

02.00.04 - 002

На правах рукописи

V

КОБУЛИЕВ
Зайналобудин Валиевич

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ
ОСНОВЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОГО
И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

02.00.04 – Физическая химия
01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Душанбе – 2007 г.

46-50
86

Работа выполнена на кафедрах «Безопасность жизнедеятельности и экология» и «Теплотехника и теплотехническое оборудование» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими Министерства образования Республики Таджикистан.

- Научный консультант:** доктор технических наук, профессор
Сафаров Махмадали Махмадиевич
- Официальные оппоненты:** Заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор
Рудобашта Станислав Павлович
- Доктор технических наук, профессор
Азизов Бозорали
- Доктор химических наук,
старший научный сотрудник
Усманов Рахматжон
- Ведущая организация:** Казанский государственный технический университет имени А.Н.Туполева,
кафедра общей химии и экологии

Защита диссертации состоится "25" апреля 2007 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 047.003.01 при Институте химии им. В.И.Никитина АН Республики Таджикистан по адресу: 734063, г. Душанбе-63, ул. Айни, 299/2.
E-mail: gulchera@list.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института химии им. В.И.Никитина АН Республики Таджикистан

Автореферат разослан "20" марта 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат химических наук *Касымов* Касымов Г.Ф.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Вопросы использования отходов производства, экономики материалов и совершенствования конструкций в строительстве становятся в настоящее время, при переходе ряда стран СНГ на рыночные отношения, особенно актуальными. Интерес к проблеме утилизации отходов в определенной степени вызван истощением отдельных видов сырьевых ресурсов и раскрытием возможностей получения продукции из вторичных ресурсов с меньшими издержками производства, но достаточно приемлемого качества.

В Республике Таджикистан доминирующим среди сельскохозяйственных отходов являются стебли хлопчатника (гуза-паи); их объем ежегодно составляет свыше 0,5 млн. тонн. Часть стеблей хлопчатника, как и другие сельскохозяйственные отходы, используется местными жителями в качестве топлива, а другая – не находит в настоящее время должного применения. Несмотря на сокращение посевных площадей сельскохозяйственных угодий, вопросы использования их отходов остаются открытыми.

Многочисленными исследованиями установлено, что одним из путей рационального использования сельскохозяйственных отходов является применение их в качестве теплоизоляционного и теплоизоляционно-конструкционного строительного материала; в большинстве случаев это касается малоэтажного и, особенно, сельского строительства. При этом в качестве связующих можно использовать минеральные и органические вяжущие вещества.

В проведенных ранее исследованиях по данной проблеме, в основном, решены задачи получения подобных материалов. Однако в настоящее время в необходимом объеме отсутствуют исследования физико-химических, физико-технических, в т.ч. и гигротехнических свойств сельскохозяйственных отходов, особенно стеблей хлопчатника и материалов на их основе, и крайне мало изучены эксплуатационно-технические свойства конструкций с использованием этих материалов, что затрудняет прогнозирование долговременной сохранности и, соответственно, обеспечение теплового комфорта жилых домов в резкоконтинентальных климатических условиях Республики Таджикистан.

В связи с этим, в диссертационной работе сделана попытка рассмотреть с единых теоретических позиций и экспериментально подтвердить целесообразность получения и применения материалов на основе растительно-вяжущей композиции (РВК), исследуя физико-химические основы их структурообразования и физико-технические, в том числе и теплофизические свойства.

Диссертационная работа выполнена:

- в соответствии с «Концепцией развития топливно-энергетического комплекса Республики Таджикистан на период 2003-2015 годы», утвержденной Постановлением Правительства Республики Таджикистан № 318 от 03 августа 2002 года;

- по плану координации научно-исследовательских работ в области естественных наук Академии наук Республики Таджикистан.

Цель работы заключается в разработке технологических основ получения энерго- и ресурсосберегающих материалов и конструкций на основе РВК путем

физико-химических исследований процессов их структурообразования и теплофизических свойств.

Поставленная цель исследований достигается решением следующих задач:

- анализ особенностей климата Таджикистана и условий, вызывающих перегрев помещений в летний период и изучение конструкций стен на основе местных материалов, применяемых в малоэтажном строительстве;
- определение физико-химических и физико-технических, в том числе теплофизических свойств растительного сырья – гуза-паи рыхлой структуры;
- экспериментальные исследования физико-химических, физико-технических, в т.ч. и теплофизических свойств строительных материалов на основе растительно-вяжущей композиции;
- проведение рентгенофазового анализа твердения композиционной смеси на основе минерального и растительного сырья;
- выяснение физико-химических механизмов структурообразования материалов на основе растительно-вяжущей композиции;
- исследование коррозионной стойкости стальной арматуры в ингибированных смесях на основе РВК;
- экспериментальное исследование температурно-влажностного режима панелей наружных стен малоэтажных зданий с теплоизоляцией на основе РВК;
- разработка методики экспериментальной оценки теплоинерционных свойств панелей наружных стен малоэтажных зданий с теплоизоляцией на основе РВК;
- проведение технико-экономического анализа конструкций наружных стен с использованием теплоизоляции на основе РВК из гуза-паи.

Научная новизна. На основе исследований физико-химических свойств процессов структурообразования и теплофизических свойств РВК с использованием стеблей хлопчатника, впервые разработаны и получены энерго- и ресурсосберегающие строительные материалы:

- выяснены механизмы структурообразования РВК и научно обоснована возможность получения РВК из гуза-паи и безобжиговых вяжущих на основе исследований физико-химических процессов гидратации РВК;
- установлены основные закономерности процессов структурообразования материалов на основе минерального сырья и стеблей хлопчатника в зависимости от структурно-механических факторов с учетом особенностей их строения и химического состава;
- получены аппроксимационные зависимости, определяющие коэффициент теплопроводности материалов на основе РВК в зависимости от влажности и структуры волокнистости;
- предложен аналитический метод расчета теплофизических характеристик материалов на основе растительно-комбинированно-вяжущих композитов (РКВК) - стеблей хлопчатника (гуза-паи), гипса и грунта (гипсо-грунто-гуза-паитового теплоизоляционного материала – ГГТМ), в зависимости от соотношения его компонентов;
- разработана математическая модель передачи тепла при гармонически изменяющихся внешних и внутренних факторах, а также методика определения

теплоинерционных свойств конструкции из материалов на основе РВК;

- на основе комплекса экспериментально-теоретических исследований и технико-экономического анализа для условий Республики Таджикистан обоснована целесообразность замены однослойных керамзитобетонных панелей на панели с утеплителем из ГГТМ.

Практическая ценность работы:

- разработан технологический процесс получения теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных строительных материалов, позволяющий прогнозировать качество нового материала при различных изменениях его физико-химических и физико-технических свойств, а также технологических факторов производства;
- получены экспериментальные значения теплопроводности органически рыхлых и органически связанных материалов на основе РВК, которые пополняют банк данных по теплопроводности материалов;
- разработаны рекомендации по применению РКВК - ГГТМ в наружных стенах малоэтажных зданий;
- дополнен банк термодинамических величин химических соединений;
- на основе комплекса экспериментально-теоретических исследований и технико-экономического анализа для условий Республики Таджикистан обоснована целесообразность замены однослойных керамзитобетонных панелей на панели с утеплителем из ГГТМ; экономический эффект на 1 м² глухой части панели составил 3,70 у.е.

Результаты исследований апробированы и внедрены:

- в Центральном научно-исследовательском институте экспериментального проектирования жилища (ООО «ЦНИИЭП жилища», г.Москва), в нормативных документах, как справочные материалы и при составлении методики расчета температурно-влажностного режима материалов и конструкций;
 - в Академии архитектуры и строительства Республики Таджикистан – в инженерно-физических расчетах по проектированию ограждающих конструкций жилых зданий;
 - в ОАО «Монолитстрой» Республики Таджикистан – при производстве строительных теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных материалов, а также конструкций на их основе для малоэтажного жилищного строительства;
 - в Таджикском техническом университете имени академика М.С.Осими Министерства образования Республики Таджикистан при разработке комплексного модуля НИР по новым материалам, конструкциям и технологиям.
- Некоторые результаты исследований, представленные в диссертации, нашли также отражение в научно-технических отчетах НИР, выполненных в 1987-1989 гг. в ЦНИИЭПЖилища совместно с Таджикагропромстроем (№ 2 – 4481) «Исследование теплофизических свойств ограждающих конструкций малоэтажных жилых зданий с применением теплоизоляции на основе стеблей хлопчатника» (№ гос. рег. 01.88.0012801, 1989 г., г.Москва), а также в Таджикском политехническом институте (Таджикском техническом университете имени академика М.С.Осими) «Разработка и внедрение эффективных строительных материалов из

местных видов сырья», части I и II (№ гос.рег.01.88.0019109, 1988, 1989 гг., г. Душанбе).

Основные положения, выносимые на защиту:

- результаты экспериментальных исследований физико-химических и физико-технических свойств гуза-паи рыхлой структуры и других сельскохозяйственных отходов, а также строительных материалов на их основе;
- результаты исследования ингибирующих свойств арболитовой смеси и ее влияния на коррозионную стойкость стальной арматуры;
- результаты рентгенофазового анализа процесса кристаллизации арболита в воде и в присутствии водорастворимых веществ в различные сроки гидратации и твердения;
- технология получения арболита на основе гуза-паи;
- методы определения теплоинерционных свойств конструкций на основе РВК при перегреве и охлаждении, а также усовершенствованный метод расчета их теплоустойчивости;
- методика расчета рационального состава материалов на основе РВК, в частности ГГТМ по соотношениям составляющих компонентов;
- предложения по применению ГГТМ в наружных стенах малоэтажных жилых зданий;
- результаты экспериментальных исследований теплозащитных свойств и влажностного режима панелей наружных стен с теплоизоляцией из ГГТМ в климатической камере;
- технико-экономическое обоснование применения панелей с использованием теплоизоляции из ГГТМ для наружных стен малоэтажных жилых зданий (для условий Республики Таджикистан).

Апробация работы:

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на: Международной конференции «Экология и энергоснабжение» (Самарканд, 1993 г.); Международной конференции «Научно-технические нововведения и вопросы охраны окружающей среды» (Душанбе-Худжанд, 1996 г.); III Международной теплофизической школе (Тамбов, 1998 г.); 15 Международной конференции по теплофизическим измерениям (Германия, Бонн, 1999 г.); Международной научной конференции «Горные регионы Центральной Азии. Проблемы устойчивого развития» (Душанбе, 1999 г.); Международной конференции «Координационные соединения и аспекты их применения» (Душанбе, 1999 г.); 6-ой Международной конференции по инженерным композитам (США, Орlando, Флорида, 1999 г.); Международной конференции по композиционным материалам (Пакистан, 1999 г.); 11-ой Азиатской конференции по теплофизическим свойствам веществ (Япония, 2000 г.); 6-ой Международной конференции по композитам (Швеция, 2000 г.); 7-ой Международной конференции по инженерным композитам (США, Колорадо, Денвер, 2000 г.); IV Международной теплофизической школе «Теплофизические измерения в начале XXI века» (Тамбов, 2001 г.); Международной конференции по физико-химическим свойствам материалов (Австралия, 2001 г.); 26-ой Международной конференции «Теплопроводность материалов» и 14-ом Международном симпозиуме «Кэффициент теплоотдачи»

(США, Кембридж, Массачусетс, 2001г.); Международной конференции по метрологии (ТЕМРМЕКО) (Германия, Берлин, 2001 г.); Международной конференции по карбону (США, 2001 г.); Международной конференции по теплообмену (Канада, Торонто, 2001 г.); 7-ой Международной Азиатской конференции по изучению теплофизических свойств материалов (Китай, Хайфэй, 2004 г.); Международной конференции «Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах» (Махачкала, 2004 г.); 27-ой Международной конференции «Теплопроводность материалов» и 15-ом Международном симпозиуме «Кэффициент теплоотдачи» (США, Оак Ридж, 2004 г.); Второй Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (СЭТТ-2005)» (Москва, 2005 г.); Международной конференции, посвященной 70-летию со дня рождения академика Камилова И.К. (Махачкала, 2005 г.); I-ой Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки и образования в XXI веке» (Душанбе, 2005 г.); 17-ой Международной конференции по теплофизическим свойствам веществ (Словакия, Братислава, 2005 г.); 7-ой Международной конференции по изучению свойств бетона (Данди, 2005 г.); XI Российской конференции по теплофизическим свойствам веществ (Санкт-Петербург, 2005 г.); 16-ом Международном симпозиуме по изучению теплофизических свойств веществ (NIST) (США, Боулдер, 2006 г.); Международной научно-практической конференции «Современная химическая наука и ее практические аспекты» (Душанбе, 2006 г.); Республиканских научно-практических конференциях (Душанбе, 1985, 1987, 1989, 1997, 1998, 2000, 2002 гг.; Фрунзе, 1989 г.; Алма-Ата, 1989 г.); Конференциях молодых ученых и специалистов (Душанбе, 1988, 1990, 1999, 2000 гг.); Конференциях профессорско-преподавательского состава Таджикского технического университета им. акад. М.С.Осими (Душанбе, 1991-1993 гг.) и Технологического университета Таджикистана (Душанбе, 1994-2002 гг.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 56 печатных работ, в том числе 3 монографии и 1 авторское свидетельство на изобретение. Материалы диссертации отражены в 5 научно-технических отчетах, выполненных под руководством и при участии автора.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка использованной литературы из 220 наименований на русском и иностранных языках и 14 приложений. Общий объем диссертационной работы состоит из 318 страниц компьютерного набора. Основной текст диссертации изложен на 278 страницах, включая 49 рисунков и 57 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕСТНОГО МИНЕРАЛЬНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В этой главе рассмотрены: требования к материалам наружных стен для климатических условий Республики Таджикистан; сырьевые минеральные мате-

риалы в составе материалов для наружных стен зданий; сельскохозяйственные отходы и пути их рационального использования в производстве строительных материалов; объекты исследования.

Если учесть тот факт, что две трети сельскохозяйственных отходов Республики Таджикистан используются местным населением в качестве топлива, то оставшаяся их часть с огромными запасами минерального строительного сырья в стране, в количестве 123 месторождений (из них 119 с утвержденными запасами) могут служить базой для производства композиционных материалов на основе РВК.

На основе проведенного анализа имеющихся литературных данных о физико-химических, физико-технических, в том числе и теплофизических свойствах материалов на основе РВК обосновано основное направление исследований. Здесь же показаны и объекты исследования, структурная взаимосвязь которых приведена на рис. 1.

Глава 2. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

2.1. Специфические особенности целлюлозосодержащих заполнителей растительного происхождения и их влияние на структурообразование РВК

Целлюлозосодержащие заполнители растительного происхождения, наряду с присущими им ценными свойствами (малая средняя плотность, не дефицитность, хорошая смачиваемость, легкость обработки), из-за специфических особенностей затрудняют получение материала высокой прочности из высокопрочных компонентов.

К специфическим особенностям целлюлозосодержащих заполнителей, отрицательно влияющим на процессы структурообразования, прочность и стойкость РВК к влагопеременным воздействиям, а также на технологические процессы производства, относятся: повышенная химическая активность; значительная степень объемных влажностных деформаций (усушка, разбухание) и развитие давления набухания; сравнительно высокие проницаемость и проводимость; наличие упругопластических свойств; низкая адгезия по отношению к цементному камню; резко выраженная анизотропия (ортотропность); значительная упругость при уплотнении смеси.

