

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт инженерной и экологической безопасности
(наименование института полностью)

20.04.01 Техносферная безопасность
(код и наименование направления подготовки)

Управление пожарной безопасностью
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Анализ и оптимизация выбора огнезащитных покрытий
строительных конструкций

Обучающийся

М.В. Милюткина

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент А.Б. Стешенко

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

к.э.н., доцент Т.Ю. Фрезе

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Содержание

Введение.....	3
Термины и определения.....	6
Перечень сокращений и обозначений.....	7
1 Анализ огнезащитных покрытий строительных конструкций.....	8
1.1 Огнезащитные покрытия.....	8
1.2 Анализ огнезащитных покрытий строительных конструкций.....	16
2 Разработка рекомендаций по оптимизации выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций.....	25
2.1 Исследование и анализ методов выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций.....	25
2.2 Рекомендации по оптимизации выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций.....	30
3 Опытно-экспериментальная апробация предлагаемых методов оптимизации выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций.....	45
3.1 Программа создания и внедрения предлагаемых методов оптимизации выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций.....	45
3.2 Анализ и оценка эффективности внедрения предлагаемых методов оптимизации выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций.....	61
Заключение.....	66
Список используемой литературы.....	69
Приложение А Результаты огневого испытания.....	73

Введение

Актуальность темы обусловлена необходимостью внедрения огнезащитных покрытий строительных конструкций. Обеспечение пожарной безопасности имеет огромное значение для любого гражданина, для владельцев собственности, для государства. Чрезвычайная пожарная ситуация, выведшая из-под контроля человека, представляет собой большую опасность и наносит значительный материальный ущерб, грозит здоровью и жизни людей. Достаточно часто в возникновении пожара виновен человек. Для предупреждения пожарных ситуаций создания необходимых условий безопасности применяются различные превентивные меры. Быстро развивающийся в современных условиях научный и технический прогресс предлагает модернизацию или совершенно новые технологии, что требует замены морально устаревшего оборудования. Такое оборудование более эффективно, более производительнее, как правило, обладает более высокими скоростями, обладает повышенными требованиями к строительным конструкциям на выдерживание пожарных нагрузок.

Объект исследования: деятельность 3 ПСО ФПС ГПС ГУ МЧС России по Самарской области.

Предмет исследования: способы применения огнезащитных покрытий строительных конструкций.

Цель исследования: провести анализ и предложить оптимизацию выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций с учетом параметров развития реального пожара.

Гипотеза исследования состоит в том, что повышение огнезащитных свойств покрытий строительных конструкций будет оптимизировано, если:

- провести экспериментальную оценку огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий с учетом параметров развития реального пожара на основе параметров эксплуатационной надежности строительных конструкций;

- на основании проведенных экспериментальных исследований выбрать оптимальное огнезащитное покрытие строительных конструкций.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- охарактеризовать теоретические аспекты огнезащитных покрытий строительных конструкций;
- провести анализ средств и способов для обеспечения огнезащиты покрытий строительных конструкций на объекте исследования;
- разработать способ применения огнезащитных покрытий строительных конструкций.

Теоретико–методологическую основу исследования составили: научные публикации, учебники, учебные пособия по теме исследования.

Базовыми для настоящего исследования явились также сведения, используемое в патентно-информационном анализе.

Методы исследования: статистический анализ, методы системного анализа, теории управления и имитационного моделирования.

Опытно–экспериментальная база исследования основана на базе 3 ПСО ФПС ГПС ГУ МЧС России по Самарской области.

Научная новизна исследования заключается в экспериментальной оценке огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий с учетом параметров развития реального пожара на основе параметров эксплуатационной надежности строительных конструкций.

Теоретическая значимость исследования заключается в возможности применить проведенный анализ результатов оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий для реального повышения огнезащиты строительных конструкций.

