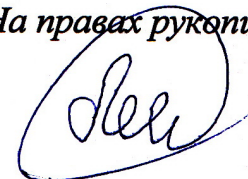


На правах рукописи



ЛЕВАШОВ НИКИТА ФЁДОРОВИЧ

**МОДИФИКАЦИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ
ОГНЕСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ**

05.23.05 - Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Иваново 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» на кафедре «Строительное материаловедение и технологии»

- Научный руководитель – АКУЛОВА Марина Владимировна
доктор технических наук, профессор,
советник РААСН, заведующий кафедрой
«Строительное материаловедение и технологии»
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ивановский государственный политехнический
университет»
- Научный консультант – СОКОЛОВА Юлия Андреевна
доктор технических наук, профессор,
академик РААСН, консультант кафедры
«Технология вяжущих веществ и бетонов»
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет»
- Официальные оппоненты – СОКОВ Виктор Николаевич
доктор технических наук, профессор кафедры
«Технология вяжущих веществ и бетонов»
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Московский
государственный строительный университет»
- НИЗИНА Татьяна Анатольевна
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры
«Строительные конструкции»
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Мордовский
государственный университет им. Н. П. Огарёва»
- Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Пензенский государственный
университет архитектуры и строительства»

Защита состоится «18» декабря 2019 года в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 999.183.02 на базе ФГАУ ВО «Российский университет транспорта по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д 9, стр. 9, (Минаевский переулок, д 2, ГУК-7 ауд. 7618). С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта», а также на сайте www.mii.ru
Автореферат разослан «___» _____ 2019г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Зайцев Андрей Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Введение

Актуальность.

Бетон и железобетон является основным строительным материалом в промышленном и гражданском строительстве. В настоящее время в связи участившимися пожарами в России и за рубежом наблюдается повышенный спрос на защиту строительных конструкций от высокотемпературного огневого воздействия. Решение данной проблемы находится, в том числе и в использовании цементных растворов в качестве защитных теплоизолирующих слоев арматуры железобетонных конструкций. Однако вопрос подбора составов композиционных материалов с наиболее оптимальными теплоизолирующими характеристиками до сих пор не решен. При создании новых строительных материалов или модифицировании уже используемых встает проблема оценки их работоспособности в различных эксплуатационных условиях, в том числе и при высоких температурах. Существующие методики для прогнозирования поведения строительных материалов в конструкциях при пожаре носят односторонний характер, не связанный с изменением их структуры и свойств, что не позволяет в полной мере определять возможную степень повреждения конструкции и затрудняет правильный подбор строительных материалов для строительства зданий требуемых характеристик по пожарной безопасности. Поэтому разработка метода прогнозирования поведения цементных композитов, в условиях воздействия высоких температур является актуальной задачей.

Связь работы с научными программами и планами.

Данная работа выполнялась в рамках реализации государственного задания по пункту 1.3-10/Б1 «Разработка руководства по оценке огнестойкости строительных конструкций и инженерного оборудования, пожарной опасности строительных материалов» совместно с ФГБУ ВНИИПО МЧС России в соответствии с планом НИР Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России на 2016-2017г., базовой тематикой НИР ФГБОУ ВО ИПСА ГПС МЧС России, а так же в рамках темы Фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН № 7.4.9. «Разработка комплексного метода прогнозирования изменения свойств цементных композитов строительных конструкций при повышенных температурах для обеспечения безопасности зданий и сооружений в условиях пожара и техногенных катастроф».

Степень разработанности темы.

При выполнении диссертационной работы был проведен научно-технический обзор отечественной и зарубежной литературы по разработанным на сегодняшний день эффективным составам, устойчивым к воздействию высоких температур, а также методикам и способам изучения свойств цементных композитов и железобетонных конструкций на их основе в условиях воздействия высоких температур.

Развитие науки в области методологии разработки цементных составов с повышенными эксплуатационными характеристиками и определения изменения структуры, свойств материалов при нагреве происходит под влиянием фундаментальных трудов таких ученых, как: Федосов С.В., Соколова Ю.А., Ерофеев В.Т., Низина Т.А., Акулова М.В., Соков В.Н., Федоров В.С., Лыков А.В., Ройтман М.Я., Ройтман В.М., Яковлев А.И., Милованов А.Ф., Жуков В.В., Гельмиза В.И., Олимпиев В.Г., Kordina K., Harmathy T., Ильин Н.А., Некрасов К.Д. Благодаря этим исследованиям в настоящее время налицо новые подходы к разработке жаростойких составов на основе цементных композитов и оценке изменения ими свойств при различных видах и степенях нагрева. В исследовании использованы теоретические и методологические наработки предшественников, но внимание акцентировано на нерешенных проблемах по разработке составов эффективного жаростойкого раствора и метода анализа,

включающего в себя оценку взаимосвязи структуры и свойств материалов на основе цементных композитов при воздействии высоких температур.

Научная гипотеза.

На основе комплексного анализа изменения структуры и свойств цементных композитов устанавливается их поведение в условиях высоких температур, что позволяет разрабатывать составы с прогнозируемыми жаростойкими характеристиками.

Цель работы.

Цель диссертационной работы заключается в получении цементных композитов для повышения огнестойкости строительных конструкций на основе прогнозирования их поведения в условиях воздействия высоких температур.

Задачи исследования.

Для достижения поставленной цели сформулированы и поставлены следующие **задачи исследования**:

- исследование влияния повышенного содержания силикатных вяжущих и заполнителей на формирование структуры, прочностные и жаростойкие характеристики цементных композитов;
- разработка состава жаростойкого цементного раствора на основе композиционного вяжущего и наполнителей с повышенным содержанием силикатной составляющей;
- разработка метода прогнозирования поведения цементных композитов строительных конструкций в условиях воздействия высоких температур, основанного на оценке их структуры и свойств;
- исследование физико-механических, физико-химических и термохимических свойств разработанного жаростойкого штукатурного раствора.

Научная новизна работы.

Основные результаты, полученные автором и составляющие научную новизну диссертации, заключаются в следующем:

- исследована возможность определения поведения строительных конструкций в условиях высоких температур на основе комплексного метода анализа изменения структуры и свойств цементных композитов, для разработки составов с прогнозируемыми жаростойкими характеристиками;
- предложен состав жаростойкого цементного раствора с повышенном содержанием силикатной составляющей на основе композиционного вяжущего, включающего цемент, жидкое натриевое стекло и минеральную вату в качестве наполнителя;
- выявлены закономерности изменения фазовой структуры цементного камня при введении натриевого жидкого стекла и силикатных заполнителей, выявлен устойчивый эффект, характеризующий смещение наступления момента разложения минералов цементного композита в область более высоких температур;
- с использованием методов термического анализа определено, что жаростойкие добавки влияют на структуру цементного композита и её устойчивость к нагреву. Добавка жидкого стекла снижает потерю массы при 700-750°C с 33% до 25%. Добавка боя стекла снижает потерю массы до 23%, а добавка шамота до 21%.

Теоретическая и практическая значимость.

Теоретическая значимость:

С помощью методов тонкого анализа раскрыты взаимозависимости изменения теплопроводности от структуры, свойств цементных композитов в условиях высоких температур. Найдены зависимости увеличения времени разложения цементного камня с повышенным содержанием силикатной составляющей в области 500-600°C, и сдвигом разложения высокоосновных силикатов кальция в область более высоких температур, что влияет на повышение термической стойкости материала и увеличивает предел огнестойкости конструкций.

Разработаны теоретические предпосылки метода неразрушающего прогнозирования поведения цементных композитов в составе строительных конструкций в условиях воздействия высоких температур, основанного на комплексе исследований теплофизических, физико-механических и термохимических зависимостей и использовании их в теплотехническом расчете оценки огнестойкости по потере теплоизолирующей способности, что дает возможность предварительной оценки поведения материала в конструкции без натуральных испытаний.

С помощью методов системного анализа разработаны принципы получения жаростойкого раствора, методологически обоснована целесообразность использования повышенной силикатной составляющей добавлением жидкого стекла и минеральной ваты. Проведен комплексный анализ особенностей структуры и свойств раствора в зависимости от его состава.

Практическая значимость:

- разработан новый состав жаростойкого раствора, включающий цемент, жидкое стекло и минеральную вату с температурой применения более 500°C;

- разработан метод неразрушающего прогнозирования поведения цементных композитов в составе строительных конструкций в условиях воздействия высоких температур на основе термографических характеристик.

Проведенная оценка экономической эффективности использования разработанного метода в сравнении с существующей экспериментальной методикой оценки огнестойкости строительных конструкций по критериям REI показывает, что сокращение текущих затрат в расчёте на одно испытание составит 40 354 руб., а так же затраты заказчика сокращаются на 10% за счёт значительного удешевления стоимости изготавливаемых образцов и сокращения транспортных расходов.

Методология и методы исследования включали: изучение и аналитическое обобщение известных научных и технических результатов по разрабатываемой теме, экспериментальные исследования, обработку экспериментальных данных методами математической статистики, а также применение полученных экспериментальных данных в теплотехническом расчете оценки огнестойкости строительных конструкций.