2.2. Анализ химического состава и химической агрессивности растительного заполнителя по отношению к минеральному сырью

Для гуза-пай, в основном характерна более равномерная складчатая структура, что подтверждает сходство гуза-пай и древесины по строению и химическому составу. Об этом свидетельствуют приведенные в табл. 1. данные, где показатели по гуза-пай получены в результате проведенных нами исследований, а

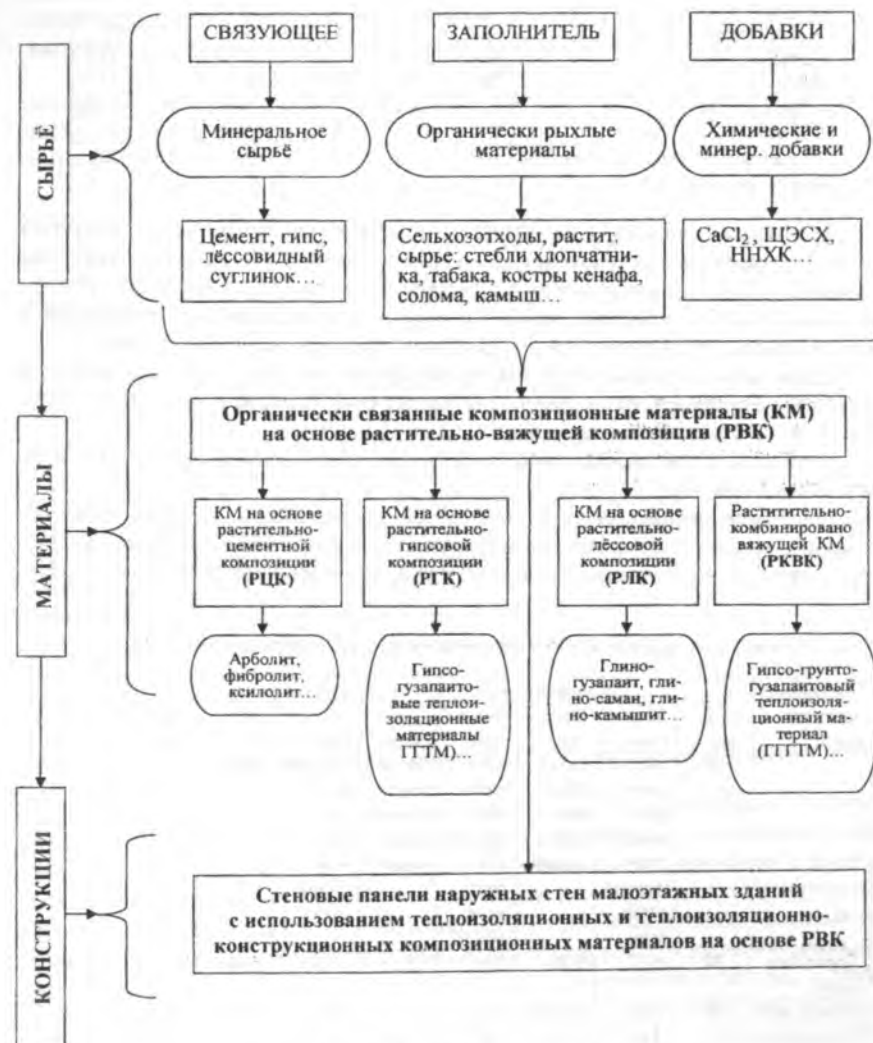


Рис. 1. Объекты исследования.

остальные показатели взяты из справочных источников. Гуза-пай состоит из целлюлозы (примерно 44% всей массы гуза-пай), пектиновых веществ, лигнина, гемицеллюлозы и небольшого количества экстрактивных веществ - танинов (дубильных и красящих веществ) и жиров.

Химический состав некоторых пород древесины и гуза-пай

Составные части, %	Ель	Сосна	Осина	Бук	Гуза-пая
Целлюлоза	58,3	55,6	54,1	47,9	38,8 – 49,1
Лигнин	28,3	26,5	20,1	22,5	30,1 – 32,0
Гемицеллюлоза	6,3	6,4	14,0	20,0	10,0 – 10,5
Пектиновые вещества	4,0	3,2	8,4	6,0	5,7 – 6,6
Экстрактивные вещества, растворимые в горячей воде	1,9	2,3	2,3	2,4	2,8 – 12,0

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 гуза-пай представляют собой сложный комплекс олиго- и полисахаридов, способных в щелочной среде гидролизироваться и переходить в водорастворимые сахара.

Стебель хлопчатника морфологически состоит из коры, луба, древесины и сердцевин. Древесная часть стебля составляет 63-65%, кора и луб - 28,6-29,7%, коробочки - 3-5% и сердцевина - около 3% от общей массы.

Химический состав различных морфологических частей стебля дается по содержанию компонентов (табл. 2).

Сравнение химического состава стеблей хлопчатника с составом древесного сырья, в частности отходов лесопиления, показывает, что содержание целлюлозы в стеблях хлопчатника несколько ниже, чем в обычной древесине, однако

Таблица 2.

Химический состав морфологических частей стеблей хлопчатника

Составные части сырья	Содержание компонентов, % массы сухого сырья								
	Зольные вещества	Вещества, экстрагируемые с этиловым спиртом	Вещества, экстрагируемые с водой	Вещества, экстрагируемые в 1% растворе NaOH	Легко гидролизуемые полисахариды	Общий выход РВ при количественном гидролизе	Целлюлоза	Лигнин	Пентозаны
Древесная часть	2,78	4,11	9,05	33,6	22,35	68,95	42,86	20,98	27,49
Кора и луб	7,39	3,86	17,92	23,7	18,92	60,80	32,24	25,60	15,98
Коробочки	5,71	4,05	26,05	50,7	17,67	60,20	32,76	23,44	19,14
Общая масса	4,28	4,08	14,29	33,07	20,65	65,20	38,72	22,38	25,53

общее содержание углеводов примерно одинаково. Это обусловлено высоким содержанием гемицеллюлозы, в частности, пентозанов, и пониженным содержанием лигнина в стеблях хлопчатника. Содержание веществ, экстрагируемых рас-

твором щелочи, в стеблях хлопчатника больше, чем в древесине. При таком экстрагировании в раствор переходят крахмал, пектины, неорганические соли, некоторые полисахариды, циклические спирты, красители, танины, а также часть гемицеллюлозы, уруновые кислоты и низкомолекулярные фракции целлюлозы.

Отличие экстрактивных компонентов стеблей хлопчатника и древесины, прежде всего, количественное. Так, в стеблях хлопчатника значительно больше экстрагируемых веществ, чем у лиственных пород и несколько больше, чем у хвойных пород древесины.

Проведенные исследования показали, что гуза-пая содержит легкогидролизуемые и экстрактивные вещества – «цементные яды», вредные для цемента, которые замедляют набор прочности испытуемых образцов. Поэтому следует нейтрализовать это вредное влияние. Исследования показали, что наиболее вредное воздействие оказывают легкорастворимые простейшие сахара: сахароза, глюкоза, фруктоза и часть гемицеллюлозы, способной в определенных условиях гидролизироваться до сахаров, и в меньшей степени опасны пектиновые полисахариды, танины и смолы. Щелочная среда цементного теста способствует выделению «цементных ядов», количество которых изменяется в значительных пределах в зависимости от сорта гуза-пай, условий и сроков ее хранения.

Было выявлено, что «цементные яды», состоящие в основном из углеводных групп HCOH, осаждаясь на поверхности частичек минералов цемента $3CaO \cdot SiO_2$ (трехкальциевый силикат) и $3CaO \cdot Al_2O_3$ (трехкальциевый алюминат), образуют тончайшие оболочки, которые изолируют частицы цемента от воды, замедляют ход процесса гидратации цемента.

Проведенные нами исследования показали, что при удалении легкогидролизуемых веществ из заполнителя на основе растительного сырья прочность арболита удастся увеличить на 8-12%. Следовательно, наличие таких веществ в заполнителе можно рассматривать лишь как один из его недостатков.

2.3. Физико-химические закономерности структурообразования РВК

Свойства материалов в значительной степени определяются его составом и поровой структурой. Поэтому для получения материалов с заданными свойствами важно иметь четкое представление о процессах формирования структуры и возникающих новообразованиях, что изучается на макро- и молекулярно-ионном уровне. К исследуемым вяжущим материалам относятся цемент, лессовый суглинок и гипс. Что касается лессового суглинка и гипса, то их рентгенофазовые анализы проведены довольно подробно известны в научной литературе. Поэтому, в основном объектами нашего исследования являются цементы, выпускаемые на Душанбинском заводе. В табл. 3 даны составы и активность цементов, использованных в данном исследовании.

Чтобы показать эффективность влияния добавок – модификаторов на свойства бетонов, изучение коррозионностойкости цементного камня в основном проведено с использованием цементов М400.

На рис. 2 дана рентгенограмма фазового структурного анализа обычного цемента. На рентгенограмме обычного негидратированного цемента присутствуют линии,

Активность и минералогические составы цементов

Наименование цемента	Марка цемента, МПа	Минералогический состав, мас. %			
		C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ FA
Обычный Душанбинский	40,0	55,0	22,0	8,0	13,0
Сульфатостойкий Душанбинский	40,0	50,0	25,0	5,0	18,0
Низкоалюминатный	40,0	47,0	29,0	3,8	17,2
Среднеалюминатный	40,0	61,0	17,0	6,1	14,0
Высокоалюминатный	30,0	36,4	32,0	14,2	14,0
Ахангаранский	50,0	63,0	15,0	4,7	13,1

относящиеся к фазам C₃S (3CaO·SiO₂), C₂S (2CaO·SiO₂), C₄AF (4CaO·Al₂O₃·F₂O₃). Обнаруживаются также линии слабой интенсивности этрингита (3CaO·Al₂O₃·CaSO₄·(32-34)H₂O) (d = 3,474; 3,662; 5,608 Å) в составе цемента.

Для модифицирования свойств цементов и цементсодержащих композиций использован и щелочной экстракт стеблей хлопчатника (ЩЭСХ).

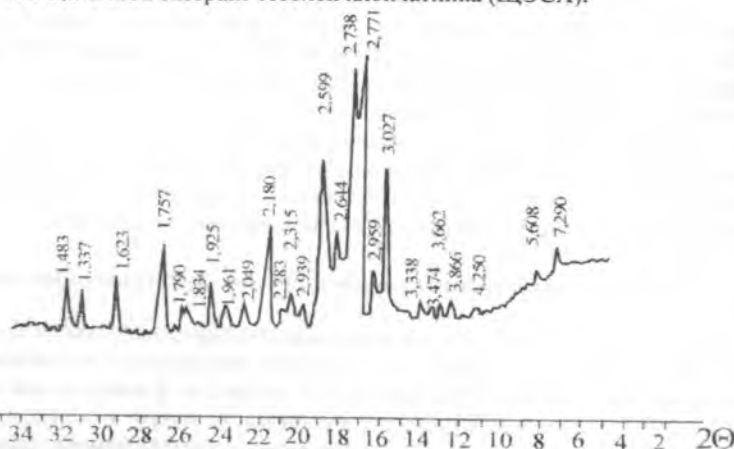


Рис. 2. Рентгенограммы обычного цемента Душанбинского завода.

ЩЭСХ был получен в развитие методики, разработанной д.т.н., профессором Шарифовым А.

Влияние добавок на свойства строительных растворов и бетонов определялось изучением изменений их реологических характеристик, таких как: подвижность и жесткость, определяющие формирующую способность смесей; сохранение подвижности жесткости смеси по времени; водовыделение смеси и седиментационное осаждение частиц; воздухововлечение смеси при перемешивании.

Прочность цементного камня определялась при испытании бетонных образцов размером 15x15x15 см и 10x10x10 см, отвердевших в соответствующих

условиях. Для ускорения процесса твердения цементного камня некоторые образцы подвергали тепловлажной обработке (ТВО) при температурах (80±5)°С. Прочность образцов испытывалась после 1, 3, 7, 14, 28, 90, 180, 360 и 720 сут. их твердения. Эффективность влияния добавок на повышение прочности цементсодержащих композиций подтверждена результатами как лабораторных, так и промышленных испытаний. Методика определения прочности бетона соответствовала требованиям ГОСТ 18105-86.

Деформативные качества цементного камня оценивались по значениям коэффициента призмной прочности (K_п) и модуля упругости (E, МПа) бетона. Они определялись испытанием образцов размером 10x10x40 см после их твердения в течение 28 суток в нормальных условиях по стандартному методу, предусмотренному ГОСТ 24452-80.

Коррозионностойкость цементного камня определялась на образцах размером 4x4x16 см строительного раствора и 10x10x10 см бетона путем длительного воздействия искусственно созданных агрессивных растворов разных составов. Образцы перед погружением в агрессивные растворы в течение 28 суток твердели в нормальных условиях.

Длительность воздействия агрессивных растворов на образцы бетона и строительного раствора продолжалась до 360 суток. Эквивалентные образцы цементного камня, для сравнения, твердели в нормальных условиях.

Химические и структурно-фазовые анализы корродирования цементного камня проводился как для наружного слоя образца, так и для его внутренних слоев на определенных расстояниях от внешней поверхности.

При изучении механизмов твердения образцов и их разрушения в агрессивных средах использовали комплекс физико-химических методов, принятых в современных исследованиях: рентгенофазовый, дифференциально-термографический и химический анализы. Расшифровка рентгенограмм осуществлялась по известным в научной литературе методам. Проводился полный химический анализ состава цементного камня, цемента, арболита.

Для изучения влияния водорастворимых веществ гуза-паи на структурообразование портландцемента (гидратацию, в том числе и составляющих минералов) и его прочность были использованы водные вытяжки из ее дробленки 15-минутного 3- и 24-часового настаивания.

Исследования показали, что начиная с одних суток твердения и до 6 месяцев, водорастворимые вещества снижают прочность цементного камня при твердении его в воздушно-сухих условиях. Причины снижения прочности и влияние водорастворимых веществ на компоненты, составляющие портландцемент, исследовались с использованием электронно-микроскопических, рентгеноструктурных и дифференциально-термических анализов.

Были проведены физико-химические исследования с минералом, затворенным дистиллированной водой, и приготовленным на ней фильтратом водорастворимых веществ гуза-паи 15-минутного замачивания. Полученные электронно-микроскопические снимки процесса кристаллизации C₃A (3CaO·Al₂O₃) в воде и в присутствии водорастворимых веществ в течение 7 суток свидетельствовали о том, что при гидратации в первые 30 мин в обоих случаях образуются кристаллы

в виде прозрачных пластин гексагональной формы с четкими гранями, формирующие агрегаты с признаками сдвигов по плоскости, и кристаллы округлой формы. Через 1 час гидратации трехкальциевого алюмината в воде наблюдается рост и утолщение кристаллов гексагональной формы, а уже через сутки и далее образуется гидроалюминат C_3AH_6 ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), кристаллизующийся в виде октаэдров, сцепленных по граням. В результате адсорбции водорастворимых веществ через 1 час гидратации C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) нарушается четкость граней гексагональных пластин, что затрудняет определение формы кристаллов и состава гидратных новообразований.

С целью изучения новообразований и их фазовых превращений в присутствии водорастворимых веществ проводился рентгенофазовый анализ процесса гидратации трехкальциевого алюмината, твердевшего в течение 3 месяцев. Он показал (рис. 3,а), что в отличие от продуктов гидратации минерала в воде, негидратированный C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) (4,30; 4,14; 3,03; 2,74; 2,23; 1,94; 1,58Å) и гидроалюминат состава C_3AH_6 ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) (4,52; 3,41; 3,20; 2,86; 2,50; 2,08; 1,77; 1,70Å) – в присутствии водорастворимых веществ дополнительно имеется значительное количество гидроалюмината C_3AH_8 ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 4H_2O$) (3,62; 2,90; 2,60; 2,50; 2,10; 1,66Å) и вероятно C_3AH_n ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 0,5nH_2O$) (рис. 3,б).

Наличие неустойчивых гидроалюминатов, состоящих из кристаллов гексагональной метастабильной формы, создает предпосылки для перекристаллизации их в стабильную кубическую форму в условиях уже сформировавшейся кристаллизационной структуры, что приводит к необратимому ослаблению структурной прочности. Это может послужить одной из причин снижения прочности цементного камня в арболите.

Дифференциально-термический анализ исследуемых образцов проводился на пирометре Курнакова ПК-55 с платино-платинородиевой термопарой. Эталонным веществом служила прокаленная окись алюминия, которая в исследуемом интервале температур не имеет фазовых превращений.

Для получения необходимых температур при записи на ПК-55 использовалась электрическая печь сопротивления. Скорость нагрева составляла $8 \cdot 10^0$ °C/мин. Точность измерения температуры составляла $\pm 5^0$ °C.

Дифференциально-термический анализ твердых фаз гидратированного трехкальциевого алюмината показал, что уже в начальные сроки гидратации (через 15 мин) в присутствии водорастворимых веществ, так же как и при гидратации в чистой воде, образуются гидроалюминаты C_3AH_6 ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) кубической модификации. Об этом свидетельствуют эндоэффекты при 330^0 C и 510^0 C (рис. 4). Отсутствие гидроалюминатов C_3AH_6 ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) на рентгенограммах в ранние сроки гидратации свидетельствует о тонкодисперсном состоянии микрокристаллов новообразований, не улавливаемых при рентгенофазовом анализе.

Исследования подтвердили, что одной из причин снижения прочности цементного камня в арболите является замедление фазовых превращений гидроалюминатов в стабильную модификацию в результате адсорбционного модифицирования водорастворимых веществ гуза-паи.