Практическая значимость исследования заключается в том, что экспериментальные исследования оценки огнезащитной эффективности

вспучивающихся покрытий позволят получить реальный эффект повышения огнезащиты строительных конструкций.

Достоверность и обоснованность результатов исследования обеспечивались:

- анализом публикаций российских и зарубежных авторов по теме исследования;
- изучением существующих технических разработок по теме исследования.

Личное участие автора в организации и проведении исследования состоит в анализе существующих инженерных методах пожаробезопасности, и применения отдельных решений в комплексном обеспечении пожарной безопасности рассматриваемых объектов.

Апробация и внедрение результатов работы велись в течение всего исследования. Его результаты докладывались на следующих конференциях:

Участие в международной научной конференции технико-научного журнала «Точная наука» №149 (2023 год), выступление на тему: Огнезащита строительных конструкций.

На защиту выносятся:

- теоретическое обоснование применения параметров эксплуатационной надежности строительных конструкций;
- выбор методики для оценивания эксплуатационной устойчивости огнезащитных покрытий, исследование влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность в соответствии с выбранными методиками.

Структура магистерской диссертации. Работа состоит из введения, трех разделов, заключения, содержит 19 рисунков, 5 таблиц, список использованной литературы (38 источников). Основной текст работы изложен на 74 страницах.

Термины и определения

Вспучивающиеся огнезащитные покрытия – это «специально созданные составы, которые при нанесении на металлическую поверхность создают тонкое покрытие, не превышающее 3 мм» [4].

Дымогазонепроницаемость – «способность конструкции ограничивать в заданных пределах фильтрацию продуктов горения при пожаре через неплотности перекрываемого (защищаемого) проема» [4].

Критическая температура нагрева – это «температура фазового равновесия – температура вещества в критическом состоянии» [4].

Несущая способность – «способность выдерживать нагрузку при поддержании нормального функционирования» [4].

Теплоизолирующая способность – «это способность ограждающей конструкции при одностороннем огневом воздействии ограничивать рост температуры необогреваемой поверхности ниже установленных уровней» [13].

Перечень сокращений и обозначений

ГПС – государственная противопожарная служба.

ГУ МЧС – Главное управление Министерства по чрезвычайным ситуациям.

ИД – индекс доходности.

КЭН – карбидокремнивые электрические нагреватели.

НПБ – нормы пожарной безопасности.

ОВП – вспучивающиеся огнезащитные покрытия.

ОФК – ортофосфорная кислота.

ПБ – пожарная безопасность.

ПСО – пожарно-спасательный отряд.

СК – строительные конструкции.

ФЗ – федеральный закон.

ФПС – федеральная противопожарная служба.

ЧДД – чистый дисконтированный доход.

ЧЭЭ – чистый экономический эффект.

1 Анализ огнезащитных покрытий строительных конструкций

1.1 Огнезащитные покрытия

Определенным комплексом мер добиваются снижения пожарной опасности, то есть огнезащитой обеспечивается более высокий уровень огнестойкости у материалов, конструкций, ограничивается зона, захваченная горением. Применяя меры огнезащиты, следует обеспечить уменьшение косвенного негативного воздействия, таких как образование дыма, выделение в окружающее пространство опасных токсичных соединений.

Для достижения этой цели используются различные стратегии, такие как создание термостойких и теплопоглощающих барьеров, применение инновационных подходов к проектированию, использование технологических достижений и применение материалов с пониженной воспламеняемостью, в совокупности известных как огнестойкие материалы [27].

Защита объекта от возникновения пожаров выстраивается на базе системы обеспечения пожаробезопасности, составным элементом функционирования которой служит огнезащита конструктивных элементов строений, позволяющая снизить опасность образования и развития пожара, увеличивая огнестойкость конструкций.