Положения, выносимые на защиту

- современные подходы к разработке составов цементных композитов, предназначенных для эксплуатации при повышенных температурах, и оценка их поведения в условиях пожара;

- результаты исследования изменения структуры цементных композитов различного состава, их теплофизических особенностей, термических процессов полученные при использовании методов термического анализа;

- метод прогнозирования поведения цементных композитов в условиях воздействия высоких температур, включающий сравнительный анализ пошагового изменения фазовых характеристик при нагреве и результатов исследования их структуры и свойств;

- зависимости основных физико-механических и тепловых характеристик жаростойкого вяжущего от его состава и расхода компонентов;

- результаты оценки физико-механических, теплофизических и термохимических характеристик цементных композитов с повышенным содержанием силикатных добавок при высокотемпературном воздействии;

- технико-экономические показатели применения разработанного метода в сравнении с существующими экспериментальными методиками по оценке огнестойкости строительных конструкций по критерию I (потеря теплоизолирующей способности).

Достоверность полученных результатов обеспечена: изучением и аналитическим обобщением известных научных и технических результатов по исследуемому вопросу, экспериментальными исследованиями, обработкой экспериментальных данных методами

математической статистики, а также применение полученных экспериментальных данных в теплотехническом расчете по оценке огнестойкости строительных конструкций.

Апробация результатов диссертационной работы

Основные результаты диссертационной работы докладывались на конференциях разного уровня:

- IX Международная научно-практическая конференция «Пожарная и аварийная безопасность». - Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России 2014;
- IX Международная научно-практическая конференция «Обеспечение безопасности жизнедеятельности. Проблемы и перспективы». – Минск: КИИ, 2015;
- Молодежный научный форум «Молодые исследователи регионам». – Вологда: ВоГТУ, 2015;
- Межвузовская научно-техническая конференция с международным участием «Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера» (Поиск - 2015). – Иваново: ИВГПУ;
- I Межвузовская научно-практическая конференция «Современные пожаробезопасные материалы и технологии». – Иваново: ИПСА, 2015;
- XVIII Международный научно-практический форум «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» (SMARTEX 2015). Иваново: ИГПУ, Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, 2015;
- XXIII Международная научно-техническая конференция «Информационная среда вуза», – Иваново: ИВГПУ 2016;
- V Международная научно-практическая конференция «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» - Москва: АГПС МЧС России 2016;
- X Международная научно-практическая конференция «Обеспечение безопасности жизнедеятельности. Проблемы и перспективы». – Минск: КИИ, 2016;
- XXIV Международная научно-техническая конференция «Информационная среда вуза», – Иваново: ИВГПУ 2017;
- VI Международная научная конференция «Интеграция, партнёрство и инновации в строительной науке и образовании» (IPICSE-2018), – Москва: МГСУ 2018;
- XXII Международная научно-практическая конференция «Передовые технологии в строительстве» (FORM-2019), - Ташкент: МГСУ, 2019.

Внедрение научных результатов диссертации

Результаты диссертационной работы (а именно «Моделирование наступления момента предела огнестойкости по потере теплоизолирующей способности с помощью экспериментально полученного коэффициента теплопроводности») внедрены в практическую деятельность «СЭУ ФПС №93 «ИПЛ» МЧС России» (г. Москва) при проведении испытаний железобетонных строительных конструкций, выполненных на основе цементных композитов различного состава по определению огнестойкости по потере теплоизолирующей способности. Также результаты диссертационной работы внедрены в образовательный процесс Ивановской пожарно-спасательной академии (кафедра «Пожарной безопасности объектов защиты») и применяются при проведении практических и семинарских занятий по учебной дисциплине: «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре».

Личный вклад автора в решение исследуемой проблемы состоит в разработке программы экспериментального исследования, проведении , обработке результатов, их обобщении, а также метода прогнозирования изменения свойств защитных цементных композитов в условиях пожара.

Публикации. Результаты диссертационной работы изложены в 20-ти научных работах, в том числе в 5-х ведущих рецензируемых научных журналах и в 2 статьях в журналах с международным индексом цитирования Scopus.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех разделов, заключения и содержит 147 страниц, включая 16 таблиц, 30 рисунков, 4 приложения, 127 страниц машинописного текста, список литературных источников из 160 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность доктору технических наук, академику РААСН, консультанту кафедры «Технология вяжущих веществ и бетонов» НИУ МГСУ Соколовой Ю.А., а так же кафедре пожарной безопасности объектов защиты ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии за оказанную помощь и научные консультации по отдельным разделам диссертационной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследований, аргументированы научная новизна, достоверность и практическая значимость работы, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **первом разделе** проводится анализ видов цементных композитов, применяемых в составе железобетонных конструкций, их состава и структуры, методов оценки их свойств в условиях воздействия высоких температур. Отдельно выделены существующие виды штукатурных растворов и их устойчивость к температурным воздействиям. Большое внимание уделено вопросу современной методологии оценки поведения цементных композитов при повышенных температурах, включающей в себя как расчетные, так и экспериментальные методы, приведены основные ее недостатки, а также пути их решения на основе поставленных цели и задач диссертационного исследования.

Для анализируемых ситуаций, связанных с пожаром, физико-механические характеристики материалов определяются при температурах, возможных при пожаре. Анализ литературных источников и патентов показал, что, как правило, рассматривается нестационарный температурный режим среды при пожаре и соответствующее ему нестационарное температурное поле в конструкции с диапазоном температур от 20°C в наиболее удаленных точках до 900-1000°C на обогреваемой поверхности с интервалом нагрева в 100°C. Уровень указанных температур может изменяться по сечению конструкции в зависимости от продолжительности пожара, размеров сечения и способов обогрева. Существующие методы по оценке изменения свойств строительных материалов на основе цементных составов в условиях воздействия повышенных температур разработаны и развиты в своем применении достаточно широко как в России, так и за ее пределами. Однако существует ряд вопросов, не согласующихся с современными требованиями, поскольку проанализированные методы позволяют провести оценку стандартных составов, без каких-либо добавок. Исходя из этого актуальным направлением развития исследований может послужить подбор составов композиционных материалов в качестве защитных теплоизолирующих слоев арматуры железобетонных конструкций и разработка метода прогнозирования изменения свойств цементных композитов строительных конструкций в условиях повышенных температур.

Во **втором разделе** представлены материалы, применяемые в качестве основных компонентов для подбора штукатурного раствора с повышенными теплоизоляционными характеристиками, а так же методы, применяемые для определения теплофизических, физико-механических и термохимических характеристик строительных материалов на основе цементных композитов. Приведена рекомендуемая аппаратура для проведения испытаний.

В качестве наполнителей использовались фракции 0.55-1.3мм молотого боя листового стекла натриево-кальциево-силикатного состава плотностью 2500 кг/м³; шамотная глина БС-104 с повышенной температурной нагрузкой до +1600°C, минеральная вата под торговой маркой «Rockwool», а так же жидкое стекло, плотностью 1300 кг/м³. В качестве заполнителя

использовался гравийный щебень Хромцовского карьера фракции 25-60 мм, марки М 800-1200, насыпной плотности -1700 кг/м^3 .

Для оценки свойств цементных композитов в условиях воздействия высоких температур применялись: определение коэффициента теплопроводности и коэффициента термического сопротивления, создание температурного режима путем проведения испытаний на негорючесть, определение прочности при изгибе и при сжатии, ТА, ДТА, ТГ, ДТГ анализ, аналитический метод расчета огнестойкости строительных конструкций по потере теплоизолирующей способности. Основные задачи разработки жаростойкого раствора сводятся к оптимизации составов вяжущего и системы вяжущее – заполнитель, таким образом, чтобы физико-механические характеристики раствора и технологические параметры смеси были бы наилучшими, а затраты на сырье и производство его были бы минимальными.

Основной химический процесс, происходящий в жаростойких растворах при нагревании - появление легкоплавких эвтектик, образующихся в зоне контакта связующего и заполнителя, что связано с их различными химическими составами. Для повышения эксплуатационных свойств жаростойких бетонов и растворах, особенно работающего при температурах 500... 1000°C, необходимо использовать вяжущее и заполнитель, имеющие тождественные или близкие химические составы.

В третьем разделе приводится разработка состава штукатурного раствора для повышения огнестойкости конструкций на основе композиционного вяжущего и наполнителей, а так же разработка метода оценки теплотехнических характеристик цементных композитов при воздействии высоких температур.

Для обобщения полученных данных и выявления взаимовлияния компонентов, а так же для получения рационального состава жаростойкого штукатурного раствора на композиционном вяжущем и наполнителях пригодного для защиты строительных материалов и конструкций от огневого воздействия, на основании ранее полученных данных был спланирован и проведен активный факторный эксперимент второго порядка для трех переменных, и по его результатам получены уравнения регрессии второго порядка в кодированном виде, адекватно описывающие зависимости изменения прочности от расхода компонентов и степень их влияния. Эксперимент проведен согласно рекомендациям по применению методов математического планирования экстремального эксперимента в технологии бетона. Для облегчения обработки результатов экспериментов на основании инструкций были написаны программы для электронных таблиц «Excel», при помощи которых производились расчеты коэффициентов уравнения и их статистическая оценка.

