

2009-45

КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВА, ТРАНСПОРТА И АРХИТЕКТУРЫ

ДИССЕРТАЦИОННЫЙ СОВЕТ Д05.07.361

На правах рукописи

УДК 674.048.001:

691.115.674



**Матыева Акбермет Карыбековна**

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАСТИФИКАЦИИ ПОЛУЧЕНИЯ  
АРБОЛИТА НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНО-ГИПСОВОЙ КОМПОЗИЦИИ  
И ПОЛИМЕРСИЛИКАТНЫХ МОДИФИКАТОРОВ**

Специальность 05.23.05 – строительные материалы и изделия

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

Бишкек – 2009

Работа выполнена в Кыргызском государственном университете строительства, транспорта и архитектуры на кафедре «Металлические и полимерные конструкции».

Научный руководитель: Заслуженный работник образования КР, доктор технических наук, профессор Курдюмова В.М.

Официальные оппоненты: академик НИА РК, доктор технических наук, профессор, президент Казахстанской академии менеджмента качества Соловьев В.И.

кандидат технических наук, с.н.с. Маразыкова Б.Б.

Ведущая организация: КыргызНИИПСтроительства

Защита состоится «15» март 2009 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д05.07.361 Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры по адресу: 720020, Бишкек, ул. Малдыбаева, 34, б, ауд. 1/101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры.

Автореферат разослан «9» апрель 2009 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

 Ильченко Л.В.

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Наиболее дефицитными в строительном комплексе Кыргызской Республики являются стеновые и теплоизоляционные материалы. Поэтому развитие производства легкого поризованного арболита на основе РГК (растительно-гипсовые композиции) из местных отходов сельскохозяйственного производства (соломы) и полимерсиликатно-гипсовых вяжущих (ПСГВ) является одним из приоритетных направлений. Существенным недостатком традиционной технологии получения арболита на органическом заполнителе и цементном вяжущем является то, что при смешении частиц органического заполнителя с цементом в процессе его твердения из частиц заполнителя выделяются экстрактивные вещества (сахара, кислоты, дубильные вещества, камеди, фенолы, ихиноны), снижающие прочность цементного камня и прочность его сцепления с поверхностью частиц органического наполнителя. Для локализации этих цементных ядов требуются вымачивание заполнителя и обработка его специальными химическими составами. Поэтому одним из направлений повышения технических свойств арболита может быть использование минеральных вяжущих, невосприимчивых к экстрактивным веществам. К числу таких вяжущих относятся строительные гипсы Г-5, Г-7, ГОСТ 125-79\*.

Основываясь на современных положениях теории дисперсно-наполненных композитов, в части конгломератно-ячеистых структур предложен состав и разработана ресурсосберегающая технология арболита на поризованной полимерсиликатно-гипсовой композиции (ПСГК) с заполнителем из частиц соломы злаковых и добавки древесной стружки.

Введение в композицию пористых органических полимерных пластифицирующих добавок и неорганических - жидкого натриевого стекла дает возможность снизить коэффициент теплопроводности арболита (легкого бетона) до 0,08 Вт/м·К, а также существенно повысить деформативность арболита, что позволяет использовать демпферный эффект и дополнительные внутренние резервы материала в домостроении.

Работа выполнена в рамках «Государственной комплексной программы развития науки, техники и новых технологий в Кыргызской Республике до 2012 года (раздел «Строительство и стройиндустрия»)» и по плановой научно-исследовательской тематике КГУСТА.

**Цель работы.** Разработка принципов получения, состава и технологии бесцементного поризованного арболита с улучшенными техническими свойствами на основе РГК и полимерсиликатных модификаторов.

#### Задачи исследования:

- изучить специфические особенности свойства соломы злаковых и подготовки ее с добавками древесной стружки в качестве заполнителей арболитовой композиции на ПСГВ;

- установить закономерности влияния пластифицирующих добавок на физико-механические свойства арболита;



- оптимизировать состав и свойства поризованного арболита на основе полимерсиликатно-гипсовой композиции (ПСГК) методом математического моделирования;

- выявить особенности структурообразования арболита на основе РГК и полимерсиликатных модификаторов;

- исследовать адгезионное взаимодействие органического заполнителя с полимерсиликатно-гипсовой композицией;

- разработать ресурсосберегающую технологию производства поризованного арболита и изучить его технологические и эксплуатационные свойства;

- осуществить опытно-производственное внедрение результатов исследования и дать технико-экономическую оценку выполненной работе.

**Научная новизна.** Научно обоснована общая закономерность создания нового эффективного конструкционно-теплоизоляционного бесцементного арболита на полимерсиликатно-гипсовой композиции и органозаполнителе из местного сырья с комбинированной пористой структурой материала с заданными свойствами.

- Разработаны составы и способы приготовления поризованной арболитовой смеси на основе РГК и полимерных модификаторов. Новизна составов полимерсиликатно-гипсового вяжущего защищена авторским свидетельством № 1139 кл. С04В 18/00 от 30.01.2009 г.

- Предложен способ комплексной подготовки органозаполнителя путем предварительного смачивания поверхности его жидким натриевым стеклом с полимернопластифицирующей композицией и гипсом, что способствует коагуляции открытых пор в заполнителе, обеспечивает высокие показатели адгезии защитной композиции.

- Установлены оптимальные соотношения латекса и жидкого стекла с учетом выявленного эффекта на поверхности частиц заполнителя, обработанного гипсом.

- Установлен фазовый состав новообразований, возникающих в процессе твердения арболитовой смеси на основе РГК и пластифицирующих модификаторов. Определено, что применение полимерсиликатной композиции для минерализации заполнителя из соломы повышает прочность контакта заполнителя с гипсовым камнем и повышает прочность поризованного арболита (до 6 МПа), морозостойкость (до 50 циклов).

**Достоверность результатов работы** базировалась на теоретических и экспериментальных исследованиях и обоснована использованием современных средств и статистических методов математического моделирования с привлечением вычислительной техники; планирования многофакторного эксперимента; использованием методов физико-химических исследований материалов; а также сопоставлением полученных результатов исследований с опытными данными экспериментальных исследований других авторов.