Способность огнезащитных экранов защищать от пламени обусловлена их способностью выдерживать сильное нагревание во время пожара, сохраняя свои теплофизические свойства в течение определенного времени. Кроме того, под воздействием тепла они могут структурно преобразовываться, образуя пористые структуры, подобные коксу, известному своими превосходными изоляционными свойствами. Для эффективной защиты от пожаров эти защитные экраны необходимо устанавливать непосредственно на конструктивные элементы или откосы и

надежно закреплять с помощью специализированных мембранных кожухов или каркасов [30].

Способы и методы организации огнезащиты конструктивных элементов разнообразны, к их числу относятся: нанесение на поверхности элементов специальных составов, увеличивающих предел огнестойкости металлических конструкций, применение теплозащитного экранирования, различных огнестойких пропиток для древесных элементов, внедрение инновационных материалов со специальными свойствами, препятствующих процессу возгорания.

Конструктивные методы огнезащиты включают «обетонирование, обкладку кирпичом, оштукатуривание поверхности элементов конструкций, использование крупноразмерных листовых и плитных огнезащитных облицовок, применение огнезащитных конструктивных элементов (например, огнезащитных подвесных потолков), заполнение внутренних полостей конструкций, подбор необходимых сечений элементов, обеспечивающих требуемые значения пределов огнестойкости конструкций, разработку конструктивных решений узлов примыканий, сопряжении и соединений конструкций» [1].

При изготовлении строительных конструкций с увеличением их сечения, должны быть использованы те же типы и марки строительных материалов, что и при создании защищаемых объектов. Следует применять установку противопожарных дверей на входах/выходах в здание и между комнатами, кабинетами, в противном случае огнезащитные меры можно отнести к неполным.

Огнезащитные краски, покрытия и эмали необходимы для защиты от возгорания материалов и управления распространением огня. Эти решения служат многогранным целям. Во-первых, они создают на поверхности материалов защитный слой, способный поглощать тепло при разложении и выделять газы и воду для создания баррикады, препятствующей продвижению пламени [13].

Огнезащитные краски подразделяются на две группы – неvspучивающиеся и вспучивающиеся:

- «неvspучивающиеся краски при нагревании не увеличивают толщину своего слоя;
- вспучивающиеся краски при нагревании увеличивают толщину слоя в 10-40 раз» [26].

С точки зрения огнезащиты эффективно применение вспучивающихся красок, которые наносят на поверхности конструкций. Во время пожара под воздействием высоких температур такая краска вспенивается, образуется негорючий слой из минеральных веществ, который имеет высокую стойкость к температурам.

«Создание материалов пониженной горючести достигается путем поверхностной и глубокой пропитки материалов специальными составами, введения антипиренов в состав исходных композиций, использования различных минеральных наполнителей, а также путем использования разнообразных технологических приемов. Применительно к конструктивным элементам из фанеры и древесных пластиков могут использоваться следующие методы огнезащиты: пропитка листов шпона перед склеиванием; пропитка готовых клееных изделий антипиренами различными способами; пропитка листов шпона феноло-, креозолоформальдегидными способами (бакелизованная фанера); окраска фанеры специальными огнезащитными красками; облицовка фанеры материалами на основе асбеста, металла; создание покрытий на основе терморезактивных смол с использованием различных огнезащитных наполнителей в процессе горячего прессования при производстве фанеры» [7].

За последние годы разработаны инновационные огнестойкие составы, обеспечивающие металлическим конструкциям необходимый уровень огнезащиты, препятствующие распространению процесса горения деревянных элементов. Кроме того, разработаны специальные экраны с

высокими теплоизоляционными свойствами для использования их в целях повышения пожаробезопасности.

В последние годы были разработаны и внедрены новые способы огнезащиты для конструкций из металла, для этих целей стали применять облегченные материалы, заполнители (вспученный перлит, вермикулит, минеральное волокно). Хорошими защитными от огня качествами обладает вспучивающаяся краска, которая при температуре до 170°C создает на поверхностях, где нанесена, особый слой, обладающий хорошим термоизолирующим свойством.