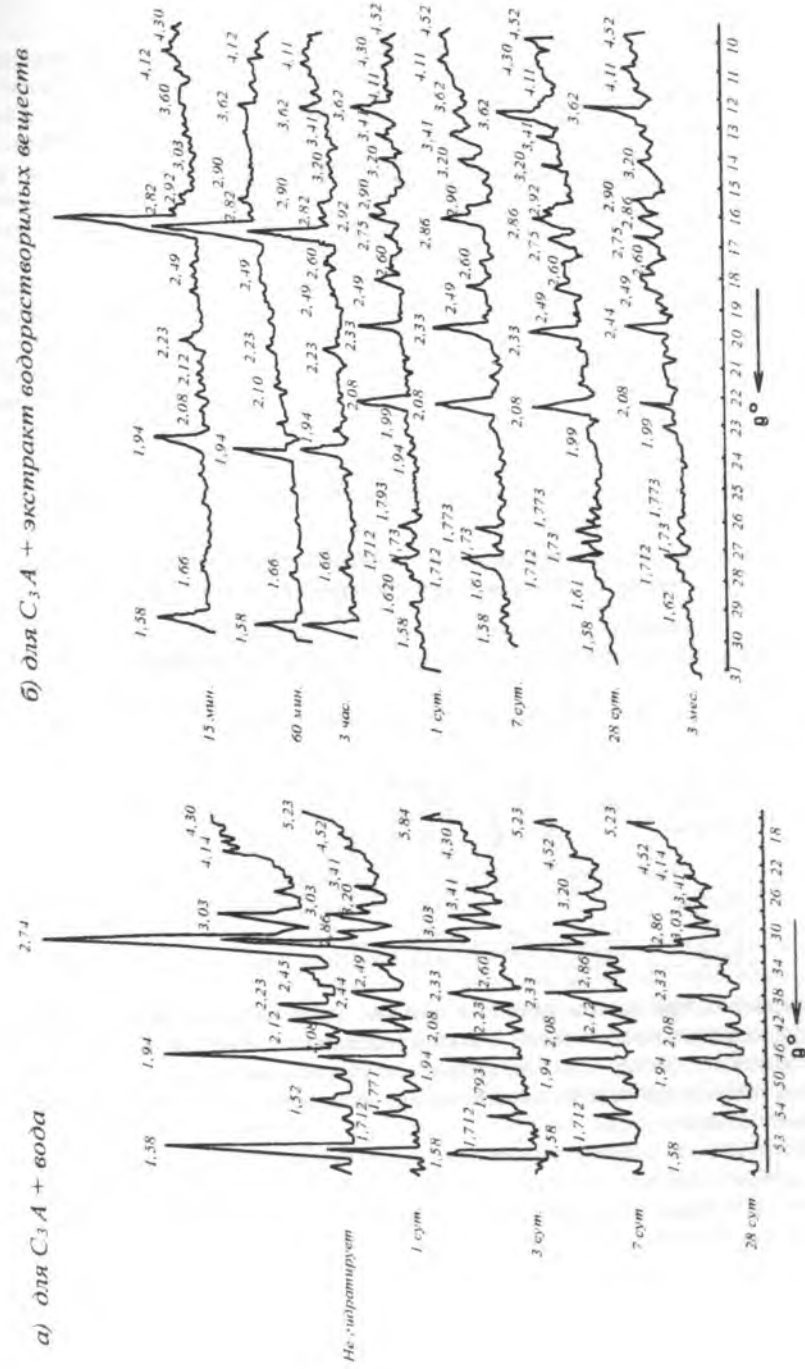


Рис. 3. Рентгенограммы C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) в различные сроки гидратации и твердения

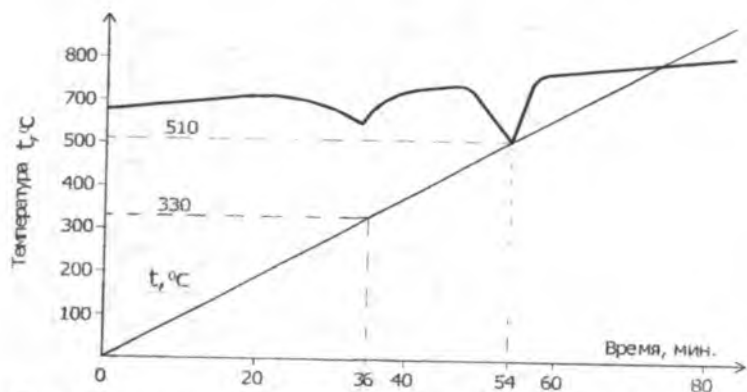


Рис. 4. Термограмма гидроалюмината C_3AH_6 ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$).

2.4. Взаимосвязь химического свойства и фракционного состава растительного заполнителя при твердении РЦК

При вылеживании гуза-паи в результате биологического и климатического воздействия содержание в ней водорастворимых веществ уменьшается (табл. 4).

Таблица 4.

Кинетика изменения химического состава стеблей хлопчатника, (%)

Дата взятия пробы	Влага	Легкогидролизуемые вещества	Трудногидролизуемые вещества	Растворимые в воде продукты	Лигнин	Зольность
Ноябрь	65,12	15,71	31,9	12,0	30,0	6,5
Март	24,11	17,00	34,3	9,9	31,2	6,4
Июль	9,24	17,10	34,8	2,8	32,4	-

Вероятно, при долгом хранении гуза-паи, происходит ферментативный гидролиз полисахаридов растительной клетки и в результате они переходят в водорастворимое состояние. Ввиду того, что стебли хлопчатника могут быть заготовлены один раз в год, процесс длительного вылеживания является неотъемлемой частью облагораживания заполнителей.

Выделение водорастворимых веществ из гуза-паи при ее замачивании начинается с момента добавления воды и обнаруживается по изменению окраски водной вытяжки, образованию коллоидной взвешенности мельчайших частиц взвеси, размер которых составляет 5-30 мкм.

При подборе состава арболита основным требованием является получение заданных значений средней плотности и предела прочности при сжатии (марки и класса по прочности) при минимально возможном расходе цемента, которое в свою очередь зависит и от фракционного состава заполнителя из гуза-паи. Исследования показали, что с увеличением размеров частиц заполнителя из гуза-паи средняя плотность и прочностные характеристики арболита имеют тенденцию к уменьшению. Поэтому при дальнейших в исследованиях была использована гуза-пая фракции до 30 мм.

Таким образом, предварительная обработка растительного материала с целью удаления легкогидролизующихся и водорастворимых веществ улучшает качества арболитового материала на их основе. Кроме того, исследования показали, что с возрастанием размеров частиц гуза-паи, средняя плотность и прочность арболита уменьшается.

2.5. Адгезия заполнителя растительного происхождения с цементным камнем

Проблема адгезии заполнителя растительного происхождения с цементным камнем заключается в необходимости обеспечения совместной работы его составляющих. Трудность решения этой задачи в том, что при тепловой обработке и применении насыщенной водой арматуры возникает опасность нарушения сцепления между бетоном и растительным сырьем из-за усушки последнего и образования вокруг него сквозного зазора, при использовании же сухой арматуры в бетоне образуются трещины в результате разбухания растительного сырья.

Прочность сцепления арболита на гуза-пае с металлической арматурой составляет 0,08-0,35 МПа, в зависимости от класса арболита, профиля стержней (гладкий, периодический) и защитной обмазки; сцепление фактурного слоя из цементно-песчаного раствора 1:3 (цемент:песок) с арболитом - 1,43-1,55 МПа.

2.6. Технологическая схема выделения экстрактивных веществ стеблей хлопчатника

На рис. 5 приведена технологическая схема получения щелочного экстракта стеблей хлопчатника (ЩЭСХ), разработанная в развитие методики, предложенной д.т.н., профессором Шарифовым А.Ш. Стебли хлопчатника измельчаются в дробилке 1 до фракции меньше 5 мм и подаются в реактор 3, куда через дозатор 2 поступает раствор щелочи NaOH. В реакторе 3 при температуре 100-105 $^\circ\text{C}$ происходит обработка стеблей для экстрагирования компонентов их состава раствором NaOH.

Раствор экстрактивных веществ стеблей хлопчатника после охлаждения в холодильнике 4 собирается в емкость 5. После отделения экстрагируемых веществ волокнистая масса стеблей хлопчатника собирается в емкость 6 для дальнейшего использования в качестве армирующего компонента цементосодержащих смесей.

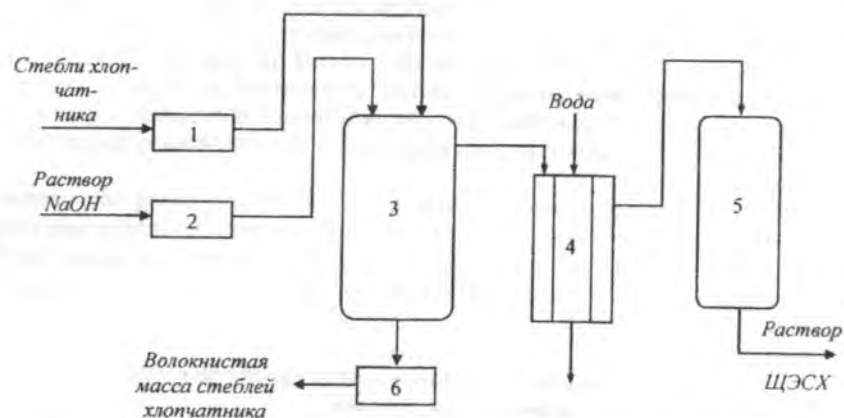


Рис. 5. Технологическая схема получения щелочного экстракта стеблей хлопчатника (ЩЭСХ): 1 - дробилка; 2 - дозатор; 3 - реактор; 4 - холодильник; 5 - ёмкость для хранения ЩЭСХ; 6 - ёмкость для волокнистой массы стеблей хлопчатника.

Улучшение деформативных параметров бетонов с добавками щелочного экстракта стеблей хлопчатника происходит благодаря упрочняющему действию добавки на твердение цементного камня. Щелочной экстракт стеблей хлопчатника снижает водопотребность цемента и значительно ускоряет процессы структурообразования и гидратации, и тем самым повышает прочность цементосодержащих композиций.

2.7. Технологические особенности изготовления арболитовых материалов и конструкций с использованием стеблей хлопчатника

На основании результатов исследований разработана технологическая схема изготовления арболитовых изделий (рис. 6). Со склада стебли хлопчатника ленточным транспортером 1 подаются на измельчение в молотковую дробилку 2, затем в наклонное вибросито 3 на рассев. Рабочая фракция стеблей через бункер с питателем 4 (приемник) поступает в ковшовую мешалку 5, куда одновременно из бака 6 подается вода. Вымоченные в течение 15 мин стебли погружаются на конвейер с сетчатой лентой 7 (транспортер), через которую стекает вода. Рабочая фракция дробленых стеблей на вымачивание может быть подана в сетчатых контейнерах в ванну с водой, а затем тельфером транспортирована в бункер 9. Тогда из технологической линии исключаются агрегаты 5, 7 и 8.

Далее масса элеватором 8 подается в расходный бункер 9, затем через дозатор 11 в смеситель 12. Цемент механическим или пневматическим транспортом подает-

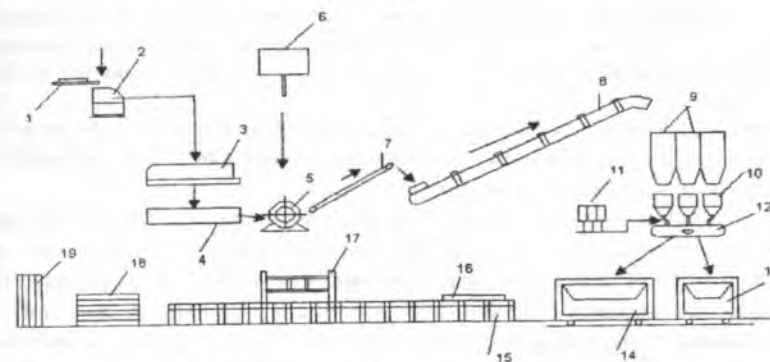


Рис. 6. Технологическая схема получения арболитовых изделий.

1 - ленточный транспортер; 2 - молотковая дробилка; 3 - вибросито; 4 - приемник; 5 - ковшовая мешалка; 6 - бак с водой; 7 - транспортер; 8 - элеватор; 9 - расходные бункера; 10 - дозаторы; 11 - бак с дозаторами для добавок; 12 - смеситель; 13 - укладчик фактурного слоя; 14 - укладчик арболитовой массы; 15 - рольганг; 16 - формы; 17 - пресс; 18 - участок выдержки; 19 - пост расплубливания и вырезания.

ся в расходный бункер 9, а затем через дозатор 11 - в смеситель 12. Сюда же из баков, оборудованных дозаторами 11, поступают водные растворы добавок минерализатора, заполнителя и ускорителя твердения цемента, а при необходимости и вода. Перемешанная арболитовая масса попадает в укладчик 14 и далее в форму 16, установленную на рольганге 15. Рольганг подает форму 16 в пресс 17, где крышка уплотняется до заданной толщины, фиксируемой специальным ограничителем, затем форма 16 транспортируется на участок выдержки 18, а далее - на пост расплубливания 19. Затем изделия вырезают до приобретения отпускной прочности.

Отличительной особенностью предложенной технологии является то, что при пропаривании используется водный раствор гидразина, результаты исследований свойств которого приведены в 3-ей главе.

Глава 3. ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

3.1. Экспериментальные исследования механических и гигротехнических свойств материалов рыхлой структуры на основе растительного сырья

Результаты исследований по изучению изменения влажности гуза-паи, хранившейся на воздухе в пакетированном состоянии в течение года, показали, что с увеличением срока хранения уменьшается ее весовая влажность и к 7-8 месяцам она достигает своего стабильного значения - 10-12%.

Насыпная плотность гуза-паи (различных фракций измельчения при 12%

влажности) определялась взвешиванием в 5-кратной повторности, свободной (без утрамбовки) и составляла $180-382 \text{ кг/м}^3$. Следует отметить, что при уменьшении размеров фракций измельченной гуза-паи ее насыпная плотность имеет тенденцию к увеличению.

Было установлено, что водопоглощение гуза-паи составляет около 67%, что свидетельствует о необходимости ее антисептирования в целях долговечности теплоизоляционных материалов на ее основе.

Исследования сорбции и десорбции гуза-паи, которая служила армирующим компонентом теплоизоляционно-конструкционного материала на основе опилок древесины и стеблей табака, показали, что равновесная влажность гуза-паи (при использовании специальных гидрофобных добавок для этого материала) при относительной влажности воздуха $\phi_a=97\%$ составляет 0,806%. Это дает возможность, опираясь на проведенные ранее исследования по гидрофобизации растительных отходов, использовать гуза-паю для теплоизоляции наружных стен. Гуза-пая почти несжимаема (ее спрессовываемость составляет 96,0%) и имеет малую упругость (1,6%).

3.2. Экспериментальные исследования механических и гигротехнических свойств материалов связанной структуры на основе РВК

Свойства исследуемых материалов в сухом состоянии определялись после высушивания образцов при температуре $100 \pm 5^\circ\text{C}$ (материалы, которые имели в своем составе гипс, высушивались при температуре $70 \pm 5^\circ\text{C}$, что связано с предотвращением дегидратации гипса во время сушки).

Для определения прочностных характеристик материала на основе гипса, армированного гуза-паей, изготавливались образцы размером $40 \times 40 \times 160 \text{ мм}$. Образцы высушивались до постоянного веса. Их испытывали сначала на изгиб на приборе МИИ-100, а затем половинки образцов – на сжатие с помощью стандартных пластинок площадью 25 см^2 на гидравлическом прессе. После чего были определены прочность при сжатии и прочность на изгиб.

Для гипсо-грунто-гуза-паитового материала (ГГТМ) и арболита на основе гуза-паи предел прочности определялся при испытании образцов размером $150 \times 150 \times 150 \text{ мм}$ на гидравлическом прессе после 28 суток хранения их в естественных условиях.