**Научная и практическая значимость результатов исследований:**

- разработаны новые составы целлюлозосодержащего арболита на основе РГК и полимерсиликатных модификаторов с улучшенными

теплоизоляционными, деформативными и эксплуатационными показателями, обеспечивающими широкое использование отходов сельскохозяйственного производства и промышленности;

- разработана и внедрена ресурсосберегающая технология нового вяжущего и поризованного арболита на его основе на АООТ «Завод ЖБИ-4» КР, заводе ЖБИ «Болот», АО «КАЗДОРНИИ»;

- сокращен расход топливно-энергетических ресурсов за счет замены портландцемента гипсом;

- подготовлены рекомендации и технологические регламенты на производство изделий из целлюлозосодержащего арболита на ПСГВ с улучшенными теплофизическими и деформативными показателями;

- получены новые результаты, устанавливающие основные закономерности процессов структурообразования арболита на основе РГК и полимерсиликатных модификаторов с учетом особенностей строения стеблей соломы;

- на основе термодинамического анализа научно обоснована и подтверждена структура арболита с заданными свойствами, тем самым определена технико-экономическая эффективность выполненных исследований и применение арболита в строительстве в качестве конструкционного теплоизоляционного материала в малоэтажных зданиях. Годовой экономический эффект от выпуска изделий из арболита составляет 719310 сом.;

- Разработаны предложения по расширению сырьевой базы для получения строительных конкурентоспособных изделий из арболита.

**Научные положения и результаты, выносимые на защиту:**

- анализ существующих технологий изготовления органоконкомпозитов из дисперсных частиц растительного сырья;

- научное обоснование и экспериментально доказанная возможность получения поризованного арболита с улучшенными теплоизоляционными и деформативными показателями на основе полимерсиликатно-гипсовой смеси, частиц соломы злаковых и древесной стружки;

- разработанные оптимальные составы и способ приготовления арболитовой смеси на основе ПСГВ и органозаполнителя (соломы и древесной стружки);

- результаты исследований влияния пластифицирующих полимерсиликатных модификаторов на свойства гипсового камня;

- оценка физико-механических свойств арболита на основе ПСГВ;

- термодинамический анализ структуры поризованного арболита на основе РГК и пластифицирующих добавок-модификаторов;

- математические модели построения технологического процесса получения арболита в зависимости от производственных факторов;

- результаты испытаний опытно-промышленной партии арболита и рекомендации по эффективному использованию бесцементного арболита с качестве стенового материала;

- технико-экономическая оценка изготовления и применения арболита в малоэтажном домостроении.



**Личный вклад соискателя.** Автором сформулированы цели и задачи исследований, оформлена заявка за изобретение. Непосредственное участие автора в научно-исследовательских и экспериментальных работах по данной проблеме позволило предложить промышленности энергосберегающую технологию получения нового вида арболита на ПСГВ. С личным участием автора результаты работы внедрены в производство.

**Апробация работы.** Материалы диссертационной работы в докладах и сообщениях обсуждались на следующих международных и региональных научно-технических конференциях и семинарах: на XIII Международном семинаре АТАМ «Строительные и отделочные материалы» (Новосибирск, СИБСТРИН, 2006), на международных научно-технических конференциях: «Интеграция науки, инноваций и образования – основа процветания Кыргызстана» (Секция «Современные композиционные строительные материалы и изделия на их основе». – Бишкек, 2007); «Новые энерго- и ресурсосберегающие наукоемкие технологии с производстве строительных материалов (Пенза, ИУАС, 2007); «Материалы и изделия для ремонта и строительства» (Новосибирск, НГАУ, 2007); «Современные строительные материалы, конструкции и технологии, система менеджмента качества (СМС) серии ISO 9000 на предприятиях» (Новосибирск, Стройсиб, 2008); «Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений, возводимых из местных материалов в Центральной Азии в рамках проекта ДИПЕКО IV «Многосторонний подход к реализации Хиогской программы действий» (Бишкек, ISDR, 2008); Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортно-коммуникационных связей стран СНГ» (Бишкек, 2008). Экспонаты разработок демонстрировались на республиканской выставке (2007-2008 гг.), международной строительной выставке «СТРОЙСИБ-2008». Результаты исследований подтверждены лабораторными и производственными испытаниями.

**Внедрение результатов работы.** Исследования по разработке, созданию и получению нового конструкционно-теплоизоляционного арболита на ПСГВ проведены в промышленных условиях в 2007-2008 гг. на предприятиях стройиндустрии КР: АООТ «Завод ЖБИ-4», Завод ЖБК «Болот», в АО «КАЗДОРНИИ», а также нашли применение в учебном процессе КГУСТА при выполнении курсовых, дипломных проектов и магистерских диссертаций.

Разработана и внедрена работоспособная ресурсосберегающая технология производства арболита из местного сырья. Даны рекомендации по применению поризованного арболита в сейсмостойком строительстве в качестве стеновых блоков. Получен патент на изобретение «Сырьевая смесь для изготовления поризованного арболита и способ ее изготовления» № 1139 кл. С04В 18/00 от 30.01.2009 г.

**Публикации:** Материалы диссертации опубликованы в 9 научных трудах, изобретений – 1.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов и приложений, списка использованной литературы. Текстовая часть изложена на 151 странице. В работе содержится 32

таблицы, 32 рисунка, список литературы насчитывает 153 наименования, в том числе 14 на иностранных языках.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель исследования, отмечены научная новизна, практическое значение и направления реализации научных результатов при получении эффективных изделий из поризованного арболита на основе РГК и полимерсиликатных модификаторов.

Первая глава содержит литературный обзор, включающий в себя анализ состояния получения и применения композиционных строительных материалов для малозэтажного домостроения в странах СНГ и дальнего зарубежья, а также в Кыргызстане в свете климатических и экономических особенностей сейсмоопасного региона.

