k(t_{in} - t_{ext})R_{\sigma} = 20 - 0,376 \cdot (20 + 10,3) \cdot (2,64) = -10,0$ °С;

б) переходный период $t_2 = t_{ext} - k(t_{in} - t_{ext})R_{\sigma} = 20 - 0,376 \cdot (20 - 0,4) \cdot (2,64) = 0,5$ °С;

в) летний период $t_3 = t_{из} - k(t_{ин} - t_{ест})R_{пр} = 20 - 0,376 \cdot (20 - 15,1) \cdot (2,64) = 15,1 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Определяем значение упругости насыщенного водяного пара E для трех

периодов года по формуле: $E_n = 10^{2,125 + \frac{156 + 8,12 \cdot t_n}{236 + t_n}}$

а) зимний период $E_1 = 260 \text{ Па}$;

б) переходный период $E_2 = 633 \text{ Па}$;

в) летний период $E_3 = 1716 \text{ Па}$.

Определяем упругость водяного пара в плоскости возможной конденсации за годовой период эксплуатации.

$$E = \frac{1}{12} (E_1 Z_1 + E_2 Z_2 + E_3 Z_3), \text{ Па}$$

где Z_1, Z_2, Z_3 – продолжительность, мес., зимнего, весенне-осеннего и летнего периодов, соответственно

$$E = (260 \cdot 4 + 633 \cdot 2 + 1716 \cdot 6) / 12 = 1050 \text{ Па}$$

Определяем фактическое сопротивление паропроницанию ($R_{пр}^c$) части ограждения между наружной поверхностью ограждения и плоскостью возможной конденсации.

$$R_{пр}^c = 2,71 - 1,91 = 0,80 \text{ м}^2\text{чПа/мг}$$

Далее находим требуемое сопротивление паропроницанию из условия недопустимости накопления влаги в ограждении за годовой период эксплуатации:

$$R_{пр}^{треб} = \frac{(e_{ин} - E)R_{пр}^c}{(E - e_{ест})} = (1285 - 1050) \cdot 0,8 / (1050 - 713) = -0,18 \text{ м}^2\text{чПа/мг}$$

где $e_{ин}$ – упругость водяного пара внутреннего воздуха, Па, при расчетной температуре и влажности этого воздуха;

$e_{ест}$ – средняя упругость водяного пара наружного воздуха, Па, за годовой период.

Определяем фактическое сопротивление паропроницанию ($R_{пр}$) части ограждения между внутренней поверхностью ограждения и плоскостью возможной конденсации.

$$R_{\varphi} = 1,91 \text{ м}^2\text{чПа/мг};$$

$$R_{\varphi} > R_{\varphi}^{\text{треб}}; \quad 1,91 > 0,18 \text{ м}^2\text{чПа/мг}.$$

Определяем также требуемое сопротивление паропроницанию из условия ограничения накопления влаги за период с отрицательными температурами

$$R_{\varphi 2}^{\text{треб}} = \frac{2,4Z_0(e_{\text{ин}} - E_0)}{A\gamma_w\delta_w\Delta\omega_w + \eta}, \text{ м}^2\text{чПа/мг},$$

где Z_0 - продолжительность периода влагонакопления, сут., т.е. периода с отрицательными температурами;

$A=1000$ - переводной коэффициент;

γ_w - плотность материала изоляции кг/м^3 ;

δ_w - толщина изоляции, м;

$\Delta\omega_w$ - предельно допустимое приращение расчетного массового отношения влаги в материале, %;

$$\eta = \frac{0,0024(E_0 - e_w^w)Z_0}{R_{\varphi}^{\text{треб}}}$$

Для определения E_0 находим температуру наружной изоляции при средней температуре наружного воздуха

$$t_w = t_{\text{ин}} - k(t_{\text{ин}} - t_a) R_{\varphi} = 20 - 0,376 \cdot (20 + 8,9) \cdot (2,64) = -8,7 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$E_0 = 290 \text{ Па};$$

$$\eta = 0,0024 \cdot (290 - 310) \cdot 149 / 0,8 = -8,94;$$

$$R_{\varphi 2}^{\text{треб}} = 0,0024 \cdot 149 \cdot (1285 - 290) / (700 - 0,35 \cdot 5 - 8,94) = 0,29 \text{ м}^2\text{чПа/мг};$$

$$R_{\varphi} > R_{\varphi 2}^{\text{треб}}; \quad 1,91 > 0,29 \text{ м}^2\text{чПа/мг}.$$

Результаты расчетов влажностного режима ограждения показали, что фактическое сопротивление паропроницанию превышает требуемые значения. Следовательно, можно сделать вывод о нецелесообразности установки дополнительной пароизоляции, так как накопление влаги в период с отрицательными температурами наружного воздуха не происходит.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Перечень используемого оборудования

1. Печь для просушки бурового шлама;
2. Железные противни (специальные емкости для просушки бурового шлама);
3. Шаровая мельница;
4. Набор сит (грохотов) для отсева сухого бурового шлама;
5. Дробилка для растительных отходов;
6. Формы для получения арболитовых блоков;
7. Вибратор или виброплощадка;
8. Весы технические на 100 кг;
9. Бетономешалка на 1м³ полезного объема.

Расходные материалы (на 1м³ блоков при плотности арболитобетона 800 кг/м³)

№ п/п	Наименование	Количество, %
1	Цемент марки 400 - 500	до 15
2	Отход бурого угля	до 5
3	Дробленые растительные отходы (тростник, солома, шелуха, стружки и др.)	до 30