В соответствии с поставленными задачами были проведены исследования влияния расходов жидкого стекла и волокон минеральной ваты физико-механические и тепловые показатели. Были определены экстремальные значения расходов гидросиликата натрия и волокон минеральной ваты, однако для выявления взаимовлияния всех компонентов вяжущего необходимо расширить диапазон изменения независимых переменных более широко, их уровни и интервалы представлены в таблице 1. На основании принятой стандартной матрицы планирования проведены испытания физико-механических и тепловых свойств предложенных составов. Пример результатов измерения физико-механических и тепловых свойств представлен на рисунке 1.

Таблица 1-Условия кодирования переменных для активного эксперимента

Условия кодирования переменных		Переменные		
Значение кода	Код	X ₁	X ₂	X ₃
		Жидкое стекло,	Минеральная вата	C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁
Основной уровень	0	38,5	29,93	0,855
Интервал варьирования	AXI	23,5	21,375	0,57
Верхний уровень	+1	62	51,3	1,425
Нижний уровень	-1	15	8,55	0,285

Анализируя данные, полученные при оценке влияния компонентов на теплостойкость жаростойкого штукатурного раствора, видно, что при увеличении количества волокон минеральной ваты и жидкого стекла теплостойкость жаростойкого раствора увеличивается, это объясняется высокими огнестойкими качествами жидкого стекла, предающими раствору такие свойства. Волокна минеральной ваты способны выдерживать высокую температуру, не теряя своих защитных свойств: теплостойкость минеральной ваты остаётся неизменной вплоть до температуры спекания волокон - 1100°C. Все это положительно влияет на теплостойкие характеристики жаростойкого штукатурного раствора.

Дальнейшее увеличение концентрации этих веществ приводит к значительному ухудшению физико-механических и реологических свойств раствора.

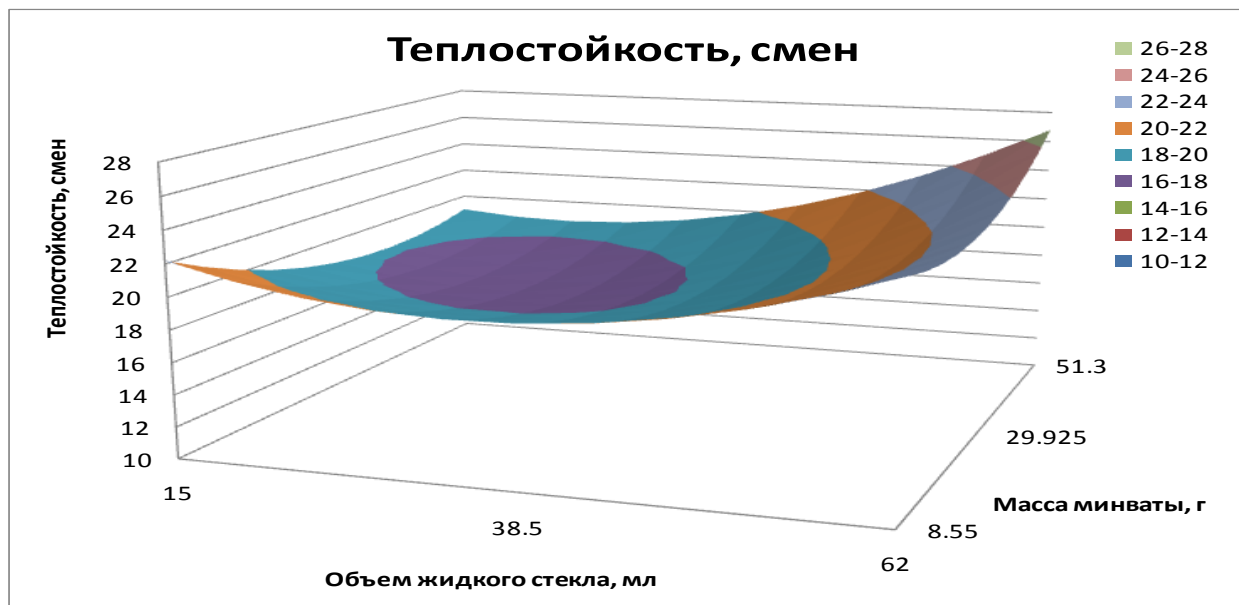


Рисунок 1 - Зависимость теплостойкости от объема жидкого стекла и массы минеральной ваты при введении в смесь 0.3 г дисахарида

Взаимодействие жидкого стекла с цементным вяжущим увеличивает начало сроков схватывания и уменьшает их окончание, это объясняется взаимно противоположным действием каждого из компонентов. Один способствует увеличению подвижности раствора, другой, наоборот, моментально схватывается (жидкое стекло). Только оптимальный подбор соотношения этих веществ в растворе увеличивает как физико-механические, так и тепловые свойства.

Для анализа поведения цементных композитов при воздействии высоких температур была разработана методика оценки их физико-химических, физико-механических свойств и структурных преобразований в результате высокотемпературного нагрева. Она объединяет

расчетные методы огнестойкости железобетона, методы тонкого анализа и методы, основанные на определении теплофизических, физико-механических и термохимических характеристик. По результатам оценки появляется возможность определить вероятность, вид, скорость прогресса и потери прочности строительных материалов на основе цементных композитов. Повышается возможность определения объективной скорости разрушения и наступления предельных состояний в конструкциях, выполненных из железобетона без применения дорогостоящих натуральных испытаний по определению их пределов огнестойкости.

Таблица 2-Цементные композиты, используемые при проведении исследований

№ п/п	Цемент М500, %	Цемент М300, %	Песок, %	Вода, %	Минеральная вата, %	Жидкое стекло, %	Бой стекла, %	Шамотная глина, %	Щебень, %
1.*	29.00	-	57.000	14.00	-	-	-	-	-
2.	29.00	-	56.800	14.00	0.2	-	-	-	-
3.	29.00	-	56.800	14.00	-	0.200	-	-	-
4.	29.00	-	56.800	14.00	-	-	0.2	-	-
5.	29.00	-	56.796	14.00	-	0.004	0.2	-	-
6.	29.00	-	55.793	14.00	1.2	0.007	-	-	-
7.	19.00	-	15.000	10.00	-	-	-	-	56
8.	-	19	15.000	10.00	-	-	-	-	56
9.	18.56	-	53.630	24.75	-	-	-	3.06	-

*Образец №1 –контрольный, состав исходных компонентов приведен в процентах

Для экспериментального подтверждения разработанного метода были проведены исследования на составах, представленных в таблице 2, разработанные на кафедре СМТ ИВГПУ совместно с ИПСА ГПС МЧС России, и стандартные составы тяжелого бетона.

На первоначальном этапе определялись коэффициент теплопроводности и коэффициент термического сопротивления на установке ИТП-МГ4 в соответствии с ГОСТ 7076-99 «Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме». Данные коэффициенты используются в теплотехническом расчете огнестойкости при определении временного параметра, характеризующего момент наступления потери теплоизолирующей способности конструкции.

Как видно из полученных данных, самый высокий коэффициент теплопроводности показал контрольный образец без добавок (№1) – 0,281 Вт/м·К, а самый низкий - образец с комбинацией добавок минеральной ваты и жидкого стекла (№6) – 0,220 Вт/м·К, что составляет увеличение теплоизолирующей способности при высокотемпературном нагреве на 20%.

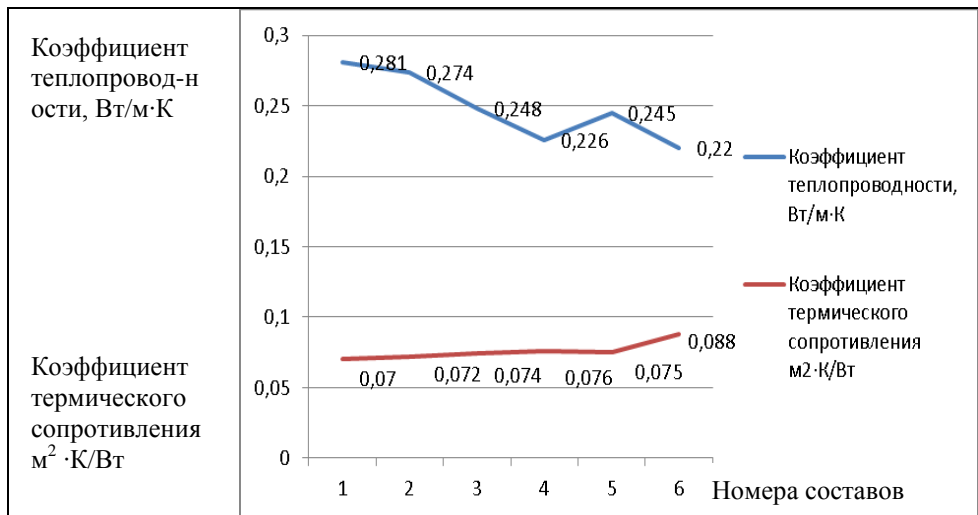


Рисунок 2 - Зависимость изменения коэффициента теплопроводности и коэффициента термического сопротивления цементного композита от его состава

Исследование коэффициентов теплопроводности у образца с комбинацией добавок – боя стекла и жидкого стекла (№5) и образца с добавкой жидкого стекла (№3) показали, что их теплопроводность на 13% меньше, чем теплопроводность контрольного образца.