Большое внимание уделено материалам и изделиям из органического растительного сырья (соломы, древесины, стеблей однолетних растений) – арболиту и другим органокомпозитам. Рассмотрены также теоретические представления по проблемам получения качественных и долговечных стеновых ограждающих конструкций из арболита с применением отходов сельскохозяйственного производства и промышленности. Приведены результаты исследований по совершенствованию интенсификации процессов получения поризованного арболита на гипсовых вяжущих.

Исследованию изделий по проблеме производства арболита и эффективного использования заполнителей из органического сырья на цементных и гипсовых вяжущих посвящены работы отечественных ученых И.А.Рыбьева, Г.А.Бужевича, А.А.Акчабаева, А.С.Щербакова, И.К.Касимова, Г.А.Батырбаева, А.В.Ферронской, М.С.Садуакасова, В.П.Балдина, А.Р.Ахметова, В.П.Разумовского и многих других.

В работах ученых В.М.Хрулева, М.И.Клименко, А.С.Щербакова, А.В.Волженского и других установлено, что гипсовое вяжущее, в отличие от порландцемента, характеризующееся нейтральной реакцией раствора, имеет достаточно хорошую физико-химическую совместимость с органическим заполнителем. Это позволило успешно применять в качестве вяжущего арболита быстротвердеющий строительный гипс.

Использование быстротвердеющего гипса с пластифицирующими добавками позволяет интенсифицировать процесс твердения бесцементного арболита, упростить технологию производства и снизить его стоимость.

Последующие разработки в области создания легкого арболита с повышенными техническими свойствами привели к утверждению, что наиболее целесообразно применять для арболита растительно-гипсовые композиции.

Рассмотрены специфические особенности заполнителя растительного происхождения и их влияние на структурообразование арболитовой смеси. Обоснована роль пластифицирующих модификаторов в составе вяжущих для поризованного арболита на основе гипсовых композиций.



Анализ и обобщение работ предыдущих авторов в области стеновых материалов и изделий из арболита на основе РГК позволили определить приоритетные направления по улучшению качественных показателей бесцементного арболита, заключающихся в разработке ресурсосберегающей технологии изготовления поризованного арболита и введения структурообразующих пластифицирующих полимерсиликатных добавок.

В связи с этим приведено теоретическое обоснование и определены пути реализации для выпуска качественных изделий из поризованного арболита на основе РГК и полимерсиликатных модификаторов.

Вторая глава посвящена описанию исходных материалов и методов исследований. Приведены методологические основы экспериментальных исследований, основой которых является многофакторный эксперимент. Изучены структура и свойства соломы злаковых культур. Приведены применяемые оборудование и приборы. Изложены методы физико-механических испытаний арболита и физико-химических исследований структурного анализа поризованного арболита с применением современной оптической и растровой электронной микроскопии. Приведена методика оценки достоверности результатов эксперимента.

В работе в качестве РГК использовались солома злаковых, произрастающих в Жалалабадской, Чуйской и Иссык-Кульской областях КР, древесная стружка и гипс строительный.

По природному происхождению, морфологической структуре и химическому составу стебли соломы зерновых близки к древесине. Солома пшеницы (*Triticum aestivum*) для производства арболита имеет повышенную прочность по сравнению с другими злаковыми (ячмень, овес, рис и др.), так как она содержит в 1,5-2 раза меньше воска и кремнезема.

Физико-механические свойства соломы пшеницы следующие: прочность при растяжении – 316,2 Н/мм<sup>2</sup>; процент удлинения – 2,41 %; средняя насыпная плотность – 50-60 кг/м<sup>3</sup> (при длине измельченных частиц 20-50 мм).

Заполнитель из соломы не должен иметь видимых признаков гнили и плесени, а также содержать куски грунта, растительного слоя. По объемам производства в КР, физико-механическим свойствам солома пшеницы является подходящим сырьем для производства строительного арболита.

Насыпная плотность древесной стружки хвойных пород по ГОСТ 12780.1-78\* в среднем составляет 100 кг/м<sup>3</sup> при влажности в пределах гигроскопической, пористость 70 %, фракция стружки – 5/20.

В исследованиях был использован быстротвердеющий строительный гипс марки Г-5 и Г-7 АО «Ак-Булан». Начало схватывания 5 минут, конец – 13 мин. Предел прочности на сжатие – 5,2 МПа, на изгиб – 2,8 МПа.

В качестве модификаторов для образования пористой полимерсиликатной системы использовались жидкое стекло (ГОСТ 13078-81) плотностью 1,32 г/см<sup>3</sup>, латекс СКС (ГОСТ 10564-85), смола РМДЖ (ГОСТ 20907). Катализатором смолы РМДЖ принят хлористый аммоний NH<sub>4</sub>Cl. В качестве пластифицирующих добавок при изготовлении арболита приняты подмыльный щелок жирового комбината и пластификатор ЛСТМ-2. В качестве замедлителя

схватывания гипса – триполифосфат натрия (ТПФН). Все компоненты исследовались в лаборатории на соответствие нормативным требованиям.

Физико-механические свойства блоков арболита определялись на образцах-кубах размером 15x15x15 см и 10x10x10 см согласно ГОСТ 18105-85 и ГОСТ 1922-84, морозостойкость по ГОСТ 10060.0-95.

При проведении испытаний использовали разрывные машины МР-05-1, пресс П-125, ПЛС-100, ДРОН-2, лазерный анализатор ЛГ-78 и другие. Физико-химические анализы выполнены с использованием рентгенофазового, ИК-спектроскопического, растрово-электронномикроскопического (РЭМ) методов.

В третьей главе приведены результаты экспериментально-теоретических исследований по интенсификации процессов получения поризованного арболита на основе ПСГВ. Для улучшения качества приготовления и формования арболитовой смеси в сырьевую смесь РГК были введены полимерсиликатные модификаторы (жидкое натриевое стекло, смола РМДЖ), латекс СКС и пластифицирующие компоненты (пластификатор ЛСТМ-2 и подмыльный щелок жирового комбината).

Физико-химические процессы, протекающие в комплексном ПСГВ, основаны на взаимодействии компонентов РГК и модификаторов.