3.2.1. Механические свойства материалов на основе растительно-гипсовой композиции (РГК)

Стебли хлопчатника измельчались до фракций 0,63-5,0 мм и добавлялись в гипсовую смесь. Для количественной оценки механических свойств гипсо-гуза-паитового материала (ГГТМ) при содержании в нем измельченной гуза-паи в процентном отношении по массе от смеси образцы выбирались по схеме: $N = 2, 5, 7, 10$,

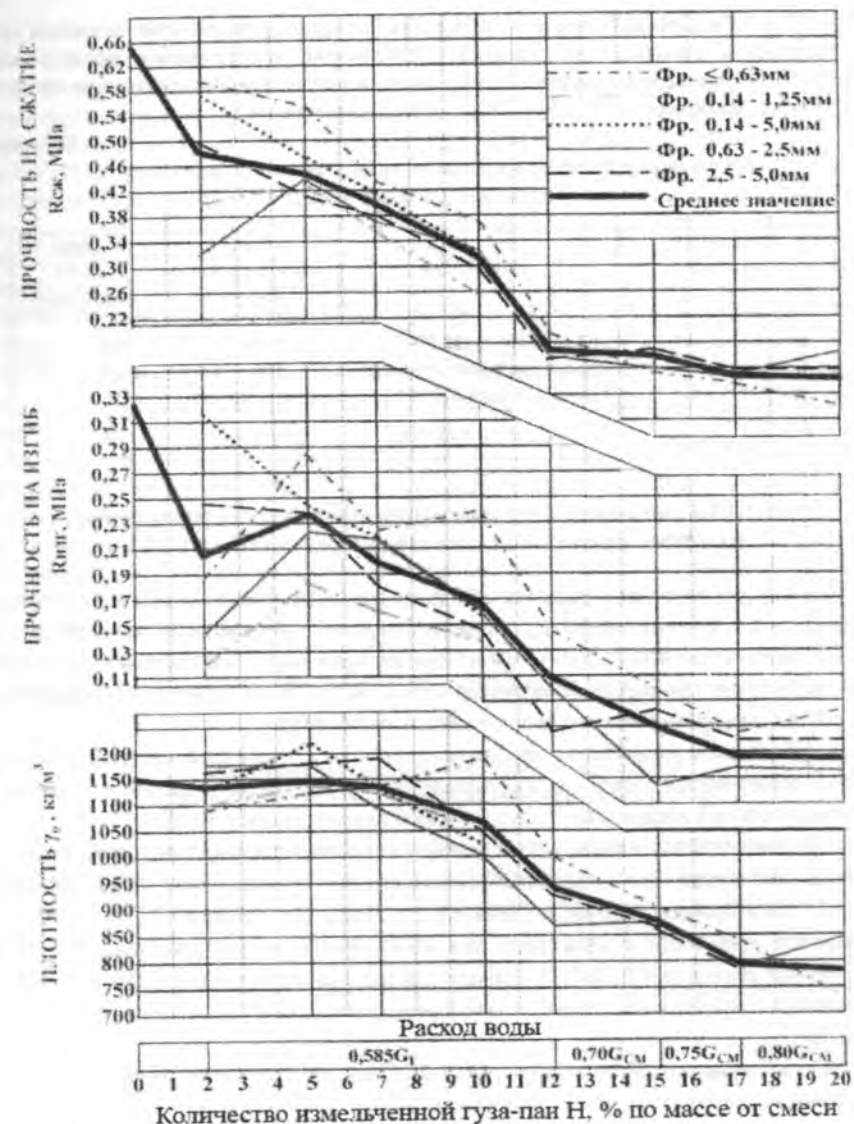


Рис. 7. Физико-механические свойства гипсо-гуза-паитового материала (ГГТМ).

12, 15, 17 и 20%. При Н более чем 20% из-за большого объема измельченной гуза-паи формовать материал не удалось. Результаты исследования механических свойств ГТТМ приведены на рис. 7, а уравнения регрессии, описывающие свойства исследуемых материалов $f(\gamma_0, R_{изг}, R_{сж})$, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Физико-технические характеристики гипсо-гуза-паитового теплоизоляционного материала (ГТТМ)

№ пп.	Свойства материала	Показатели	Пределы использования формулы	Коэффициент корреляции
1.	Средняя плотность, кг/м ³	$\gamma_0 = \gamma_0^r + 5,1 \cdot H^2 - 23,7 \cdot H$ $\gamma_0 = 1361 \cdot \exp(-0,281 \cdot H)$	$0 \leq H \leq 5$ $5 \leq H \leq 20$	0,967 0,982
2.	Прочность на изгиб, МПа	$R_{изг} = R_{изг}^r + 0,015 \cdot H^2 - 0,094 \cdot H$ $R_{изг} = 0,478 \cdot \exp(-0,128 \cdot H)$	$0 \leq H \leq 5$ $5 \leq H \leq 20$	0,934 0,983
3.	Прочность на сжатие, МПа	$R_{сж} = R_{сж}^r \cdot \exp(-0,281 \cdot H)$	$0 \leq H \leq 20$	0,970

3.2.2. Механические и гигротехнические свойства материалов на основе растительно-цементной композиции (РЦК)

Самым распространенным материалом, изготовленным на основе растительно-цементной композиции (РЦК) является арболит. Определено, что арболит со средней плотностью 400-850 кг/м³ имеет предел прочности при сжатии 0,5-5,0 МПа. Такие невысокие прочностные характеристики могут быть объяснены химической агрессивностью органического целлюлозного заполнителя.

Сорбционное увлажнение арболита зависит от его средней плотности, применяемого органического целлюлозосодержащего заполнителя и введенных добавок; при относительной влажности воздуха 40-90% оно составляет 10-15%.

Для определения марки, а также деформационно-прочностных характеристик арболита испытаны изготовленные одновременно с панелями кубы размером 15x15x15 см и призмы размером 15x15x60 см. Испытания показали, что отношение призмной прочности к кубиковой для арболита на основе дробленых стеблей хлопчатника составляет 0,61-0,65. Начальный модуль упругости арболита на основе дробленых стеблей хлопчатника вдвое превышает нормативные значения и равен 400 МПа.

Водопоглощение арболита на гуза-пае колеблется от 30 до 80% по весу. Для сравнения исследовалось водопоглощение арболита на камыше и костре конопля, которое доходит до 120%, а у цементного фибролита колеблется от 35 до 55% по весу. Проведенными исследованиями установлено, что с уменьшением расхода цемента и объемной массы водопоглощение арболита возрастает.

3.3. Влияние влажности арболита на его прочность

Установлено, что наибольшие структурные изменения под воздействием влажностных деформаций наблюдаются при снижении общей влажности арболита. При этом максимальная прочность арболита разных составов отмечается при влажности 15-17%, дальнейшее снижение влажности ведет к уменьшению прочности, что может быть объяснено нарушением связей в контактных зонах, т.е. деструкцией (нарушением) контактов между отдельными частицами заполнителя. Проведенные исследования показали, что объемная усушка растительного заполнителя в 15-20 раз превышает объемную усадку цементного камня из портландцементного клинкера. Таким образом, возможность снижения прочности арболита вследствие природы самого целлюлозосодержащего растительного заполнителя является процессом необратимым и проявляется как следствие подверженности растительного заполнителя значительным объемным влажностным деформациям и развития давления набухания.

Подтверждением причины снижения прочности арболита вследствие деструкционных процессов при снижении его влажности менее 15-17% явились результаты исследований, которые показали, что в арболите на гуза-пае, высушенном до абсолютно сухого состояния, а затем увлажненного до влажности, соответствующей экстремальному значению, первоначальная прочность не восстанавливается. Исследования показали, что в точке оптимальной влажности ($W=16\%$) появляется величина гистерезиса прочности – ΔR и для нашего случая $\Delta R=0,18$ МПа. Можно предполагать, что снижение прочности арболита при высушивании (ниже $W=15-18\%$) вызвано деструктивными процессами, протекающими на границе раздела фаз «цементный камень – растительный заполнитель».

3.4. Влияние водного раствора гидразина на прочность арболита при его термообработке

Одним из методов упрочнения арболитовой смеси является использование различных паровоздушных смесей при их термообработке. Из многочисленных известных смесей нами был выбран водный раствор гидразина, так как его применение приводит к технологически выгодным условиям термообработки. Исследовано влияние водного раствора гидразина на прочность арболита при его термообработке. Для этого были изучены физико-химические и физико-технические свойства водных растворов гидразина.

Плотность водных растворов гидразина в зависимости от температуры и давления ($T=293-552$ К, $P=4,91-98,1$ МПа), с точностью до 3%, отражает следующее уравнение:

$$\rho_{P,T} = \{-1,34 \cdot 10^{-10} \left[\frac{P}{T(2,99 \cdot 10^{-8} P + 0,16)(1,45 \cdot 10^{-5} n_{H_2O}^2 - 3,11 \cdot 10^{-3} n_{H_2O} + 2,028)} \right]^2 +$$

$$+1,847 \cdot 10^{-5} \cdot \left[\frac{P}{T(2,99 \cdot 10^{-8} P + 0,16)(1,45 \cdot 10^{-5} n_{H_2O}^2 - 3,11 \cdot 10^{-3} n_{H_2O} + 2,028)} + 0,488 \right] \times \sqrt{-31,39 n_{N_2H_4}^2 + 3338,5 n_{N_2H_4} + 1,02 \cdot 10^6}, \text{ кг/м}^3 \quad (1)$$

где n_{H_2O} и $n_{N_2H_4}$ - соответственно, мольная концентрация воды и гидразина исследования теплопроводности и термодинамических свойств водных растворов гидразина, рассмотренные в п. 4.10, служат основой для расчета удельной теплоты их парообразования (табл. 6), и делают возможным их использование при термической обработке арболитовых изделий.

Таблица 6
Удельная теплота парообразования исследуемых растворов, рассчитанная при температуре $T = 293 \text{ К}$

Растворы	ΔH , кДж/кг	Растворы	ΔH , кДж/кг
90%N ₂ H ₄ +10%H ₂ O	245,81	40%N ₂ H ₄ +60%H ₂ O	596,10
80%N ₂ H ₄ +20%H ₂ O	349,87	30%N ₂ H ₄ +70%H ₂ O	674,08
70%N ₂ H ₄ +30%H ₂ O	434,67	20%N ₂ H ₄ +80%H ₂ O	730,92
60%N ₂ H ₄ +40%H ₂ O	479,78	10%N ₂ H ₄ +90%H ₂ O	820,08
50%N ₂ H ₄ +50%H ₂ O	539,69		

Данные табл. 6 показывают, что теплота парообразования раствора уменьшается при повышении концентрации гидразина. Таким образом, исходя из химической устойчивости гидразингидрата по сравнению с гидразином, при пропарке арболитовых изделий использован водный раствор гидразина - гидразингидрат (60%N₂H₄+40%H₂O).

Нарастание прочности арболита на обычном портландцементе М400 при различных способах пропарки характеризуется данными табл. 7.

Таблица 7
Кинетика нарастания прочности арболита на гуза-пае

№ пп.	Возраст арболита, сут.	Относительный предел прочности на сжатие (при R ₂₈),			
		При обычной тепловой обработке водяным паром		При тепловой обработке с помощью пара (60%N ₂ H ₄ +40%H ₂ O)	
		Интервал изменения	Среднее значение	Интервал изменения	Среднее значение
1.	1	0,15...0,25	0,20	0,16...0,26	0,21
2.	3	0,35...0,45	0,40	0,36...0,48	0,42
3.	7	0,60...0,75	0,67	0,62...0,77	0,69
4.	14	0,80...0,86	0,83	0,83...0,89	0,86
5.	21	0,88...0,94	0,91	0,92...0,96	0,94
6.	28	1,00	1,00	1,10...1,14	1,12
7.	90	1,20...1,30	1,25	1,40...1,52	1,46

Как видно из этой таблицы, при использовании водного раствора гидразина, изделие на 5 суток раньше, чем при обычном пропаривании водяным паром, набирает достаточную для эксплуатации прочность. Таким образом, на 17-20% укорачивается время набора изделия отпускной прочности. Это объясняется влиянием молекулы гидразина на полярную группу растительного сырья (высокомолекулярного соединения), в результате которого повышается гидрофобность растительного заполнителя. Повышение гидрофобности растительного заполнителя, на наш взгляд, является следствием блокирования адсорбционно-активных в воде гидроксидов макромолекул целлюлозы и других компонентов растительного заполнителя в результате образования водородных и химических связей между метильными группами и гидроксидами гуза-паи.

3.5. Коррозия стальной арматуры в ингибированных арболитовых конструкциях

При подборе и исследовании комплексных химических добавок для арболита ставилась задача, чтобы они снижали коррозионную активность арболита по отношению к стали, способствовали интенсификации процесса твердения и повышению его прочности. С этой целью были использованы комплексные добавки, содержащие в своем составе ингибирующие ионы (NO₂⁻, Cr₂O₇⁻). Составы добавок, их влияние на прочность арболита по сравнению с традиционной добавкой CaCl₂ (% от массы цемента) следующие: 1). CaCl₂ (2); 2). CaCl₂ + ((NH₄)₂Cr₂O₇ (2+1); 3). NaNO₂ + NaNO₃ + NH₄Cl (2+2+2); 4). NH₄X + (NH₄)₂Cr₂O₇ (4+1). Состав арболитовой смеси принят одинаковым для всех случаев, кг/м³: портландцемент М400-М380; дробленка - 240; вода - 400.

Проведенные исследования показали, что в арболите с CaCl₂ сталь не поляризуется и находится в активном состоянии. Введение совместно с CaCl₂ в арболитовую смесь (NH₄)₂Cr₂O₇ (состав 2) несколько смещает величину стационарного потенциала стали в положительную сторону, хотя ход кривой анодной поляризации свидетельствует о довольно активном состоянии металла. В арболите с комплексной добавкой состава 3 характер поляризации стали практически не изменился. В рассмотренных составах арболита (составы 2 и 3) соотношение ионов-ингибиторов коррозии (Cr₂O₇⁻ и NO₂⁻) и хлорид-ионов составляло 1:1,5. Увеличение доли ингибитора по отношению к активатору коррозии в составе комплексной добавки (состав 4) NO₂⁻ + Cr₂O₇⁻/Cl⁻ = 1/0,47 способствовало значительному облагораживанию стационарного потенциала и увеличению поляризации стали.

Применение предложенных комплексных химических добавок в арболите способствует интенсификации его твердения и повышению прочности на 40-50% по сравнению с прочностью арболита на традиционной добавке (CaCl₂). Наличие в составе химических добавок - ингибиторов коррозии, снижает коррозионную активность арболита по отношению к стали. При этом содержание в комплексной добавке ингибирующих ионов (NO₂⁻, Cr₂O₇⁻) должно превышать количество хлорид-ионов не

менее чем в 2 раза.

Также проведенными нами исследованиями установлено, что покрытия из кремне-сурьмяносодержащих сплавов алюминия толщиной 100-200 мкм могут надежно защитить гибкую связь трехслойных панелей, а также закладные и соединительные детали от коррозии. Результаты исследования основных физико-химических, физико-технических, в том числе и теплофизических свойств этих сплавов приведены в четвертой главе диссертационной работы.

3.6. Влияние щелочного экстракта стеблей хлопчатника на свойства цементосодержащих композиций

Влияние щелочного экстракта стеблей хлопчатника (ЩЭСХ) на реологические свойства цементосодержащих смесей исследовалось при использовании обычного среднеалюминатного цемента М400 без добавки.

ЩЭСХ, оказывая некоторое пластифицирующее влияние, снижает нормальную плотность цементного теста. При расходах добавки до 0,7% массы цемента нормальная плотность теста снижается от 24% для обычного цемента без добавки до 21,5% с добавкой, для портландцемента со шлаком снижение водопотребности происходит с 24% до 22%, для сульфатостойкого - соответственно, с 24,5% до 21,5%, причем снижение водопотребности обычных цементов происходит при расходах щелочного экстракта до 0,1%, при дальнейшем увеличении расхода добавки нормальная плотность цементного теста практически стабильна. Для сульфатостойкого цемента снижение водопотребности пропорционально увеличению расхода добавки, хотя при меньших содержаниях щелочного экстракта темп снижения нормальной плотности теста более высокий, чем при его больших количествах.

Исследования показывают, что возрастание прочности образцов с добавкой экстракта стеблей хлопчатника при нормальном твердении составляет 31,3-54,7%, при естественном твердении - 41,8-59,9%, причем если прочность состава естественного твердения без добавки составляет 83,9% значения прочности бетона нормального твердения, то этот показатель для состава с добавкой составляет 86,7-90,6%. В исследованных составах прочность образцов с добавкой значительно больше прочности состава без добавки, однако при повышенных дозировках добавки (0,5%) ее значение имеет тенденцию к снижению.

Кинетика твердения бетона 360 сут. возраста в зависимости от содержания ЩЭСХ в составе сульфатостойкого цемента показывает, что образцы, изготовленные из состава 1:1,78:3,3 при В/Ц=0,5, твердели в нормальных и естественных условиях. В раннем возрасте влияния добавки на упрочнение сульфатостойкого цемента проявляется мало, затем с увеличением срока твердения прочность состава с добавкой значительно возрастает. Сравнение этих результатов с данными, полученными при использовании других цементов, показывает, что, по-видимому, ЩЭСХ в системе «цемент-вода» более интенсивно ускоряет реакции гидратации и образования

кристаллического сростка из алюминатных и алюмоферритных фаз цементного клинкера, чем силикатных. Увеличение скорости гидратации минералов C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) и C_4AF ($4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$) ускоряет схватывание цементного теста, что проявляется больше для обычных цементов, чем для сульфатостойкого, как было отмечено выше. Ускорение гидратации алюминатсодержащих фаз цемента инициирует реакции гидратации и твердения других минералов.