Для определения распределения тепловой нагрузки по сечению и потери массы при нагреве образца цементного композита было проведено исследование на установке «ОГНМ» по ГОСТ 12.1.044 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов» при температуре 750°C. Полученные результаты представлены в таблице 3. Из представленных данных видно, что самая меньшая потеря массы при нагреве у образца №5, затем у образца №2 и образца №3. Это можно объяснить тем, что в образце №5 дополнительно используется молотый бой листового стекла, который по своему составу и из-за своей плотной структуры не содержит химически и физически связанной воды. Таким образом, при добавлении одновременно и жидкого стекла, и боя стекла в цементный композит потеря массы при высокотемпературном нагреве значительно меньше, чем у контрольного, что показывает его устойчивость к высокотемпературному нагреву.

Образец №2, в котором присутствует, в качестве силикатной добавки минеральная вата также показал сравнительно небольшую потерю массы. Минеральная вата обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, и при нагреве упрочняет структуру композита.

В образце №3 в качестве добавки используется жидкое стекло, которое увеличивает количество низкоосновных силикатов кальция за счет связывания гидроксида кальция, поэтому, процесс разложения цементного камня сдвигается в сторону более высоких температур.

Таблица 3- Зависимость изменения физических и теплофизических характеристик цементных композитов при нагреве от их исходных компонентов

№ состава	Температура внутри образца через 15 минут нагрева	Температура снаружи образца через 15 минут нагрева	Температура внутри образца через 30 минут нагрева	Температура снаружи образца через 30 минут нагрева	Понижение плотности относительно контрольного образца №1, %	Снижение массы относительно контрольного образца, %
1.	712	714	719	723	-	-
2.	716	737	723	740	11,0	-20
3.	720	740	728	743	10,5	-18
4.	718	741	723	742	11,6	-24
5.	716	733	723	736	11,9	-28
6.	706	720	714	724	9,8	-16

Анализ разницы температур снаружи и внутри образцов при нагреве в течение 30 минут показал, что после 15 минут нагрева самая большая разница температур снаружи и внутри у образца №4 - 23°C, образцов №2 и №3 - 21°C. Контрольный образец прогрелся практически полностью. На 30 минуте самую большую скорость нагрева как и на 15 минуте показал образец №4 - 18 °С, затем образец №2 и №3 - 17°C.

Дополнительно была проведена оценка изменения физико-механических характеристик составов цементных композитов до и после их нагрева при 800°C в течение часа (таблица 4).

Как видно из приведенных данных, состав цементных композитов влияет на их поведение в условиях воздействия высоких температур. Физико-механические характеристики изменяются по-разному. Так предел прочности при изгибе бетонов по сравнению с песчаным раствором показывают значительное ухудшение при нагреве. Бетон класса В40 (состав №7) показал потерю прочности 9,1% при нагреве до 800°C, что на 25 % больше потери прочности песчано-цементного раствора (состав №1). Это можно объяснить за счет уменьшения доли цементного камня в бетоне, по сравнению с раствором. При снижении класса бетона до В30 (состав №8), потери прочности при нагреве возрастают, и составляют 20%. Схожие результаты показывает и изменение пределов прочности при сжатии. Можно сделать вывод, что наибольшую устойчивость при нагреве должны показывать мелкозернистые бетоны и бетоны высокого класса.

При сравнении влияния различных огнестойких наполнителей и добавок в цементный состав (3, 4, 9) таких как жидкое стекло, бой стекла, шамотная глина можно отметить, что они увеличивают предел прочности при изгибе при нагреве 800°C на 35-40 %. Приведенные данные позволяют сделать вывод, что наибольшую устойчивость в условиях высоких температур придают добавки боя стекла.

Таблица 4 - Физико-механические характеристики составов цементных композитов

№	Вид состава	Предел прочности при изгибе, МПа			Предел прочности при сжатии, МПа		
		термообработка		% потери прочности	термообработка		% потери прочности
		до	после		до	после	
1	Песок: вода: цемент М500 (контрольный)	1,20	1,12	6,7	9,72	9,00	7,40
3	Песок: вода: цемент М500: ж/стекло	1,42	1,36	4,2	19,20	17,84	7,00
4	Песок: вода: цемент М500: бой стекла	1,50	1,44	4,0	17,44	16,72	4,10
7	Песок: вода: цемент М500: щебень (В40)	1,10	1,00	9,1	49,04	18,13	10,06
8	Песок: вода: цемент М300: щебень (В30)	0,90	0,72	20,0	33,06	12,44	20,30
9	Песок: цемент М500: вода: шамот	0,92	0,88	4,3	12,72	12,08	5,00

Для анализа влияния высокотемпературного нагрева цементных композитов на их фазовый состав было проведено исследование методом дифференциально-термического анализа. Оценку влияния температурной нагрузки на структуру цементного камня проводили на установке дифференциально-термического анализа (ДТА) «Thermoscan-2». Нагрев производился до 1000°C со скоростью 10°C в минуту. Испытания проводились на составах цементных композитов, приведенных в таблице №2 (рисунок 3).

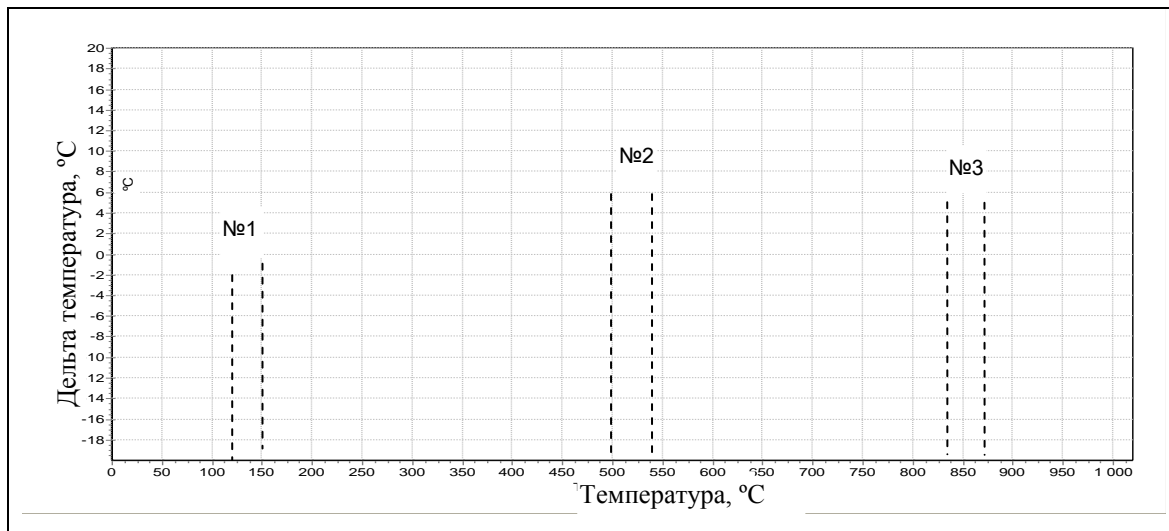


Рисунок 3 - Зависимость изменения температуры образца №1 относительно эталона Al_2O_3

На данной термограмме можно выделить 3 пика падения температуры, происходящие при эндотермических реакциях. Термограмма показывает: первый пик начинается с $25^{\circ}C$ и заканчивается $350^{\circ}C$, разница температур с контрольным находится в пределах $8^{\circ}C$. При этом происходит испарение воды, содержащейся в порах цементного композита. Следующий начинается с $500^{\circ}C$ и заканчивается около $530^{\circ}C$. Его глубина находится в пределах $0,5^{\circ}C$. Данный пик получается в результате испарения химически связанной воды из портландида, который входит в состав цементного клинкера. Следующий пик начинается с $840^{\circ}C$ и заканчивается $870^{\circ}C$. Глубина пика небольшая, составляет около $0,5^{\circ}C$.

При добавлении в цементный композит минеральной ваты стойкость цементного композита при нагреве увеличивается. Образец, содержащий жидкое стекло и бой стекла, показывает наименьшее содержание физически связанной воды и наименьшее испарение химически связанной воды.

Для получения более широкого спектра зависимостей оценку влияния температурной нагрузки на структуру цементного камня проводили на установке (SETARAM TGA 92-24). На ней определялось изменение массы, приведенное изменение массы и изменение температуры (энергии) материала при медленном нагреве до $1000^{\circ}C$ (DTA/DSC, TGA, TGA-DTA/DSC). Общий вид полученных данных представлен на примере результатов исследования контрольного образца №1, и образцов №2, и №3 на рисунках 4-6.

На представленной термограмме контрольного образца (рисунок 4) можно выделить два основных температурных пика, которые соответствуют наиболее интенсивной потере массы материала. Первый пик приходится на температурный интервал $548-570^{\circ}C$, а второй пик, наиболее ярко выраженный, на температурный интервал $600-760^{\circ}C$. Поскольку в первом образце, который является контрольным, не содержится никаких дополнительных добавок (цемент М500, песок, вода), можно сделать вывод, что на первом выделенном температурном интервале происходит потеря химически связанной воды, так называемая дегидратация гидроксида кальция (портландида).