Жидкое натриевое стекло – водорастворимый силикат натрия с характеристикой в эксперименте: содержание сухого вещества после выпаривания 45 %, условная вязкость по ВЗ-4 – 20...25 с, силикатный модуль – 2,0, рН – 10,8.

Полимерно-пластифицирующей добавкой служили полиизоцианатная смола РМДЖ и латекс ЛСТМ-2, представляющий собой водную дисперсию сополимера стирола с бутадиемом, взятых в соотношении 65:35. Латекс имеет концентрацию водородных ионов (показатель рН) – 11,5, размер частиц – 0,15...0,18 мкм, поверхностное натяжение – 36...40 мДж/м<sup>2</sup>, условную вязкость по ВЗ-4 – 11 с.

Присутствие полимеров в арболите даже в небольших количествах улучшает прочностные свойства композитов: повышается адгезия, водо-, морозо- и химическая стойкость. Снижаются хрупкость, жесткость, водопроницаемость, теплопроводность.

В соответствии со вторым законом термодинамики при обжати структурных частиц сырьевой смеси и выдавливании растворителя в твердеющей полимерсиликатно-гипсовой системе появляются микро- и макродефекты, разрыхляющие и поризующие материал. Обработка органического заполнителя полимерсиликатной композицией в последовательности: жидкое стекло, полимеры и пластификаторы способствует активизации физико-химических процессов по механизму взаимодействия полимерсиликатной матрицы с гипсом. Гипс достаточно хорошо кульматирует поры органозаполнителя и обеспечивает высокую адгезионную прочность к полимерсиликатной композиции до 4 МПа. Введение воздухововлекающих и пенообразующих добавок показало, что деформативные свойства поризованного арболита соответствуют нормативам, а пластической усадки практически не происходит из-за набухания наполнителя. Максимальная



величина деформации поризованного арболита достигается при введении в органополимерную композицию щелочного компонента и составляет от +0,45 мм/м до +0,615 мм/м. У образцов, твердеющих в условиях цеха, деформации усадки проявляются более ярко и в возрасте 100 суток составляют от -0,11 мм/м до -0,45 мм/м.

Химическое связывание  $H_2O$  в реакциях образования полимочевин, для выхода углекислого газа и отверждения стекол, обычно не требует дополнительного количества воды в композиции.

Процесс редеформации протекает в две стадии: первая стадия характеризуется быстрым восстановлением 30 % исходной деформации в течение 1-1,5 минут. Это объясняется механической упругостью каркаса из соломы; вторая, медленная стадия восстановления деформации в течение 5-10 минут составляет 5-7 %.

Соотношение полиизоционат – жидкое стекло 1:0,7. Это обеспечивает наиболее полное отверждение ПСГВ, а сформированный арболит образует структуру с размерами ячеек от 0,3 до 1,2 мм с прочными и однородными межпоровыми перегородками.

В эксперименте исследованы составы композиции «солома, полиизоционат – латекс и жидкое стекло, гипс» в масс. частях 43:11:46 и 29:19:52 при средней плотности арболита 350-450 кг/м<sup>3</sup>.

Для первого соотношения компонентов прочность при сжатии составила 0,9-4,8 МПа, при изгибе – 1,6-4 МПа, сорбционное увлажнение за 24 ч – 0,8-2,4 %; для второго – прочность при сжатии – 2,7-6,8 МПа, при изгибе – 2,9-4,2 МПа, сорбционное увлажнение 0,7-2,2 %.

Объем вовлеченного в смесь воздуха, образующегося за счет пластифицирующих добавок, регулирующих пористость арболитовой смеси, не превышает 25 %. Средний расход воздухововлекающей добавки составлял 0,2-0,3 % от массы гипса. Учитывая термокаталитический способ отверждения полимерной модифицирующей добавки с содержанием олигомеров и изомеров высокой функциональной прочности адгезии, позволило регулировать структуру и свойства арболита.

По данным эксперимента и анализа полученных данных определены составы арболита на ПСГВ (табл. 1).

Для определения фазового состава продуктов гидратации были проведены рентгенографические исследования продуктов гидратации ПСГВ композиций 28-суточного твердения. Установлено, что максимальная влажность арболита на модифицированном гипсовом вяжущем не должна превышать 8 % из-за развития значительных деформаций ползучести, а максимально допустимая влажность композита при нормальной эксплуатации зданий – 3-4 %.

Для исследования поровой структуры затвердевшего камня были определены открытая и общая пористость. Общая пористость составила 64-66 %, открытая – 55-57 %. При плотности арболита 350-400 кг/м<sup>3</sup> морозостойкость до 50 циклов, средняя подвижность формовочной смеси 140-153 мм,  $K_{р,им} = 0,3-0,36$ . Твердение ПСГВ происходит по коагуляционному типу с переходом на

конденсационный, обеспечивающий прочность и жесткость поризованного арболита.

Таблица 1

Составы арболита на ПСГВ

Марка арболита по прочности при сжатии	Средний расход материалов на 1 м <sup>2</sup> арболита						Средняя плотность арболита, кг/м <sup>3</sup>
	вяжущее, кг	органический наполнитель, м <sup>3</sup>	полимер-силикатные добавки, кг	катализатор, кг	ТДФН, кг	вода, л	
M5	200	1,3	7	0,2	0,02	120	350
M10	250	1,3	7,5	0,25	0,03	140	400
M15	270	1,3	8	0,27	0,04	150	500

Четвертая глава посвящена разработке составов, технологии и исследованию свойств и структуры поризованного арболита на основе РК и полимерсиликатных модификаторов. Оптимизация состава и свойств поризованного арболита проводилась с помощью математико-статистического моделирования. Исходными факторами выбраны три, варьируемых в эксперименте:  $X_1$  – содержание гипса, %;  $X_2$  – сечка соломы, %;  $X_3$  – полимерсиликатная композиция, %. Параметрами оптимизации служили прочность образцов на сжатие  $R_{сж}^{28}(Y_1)$ , МПа; прочность на изгиб –  $R_{изг}^{28}(Y_2)$ , МПа; плотность образцов –  $\rho(Y_3)$ , кг/м<sup>3</sup>. Критерием оптимизации была выбрана плотность  $\rho(Y_3) \leq 350$  кг/м<sup>3</sup>.