Деформативные параметры бетонов с добавкой ЩЭСХ при расходах добавки 0,03-0,25% на 5-8% превосходят значения аналогичных параметров бетона без добавки в соответствующие возрасты. При расходах добавки 0,3-0,5% эти бетоны практически имеют такие же параметры деформативных качеств, что и бетон без добавки. При испытании призмических образцов состава 1:1,51:2,57 при В/Ц=0,4 и Ц=475 кг/м³, изготовленных из среднеалюминатного цемента без добавки, через 7 суток нормального твердения они имели модуль упругости $E=3,25 \cdot 10^5$ МПа и коэффициент призмической прочности $K_n=0,79$, через 360 сут. значения этих параметров стабилизируются на уровне $E=4,0 \cdot 10^5$ МПа и $K_n=0,83$. Для образцов с добавкой ЩЭСХ в количествах 0,03-0,25% в возрасте 7 сут. модуль упругости изменяется в пределах от $3,4 \cdot 10^5$ МПа до $3,55 \cdot 10^5$ МПа, а коэффициент призмической прочности возрастает до 0,77-0,79. В возрасте 360 сут. параметры деформативных качеств бетона с добавкой возрастают до $(4,25-4,40) \cdot 10^5$ МПа и $K_n=0,87-0,90$. Значения параметров деформативных качеств составов с добавками стабилизируются в течение 90-120 сут. твердения, т.е. значительно быстрее, чем для состава без добавки.

3.7. Влияние щелочного экстракта стеблей хлопчатника на стойкость цементного камня в агрессивных средах

Коррозионностойкость цементного камня с добавкой ЩЭСХ изучалась путем хранения образцов, изготовленных из состава 1:1,51:2,57 при В/Ц=0,4 и Ц=475 кг/м³ на обычном среднеалюминатном цементе М400 Душанбинского завода, в агрессивных средах дистиллированной воды и раствора 0,25 моль/л H_2SO_4 в течение 180 суток.

В дистиллированной воде и растворе H_2SO_4 происходит возрастание прочности составов с щелочным экстрактом по сравнению с прочностью состава без добавки во всех сроках испытания. Коэффициент стойкости бетона в основном также возрастает при увеличении расхода добавки в составе цемента.

Некоторое постоянство значения K_c при хранении образцов с добавкой в растворе H_2SO_4 , в течение, 30 сут. объясняется не снижением их прочности по сравнению с прочностью образца без добавки, а возрастанием прочности образцов нормального твердения в этом возрасте. Установлено, что прочность образцов с добавкой в растворе кислоты существенно увеличивается по сравнению с прочностью состава без добавки. Коэффициент его стойкости больше 0,6.

Глава 4. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ И ЕГО КОМПОНЕНТОВ

4.1. Теплопроводность органических материалов рыхлой структуры в сухом состоянии

Составленная на основе наших экспериментальных данных и данных других исследователей зависимость коэффициента теплопроводности от насыпной плотности органических материалов рыхлой структуры, отражается следующим уравнением:

$$\lambda_0 = 0,935 \cdot 10^{-6} \gamma_0^2 - 0,719 \cdot 10^{-9} \gamma_0^3 - 14,886 \cdot 10^{-6} \gamma_0 + 0,029, \quad 125 \leq \gamma_0 \leq 300 \text{ кг/м}^3 \quad (2)$$

где λ_0 - коэффициент теплопроводности материала в сухом состоянии при средней температуре $25 \pm 5^\circ\text{C}$, Вт/(м·К); γ_0 - объемная масса материала в сухом состоянии, кг/м³.

4.2. Влияние насыпной плотности и влажности на теплопроводность органических материалов рыхлой структуры

Исследования показали, что для материалов с наиболее тонкими волокнами, таких, как лен и джут, оптимальная величина насыпной плотности составляет 50-60 кг/м³, для материалов же менее дисперсных (волокна древесины, стебли сахарного тростника и кукурузы), эта величина составляет 60-80 кг/м³. В исследованных нами материалах, обладающих значительно более грубой структурой, величина насыпной плотности колеблется в пределах 120-300 кг/м³.

Величина β_w - прирост коэффициента теплопроводности λ на каждый процент объемного влагосодержания материала в %, для исследуемых нами материалов рыхлой структуры может быть охарактеризована формулой:

$$\beta_w = 1,116 \gamma^2 - 8,589 \gamma + 22,667, \quad \% \quad W \leq 15 - 20\%. \quad (3)$$

Определение λ_w производится по известной в научной литературе формуле:

$$\lambda_w = \lambda_0 + \beta_w W. \quad (4)$$

4.3. Теплопроводность органически связанных материалов волокнистого строения в сухом состоянии

В органически связанных материалах волокнистого строения, так же как и в других рассмотренных выше материалах, в качестве одного из важнейших факторов, влияющих на величину коэффициента теплопроводности, должна являться структура.

Большинство теплоизоляционных и теплоизоляционно-конструкционных материалов на основе гуза-пая не имеют правильной волокнистой структуры. В соответствии с классификацией органических строительных материалов волокнистого строения, при исследовании теплопроводности органические материалы на основе растительных отходов были разделены на три основные группы: грубоволокнистой структуры; средневолокнистой и смешанной структуры; тонковолокнистой структуры.

4.4. Влияние плотности и влажности на теплопроводность органически связанных материалов волокнистого строения

Зависимость коэффициента теплопроводности органически связанных материалов волокнистого строения от плотности, представленная на рис. 8, может быть представлена следующим выражением:

$$\lambda_0 = 0,158 \cdot 10^{-6} \gamma_0^2 - 0,084 \cdot 10^{-9} \gamma_0^3 - 0,113 \cdot 10^{-3} \gamma_0 + 0,026 + A \gamma_0^n \quad (5)$$

$$300 \leq \gamma_0 \leq 700 \text{ кг/м}^3,$$

где A, n - коэффициенты, равные:

- для материалов грубоволокнистой структуры $A = 1,164 \cdot 10^{-3}$; $n = 0,55$;
- для материалов средневолокнистой структуры $A = 2,145 \cdot 10^{-4}$; $n = 0,7$;
- для материалов тонковолокнистой структуры $A = 2,906 \cdot 10^{-5}$; $n = 0,8$.



Рис. 8. Теплопроводность органически связанных материалов волокнистого строения в сухом состоянии. 1 - кривая для материалов грубоволокнистой структуры; 2 - то же, средневолокнистой структуры; 3 - то же, тонковолокнистой структуры.

Из проведенных исследований следует, что величина прироста коэффициента теплопроводности на влажность β_w всегда находится в тесной связи со структурой материала. Очевидно, что это положение сохраняется и для органических материалов.

Воспользовавшись нашими экспериментальными данными и результатами исследования Ф. Роулея с использованием метода наименьших квадратов, рассматриваемую зависимость можно представить следующим выражением (рис. 9):

$$\beta_w = 7,109 \cdot 10^{-6} \gamma^2 - 1,441 \cdot 10^{-2} \gamma + \frac{B}{\gamma} + 8,983, \%, \quad W \leq 25\%, \quad (6)$$

где β_w - прирост коэффициента теплопроводности λ на каждый процент объемного влагосодержания материала, %;

B - коэффициент, равный: для материалов грубоволокнистой структуры $B=1,50$; для материалов средневолокнистой структуры $B=1,05$; для материалов тонковолокнистой структуры $B=0,35$.



Рис. 9. Влияние влажности на теплопроводность органически связанных материалов волокнистого строения.

4.5. Экспериментальные исследования теплотехнических свойств материалов связанной структуры на основе гуза-паи

При экспериментальных исследованиях теплопроводности материалов на основе гуза-пай по методу стационарного теплового потока использовались образцы размерами 250x250x(20±70) мм. Для сравнения исследовались также теплофизические характеристики образцов материалов на основе костры кенафа и теплоизоляционно-конструкционного материала на основе стружек древесины и стеблей таба-

ка, армированного стеблями хлопчатника. Также были исследованы и теплофизические характеристики низкомарочного бетона, включающего в свой состав измельченную гуза-пай и связующие - портландцемент и грунт (лессовидный суглинок) в различных соотношениях.

Результаты измерения коэффициента теплопроводности материалов на основе гуза-пай показывают, что наименьшей теплопроводностью обладают: теплоизоляционный материал на основе гуза-пай хлопчатника (ТИМНОГХ) $\lambda_o = 0,055-0,071$ Вт/(м·К) при $\gamma_o = 282-288$ кг/м³, теплопроводность фибролитов $\lambda_o = 0,076-0,099$ Вт/(м·К) при $\gamma_o = 300-400$ кг/м³, а теплопроводность гуза-пайто-стружечной плиты (ГСП) колеблется от 0,056 до 0,31 Вт/(м·К) при $\gamma_o = 303-910$ кг/м³.

Достаточно низкой теплопроводностью обладают также и материалы на основе костры кенафа и стеблей табака $\lambda_o = 0,083-0,127$ Вт/(м·К) при $\gamma_o = 395-610$ кг/м³. Материалы на основе гипса, армированного стеблями хлопчатника - гипсо-гуза-пайтовыми теплоизоляционными материалами (ГГТМ), обладают достаточно низкой теплопроводностью $\lambda_o = 0,086-0,200$ Вт/(м·К) при $\gamma_o = 500-900$ кг/м³.

Для изготовления вышеупомянутых материалов требуется совершенствование технологии, отличающейся от существующих для изготовления теплоизоляционных материалов. Этого технологического недостатка можно избежать применением гипсо-грунто-гуза-пайтового теплоизоляционного материала (ГГТТМ).

Теплопроводность ГГТТМ в сухом состоянии составляет $\lambda_o = 0,167-0,247$ Вт/(м·К) при $\gamma_o = 550-650$ кг/м³ и зависит преимущественно от соотношений компонентов в смеси, влияющих на характеристики его пористой структуры. При этом ГГТТМ обладает рядом преимуществ: технология его производства проста и не требует сложного и дорогостоящего оборудования; изготовление панелей с его применением можно наладить в любом хлопководческом районе. Поэтому дальнейшее исследование были направлены на изучение теплотехнических свойств как самого ГГТТМ, так и панелей наружных стен с применением его в качестве теплоизоляции.

4.6. Теплопроводность материалов на основе растительно-гипсовой композиции (РГК)

Для подготовки образцов РГК стебли хлопчатника измельчались до фракций 0,63±5 мм и добавлялись в гипсовую смесь, обладающую следующими характеристиками в сухом состоянии: плотность, $\gamma_o^r = 1150$ кг/м³; предел прочности при сжатии, $R_{сж}^r = 0,656$ МПа; предел прочности при изгибе, $R_{изг}^r = 0,329$ МПа; коэффициент теплопроводности, $\lambda_o^r = 0,32$ Вт/(м·К).

Установлены зависимости теплопроводности ГГТМ - λ_o , Вт/(м·К):

а) от ее плотности γ_o (при коэффициенте корреляции $k = 0,975$):

$$\lambda_o = 0,0242 \cdot \exp(-0,0023 \cdot \gamma_o), \quad 500 \leq \gamma_o \leq 900 \text{ кг/м}^3; \quad (7)$$

б) от процентного содержания гуза-пай в смеси H (при коэффициенте корреляции $k = -0,996$):

$$\lambda_o = 0,225 \cdot \exp(-0,281 \cdot H), \quad 5 \leq H \leq 20 \%. \quad (8)$$

ГТТМ, вследствие его гигроскопичности, можно использовать для внутренних стен зданий. Однако при соблюдении ряда условий и выполнении соответствующих мероприятий допускается его использование и для теплоизоляции наружных стен.

4.7. Теплофизические свойства материалов на основе растительно-цементной композиции (РЦК)

При теплотехнических расчетах ограждающих конструкций зданий из арболита с допустимой степенью погрешности можно использовать формулу зависимости коэффициента теплопроводности арболита в сухом состоянии от насыпной плотности материала, которая имеет следующий вид:

$$\lambda_0 = K(2,66 \cdot 10^{-2} + 1,22 \cdot 10^{-4} \gamma_0), \quad (9)$$

где K - коэффициент пропорциональности, определяемый по табл. 8.

Таблица 8.

Значения коэффициента K для арболита на различных заполнителях

Заполнитель	Соотношение заполнителя и вяжущего по весу (Z)	Значения K
Дробленка гуза-паи	0,6	1,04
Дробленка гуза-паи	0,7	1,00
Дробленка гуза-паи	0,8	0,93
Сечка камыша с песком	0,6	1,16
То же, без песка	0,6	1,12

Влияние влажности на теплопроводность арболита определяется значением β_w , %, который приводится в табл. 9.

Таблица 9.

Прирост коэффициента теплопроводности при увеличении на 1 % объемной влажности материалов β_w , %

Материал	Объемная масса γ , кг/м ³			
	300	400	500	600
Арболит на дробленке гуза-паи	10,1	8,6	7,1	6,3
Фибролит на гуза-пае	9,8	7,5	6	5
Древесноволокнистые плиты из гуза-паи	6	4,6	3,8	3,1

Для арболита на гуза-пае теплопроводность зависит от весового соотношения заполнителя вяжущего. С уменьшением этого соотношения коэффициент теплопроводности увеличивается. Следовательно, коэффициент теплопроводности арболита растет с повышением доли расхода цемента.

Коэффициент теплопроводности увлажненного арболита можно определить по формуле:

$$\lambda_w = \lambda_0(1 + 0,02W_0) \quad (10)$$

4.8. Теплопроводность гипсо-грунто-гуза-паитового теплоизоляционного материала (ГГТТМ)

Самым сложным по составу и структуре из РВК является РКВК - гипсо-грунто-гуза-паитовый теплоизоляционный материал (ГГТТМ). Исходя из этого, нами был использован математико-статистический метод планирования эксперимента. Выявленный этой основе коэффициент теплопроводности ГГТТМ в сухом состоянии выглядит следующим образом:

$$\lambda_0 = 0,080 - 0,127Z_1 - 0,463Z_2 + 0,958Z_3 + 0,009Z_1^2 - 0,800Z_3^2 + 0,125Z_1Z_2 + 0,075Z_1Z_3 \quad (11)$$

где $Z_1 = (G_{гп}/G_{гп})$; $Z_2 = G_{гп}/(G_{гп} + G_{гп})$; $Z_3 = B/(G_{гп} + G_{гп})$.

Здесь: $G_{гп}$ - вес грунта, гипса, дробленки, кг; B - объем воды, л.

На основе этого уравнения составлена номограмма численного решения регрессионного уравнения теплопроводности ГГТТМ, с помощью которого становится возможным прогнозирование теплопроводности материала по соотношению его компонентов.

При этом коэффициент теплопроводности влажного ГГТТМ определяется следующей формулой:

$$\lambda_w = 0,02849 \exp(0,00335 \gamma_0) + (0,00097 + 0,00001 \gamma_0) \cdot W, \quad (12)$$

(350±50) < γ_0 < (650±50) кг/м³, $W \leq 15\%$.

Расчетное значение коэффициента теплоусвоения (при периоде 24 часа) определялось по формуле:

$$S = 0,27 \sqrt{\lambda_w \cdot \gamma_0 \cdot (C_0 + 0,0419 \cdot W)}, \quad (13)$$

где $C_0 = 2,30$ кДж/(кг·К) - удельная теплоемкость ГГТТМ в сухом состоянии.

Величина толщины слоя резких колебаний рассчитывалась по формуле:

$$\delta_{pk} = \lambda / S = \frac{1}{0,27} \sqrt{\frac{0,02849 \exp(0,00335 \gamma_0) + (0,00097 + 0,00001 \gamma_0) W}{\gamma_0 (2,30 + 0,0419 W)}} \quad (14)$$

При максимальных значениях величин $\gamma_0 = 700$ кг/м³ и $W = 20\%$, толщина слоя резких колебаний составляет $\delta_{pk} = 5,34 \cdot 10^{-2}$ м. Это означает, что при толщине слоя ГГТТМ более 53,4 мм он считается «толстым» с точки зрения теплоинерционности и дает основание на упрощенный теплотехнический расчет ограждающих конструкций на их основе.

4.9. Теплофизические свойства алюминиево-кремниво-сурьмяных сплавов

С целью оценки теплофизических свойств коррозионностойких покрытий стальной арматуры исследуемых панелей наружных стен, нами использованы спла-

вы, разработанные сотрудниками Физико-технического института им. С.У.Умарова АН Республики Таджикистан. Химический состав исследуемых сплавов был выбран на основе планирования эксперимента, рассмотренного далее математико-статистическим методом - $(xAl+0,015Cu+(0,885-x)Si+0,1Sb)$: $x=0,885; 0,880; 0,875; 0,870; 0,865; 0,835; 0,785$.