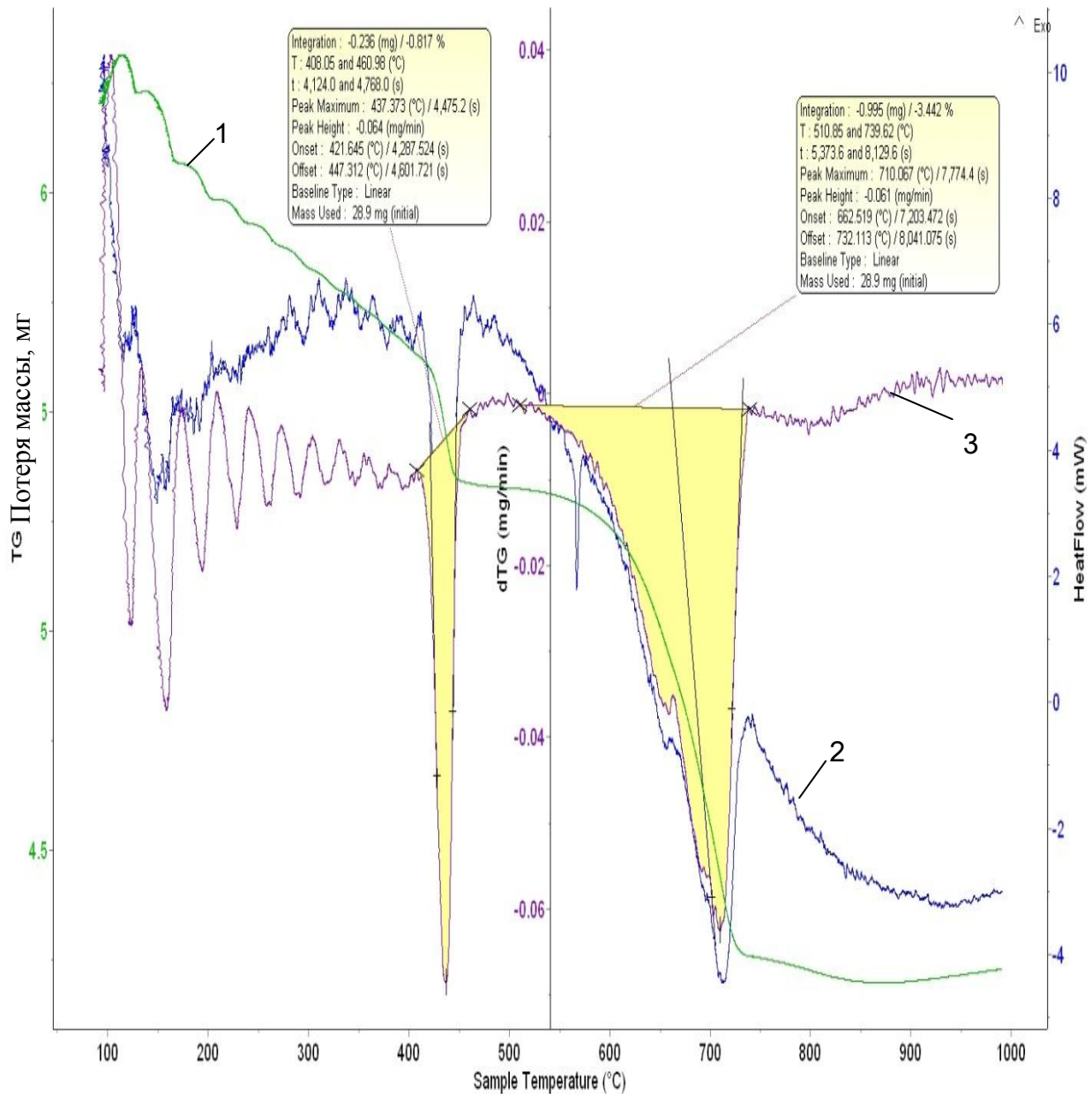


Рисунок 4 - Термогравиметрические исследования на изменение массы (1), приведенное изменение массы (2) и изменение температуры (3) цементного композита состава №1

На втором выделенном температурном интервале, который приходится на 600-760⁰С, наблюдается наиболее интенсивная потеря массы, процент потери по массе составил 66% от общей потери в ходе всего периода нагрева. Данный факт можно объяснить тем, что на указанном интервале происходит полиморфное превращение алунита (4Al(OH)₃) и переход γ -C₂S → γ' -C₂S. .

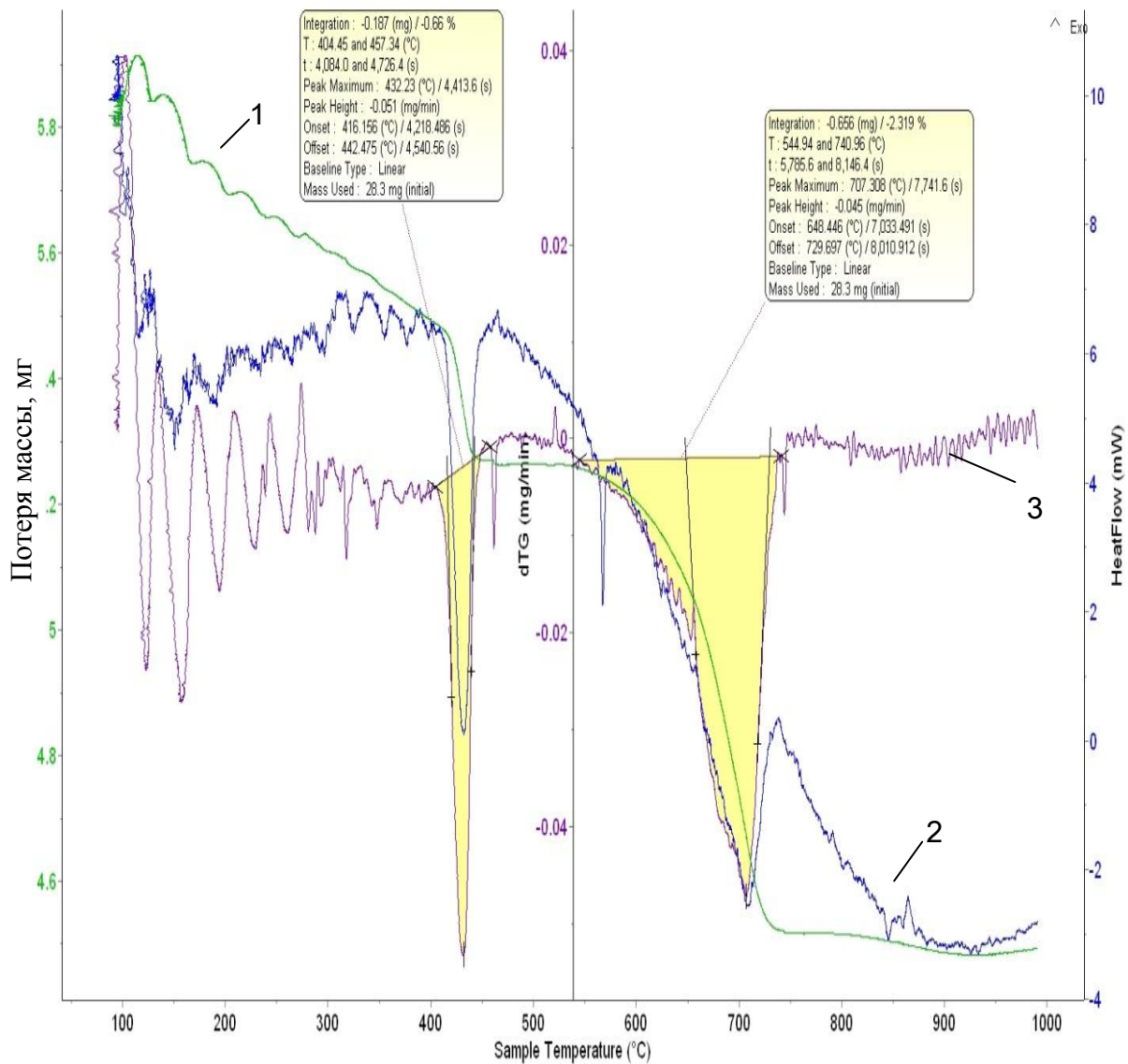


Рисунок 5 - Термогравиметрические исследования на изменение массы (1), приведенное изменение массы (2) и изменение температуры (3) цементного композита состава №3

Относительно первых трех образцов первый температурный интервал и площадь относящегося к нему пика гораздо более значительна. Данный факт можно объяснить тем, что в состав образца №4 входит добавка в виде жидкого стекла, которое, как известно, на стадии высокотемпературного нагрева в диапазоне от 350°C до 500°C упрочняет структуру цементного камня, соответственно площадь температурного эффекта за счет перекристаллизации и упрочнения структуры увеличивается, однако незначительная часть массы образца при этом теряется, (образец №4 на первом температурном интервале потерял на 4% по массе меньше относительно образца №8).