По результатам трехфакторного эксперимента были рассчитаны математические модели свойств арболита всеми оценками значимости коэффициентов (1, 2, 3) и построены их графические образы.

$$Y_1(R_{сж}^{28}) = 1,5 + 0,22x_1 + 0,34x_1^2 + 0,25x_1x_3 + 0,17x_2 + 0,39x_2^2 + 0,05x_1x_3 + 0,32x_3 - 0,06x_3^2 \quad (1)$$

$$Y_2(R_{изг}^{28}) = 1,91 + 0,41x_1 + 0,34x_1^2 + 0,03x_1x_2 + 0,05x_1x_3 + 0,39x_2 + 0,44x_2^2 + 0,2x_2x_3 + 0,5x_3 + 0,19x_3^2 \quad (2)$$

$$Y_3(\rho) = 349,8 + 13,6x_1 + 14,4x_1^2 + 1,4x_1x_2 - 0,4x_1x_3 + 15,3x_2 + 15,9x_2^2 - 0,4x_2x_3 + 1,5x_3 + 9,9x_3^2 \quad (3)$$

Результаты статистической обработки уравнений регрессии (1, 2, 3) и анализ их графических образов позволили сделать вывод о том, что оптимальная область содержания сечки соломы 24-27 %; содержание гипса – 40-42 % и полимерсиликатной композиции 8-11 %.

Исследовано влияние дисперсности органического наполнителя на формирование и прочность ПСГВ. Установлено, что основными структурными элементами арболита можно считать сечку соломы, характеризуемую линейными размерами, и пластифицирующие добавки – клеевое вещество,



смоле PMDJ + жидкое натриевое стекло, характеризующееся процентным содержанием в пресс-композиции и толщиной клеевого слоя.

Полученная рациональная длина сечки соломы в данной работе  $l=40...50$  мм и удельной поверхности  $S_{\text{сеч}} \approx 180-231$  см<sup>2</sup>/г с процентным содержанием PMDJ 0,12 г/см<sup>3</sup>, при толщине клеевой прослойки 9...11 мкм и жидкого натриевого стекла. Нами получены прочностные характеристики, равные аналогам (цементный арболит), при минимальном расходе полимерсиликатно-пластифицирующих добавок. Показатели адгезионной прочности на карбамидной смоле ниже в 1,7 раза, чем при использовании полимерсиликатных добавок (ПСД).

Термодинамическими величинами, характеризующими контактирование фаз, участвующих в смачивании заполнителя, являются поверхностные натяжения на границе раздела фаз (Ж, Т и Г). Для повышения сцепления сечки соломы с ПСД наиболее эффективным оказывается введение модификаторов. Средняя адгезионная прочность образцов, полученная в эксперименте, составила 2-4 МПа. Физико-механические свойства поризованного арболита приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства поризованного арболита различного состава

№ состава	Расход заполнителя солома /древесная стружка, кг/м <sup>3</sup>	Гипс строительный, кг/м <sup>3</sup>	Добавки PMDJ+ жидкое стекло, кг/м <sup>3</sup>	ЛСТМ+ латекс, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	$\lambda$ , Вт/м·К
1	130/2,5	200	7,2	0,3	350	1,4-2,3	0,07
2	130/2,5	220	7,0	0,4	370	1,6-2,4	0,08
3	170/3,4	250	8,5	0,45	400	1,9-3,5	0,09
4	170/3,6	270	8,5	0,45	450	2,2-4,8	0,09

По морозостойкости поризованный арболит из разработанных составов относится к марке Мрз 30—50. Поризованный арболит характеризуется как негорючий, отличается хорошей гвоздистостью. При термической обработке образцов при  $t=100$  °С и продолжительности выдержки в течение 10 суток уменьшается водопоглощение на 6 % без существенной потери прочности по причине снижения адсорбции оных свойств в целлюлозе при нагревании.

По результатам исследований предложен способ получения сырьевой смеси для бесцементного арболита и технологические регламенты его производства. Основные технологические операции включают измельчение соломы, введение 2-4 % древесной стружки, смачивание органического заполнителя полимерсиликатными модификаторами, подачу гипса с затворителем, смешение заполнителя с ПСГВ, формование блоков, расплубливание и выдержку изделий в помещении склада 24 часа. Технология изготовления арболита приведена на рис. 1.