На основании математико-статистического метода планирования эксперимента получена следующая зависимость коэффициента теплопроводности исследуемых сплавов:

$$\lambda = 81,293 + 405,839 n_{Al} - 776,984 n_{Si} - 283,501 n_{Al}^2 + 185,015 n_{Si}^2 + 85,501 n_{Al} n_{Si}, \quad (15)$$

где n_{Al} и n_{Si} - соответственно концентрации алюминия и кремния в исследуемых сплавах, в долях единицы.

При обобщении экспериментальных данных по теплофизическим свойствам исследуемых сплавов определено:

$$\lambda = [0,344 \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 - 0,642 \left(\frac{T}{T_1}\right) + 1,33] \cdot \lambda_1; \quad (16)$$

$$C_p = [0,31 \left(\frac{T}{T_1}\right) - 0,69] \cdot C_p^*; \quad (17)$$

$$a = [7,11 \cdot 10^{-2} \left(\frac{T}{T_1}\right)^2 - 0,144 \left(\frac{T}{T_1}\right) + 1,065] \cdot a^*. \quad (18)$$

где λ , C_p , a - коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость и температуропроводность исследуемых объектов в зависимости от температуры; λ_1 , C_p^* , a^* - соответственно их теплопроводность, удельная теплоемкость и температуропроводность при $T_1 = 293$ К.

Влияние температуры T , К на удельное электрическое сопротивление сплавов алюминия ρ , Ом·м, выражается следующей зависимостью:

$$\ln \rho = \ln(1/A) - E_a/(2kT), \quad (19)$$

где A - постоянная, характерная для данного сплава, Ом·м; E_a - энергия, которую необходимо затратить на освобождение заряда от связей в кристаллической решетке (энергия активации), Дж; k - постоянная Больцмана;

Значения постоянной A и величины E_a для исследуемых сплавов приведены в табл. 10. Предложенные расчетные формулы имеют погрешности 4,5%.

Таблица 10.

Значение A и величины E_a для исследуемых сплавов алюминия

№	Сплавы алюминия	$A \cdot 10^{-8}$, Ом·м	E_a , Дж· 10^{19}	
			при $T=293$ К	При $T=673$ К
1.	0,885Al+0,015Cu+0,1Sb	6,70	1,24	2,84
2.	0,88Al+0,015Cu+0,005Si+0,1Sb	6,75	1,23	2,82
3.	0,875Al+0,015Cu+0,01Si+0,1Sb	7,22	1,23	2,82
4.	0,870Al+0,015Cu+0,015Si+0,1Sb	7,91	1,21	2,79
5.	0,865Al+0,015Cu+0,02Si+0,1Sb	8,20	1,20	2,77
6.	0,835Al+0,015Cu+0,05Si+0,1Sb	9,30	1,21	2,78
7.	0,785Al+0,015Cu+0,1Si+0,1Sb	8,95	1,25	2,87

4.10. Теплопроводность и термодинамические свойства водных растворов гидразина и фенилгидразина

Для расчета теплопроводности водных растворов гидразина и фенилгидразина в зависимости от температуры и давления получены:

Коэффициент теплопроводности водных растворов гидразина, с погрешностью до 8%, определялся по формуле:

$$\lambda_{p,T} = \left\{ -3,65 \cdot 10^{-9} \left[\frac{P}{T(6,02 \cdot 10^{-16} P^2 + 1,24 \cdot 10^{-7} P + 0,128)} \right]^2 + 1,31 \cdot 10^{-4} x \right. \\ \left. \times \left[\frac{P}{T(6,02 \cdot 10^{-16} P^2 + 1,24 \cdot 10^{-7} P + 0,128)} \right] - 0,127 \right\} (6,02 \cdot 10^{-16} P^2 + 1,24 \cdot 10^{-7} P + 0,128) x \\ \times (6,52 \cdot 10^{-9} P + 0,823) (6,67 \cdot 10^{-5} n_{H_2O}^2 - 6,35 \cdot 10^{-3} n_{H_2O} + 1,375) x \\ \times (-4,06 \cdot 10^{-5} n_{N_2H_4}^2 + 2,7 \cdot 10^{-3} n_{N_2H_4} + 0,554), \text{ Вт/(м·К)} \quad (20)$$

Коэффициент теплопроводности водных растворов фенилгидразина можно представить следующим выражением:

$$\lambda_{p,T} = \left\{ -2,17 \cdot 10^{-9} \left[\frac{P}{T(6,66 \cdot 10^{-16} P^2 + 9,68 \cdot 10^{-9} P + 0,166)} \right]^2 - 7,92 \cdot 10^{-5} x \right. \\ \left. \times \left[\frac{P}{T(6,66 \cdot 10^{-16} P^2 + 9,68 \cdot 10^{-9} P + 0,166)} \right] + 0,269 \right\} (6,66 \cdot 10^{-16} P^2 + 9,68 \cdot 10^{-9} P + 0,166) x \\ (2,55 \cdot 10^{-9} P + 0,895) (-8,59 \cdot 10^{-5} n_{H_2O}^2 - 6,76 \cdot 10^{-3} n_{H_2O} + 1,317) x \\ \times (8,98 \cdot 10^{-7} n_{C_6H_5N_2}^2 - 2,52 \cdot 10^{-3} n_{C_6H_5N_2} + 0,509), \text{ Вт/(м·К)} \quad (21)$$

где $n_{C_6H_5N_2}$ - мольная концентрация фенилгидразина.

Расчетным методом, в зависимости от температуры и давления, определены следующие термодинамические величины системы 60% N_2H_4 +40% H_2O : разность энтальпии ΔH ; разность энтропии ΔS ; удельная энергия Гиббса ΔG ; удельная энергия Гельмгольца ΔF ; внутренняя энергия ΔU .

Результаты расчета представлены в табл. 11.

Термодинамические свойства системы
(60%N₂H₄+40%H₂O) в зависимости от температуры и давления

Т, К	Термодинамические свойства				
	ΔH, Дж/кг	ΔS, Дж/(кг·К)	ΔG, Дж/кг	ΔF, Дж/кг	ΔU, Дж/кг
P=0,101 МПа					
313	7620	233,05	-65324,7	-65420,2	7524,4
333	141240	451,97	-9266,1	-9364,1	141141,9
373	282480	854,50	-36248,5	-36348,5	282380
473	635580	1691,35	-164428,6	-	-
P=4,91 МПа					
313	70220	231,73	-2311,5	-7019,1	65512,4
333	140440	449,41	-9380,0	-13989,8	135663,7
373	280880	849,66	-36043,0	-36043,2	275970,0
473	631980	1681,8	-163497,2	-163511,4	626689,1
P=9,81 МПа					
313	70000	231	-2303,0	-11744,8	60558,2
333	140000	448	-9184,0	-18754,7	130429,3
373	280000	847	-35931,0	-467333,1	270190
473	630000	1676,5	-16298,5	-173567	619417,5
P=29,43 МПа					
313	69300	228,69	-2279,9	-29911,8	41588,1
333	138600	443,52	-8759,2	-9092,2	138600,0
373	277200	838,53	-35571,9	-64424,6	248347,1
473	623700	1659,74	-161357,0	-192336,0	592721,0
P=49,1 МПа					
313	68600	226,38	-2256,9	-47719,8	23137,1
333	137200	439,04	-9001,7	-54845,3	91355
373	274400	830,06	-68390,0	-8242,9	227188,5
473	617400	1642,9	-159691,7	-210414,8	566676,9

5. НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ НА ОСНОВЕ ГУЗА-ПАИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

5.1. Математическая модель температурного поля наружных стен при изменении внешних и внутренних факторов

Учитывая, что в общем случае на поверхностях ограждений происходит сложный теплообмен, определяемый граничными условиями II (заданная интенсивность теплового потока) и III рода (заданные условия теплообмена с окружающей средой), неизвестные в уравнении (22) t_e и t_i определяются из нижеследующих уравнений с соответствующими граничными условиями:

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t_1}{\partial x^2}, \quad (22)$$

$$\begin{cases} -\lambda \frac{\partial t_1}{\partial x} \Big|_{x=0} = AI_1 - \alpha_H(t_1 - t_H), \\ -\lambda \frac{\partial t_1}{\partial x} \Big|_{x=\delta} = K_{\text{вст}}(t_1 - t_e). \end{cases} \quad (23)$$

Здесь A – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции; I_1 – сумма прямой и рассеянной солнечной радиации, Вт/м²; α_H – коэффициент теплоотдачи между наружной поверхностью стены и наружным воздухом, Вт/(м²·К); a и λ – коэффициенты температуропроводности, м²/с и теплопроводности, Вт/(м·К) ограждающей конструкции; t_i , t_e и t_H – соответственно температуры наружной поверхности стены, наружного и внутреннего воздуха, °С. δ – толщина стены, м; $K_{\text{вст}}$ – условный коэффициент теплопередачи, определяемый по формуле: $K_{\text{вст}} = 1/((\delta/\lambda) + 1/\alpha_e)$, где α_e – коэффициент теплоотдачи между внутренней поверхностью стены и внутренним воздухом, Вт/(м²·К).

Решение уравнения (23) находится в виде $t_1 = t_{01} + t_{11}e^{i\omega\tau}$. Входящие в уравнение I_1 , t_e и t_H могут быть представлены в виде гармонического ряда:

$$\begin{cases} I_1 = I_0 + Ie^{i(\omega\tau - \varphi)} \\ t_H = t_{0H} + t_{1H}e^{i(\omega\tau - \varphi_H)} \\ t_e = t_{0e} + t_{1e}e^{i(\omega\tau - \varphi_e)} \end{cases} \quad (24)$$

где φ , φ_m , φ_e – соответственно фазы запаздывания колебания солнечной радиации, наружного и внутреннего воздуха; ω – круговая частота колебаний температуры, 1/с.

Величина расчетной амплитуды колебания температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций зданий – A_{t_e} в случае отсутствия инфильтрации определяется по формуле:

$$A_{t_e} = t_{1e} - t_{0e} = \left(\frac{F(AI\lambda n + \eta t_{1e})}{K_{\text{вст}}^{-1} m (i\omega E + D) - Fe^{-i\omega\tau}} \right) - \left(\frac{K_{\text{вст}} F \lambda (AI_n + \alpha_e t_{0e})}{D(K_{\text{вст}} \lambda + (K_{\text{вст}} \delta + \lambda)\alpha_e) - K_{\text{вст}}^2 F(\lambda + \alpha_e \delta)} \right) \quad (25)$$

Здесь $m = sh(n, \delta) [K_{\text{вст}} \alpha_H + \lambda^2 n^2] + \lambda n (K_{\text{вст}} + \alpha_H) ch(n, \delta)$;

$$n = \sqrt{\frac{i\omega}{a}}; \eta = \alpha_H \lambda n e^{-i\varphi_H}; E = c_a \rho_a V_a + c_k \rho_k V_k; D = K_{\text{вст}} F + \alpha_{\text{вст}} F_{\text{вст}},$$

где F , $F_{\text{вст}}$ – площади теплоотводящей поверхности со значением темпера-

туры t_1 , а также инфильтрирующая поверхность, m^2 ; c_a, ρ_a, V_a и c_k, ρ_k, V_k - теплоемкость, $kJ/(kg \cdot K)$, плотность, kg/m^3 и объем, m^3 соответственно внутреннего воздуха здания и ограждающих его конструкций.

Найденная величина A_{τ} , при расчете теплоустойчивости ограждающих конструкций, не должна превышать своего нормативного (требуемого) значения A_{τ}^{mp} , определяемого согласно нормативной литературе по формуле:

$$A_{\tau} \leq A_{\tau}^{mp} = 2,5 - 0,1(t_n - 21). \quad (26)$$

где t_n - температура наиболее жаркого месяца района местонахождения здания или сооружения, $^{\circ}C$, определяемая по нормативной литературе.

Таким образом, используя разработанную математическую модель теплового режима зданий, становится возможным дать оценку теплоустойчивости их ограждающих конструкций.

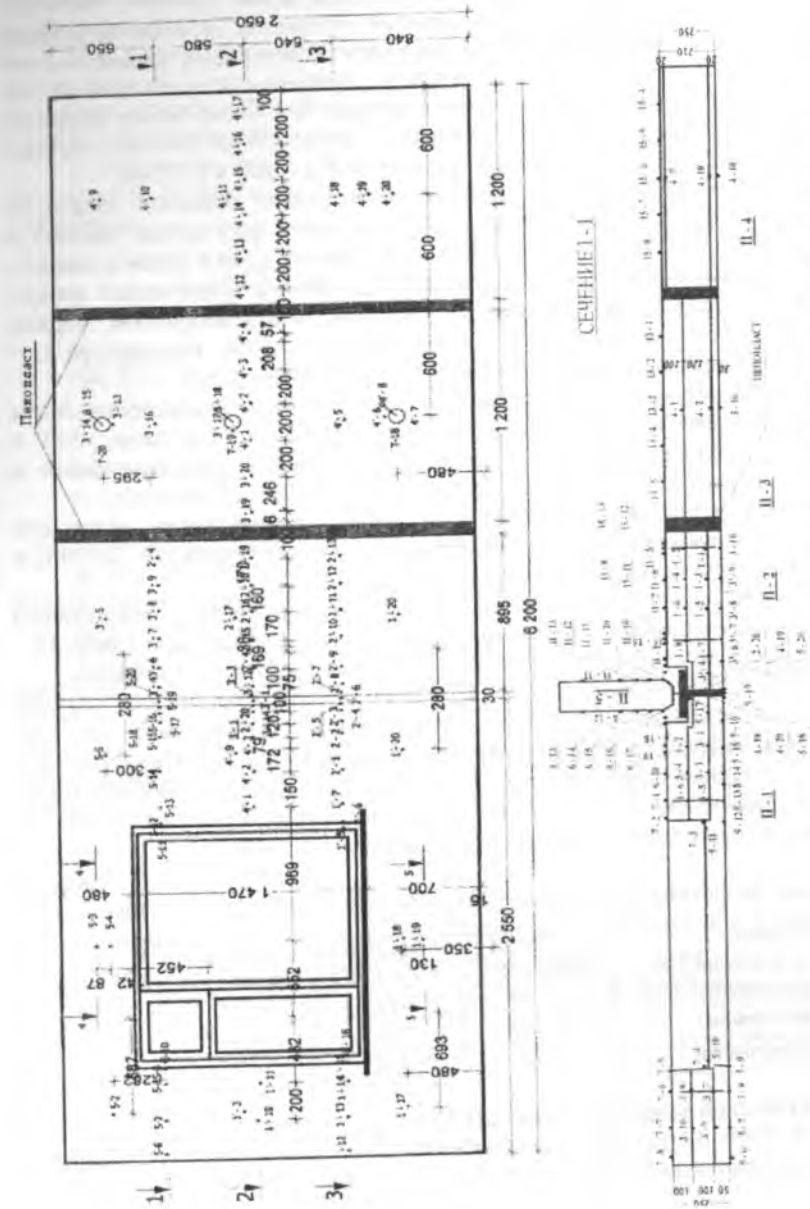
5.2. Исследование теплофизических характеристик наружных стеновых панелей в климатической камере

Теплотехнические исследования образцов панелей наружных стен с теплоизоляцией на основе гуза-пан проводились в климатической камере №1 лаборатории теплового и воздушного режима ЦНИИЭП жилища г.Москвы на четырех фрагментах стеновых панелей (П-1, П-2, П-3, П-4) с образованием стыка несущей железобетонной перегородки (внутренней стеновой панели П-5) с панелями П-1 и П-2. Заполнение проема климатической камеры экспериментальными панелями показано на рис. 10.

В ходе исследований теплотехнических свойств панелей наружных стен различных конструкций толщина панелей была принята одинаковой, равной 250 мм. Стеновые панели П-1, П-2, П-3 были изготовлены с утеплителем из гипсо-грунто-гуза-пантового теплоизоляционного материала (ГГТМ).

Для панели П-1 толщина внутреннего железобетонного несущего слоя (из бетона класса В10) составляла 100 мм, наружного железобетонного слоя - 50 мм. В качестве утеплителя для этой панели был применен ГГТМ толщиной 100 мм со средней плотностью ГГТМ в сухом состоянии $\gamma_0 = 650 \text{ кг/м}^3$. Конструкция панели П-2 такая же, как и П-1, но состав утеплителя из ГГТМ немного иной - средняя плотность утеплителя в сухом состоянии составляет $\gamma_0 = 600 \text{ кг/м}^3$.