Термограмма, полученная (рисунок 6), при испытании образца №4, аналогична термограмме образца №8. Первый пик приходится на температурный интервал 398-454°C, второй пик, на температурный интервал 570-754°C. Все пики очень схожие, но за время всего эксперимента разница масс данного состава относительно предыдущего стала гораздо ниже. Первый температурный интервал по величине примерно равен температурному интервалу предыдущего образца, однако сдвинут в область более низких температур, что говорит о его чуть более выраженной способности при воздействии высоких температур отдавать химически связанную воду. Но так как второй температурный интервал ничуть не больше чем у предыдущего образца, а процент потери массы относительно него же меньше на 14% можно

сделать вывод, о том, что при добавлении такой силикатной добавки, как бой стекла, теплофизические свойства цементного состава значительно повышаются.

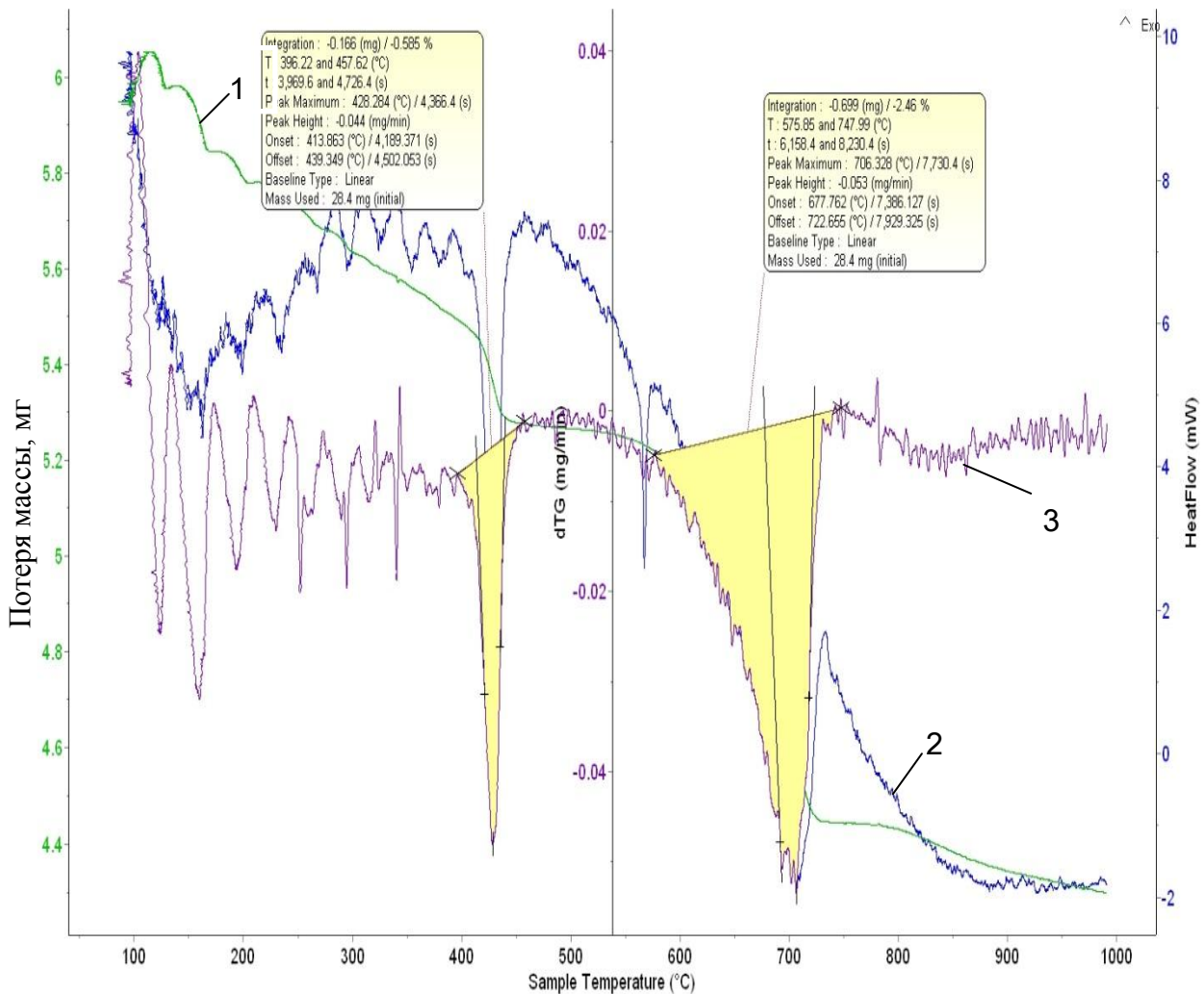


Рисунок 6 - Термогравиметрические исследования на изменение массы (1), приведенное изменение массы (2) и изменение температуры (3) цементного композита состава №4

При оценке термохимических свойств образца цементного композита состава №7 (песок: вода: цемент М500: щебень (В40)) можно выделить два температурных пика, которые соответствующие наиболее интенсивной потере массы. Первый пик приходится на температурный интервал 402-460⁰С, а второй пик, наиболее ярко выраженный, на температурный интервал 460-745⁰С. При детальном исследовании данного образца можно заметить, что относительно первых двух образцов ширина и площадь второго температурного интервала более растянута, а первого наоборот относительно незначительна, это говорит о том, что основной процент потери массы за счет удаления химически связанной воды, а так же декарбонизации, дегидратации перекристаллизации и иных полиморфных превращений приходится именно на тот температурный промежуток, который включает в себя все основные физико-химические процессы, связанные с распадом цементного камня, поскольку жаростойких добавок на стадии затворения в данном составе не применялось.

Сравнивая вышеприведенные результаты, можно сказать, что бетоны с более низким классом прочности при нагреве разлагаются более интенсивно, теряя кристаллическую воду. При 700-800⁰С потеря массы составляет до 45%. Сравнивая образцы цементных составов под №3,4,9 можно сказать, что жаростойкие добавки влияют на структуру цементного композита и её устойчивость к нагреву.

Добавка жидкого стекла снижает потерю массы при 700-750 °С с 33 % до 25 %. Добавка боя стекла снижает потерю массы до 23%, а добавка шамота до 21%. Причем дальнейшее снижение массы образцов сдвигается в область более высоких температур- 1000 °С.

По результатам термогравиметрического анализа можно сделать вывод, что бетоны высокого класса имеют более прочную структуру и более высокую устойчивость при воздействии на них высоких температур. Жаростойкие добавки в цементные составы сдвигают разрушение их структуры при нагреве в область более высоких температур.

Для более полного анализа влияния состава раствора на огнестойкость строительных конструкций проводился расчет пределов огнестойкости на примере железобетонной многопустотной плиты перекрытия. Для получения сравнительной оценки расчет плиты проводился как с предполагаемым защитным слоем из тяжелого бетона, так и с предполагаемыми слоями из составов №1, №2; №6, №7. Исходные данные принимали по параметрам требований для стандартной плиты перекрытия из ГОСТ 956191 «Плиты перекрытий железобетонные, многопустотные для зданий и сооружений»: расчётная длина плиты – $l_0=6.3\text{м}$; ширина плиты - $b=1190\text{мм}$; толщина плиты - $h=220\text{мм}$; максимальный изгибающий момент - $M_n=39,69\text{ кН}\cdot\text{м}$; толщина защитного слоя бетона с учётом толщины стержня - $a=30\text{мм}$.

В результате теплотехнического расчета предела огнестойкости плиты перекрытия с защитным слоем арматуры из тяжелого бетона был определен фактический предел огнестойкости.

$$\tau = \left(\frac{K + \frac{a + K_1 d_{arm}}{\sqrt{a_{red}}}}{2X} \right)^2$$

где d_{arm} – диаметр арматурного стержня, K_1 - коэффициент, учитывающий влияние массы металла стержня на его прогрев при различных плотностях сухого бетона, K – коэффициент, учитывающий среднюю плотность бетона, a – толщина защитного слоя бетона, a_{red} - приведенный коэффициент температуропроводности при температуре 450°С. Фактический предел огнестойкости составил 126 мин.

С помощью экспериментально полученных данных проводился расчет предела огнестойкости плиты с защитным слоем раствора без волокон (состав №1), который составил 97 мин; расчет огнестойкости плиты с защитным слоем арматуры штукатурным раствором с 0,5% волокон (состав №2) - 101 мин. и расчет огнестойкости плиты со слоем штукатурного раствора с 3% волокон (состав №6) - 136 мин. Данные расчета огнестойкости с защитными слоями арматуры из тяжелого бетона и штукатурных растворов представлены в виде диаграммы на рисунке 7. Как видно из представленной диаграммы тяжелый бетон обладает более высокой огнестойкостью, чем обычный раствор с добавкой жидкого стекла при той же толщине. Добавление жидкого стекла совместно с минеральным волокном увеличивает огнезащитные свойства раствора.

Добавление 3% волокон от массы сухих веществ увеличивает огнезащитные свойства в 1,4 раза. Причем огнестойкость конструкции по сравнению со слоем из тяжелого бетона при применении слоя раствора, содержащего 3% волокон, увеличивается на 8%.

На основании вышеизложенного в предлагаемом методе прогнозирования оценки теплотехнических характеристик цементных композитов при пожаре предлагается использовать совокупность методик объединяющих расчетные методы огнестойкости железобетонных конструкций, методы тонкого анализа и методы, основанные на определении теплофизических, физико-механических и термохимических характеристик.