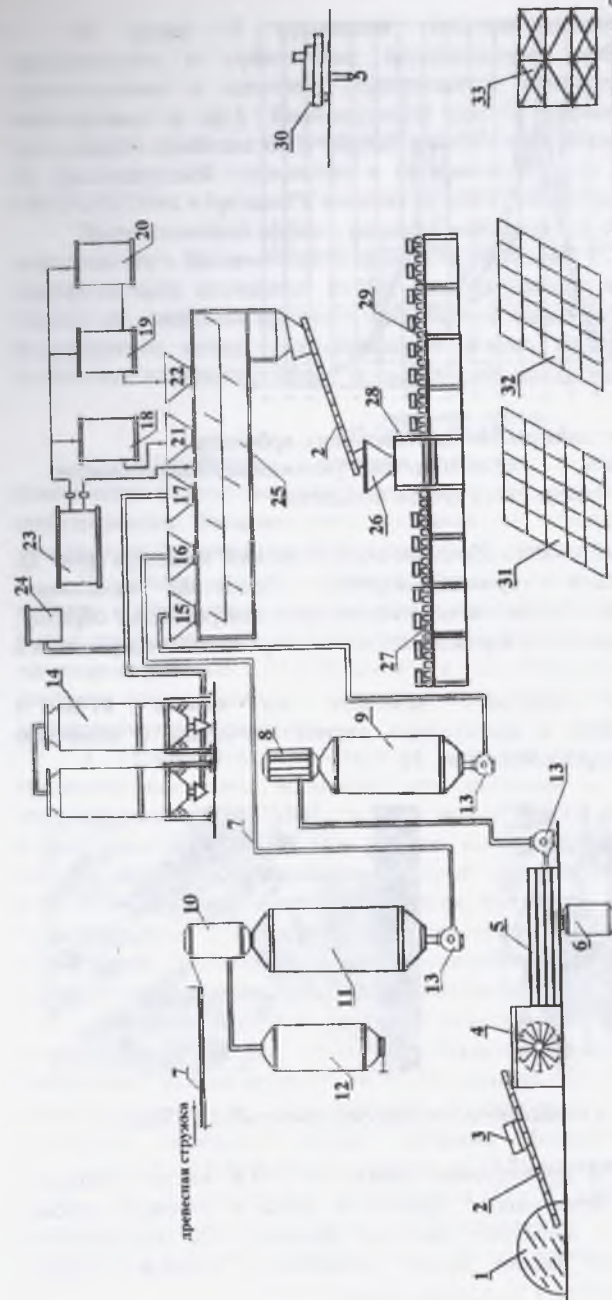


Рис. 1. Технологическая схема получения сырьевой смеси для поризованного арболита: 1 — склад соломы; 2 — транспортер; 3 — металлоискатель; 4 — соломопульт; 5 — соломоотраза; 6 — бункер некондиционных частиц; 7 — пневмотранспорт; 8 — циклон-сепаратор частиц соломы; 9 — бункер частиц соломы; 10 — циклон-сепаратор древесной стружки; 11 — бункер древесных частиц; 12 — бункер стружки мелкой фракции; 13 — вентилятор; 14 — емкость для хранения гипса; 15, 16, 17 — дозаторы заполнителя и гипса; 18 — емкость натриевого жидкого стекла; 19 — емкость для хранения гипса; 20 — емкость пластификаторов; 21, 22 — дозаторы PMDJ и пластификаторов; 23 — вода; 24 — емкость для ТПФН; 25 — смеситель ПСГВ С-773; 26 — бункер-дозатор; 27 — подающий рольганг форм; 28 — виброавтомат СМ-162А для формирования блоков; 29 — рольганг; 30 — кран-балка; 31 — участок для выдержки блоков; 32 — участок для расплублики; 33 — склад готовой продукции



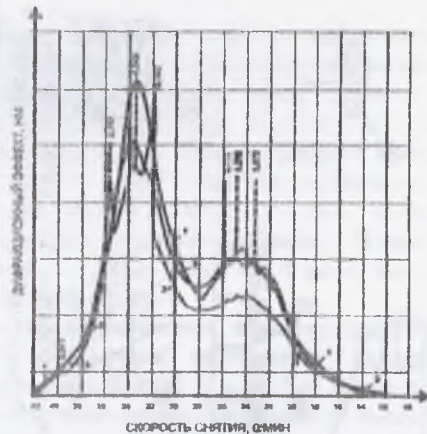


Рис. 2. Рентгенограмма поризованного арболита:

- 1 – контрольный образец; 2 – после 30 циклов увлажнения-высушивания;  
3 – после 28-суточной обработки

Рентгеноструктурный анализ образцов поризованного арболита (рис. 2), подвергнутых циклической термовлажностной обработке, показывает уменьшение дифракционных эффектов по отношению к контрольному образцу; отсутствие новых эффектов после термовлажностной обработки и нагревания в термошкафу.

Контактная зона структуры арболита на основе РКГ и полимерсиликатных добавок и флуктуация частиц изучались с помощью растровой электронной микроскопии (рис. 3).

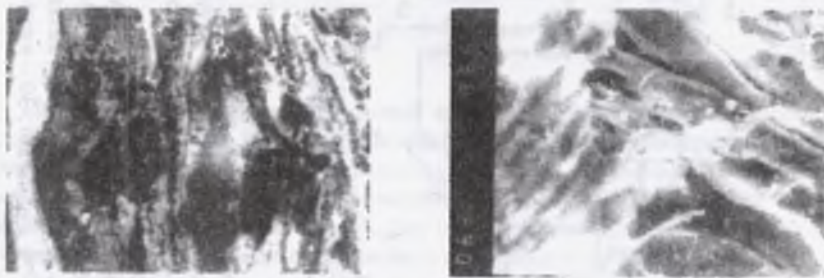


Рис. 3. Поверхности «излома» образцов бесцементного арболита

По результатам РЭМ арболитовые блоки на ПСГВ имеют каркасно-волоконистую структуру, содержащую трубчатые поры в отрезках соломы цилиндрической формы, а древесные частицы фракции 5/20 обеспечивают равномерную флуктуацию частиц между элементами каркаса. Средняя пористость каркаса составляет 64 %, а капиллярная – 19 %.

В главе 5 приведена технико-экономическая эффективность производства и применения поризованного арболита в малоэтажном домостроении в качестве ограждающих конструкций (стеновые блоки, перегородки и др.). Рациональный состав сырьевой смеси и основные технические свойства полученных арболитовых блоков (размер 20x20x40 см) по предложенной технологии в производственных условиях соответствуют ГОСТ 19222-84 «Арболит и изделия из него. Общие технические требования».

Экономический эффект, по расчетным данным, при выпуске в год 1000 м<sup>3</sup> поризованного бесцементного арболита на основе РКГ и полимерсиликатных модификаторов составляет 719310 сом. В расчете не учтены экологический эффект от снижения вредного воздействия сельскохозяйственных отходов на окружающую среду, высвобождение земель из-под отвалов и свалок и вовлечение их в производство новых строительных материалов.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработаны впервые составы полимерсиликатно-гипсовой композиции и способы приготовления из нее сырьевой смеси для получения поризованного бесцементного арболита на основе целлюлозосодержащего заполнителя (соломы злаковых и древесной стружки).

2. Создан новый конструктивно-теплоизоляционный поризованный арболит с комбинированной пористой структурой материала из растительного сырья, характеризующийся плотность 350-450 кг/м<sup>3</sup>, прочностью 1,3-6,0 МПа, теплопроводностью 0,07-0,09 Вт/м·К и удовлетворяющий законам прочности, створа и конгруэнции при использовании его в качестве стеновых блоков в малоэтажном домостроении.