Двухслойная панель П-3 состояла из несущего железобетонного слоя (бетон класса В10) толщиной 100 мм, утепляющего слоя из ГГТМ толщиной 120 мм и $\gamma_0 = 500 \text{ кг/м}^3$. Однослойная арболитовая панель П-4 состояла из слоя арболита на основе



• - термометр, прикрепленный к конструкции стены; - термометр в пристенном воздухе; ○ - термометр
Рис. 10. Заполнение проема климатической камеры экспериментальными панелями и схема расстановки термометров.

стеблей хлопчатника толщиной 210 мм, оштукатуренного с двух сторон цементно-песчаным раствором класса В7,5 толщиной 20 мм.

Высота всех экспериментальных панелей составляла 2650 мм из условия заполнения проема между теплым и холодным отделениями климатической камеры с учетом закрепления панелей и применения мероприятий по уменьшению теплопотерь через их торцы. Панель П-1 имела длину (ширину) 2550 мм с окном, размеры которого составляли 1350x1470 мм. Длины (ширины) панелей П-2, П-3 и П-4 соответственно составляли 895, 1200 и 1200 мм.

В условиях стационарного режима теплопередачи решались задачи по определению распределения температуры по сечению фрагментов панелей и уточнению величин термических сопротивлений конструкций в целом и каждого из слоев в отдельности. При этом в теплом отделении климатической камеры поддерживались параметры внутреннего воздуха, соответствующие нормам проектирования для жилых зданий (влажность $\varphi_a = 55\%$, температура $t_a = 18 \pm 2^\circ\text{C}$), а в холодном отделении – температура $t_n = -20^\circ\text{C}$.

В условиях переменных тепловых воздействий была рассмотрена задача одностороннего нагрева и охлаждения при $t_n = +20^\circ\text{C}$, -20°C , а также $+30^\circ\text{C}$ с целью оценки теплоустойчивости испытуемых панелей непосредственно в климатической камере.

В теплом отделении климатической камеры за все время испытаний поддерживался нормальный режим жилого дома с температурой $t_a = 18 \pm 2^\circ\text{C}$ и относительной влажностью $\varphi_a = 50-55\%$.

Результаты определения среднего для всей поверхности (приведенного) значения сопротивления теплопередачи стеновых панелей приведены в табл. 12.

Сопоставление данных, полученных при $\Delta P = 0$ с требуемым значением сопротивления теплопередачи ($R_o^{\text{тп}} = 0,651 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, для Курган-тюбе - самого холодного хлопкосеющего района Таджикистана) показывает, что из исследованных панелей требованию отвечают панели П-3 и П-4. Недостаточное термическое сопротивление панелей П-1 и П-2 указывает на необходимость применения компонентов с более низкой теплопроводностью или на необходимость увеличения толщины слоя утеплителя.

Таблица 12

Общее сопротивление теплопередачи стеновых панелей, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$

Режимы (разность давлений, Па)	Общее сопротивление теплопередачи, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$			
	Панель П-1	Панель П-2	Панель П-3	Панель П-4
$\Delta P = 0$ (стационарный режим)	0,525	0,616	0,748	0,996
$\Delta P = 5$ (экспфильтрация)	0,569	0,626	0,831	1,042
$\Delta P = 30$ (инфильтрация)	0,426	0,447	0,643	0,858

По абсолютной величине влажность ГТТМ в панели П-1 составляла 6%, а в панели П-3 - 5,9% против 2% по требованиям СНиП при условии эксплуатации А. Влажность арболитовой панели П-4 составляла 11,4% против нормативной 10%.

Повышенная влажность утеплителей в панелях объясняется неполным вы-

сыханием панелей в период между их изготовлением и установкой в испытательную камеру.

В условиях переменных тепловых воздействий была рассмотрена задача переходного теплового процесса - одностороннего нагрева или охлаждения многослойных ограждений с целью оценки теплоинерционных свойств испытуемых панелей непосредственно в климатической камере.

В общем случае для конструкции, состоящей из n слоев, приведенные величины теплоинерционных свойств - η и критерия Фурье F_o , можно определять по формуле:

$$\eta = 1000 \sum_{i=1}^n C_i \cdot \mu \left(\sum_{i=1}^n R_i + R_B \right); \quad F_o = \frac{1}{1000 \sum_{i=1}^n C_i \cdot \mu \left(\sum_{i=1}^n R_i + R_B \right)} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot z, \quad (27)$$

где $\sum_{i=1}^n C_i$ - истинная теплоемкость многослойной конструкции,

$$\sum_{i=1}^n C_i = \sum_{i=1}^n \epsilon_i \gamma_i \delta_i \cdot \frac{\kappa \text{Дж}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})},$$

ϵ_i - удельная теплоемкость материалов слоев стены, $\frac{\kappa \text{Дж}}{(\text{кг} \cdot \text{К})}$;

1000 - переходной коэффициент от кДж в [Вт · с];

R_i, R_B - термические сопротивления i -го слоя конструкции стены и ее внутренней поверхности, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$;

z - момент времени, с.

Коэффициент μ , показывает, во сколько раз увеличится или уменьшится количество тепла, поглощаемое или выделяемое 1 м^2 данной многослойной конструкции стены, при одностороннем нагревании или охлаждении в случае перестановки ее слоев. Величина коэффициента μ определяется отношением величин термических сопротивлений, отсчитываемых от наружной $R_{\text{сп,н}}^*$ и внутренней $R_{\text{сп,в}}^*$ ее поверхностей:

$$\mu = \frac{R_{\text{сп,н}}^*}{R_{\text{сп,в}}^*} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i - R_{\text{сп,н}}^*}{R_{\text{сп,в}}^*} \quad (28)$$

Для однослойного ограждения, а также для конструкций с симметричным расположением слоев величина коэффициента μ равна единице.

Для двухслойной конструкции коэффициент μ определяется

$$\mu = \frac{R_1 + 2R_2}{5R_1 + 4R_2} \quad (29)$$

Для трехслойной конструкции

$$\mu = \frac{R_1 + 4R_2 + 5R_3 - R_{\text{н}}}{5R_1 + 2R_2 + R_3 + 2R_{\text{в}}} \quad (30)$$

где $R_{\text{н}}$ - сопротивление теплопередачи в месте пересечения от внутренней стороны панелей, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$.

Величина μ увеличивается при расположении слоев с большим термическим сопротивлением у наружной поверхности конструкций стен. Постановка задачи испытаний ограждающих конструкций в условиях нестационарной теплопередачи рассмотрена в виде резкого изменения температуры наружного воздуха. При этом определено, как быстро в них установится температурное поле, близкое к стационарному. Критерием этого можно считать разность температур, менее $0,1^\circ\text{C}$ на внутренней поверхности ограждения. При этом температуру наружного воздуха принимали переменной. На наружной стороне ограждения задана изменяющаяся во времени температура наружного воздуха t_n , которая представляет собой схематизированный переход температуры наружного воздуха, имеющий ступенчатый характер по трем циклам:

1) резкое понижение температуры от $t_n = +20^\circ\text{C}$ до -20°C со скоростью $5,0^\circ\text{C}/\text{час}$, происходящее за 8 часов с выдержкой до 48 часов;

2) резкое повышение температуры от $t_n = -20^\circ\text{C}$ до $+20^\circ\text{C}$ со скоростью $4,0^\circ\text{C}/\text{час}$, которое достигалось за 10 часов (с $z = 48$ до 58 часов) с выдержкой до времени $z = 72$ часов;

3) резкое повышение температуры от $t_n = +20^\circ\text{C}$ до 30°C со скоростью $2,5^\circ\text{C}/\text{час}$, что достигалось за 4 часа (с $z = 72$ до 76 часов) с выдержкой до времени $z = 96$ часов.

В качестве начального распределения температуры принято стационарное состояние в исследуемой области в начальный момент времени, т.е. при $t_n = +20^\circ\text{C}$ и $t_w = +18^\circ\text{C}$. Стационарное состояние в конце испытаний необходимо для определения времени стабилизации температуры после резкого ее изменения. Величины температур в характерных точках испытываемых панелей измерялись через каждый час. В конце каждого цикла (после 8 часов с начала изменения температуры) этот шаг был увеличен до 2 часов.

Расчет выполнен с помощью комплекса программ «ТЕПЛО», разработанного автором и реализованного на языке «ACCESS» для ПК. Сравнивая расчетное значение с экспериментальным данным, получим, что расхождение составляет 5,3%. А отклонение от теоретического составляет 7,61%, что свидетельствует о правильном выборе критерия оценки теплоинерционных свойств конструкций стен.

5.3. Особенности конструирования многослойных панелей наружных стен с теплоизоляцией из ГГТМ

По результатам реализации численного решения задачи теплопроводности при нестационарном режиме (рис. 11) представлены предложения по усовершенствованию методики теплотехнического расчета наружных стен зданий по летним условиям эксплуатации, учитывающие метеорологические наблюдения ряда лет.

Также были разработаны рекомендации по проектированию многослойных наружных стен малоэтажных жилых зданий с теплоизоляцией из ГГТМ в климатических условиях Республики Таджикистан.

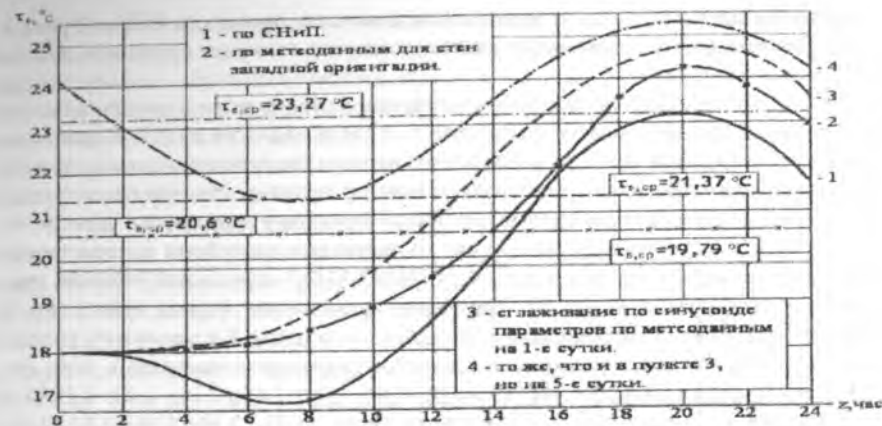


Рис. 11. Кинетика суточного изменения температуры на внутренней поверхности панели П-1 при заданных различных функциях температуры наружного воздуха.

5.4. Экономическая эффективность применения материалов на основе РВК в многослойных панелях

Для определения критерия сравнения панелей наружных стен был использован показатель «стоимости 1 м^2 глухой части панели». Расчеты показали, что замена однослойной керамзитобетонной панели, предложенной трехслойной панелью на гибких связях с теплоизоляцией на основе ГГТМ дает экономический эффект $2,71 - 3,22 \text{ у.е./м}^2$. Из этого следует, что применение панелей наружных стен с теплоизоляцией на основе гуза-паи в малоэтажном строительстве Республики Таджикистан является экономически выгодным.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. На основе физико-химических исследований выявлен механизм структурообразования, научно обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения материалов и конструкций на основе местного минерального и растительного сырья — растительно-вяжущей композиции (РВК), выполняющих одновременно несущую и теплозащитную функции.

2. Установлено, что структурообразование материалов на основе растительно-цементной композиции (РЦК) сопровождается двумя противоположными процессами: конструктивным (твердением цементного камня и повышением его сцепления с заполнителем, т.е. упрочнением структуры) и деструкционным (вызывается в основном объемными влажностными деформациями растительного заполнителя). Показано, что выдержка гуза-паи в течение 6 месяцев и более, без

применения предварительного замачивания повышает прочность РЦК в 2 раза и выше. Замачивание выдержанной гуза-паи позволяет повысить прочность дополнительно на 10-20%.

3. Методом рентгенофазового анализа продуктов процесса кристаллизации и гидратации трехкальциевого алюмината C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) в воде и в присутствии водорастворимых веществ установлено, что при гидратации в первые 30 мин в обоих случаях образуются кристаллы в виде прозрачных пластин гексагональной формы с четкими гранями, формирующие агрегаты с признаками сдвигов по плоскости и кристаллы округлой формы. В результате адсорбции водорастворимых веществ через 1 час гидратации C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) нарушается четкость граней гексагональных пластин, что затрудняет определение формы кристаллов и состава гидратных новообразований. Выявлено, что после 3-х месячного твердения C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$), в отличие от продуктов гидратации минерала в воде, негидратированный C_3A ($3CaO \cdot Al_2O_3$) (4,22; 4,06; 2,97; 2,69; 2,19; 1,90; 1,55Å) и гидроалюминат состава C_3AH_6 ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) (4,43; 3,55; 3,14; 2,80; 2,45; 2,04; 1,74; 1,67Å) – в присутствии водорастворимых веществ дополнительно образывается значительное количество гидроалюмината C_3AH_8 ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 4H_2O$) (3,55; 2,84; 2,55; 2,45; 2,06; 1,63Å) и вероятно C_3AH_9 ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 0,5nH_2O$).

4. Предложена технологическая схема изготовления арболитовых материалов, изделий и конструкций из РЦК на основе гуза-паи. Определено, что применение растворов гидразина при сушке повышает прочность материала на 15-20%. При этом время затвердения РЦК уменьшается на 17-20%. Получены аппроксимационные выражения, устанавливающие зависимость теплопроводности водных растворов гидразина, фенилгидразина от температуры ($T = 293-553$ К), давления ($P = 0,101-98,1$ МПа) и содержания воды.

5. Установлено, что применение в составе комплексных добавок ингибиторов коррозии снижает коррозионную активность арболита по отношению к стальной арматуре, однако надежность обеспечивается при условии двукратного превышения количества ингибирующих ионов (NO_2^- , $Cr_2O_7^{2-}$) по сравнению с хлорид – ионами (Cl^-). Комплексные добавки-ингибиторы NH_4X и $(NH_4)_2Cr_2O_7$, а также $NaNO_2 + NaNO_3 + NH_4Cl$ и $CaCl_2 + (NH_4)_2Cr_2O_7$ эффективны в условиях сухого режима эксплуатации арболитовых конструкций. Определено, что покрытия из сплавов ($xAl + 0,015Cu + (0,885-x)Si + 0,1Sb$): $x = 0,885; 0,880; 0,875; 0,870; 0,865; 0,835; 0,785$ толщиной 100-200 мкм могут надежно защитить гибкую связь трехслойных панелей, а также закладные и соединительные детали от коррозии.

6. Подтверждена эффективность применения химической добавки - щелочного экстракта стеблей хлопчатника (ЩЭХС) для получения коррозионностойких композиций из обычных цементов, на основе исследования физико-химических, строительно-технических, технологических и эксплуатационных свойств цементосодержащих систем в различных условиях, в т.ч. агрессивных средах: мягких и минерализованных водах, растворах 3-6% $MgSO_4$, 0,25 и 0,5 моль/л H_2SO_4 , 0,1 моль/л HCl , 0,1 моль/л CH_3COOH , сухого и жаркого климата Республики Таджикистан.

7. Выведены аппроксимационные зависимости, определяющие коэффициент теплопроводности λ , величину прироста коэффициента теплопроводности на каждый процент объемного влагосодержания материала β_w органических рыхлых и органических связанных материалов на основе растительно-вяжущей композиции (РВК) в сухом состоянии и при содержании влаги до 25% (по объему), которые, кроме величины объемной массы, включают и величину, определяющую структурное строение материала (грубо-, средне- и тонковолокнистое).

8. На основании экспериментальных данных и математико-статистического метода планирования эксперимента получена аналитическая зависимость коэффициента теплопроводности ГГТМ в сухом состоянии (λ_0) от расчетных соотношений его компонентов в виде полинома второго порядка. Обработка результатов экспериментов методом регрессионного анализа позволила установить зависимость коэффициента теплопроводности ГГТМ от средней плотности (γ_0) и равновесной влажности материала (W), применимую в пределах $(300 \pm 50) \leq \gamma_0 \leq (700 \pm 50)$ кг/м³, $W \leq 15\%$.

9. Испытания в климатической камере показали, что стеновые панели с теплоизоляцией из ГГТМ оптимальных составов удовлетворяют требованиям СНиП II-3-79**, предъявляемым к стеновым ограждающим конструкциям жилых зданий. Установлено, что двух- и трехслойные стеновые панели толщиной 0,25 м при характеристиках ГГТМ соответственно $\gamma_0 = 500$ и 450 кг/м³, $W = 13$ и 16% обеспечивают требуемое сопротивление теплопередаче для жилых зданий в климатических условиях Курган-тюбинского района - самого холодного из хлопкосеющих районов Республики Таджикистан. Сопротивление теплопередаче с учетом нормативных значений сопротивлений теплопереходу (R_b и R_n) для двух- и трехслойных стеновых панелей соответственно составляет 0,748 и 0,706 (м²·К)/Вт при требуемом 0,651 (м²·К)/Вт, что требует ограничения отпускной влажности теплоизоляционных материалов панелей до 16% по массе.