Рисунок 7- Фактический предел огнестойкости плиты перекрытия с защитным слоем из штукатурного раствора: 9) контрольный, 3) без волокон, 6) с 0,5% волокон, 5) с 3% волокон

Такой подход не только обеспечит полный анализ поведения строительных конструкций при пожаре, но и позволит прогнозировать поведение бетонных и железобетонных композиций различного состава в конструкции, не прибегая к дорогостоящим натурным испытаниям.

Разработанный метод (рисунок 8) состоит из следующих ступеней:

1. Выбор исследуемых, вновь разработанных материалов, на основе цементных композитов;
2. Определение рецептуры создания составов, предлагаемых к оценке;
3. Создание образцов заданной формы в количестве экземпляров необходимых для проведения оценки поведения при высоких температурах заданными геометрическими параметрами;
4. Определение массы и плотности исследуемых образцов;
5. Определение коэффициента теплопроводности и коэффициента термического сопротивления;
6. Подстановка исследуемого состава в качестве моделируемого защитного слоя арматуры в стандартной плите перекрытия и определение предела огнестойкости по потере теплоизолирующей способности с применением экспериментально полученного коэффициента теплопроводности;
7. Оценка предела прочности при сжатии с последующим прогревом 800°C в течение 60 минут и повторная оценка предела прочности при сжатии после прогрева с расчетом потери прочности при нагреве;
8. Сравнение показателей потери прочности при нагреве исследуемых образцов с показателями пределов огнестойкости стандартных составов, принятых за эталон, оценка разницы между ними;
9. ТА, ДТА исследование исследуемых образцов с последующей оценкой термохимических процессов и диапазонов температур их протекания в контексте сравнения с результатами, полученными при исследовании стандартных составов, принятых за эталон.

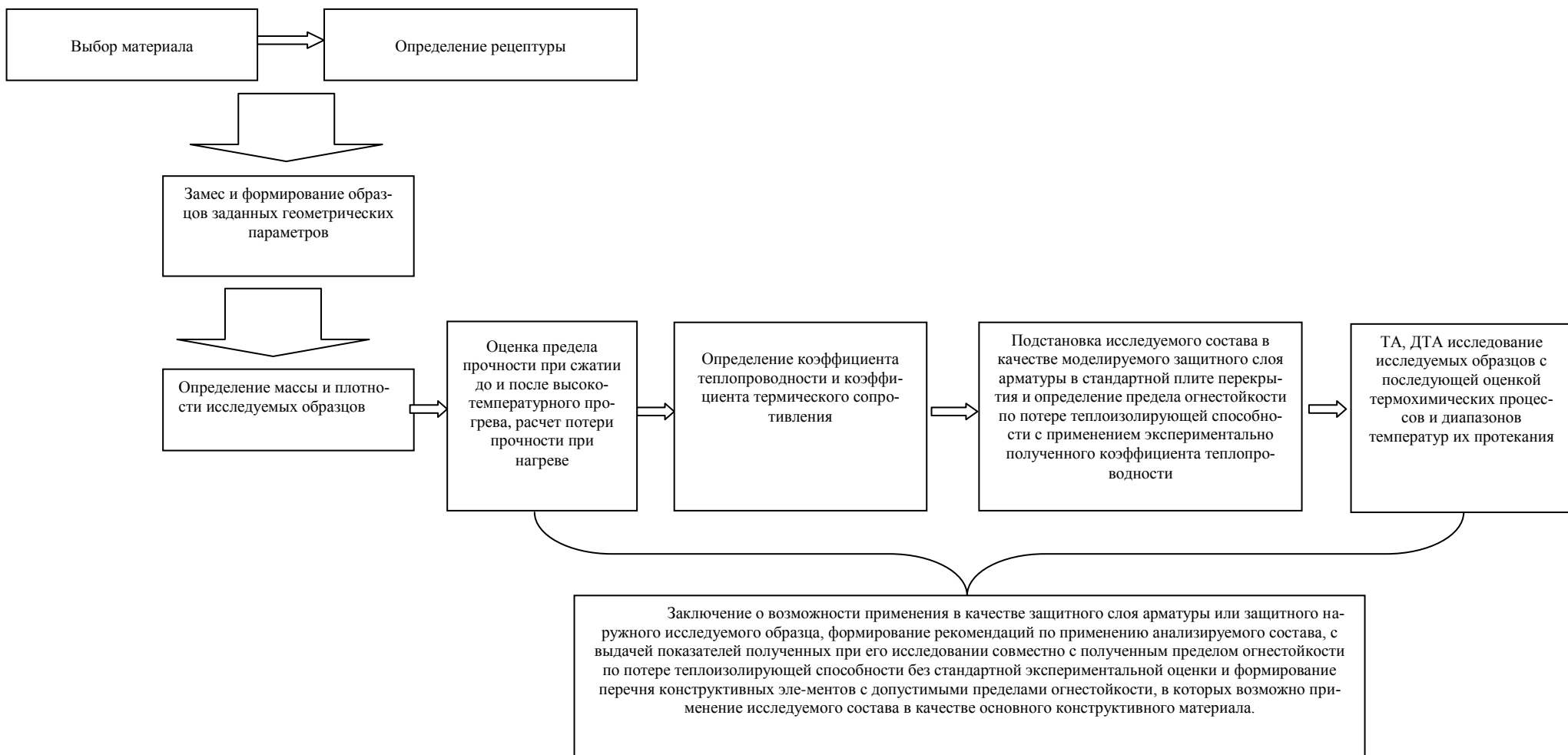


Рисунок 8 – Общий вид метода прогнозирования поведения цементных композитов при воздействии высоких температур

10. Заключение о возможности применения в качестве защитного слоя арматуры или защитного наружного исследуемого образца, формирование рекомендаций по применению анализируемого состава, с выдачей показателей полученных при его исследовании совместно с полученным пределом огнестойкости по потере теплоизолирующей способности без стандартной экспериментальной оценки и формирование перечня конструктивных элементов с допустимыми пределами огнестойкости, в которых возможно применение исследуемого состава в качестве основного конструктивного материала.

В четвертом разделе представлена оценка экономической эффективности внедрения метода оценки теплотехнических характеристик цементных композитов строительных конструкций в условиях повышенных температур в деятельность испытательных пожарных лабораторий при исследовании негорючих строительных материалов на огнестойкость, а так же на возможные сценарии оценки свойств при различных высокотемпературных воздействиях. Результаты, полученные в ходе проведения расчетов в соответствии с заданием технико-экономического обоснования показали, что применение и внедрение разработанного метода оценки теплотехнических характеристик в цементных композитах в условиях повышенных температур в деятельность испытательных пожарных лабораторий при перспективе среднесрочного планирования с экономической точки зрения целесообразно. Срок окупаемости проекта составит 4,15 года, далее при условии внедрения данного метода затраты будут осуществляться только техническое обслуживание оборудования, задействованного при проведении испытаний, с учетом амортизационного износа. Проведенный анализ экономической эффективности использования разработанного метода в сравнении с существующей экспериментальной методикой оценки огнестойкости строительных конструкций по критериям REI (предел огнестойкости по потере несущей способности, по потере целостности, по потере теплоизолирующей способности) показывает, что сокращение текущих затрат в расчете на одно испытание изделия составит 40 354 руб., а так же затраты заказчика сокращаются на 10% за счёт значительного удешевления стоимости изготавливаемых образцов и сокращения транспортных расходов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью методов системного анализа разработаны теоретические принципы оценки изменения структуры и свойств цементных композитов для определения их поведения в условиях высоких температур и разработки составов с прогнозируемыми жаростойкими характеристиками. Методологически обоснована целесообразность использования повышенной силикатной составляющей добавлением жидкого стекла и минеральной ваты. Проведен анализ особенностей структуры и свойств раствора в зависимости от его состава;

Выявлены закономерности изменения фазовой структуры цементного камня при введении натриевого жидкого стекла и силикатных заполнителей, выявлен устойчивый эффект, характеризующий смещение наступления момента разложения минералов цементного композита в область более высоких температур. С использованием методов многофакторного термического анализа получены зависимости изменения под действием высоких температур физических и физико-механических характеристик цементных составов строительных конструкций от изменения структуры цементных композитов и их теплофизических особенностей;

Проведены исследования структурных преобразований цементных композитов при повышении температур с помощью методов тонкого анализа. Найдены зависимости увеличения времени разложения цементного камня с повышенным содержанием силикатной составляющей в области 500-600°C, и сдвигом разложения высокоосновных силикатов кальция в область более высоких температур, что сказывается на повышении термической стойкости материала и увеличивает предел огнестойкости конструкций;

Разработан новый состав жаростойкого раствора с повышенным содержанием силикатной составляющей на основе цемента, жидкого стекла и минеральной ваты с температурой применения более 500°C, исследованы его физические и физико-механические характеристики, даны

рекомендации по использованию.