3. Установлено, что создание пористой структуры полимерсиликатно-гипсового вяжущего возможно при введении в его состав полимерной изоцианатной смолы PMDJ с молекулярной массой 1050-1020, жидкого стекла и пластификатора ЛСТМ. При реакции полиизоцианатов с жидким натриевым стеклом образуются полимерсиликатные системы. Присоединение изоцианата к силикату протекает в несколько этапов, на границе раздела фаз «кремнегель – полиизоцианат» с выходом в качестве продукта реакций углекислого газа и водостойких полимочевин. Выделяющийся углекислый газ способствует вспениванию полимерсиликатной композиции.

4. Установлено, что гипсовое вяжущее в сочетании со смолой PMDJ взаимно упрочняют друг друга. Гипс связывает свободную воду смолы, снижая деформации усадки арболита от +0,45 мм/м до +0,615 мм/м, а смола, заполняя межкристаллическое пространство, способствует образованию прочной структуры гипсового камня, повышая физико-механические свойства: прочность до 6 МПа, водопоглощение до 28 % по массе и морозостойкость Мрз 30-50, что соответствует требованиям ГОСТ 19222-84. Наличие жидких коагуляционных контактов и их отверждение в композите в процессе формирования изделий затормаживает процесс редеформации упругой смеси на ПСГВ.



5. Определено, что обработка поверхностей частиц заполнителя полимерсиликатными модификаторами значительно улучшает условия гидратации гипса, что подтверждается рентгенографическими анализами. Исследование кинетики твердения поризованного арболита при длительном хранении показало увеличение его прочности на 10-12 %, а ползучесть в экстремальных условиях практически равна ползучести цементного арболита. Арболит на основе ПСГВ характеризуется более интенсивным набором прочности в ранние сроки твердения, что приводит к сокращению времени до распалубки изделий и сокращению парка форм.

6. Методами математико-статистического моделирования определены оптимальный состав сырьевой смеси ПСГВ и рациональная область построения технологического процесса получения арболита, обеспечивающая повышенные физико-механические характеристики изделий. Содержание гипса составляет 40-42 %, соломы – 24-27 %, древесной стружки – 2-4 %, полимерсиликатных модификаторов-добавок – 8-11 %.

7. На основании термодинамического анализа структуры поризованного арболита установлено влияние дисперсности органического заполнителя на формирование и прочность арболита. Надежность сцепления частиц заполнителя обеспечивает адгезионное взаимодействие на границе раздела фаз Ж, Т и Г, при этом величина адгезионной прочности составляет 2-4 МПа. Адгезия гипса к заполнителю и прочность арболита на сжатие выше в 1,5 раза у образцов с заполнителем, поверхность которого модифицирована полимерсиликатными добавками.

8. Установлено влияние температурно-влажностных факторов на технические свойства арболита. Построены диаграммы циклических испытаний, ИК-спектры, рентгенограммы, подтверждающие достаточную стойкость арболита, модифицированного полимерсиликатными добавками. В результате коэффициент стойкости его через 30-50 циклов водонасыщения и высушивания равен 0,66-0,68. Морозостойкость арболита на основе ПСГВ Мрз 30-50 соответствует требованиям ГОСТ 19222-84\*.

Коэффициент теплопроводности поризованного арболита на ПСГВ равен 0,07-0,09 Вт/м·К, что ниже нормируемого для цементного арболита аналогичной плотности на 9 %. Сорбционная влажность равна 5-6 %, что на 30 % ниже регламентируемого в СНиП II-3-79\* для цементного арболита.

9. Методом фрактографического анализа «излома» и «среза» образцов арболита с применением растровой электронной микроскопии (РЭМ) получены микрофотографии, дана оценка структурных параметров флуктуации модифицированных частиц заполнителя пластификаторами и обоснованы основные положения особенностей структурообразования поризованного арболита с учетом дисперсности частиц заполнителя из соломы.

10. Разработаны впервые ресурсосберегающая технология приготовления сырьевой смеси с полимерсиликатными добавками и технология производства поризованного арболита на ПСГВ улучшенной структуры на основе РГК.

По результатам научных разработок в производственных условиях АООТ «ЖБИ-4» выпущена опытная партия поризованного арболита из растительного

сырья на ПСГВ. Качество полученных изделий (блоков) соответствует по прочности классам В 0,5 – В 1,0. Расчетный экономический эффект от выпуска поризованного бесцементного арболита на основе РГК и полимерсиликатных модификаторов при наименьшей мощности цеха 1000 м<sup>3</sup> арболитовых блоков в год составляет 719310 сом.

**Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Матыева А.К. Развитие концепции получения арболита на основе целлюлозосодержащего сырья // Проблемы проектирования в строительстве: Межд. сб. науч. тр. – Вып. 17. – Бишкек: КГУСТА, 2004. – С.54-60.
2. Тентиев Ж.Т., Матыева А.К., Суворова Е.С. Особенности формирования структуры композиционных материалов для строительства из местного сырья // Вестник ВКГУ. – Усть-Каменогорск, 2005. – С.4-10.
3. Курдюмова В.М., Матыева А.К. Влияние пластифицирующих добавок на технические свойства целлюлозосодержащего арболита // Вестник КазАТК. – Вып. 4(47). – Алматы, 2007. – С.127-131.
4. Курдюмова В.М., Матыева А.К., Суворова Е.С. Стеновые изделия из органокомпонитов для сейсмостойкого строительства // Вестник КГУСТА. – Вып. 2(16). – Бишкек, 2007. – С. 142-147.
5. Матыева А.К. Пути повышения прочности целлюлозосодержащего арболита и интенсификация процесса его твердения // Наука и новые технологии. - № 3-4. – Бишкек, 2007. – С. 199-202.
6. Матыева А.К. Поризованный арболит на комплексном полимерсиликатно-гипсовой композиции // Известия вузов. № 1-2. – Бишкек, 2007. – С. 274-277.
7. Курдюмова В.М., Суворова Е.С., Матыева А.К. Характер изменения прочностных свойств поризованных органокомпонитов во времени с дисперсной фазой из растительного сырья // Прогрессивные материалы и технологии в строительстве. – Новосибирск: РАЕН, 2007-2008. – С.61-65.
8. Матыева А.К. Оптимизация состава и свойств поризованного арболита на основе местного сырья для сейсмостойкого строительства // Вестник КГУСТА. – Вып. 3(21). – Бишкек, 2008. – С.28-35.
9. Матыева А.К. Особенности получения арболита на основе растительно-гипсовой композиции, модифицированной полимерсиликатными добавками // Использование отходов местного сырья для производства строительных материалов и изделий: Межд. сб.– Новосибирск: РАЕН, 2008. – С.75-80.
10. Матыева А.К., Курдюмова В.М., Ильченко Л.В. Изобретение № 1139. Сырьевая смесь для изготовления поризованного арболита и способ ее изготовления. С04В 28/00. – Бишкек, 2009. – 12 с.