10. Исследованием панелей в условиях переменных тепловых воздействий - при проведении испытаний переходного теплового процесса одностороннего нагрева или охлаждения многослойных панелей в климатической камере, уточнено, что сравнительной характеристикой их теплоустойчивости (теплоинерционных свойств) может служить величина теплоинерционных свойств η , которая учитывает теплоемкость, сопротивление теплопередаче и порядок расположения отдельных слоев в ограждении.

11. На основании математического моделирования теплового режима зданий и процесса теплопередачи через плоскую стену при гармонически изменяющихся внешних и внутренних факторах, предложена формула определения величины расчетной амплитуды колебания температуры внутренней поверхности ограждающих конструкций зданий - A_{tr} , с помощью которой становится возможным выявление теплофизических параметров, снижающих общий уровень колебания температуры ограждающей конструкции зданий, а также на стадии проектирования становится возможным прогнозирование теплоустойчивости ограждающих конструкций.

12. Экономический эффект при применении панелей с использованием ГГТМ в малоэтажных жилых зданиях вместо существующих однослойных керамзитобетонных панелей составляет 3,70 у.е. на 1 м² стенового ограждения, что достигается за счет применения недефицитных связующих материалов и дешевых отходов хлопководства – гуза-паи.

Основные результаты диссертаций изложены в следующих публикациях:

1. Кобулиев З.В. Строительные материалы и конструкций на основе растительно-вяжущей композиции (физико-химические основы структурообразования и теплофизические свойства): Монография / Под ред. Шарифова А.Ш. и Сафарова М.М. – Душанбе: Дониш, 2007. – 390 с.
2. Кобулиев З.В., Якубов С.Э. Энерго- и ресурсосберегающие материалы на основе минерального и растительного сырья: Монография / Под ред. Шарифова А. – Душанбе: Ирфон, 2006. – 206 с.
3. Мамаджанова С.М., Кобулиев З.В., Мукимова С.Р., Хушвахтов З.Г. Архитектура производственной среды и экологии Таджикистана (проблемы взаимодействия и развития): Монография. – Баку: «Горгуд», 2005. – 156 с.
4. Кобулиев З.В., Ушков Ф.В., Шарифов А., Веселов В.С. и др. Сырьевая смесь для изготовления теплоизоляции. А.с. № 1787974 А1. Зарегистр. в Гос. реестре изобретений СССР 15.09.92г. (Бюл. №2, 15.01.93г.).
5. Кобулиев З.В. Бетон с заполнителем из дробленных стеблей хлопчатника // Жилищное строительство. – 2006. – №8. – С.30-31.
6. Кобулиев З.В. Теплофизические свойства строительных материалов на основе растительно-вяжущей композиции // Жилищное строительство. – 2006. – №9. – С.24-25.
7. Кобулиев З.В. Взаимосвязь химических свойств и фракционного состава растительно-вяжущего заполнителя при твердении арболита // Доклады АН Республики Таджикистан. – Душанбе, 2005. – Том XLVIII. – № 7. – С.49-54.
8. Кобулиев З.В. Коррозия стальной арматуры в ингибированных арболитовых конструкциях // Доклады АН Республики Таджикистан. – Душанбе, 2005. – Том XLVIII. – № 8. – С.35-41.
9. Кобулиев З.В. Влияние легкогидролизуемых веществ растительного заполнителя на прочность растительно-цементной композиции // Доклады АН Республика Таджикистан. – Душанбе, 2005. – Том XLVIII. – № 8. – С.56-62.
10. Кобулиев З.В. Математико-статистическая модель теплопроводности органически связанного композиционного материала // Вестник ТГНУ. – Душанбе, 2005. – №3. – С. 19-22.
11. Кобулиев З.В. Теплотехнические свойства теплоизоляционно-конструкционных материалов с использованием отходов сельскохозяйственных культур // Вестник ТГНУ. – Душанбе, 2005. – №3. – С. 33-40.
12. Кобулиев З.В. Теплофизические свойства композиционных материалов на основе отходов, в зависимости от плотности и влажности // Вестник ТГНУ. – Душанбе, 2006. – №2. – С.66-69.

13. Кобулиев З.В., Якубов С.Э. Технологическая особенность изготовления арболита на основе стеблей хлопчатника // Вестник ТГНУ. – Душанбе, 2006. – №3. – С.78-84.

14. Кобулиев З.В., Якубов С.Э., Назриев Г.Б. Математическое моделирование воздействия тепла на ограждающие конструкции зданий и сооружений // Вестник ТГНУ. – Душанбе, 2006. – №3. – С.93-99.

15. Кобулиев З.В., Рузиев Д.Р. Теплозвукоизоляционное свойство материалов на основе гуза-паи // «Экология и энергоснабжение»: Сб. научных трудов Международной конференции. – Самарканд, 1993. – С.37-38.

16. Кобулиев З.В., Якубов Н.Х. О критерии теплоустойчивости наружных стен с использованием стеблей хлопчатника // «Экология и энергоснабжение»: Сб. научных трудов Международной конференции. – Самарканд, 1993. – С.21-23.

17. Кобулиев З.В., Одинаев Х.С. Теплофизические свойства материала на основе отходов в зависимости от плотности и влажности // Материалы Международной конф. III Теплофизической школы. – Тамбов, 1998. – С.122.

18. Kobuliev Z.V., Odinaev Kh.S. Thermal conduction of material on the basis of scraps depending on humidity and density // 15-International conference on temperature majoring. – Germany, Bonn, 1999. – P. 361.

19. Kobuliev Z.V., Sharifov A.Sh., Safarov M.M. Modeling of process of karring heat and account of heat conductivity of composite materials // ICCE/6, Sixth annual international conference on composites engineering. – Orlando, Florida, 1999. – P.761-762.

20. Safarov M.M., Kobuliev Z.V., Zaripova M.A. Thermophysical properties porous granelated oxide aluminium (Al₂O₃) dependence in the concentration nickel (Abstract) / 6-ICCC, Swedene 2000, – P.145.

21. Safarov M.M., Ganiev J.N., Kobuliev Z.V., Odinaev H.O., Saidov R.H. Heat capacity alloy on the basis aluminum Al-Be-RLM in dependence of temperature // ICCE/7. – Colorado, Denver, July 2-8, 2000. – P.759-760.

22. Safarov M.M., Zaripova M.A., Kobuliev Z.V., Turgunboev M. Heat capacity of water+phenilhidrazine systems in the dependence temperature and presure / 3-th ICPCh, Australya, 2001. – P.286

23. Safarov M.M., Kobuliev Z.V., Zaripova M.A. Viscosity of water+dimethylhidrazine systems / 3-th ICPCh, Australya, 2001. – P.383.

24. Safarov M.M., Kobuliev Z.V., Zaripova M.A., Turgunboev M. Thermal conductivity of hydrazine Submissions water Systems in the temperature on atmosphere pressure / 26th ITCC and 14th ITEC Cambridge, Massachusetts, USA, 6-8 August, 2001. – P.59.

25. Safarov M.M., Kobuliev Z.V., Zaripova M.A., Turgunboev M. Thermal conductivity of hydrazine Submissions water Systems in the temperature on atmosphere pressure / 26th ITCC and 14th ITEC Cambridge, Massachusetts, USA, 6-8 August, 2001. – P.301-306.

26. Safarov M.M., Kobuliev Z.V., Zaripova M.A., Davlatov A., Rizoiev S.G. Thermophysical properties of water+ethylenglicol systems in the dependence pressure and temperature (abstract) / 8-th TEMPMEKO, 2001, Berlin. – P.324.

27. Safarov M.M., Kobuliev Z.V., Rizoiev S.G., Aminov B.A., Amirov O.H. Thermal diffusivity alloys aluminum / 26th ITCC and 14th ITEC. Cambridge, Massachusetts, USA, 6-8 August, 2001. -P.60.
28. Safarov M.M., Kobuliev Z.V., Zaripova M.A., Turgunboev M., Rizoiev S.G. Influence of atom carbon in the change thermodynamic of $C_8H_{10}O_n$ and $C_8H_{18}O_n$ / 4-th IC Carbon, USA, 2001. -P.142.
29. Kobuliev Z.V., Safarov M.M., Amirov O.H. Modeling of the thermal diffusivity and thermal conductivity of Al_2TCO_5 ceramics. -Canada, Toronto, 2001. -P. 38-39.
30. Кобулиев З.В., Сафаров М.М., Ризоев С.Г. Теплофизические и электрофизические свойства кремнийсодержащих сплавов алюминия // В кн. Теплофизические измерения в начале XXI века: Тез.докл. Четвертой Междунар. Теплоф. Школы (24-28 сентября 2001 г.) – Тамбов: Изд. Тамбовского ГТУ, 2001. Ч.1. – С. 129-130.
31. Kobuliev Z.V., Saidov R.H., Amirov O.H., Pirmadov M.D. Classifications of an Industrial Waste and Termology problems / Ecological Journal of Armenia, 1 /3/, 2003. -P. 122-125.
32. Kobuliev Z.V., Nazriev G.B., Hushvahtov Z.G. About Agricultural Solid Waste Using in Construction / Ecological Journal of Armenia, 1 /3/, 2003. -P. 126-128.
33. Safarov M.M., Naimov A.A., Kobuliev Z.V., Nabiev S.O., Muhiddinov K.S., Rizoiev S.G., Zaripova M.A., Kosimov U.U., Tagoev S.A. Automatization systems for definitions heat conductivity solids materials. Method monotonous régime // ITCC27 and ITES15. -USA, Oak Ridje. 26-29 October 2003. -P.234-236
34. Safarov M.M., Naimov A.A., Kobuliev Z.V., Nabiev S.O., Muhiddinov K.S., Rizoiev S.G., Zaripova M.A., Kosimov U.U., Tagoev S.A. Automatization systems for definitions heat conductivity solids materials. Method monotonous régime // ITCC27 and ITES15. -USA, Oak Ridje. 26-29 October 2003. - P.237-238.
35. Safarov M.M., Kobuliev Z.V., Zaripova M.A., Usupov Sh. T. P-p-T-x dependence of the binary solutions / 7-th ATPC, China, Hefei, 2004. -P.195-196.
36. Safarov M.M., Kobuliev Z.V., Zaripova M.A., Usupov Sh. T. P-p-T-x dependence of the binary solutions (Processing) / 7-th ATPC, China, Hefei, 2004. -P.240-246.
37. Кобулиев З.В., Ризоев С.Г., Сафаров М.М., Якубов С.Э., Девид Хию. Теплопроводность, теплоемкость и энтальпии системы Al - Si в твердом и жидком состояниях // Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах: Сб. трудов междунар. конф. 21-25 сент. 2004 г. - Махачкала, 2004. -С.301-304.
38. Safarov M.M., Kobuliev Z.V., Devid Hui, Azizov R.O., Rizoiev S.G. Electrical and thermal Conductivity of silican aluminium alloys // ICCE/11, 8-14 apr. 2004. - P.631-632.
39. Кобулиев З.В., Сафаров М.М., Ризоев С.Г. Взаимосвязь между тепло- и электропроводностью кремнесодержащих сплавов алюминия // Теплофизические измерения при контроле и управлении качеством: Материалы пятой междунар. теплофиз. школы: В 2 ч., Ч.1. -Тамбов, 20-24 сент. 2004 / ТГТУ. -Тамбов, 2004. -С. 171-173.

40. Кобулиев З.В., Сафаров М.М., Ризоев С.Г. Экспериментальная установка для измерения теплофизических свойств твердых тел // Теплофизические измерения при контроле и управлении качеством: Материалы пятой междунар. теплофиз. школы: В 2 ч., Ч.1. Тамбов, 20-24 сент. 2004 / ТГТУ. -Тамбов, 2004. -С. 223-225.
41. Кобулиев З.В., Зарипова М.А., Бадалов А.Б. Термодинамические свойства гидразинзамещенных водных растворов // XI Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ (4-7 октября 2005 г., Санкт-Петербург). Том 1. – Санкт-Петербург, 2005. – С.152-154.
42. Кобулиев З.В. Теплофизические свойства алюминиево-медно-сурьмяных сплавов // XI Российская конференция по теплофизическим свойствам веществ (4-7 октября 2005 г., Санкт-Петербург). Том 1. – Санкт-Петербург, 2005. -С.202.
43. Safarov M.M., David Hui, Kobuliev Z.V., Rizoiev S.G. Thermo- and electro-physical properties of aluminum-copper-silicon-sivibirium alloys // Abstract conference, 17th ECTP, September 5-8, 2005, Bratislava. Slovakia. -P.199.
44. Safarov M.M., Kobuliev Z.V., Zaripova M.A., Muhamadiev M.S. On reological study of fresh cement paster (Dushanbe power) // Proceedings of the 7 TPC. -Dundee, 2005. -P.204-211.
45. Zaripova M.A., Muhamadiev M.S., Badalov A.B., Kobuliev Z.V., Safarov M.M. Structural properties of water and that solution from crystalline to subcritical states based jn computer simulation data // Conference book 16-Conf. NIST. USA, Boulder. 13 jul – 4 aug. 2006. -P.1214.
46. Кобулиев З.В., Якубов С.Э. Прогнозирование теплопроводности композиционных материалов различного строения // Материалы Международной конференции «Современная химическая наука и ее прикладные аспекты» (г.Душанбе, 25-27 октября 2006 г.). – Душанбе, 2006. –С.117-119.
47. Кобулиев З.В., Раджабов Н.Р., Шоев Н.Н. Повышение эффективности конструкции наружных стен в условиях Таджикской ССР // Материалы XVII научно-отчетной конференции преподавателей ТПИ. –Душанбе: Дониш, 1989. -С.152-153.
48. Кобулиев З.В., Беляев В.С. Теплоустойчивость наружных ограждений с использованием местных материалов (на примере Таджикской ССР) // Материалы РНПК «Совершенствование методов рационального использования водных ресурсов». –Фрунзе: ФПИ, 1989. -С.89-90.
49. Кобулиев З.В. Свойства материала на основе гипса, армированного стеблями хлопчатника // «Архитектура и строительство - поиск и решения молодых»: Сб. статей РНПК молодых ученых и специалистов. -Алма-Ата, 1989. -С.105-106.
50. Кобулиев З.В. Оптимальные конструкции наружных стен для малоэтажного строительства Таджикской ССР // Сб. статей РНПК молодых ученых и специалистов. –Душанбе: Дониш, 1990. -С. 24-26.
51. Кобулиев З.В., Якубов Н.Х. Математическая модель теплопередачи через плоскую стену при гармонически изменяющихся внутренних и внешних фак-

торах // Сб. научных трудов преподавателей ТТУ: Серия «Строительство и архитектура». – Душанбе, 1993. – С. 45-47.

52. Кобулиев З.В., Сафаров М.М., Ризоев С.Г., Якубов С.Э. Электропроводность некоторых кремнесодержащих сплавов алюминия // Достижения в области металлургии и машиностроения Республики Таджикистан: Материалы межвузовской научно-практич. конф. 14-15 мая 2004 г. – Душанбе: ПОО «Универсал», 2004. – С. 20-22.

53. Мухиддинов К.С., Сафаров М.М., Ибрагимов Х.И., Кобулиев З.В. Теплопроводность хлопка сырца разновидности 9326 – В // Достижения в области металлургии и машиностроения Республики Таджикистан: Материалы межвузовской научно-практич. конф. 14-15 мая 2004 г. – Душанбе: ПОО «Универсал», 2004. – С. 54-56.

54. Мухиддинов К.С., Сафаров М.М., Кобулиев З.В., Ибрагимов Х.И. Теплофизические свойства длиноволокнистого сорта хлопка-сырца разновидности 9326 – В. Труды ТУТ, выпуск X. – Душанбе: Ирфон, 2004, 540 с., С.10-14.

55. Кобулиев З.В. Влияние химической агрессивности заполнителя на прочность растительно-цементной композиции // Информационный листок НПИЦентра РТ, №1-2006. – Душанбе, 2006. – 4 с.

56. Кобулиев З.В. Кинетика изменения химического состава стеблей хлопчатника при изготовлении растительно-цементной композиции // Информационный листок НПИЦентра РТ №3-2006. – Душанбе, 2006. – 4 с.

Разрешено к печати 24 января 2007 г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Гарнитур Times New Roman.
Заказ № 0101. Тираж 100 экз.

Напечатано в типографии ООО «Хирад»,
Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни – 47.