С использованием методов термического анализа определено, что жаростойкие добавки влияют на структуру цементного композита и её устойчивость к нагреву. Добавка жидкого стекла снижает потерю массы при 700-750°C с 33% до 25%. Добавка боя стекла снижает потерю массы до 23%, а добавка шамота до 21%. Дальнейшее снижение массы образцов сдвигается в область более высоких температур - 1000°C;

Разработан метод неразрушающего прогнозирования поведения цементных композитов в составе строительных конструкций в условиях воздействия высоких температур, основанный на дериватографических исследованиях. Результаты разработанного метода прогнозирования поведения цементных композитов строительных конструкций в условиях высоких температур внедрены в практическую деятельность ФГБУ «СЭУ ФПС №93 «ИПЛ» МЧС России»;

Проведенная оценка экономической эффективности использования разработанного метода в сравнении с существующей экспериментальной методикой оценки огнестойкости строительных конструкций по критериям REI показывает, что сокращение текущих затрат в расчёте на одно испытание со-ставит 40 354 руб., а так же затраты заказчика сокращаются на 10% за счёт значительного удешевления стоимости изготавливаемых образцов и сокращения транспортных расходов.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Исследование целесообразно продолжить в направлении оценки свойств негорючих материалов (классификация НГ) при огневом воздействии с целью выявления особенностей изменения свойств в условиях пожара для дальнейшей классификации и определения нормативных требований по безопасности их применения в составе строительных конструкций.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях перечня ВАК:

1. **Левашов, Н.Ф.** Применение методики расчета огнестойкости строительных конструкций для анализа влияния силикатных добавок в растворах на свойства защитного слоя арматуры [Текст] / М.В. Акулова, О.В. Потемкина // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. - Т.24, №. 10. – С. 30–34.
2. **Левашов, Н.Ф.** Использование термогравиметрического метода анализа для исследования влияния вида заполнителя на свойства пенобетона [Текст] / Н.Ф. Левашов, М.В. Акулова, О.В. Потемкина // Научно-технический журнал Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. - 2015. - №. 4-15. – С. 75–78.
4. Федосов, С.В. Применение комплексной методики анализа проявления свойств цементных композитов, содержащих силикатные добавки, при повышенных температурах [Текст] / **Н.Ф. Левашов**, М.В. Акулова, О.В. Потемкина // Пожаровзрывобезопасность. - 2016. - Т.25, №. 12. – С. 14–21.
5. Федосов, С.В. Перспективы применения комплексного метода анализа проявления свойств цементных композитов в условиях воздействия повышенных температур [Текст] / **Н.Ф. Левашов**, М.В. Акулова, О.В. Потемкина // Строительство и реконструкция. – 2017. - № 4. – С. 119–128.
6. **Левашов, Н.Ф.** Разработка аналитической модели потери прочности цементных композитов при воздействии повышенных температур [Текст] / М.В. Акулова, О.В. Потемкина, Ю.А. Соколова // Строительство и реконструкция. – 2018. - № 5. – С. 104–111.

Скопус:

3. **Левашов, Н.Ф.** Applying the dimensional method for valuation of the strength loss of cement compositions exposed to elevated temperatures. [Текст] / М.В. Акулова, О.В. Потемкина, Ю.А Соколова, А.Г Соколова. // Сборник научных трудов «VI International Scientific Confer-

ence «Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education» (IPICSE-2018)», Ж-л: MATEC Web of Conferences T. 251, 2018. С. 1-6.

4. **Левашов, Н.Ф.** Modifying composition of plastering mortar for the purpose of enhancing fire resistance of building structures by means of silicate additives. [Текст] / М.В. Акулова, Ю.А Соколова, А.Г Соколова. // Web of Conferences 97, 03014 (2019). С. 1- 8. г. Ташкент. 2019.

В других изданиях:

7. **Левашов, Н.Ф.** Исследование изменения фазового состава пенобетона с добавлением жидкого стекла и стеклобоя термографическим методом [Текст] / М.В. Акулова, О.В. Потемкина, В.Ю. Емелин // Пожарная и аварийная безопасность: материалы IX Международной научно-практической конференции, г. Иваново: ИИ ГПС МЧС России, 20-21 ноября 2014 г. С. 163-166.

8. **Левашов, Н.Ф.** Методика оценки влияния добавок базальтового волокна в цементных растворах на огнестойкость железобетонной многослойной плиты перекрытия [Текст] / Н.Ф. Левашов, М.В. Акулова, О.В. Потемкина // Обеспечение безопасности жизнедеятельности. Проблемы и перспективы: материалы IX Международной научно-практической конференции, г. Минск КИИ, 2-3 апреля 2015 г. С. 40-42.

9. **Левашов, Н.Ф.** Методика оценки влияния добавок базальтового волокна в цементных растворах на огнестойкость стандартной плиты перекрытия [Текст] / М.В. Акулова, Ю.А. Ведяскин, Н.А. Ратов // Молодые исследователи регионам: материалы международной научной конференции Т. 1., г. Вологда: ВоГУ, 2015. С. 217-219.

10. **Левашов, Н.Ф.** Анализ современных отечественных методов исследования проявления свойств строительных материалов на основе цементных композитов в условиях высокотемпературных воздействий [Текст] / М.В. Акулова, Т.А. Баженова, О.В. Потемкина // Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (Поиск 2015): материалы Международной научно-технической конференции г. Иваново, ИГПУ, 21-23 апреля 2015 г. С. 251-253.

11. **Левашов, Н.Ф.** Анализ современных методов исследования проявления свойств строительных материалов на основе цементных составов в при воздействии высоких температур [Текст] / М.В. Акулова, О.В. Потемкина // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: материалы сборника I межвузовской научно-практической конференции, г. Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 20 апреля 2015 г. С. 87-90.

12. **Левашов, Н.Ф.** Использование методов тонкого анализа для исследования факторов и параметров, определяющих поведение пенобетонов в условиях высокотемпературных воздействий температур [Текст] / М.В. Акулова, О.В. Потемкина, В.Ю. Емелин // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» (SMARTEX 2015): сборник материалов XVIII международного научно-практического форума, г. Иваново, ИГПУ, Инст. химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, 26-29 мая 2015 г. С. 280-284.

13. **Левашов, Н.Ф.** Исследование проявления свойств цементных композитов, содержащих силикатные добавки, при повышенных температурах [Текст] / М.В. Акулова, О.В. Потемкина, С.Н. Наконечный, В.Ю. Емелин // Информационная среда вуза: материалы XXII международной научно технической конференции, г. Иваново, ИГПУ 26-27 ноября 2015 г. С. 173-180.

14. **Левашов, Н.Ф.** Применение методики анализа материалов на негорючесть с целью исследования проявления свойств цементных композитов [Текст] / Акулова М.В., Т.А. Баженова, А.В. Кулагин // Пожарная и аварийная безопасность: материалы X Международной научно-практической конференции, г. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 26-27 ноября 2015 г. С. 234-236.

15. **Левашов, Н.Ф.** Использование метода определения коэффициента теплопроводности для оценки проявления свойств цементных композитов, при повышенных температурах [Текст] /

М.В. Акулова, М.А. Гурьянов, Т.А. Баженова // Обеспечение безопасности жизнедеятельности. Проблемы и перспективы: материалы X Международной научно-практической конференции, г. Минск КИИ, 7-8 апреля 2016 г. С. 32-35.

16. **Левашов, Н.Ф.** К вопросу о влиянии схем армирования железобетонных плит перекрытия на их огнестойкость [Текст] / М.В. Акулова, О.В. Потемкина, М.А. Гурьянов // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: материалы сборника II межвузовской научно-практической конференции, г. Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 20 апреля 2016 г. С. 74-78.

17. **Левашов, Н.Ф.** К вопросу применения комплексного подхода при оценке проявления свойств цементных композитов в условиях повышенных температур [Текст] / М.В. Акулова, О.В. Потемкина, А.П. Коростелев // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы сборника V международной научно-практической конференции, г. Москва, АГПС МЧС России, 17-18 марта 2016 г. С. 32-35.

18. **Левашов, Н.Ф.** Применение методов тонкого анализа для оценки влияния компонентов заполнителя на структуру пенобетона [Текст] / М.В. Акулова, О.В. Потемкина, // интернет-журнал Пожарная и аварийная безопасность. - 2016. - №.1. С. 1-5.

19. **Левашов, Н.Ф.** Использование методов термогравиметрии для анализа влияния компонентов на структуру пенобетона [Текст] / М.В. Акулова, О.В. Потемкина // Информационная среда вуза: материалы XXIII международной научно технической конференции, г. Иваново, ИГПУ 24-25 ноября 2016 г. С. 173-180.

20. **Левашов, Н.Ф.** Особенности применения комплексного метода анализа проявления свойств цементных составов при воздействии повышенных температур. [Текст] / Ю.А. Соколова, Р.М. Алоян, М.В. Акулова, О.В. Потемкина, Иваново // Сборник научных трудов «Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации», г. Москва, 2018 г. С. 449-455.

Левашов Никита Фёдорович

**МОДИФИКАЦИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ**

05.23.05 - Строительные материалы и изделия

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать «__» _____ 2019 г. Заказ № ____ Формат 60×90/16
Тираж 80 экз. Усл. печ. л. 1,5

УПЦ ГИ РУТ (МИИТ), Москва, 127994, ул. Образцова, д. 9, стр. 9.