## РЕЗЮМЕ

**Матыева Акбермет Карыбековна**

**Өсүмдүк гипсинин композициясынын негизинде жана полимерсиликаттык модификаторлорду интенсификациялап талдоо аркылуу жалпак түрүндөгү арболитти алуу.**

Техника илимдердин кандидатынын илимдик даражасына изилденүү диссертациясы.

Кесиби 05.23.05 – курулуш материалдары жана буюмдары

**Негизги сөздөр:** көндөйлүү арболит, өсүмдүк гипсинин композициясы (ӨГК) гидратация, полимер силикаттык гипс жыйнактыгы (ПСГЖ), редеформация (форманын өзгөрүлбөөсү), адгезия, адсорбция, негизги түзүлүшү, пластификация, PMDJ чайыры, модификаторлор.

Өсүмдүк гипсинин композициясынын негизинде цементсиз арболитти өндүрүү үчүн полимер силикаттык модификатор менен сырёлук аралашманы алууда ресурсту сактоочу технология иштелип чыккан. Сырёлук аралашмага полимерпластификацияланган кошулмаларды киргизүүнүн эсебинен структуралык пайда болуу процесси интенсификацияланган.

Сырёлук аралашманын көндөйлөшкөн арболит жана ага берилген касиеттердин жаңы түзүлүшү биринчи жолу оптимизациялаган. Органикалык толтургучту полимерсиликаттык түзүлүшү менен минерализациялоо гипстин катып калуусуна жана анын контактык зонасын бекемдөөгө көмөктөшөт. Физика-химиялык изилдөөлөрдүн ыкмалары аркылуу РЭМде арболиттеги рационалдык флуктуация бөлүкчөлөрү аныкталган. Цементсиз арболитти алуу үчүн технологиялык регламенттер иштелип чыккан. Аз кабаттуу үйлөрдү курууда колдонуу үчүн өндүрүштүк шарттарда жылуулук арболити алынган.

## РЕЗЮМЕ

**Матыева Акбермет Карыбековна**

**Интенсификация процесса пластификации получения арболита на основе растительно-гипсовой композиции и полимерсиликатных модификаторов.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Специальность 05.23.05 – строительные материалы и изделия

**Ключевые слова:** арболит, поризованный, растительно-гипсовая композиция (РГК), гидратация, полимерсиликатно-гипсовое вяжущее (ПГСВ), редеформация, адгезия, адсорбция, структурообразование, пластификация, смола PMDJ, модификаторы.

Разработана ресурсосберегающая технология получения сырьевой смеси с полимерсиликатными модификаторами для производства поризованного бесцементного арболита на основе РГК. Интенсифицирован процесс структурообразования за счет введения в сырьевую смесь полимерпластифицирующих добавок.

структурообразования за счет введения в сырьевую смесь полимерпластифицирующих добавок.

Оптимизирован впервые новый состав сырьевой смеси поризованного арболита с заданными свойствами. Разработана математическая модель для управления технологическими процессами. Минерализация органического заполнителя полимерсиликатным составом способствует упрочнению контактной зоны с продуктами твердения гипса. Методами физико-химических исследований в РЭМ подтверждена рациональная флуктуация частиц в арболите. Разработаны технологические регламенты для получения бесцементного арболита. В производственных условиях получен теплоизоляционный арболит для применения в малоэтажном домостроении.

## THE RESUME

Matyeva Akbermet Karybekovna

**An intensification of plasticization process for sawdust concrete reception on the basis of a vegetable gypsies composition and polymer silicate modifiers.**

The dissertation for completion of the Candidate of Technical Sciences degree.

Specialty 05.23.05 – building materials and articles

**Keywords:** sawdust concrete, porous, Vegetable Gypsies Composition (VGC), hydration, Polymer Silicate Gypsies Astrigent (PSGA), re-deformation, adhesion, adsorption, structurization, plasticization, tar PMDJ, modifiers.

The resource-saving technology has been developed to acquire of raw material mix with polymer silicate modifiers for manufacture of porous uncemented sawdust concrete on the basis of VGC. The structurization process has been intensified at the expense of adding to raw material mix of polymer plasticization admixtures.

The first time a new structure of raw material mix of porous sawdust concrete with the given properties was optimized. The mathematical model for technological processes management was developed. The mineralization of organic filler with polymer silicate components is promoted for strengthening a contact zone with products of hardening gypsies. A rational fluctuation particle in sawdust concrete has been confirmed by the methods of physical and chemical researches in REM. The technological regulations have been developed to acquire an uncemented sawdust concrete. In industrial conditions a heat-insulated sawdust concrete have been acquired for use in low-rise building construction.

Редактор С.Е.Аксененко

Подписано в печать 06.04.2009

Формат 60x84 1/16. Объем 0,9 уч.-изд. л., 1 усл.-печ.л.

Печать офсетная. Бумага офсетная.

Тираж 100 экз. Заказ 970

Кыргызский государственный университет  
строительства, транспорта и архитектуры