Для защиты во время пожара металлических или бетонных элементов используют теплоизоляционные плиты, экраны из огнестойких материалов. Для обеспечения повышенной огнестойкости деревянных изделий за счет понижения горючести, используют различные пропитки, антипирен, вспучивающиеся краски и лаки. Это позволяет уменьшить в значительной мере расширение зоны горения по деревянным поверхностям или способствуют придания дереву трудно сгораемого свойства.

У металлов под воздействием пожара за счет высоких температур меняются качественные характеристики: нагрев и охлаждение тушащими веществами достаточно сильно понижают прочность металла.

В области строительной инженерии способность стальных конструкций противостоять огню является важнейшей задачей. Эта устойчивость зависит от различных факторов, таких как размеры конструктивных элементов и величина нагрузок, которые они испытывают. Как правило, огнестойкость стальных конструкций находится в диапазоне от 0,1 до 0,4 кратного часа [26].

Цель защиты металлических конструкций от воздействия пожара состоит в том, чтобы обеспечить на поверхностях теплоизоляцию за счет создания специальных пленок, способных выдержать воздействие пламени и его высокие температуры.

Кроме данного метода для защиты металлических конструкций используются и другие новейшие разработки.

«Огнезащита металлических конструкций осуществляется как традиционными методами (обетонирования, оштукатуривания цементно-песчанными растворами, использования кирпичной кладки), так и новыми современными методами. Инновационные методы основаны на механизированном нанесении облегченных материалов и легких заполнителей – асбеста, вспученного перлита и вермикулита, минерального волокна, обладающих высокими теплоизоляционными свойствами или основанных на использовании плитных и листовых теплоизоляционных материалов (гипсокартонных и гипсоволокнистых листов, асбестоцементных и перлитофосфогелевых плит)» [29].

Современные методы огнезащиты стальных конструкций включают использование: «теплоизоляционных штукатурок, состоящих из цемента или гипса, перлитового песка или вермикулита, жидкого стекла; огнезащитных покрытий из асбеста или гранулированного минерального волокна, жидкого стекла, цемента и др.; вспучивающихся красок, представляющих сложные системы органических и неорганических компонентов. Огнезащитное действие этих красок основано на вспучивании нанесенного состава при температурах 170-200 °С и образовании пористого теплоизолирующего слоя, толщина которого составляет несколько сантиметров» [13].

Толщина защитного слоя, покрывающего поверхности конструкций (огнезащитные листы, штукатурный состав, вспениваемые краски), влияет на продолжительность обеспечения предела огнестойкости металла в интервале от 45 минут до 2,5 часов. Необходимый предел стойкости металлических частей оборудования в пределах 30 минут можно достигнуть, увеличивая толщину сечения.

Поддержание эксплуатационных условий, которые были приняты при проектировании строительных конструкций, обеспечивают им срок службы на несколько десятилетий. Под воздействием пожара конструкции могут в

короткое время претерпеть изменения и утратить свои нормативные характеристики, такие как потеря целостности, прочности, нагрузочные характеристики и пр. Наличие высоких температур при пожаре и длительность их воздействия оказывают деформирующее действие на металлические конструкции, что может привести к их разрушению, например, огнестойкость стальных строительных конструкций, выполняющих несущие функции и не имеющих огнезащиты, сохраняется в течении 10 – 15 минут вне зависимости какова их толщина.

Более сильным и значительно быстрым влияние пожара происходит у деревянных строительных конструкций, поскольку прочностные качества материала теряются из-за обугливания, в следствие чего происходит разрушение конструкций. Одними из наиболее прочных, с большим сроком эксплуатации являются железобетонные конструкции, но и их свойства подвергаются значительным изменениям от воздействия пожара. Такие конструктивные элементы в зависимости от размеров, форм, марки бетона, толщины арматур и других параметров имеют различные пределы огнестойкости, которые также во многом зависят от развития режимов пожара.

«В условиях развившихся пожаров температура в зоне горения, как правило, превышает 1000°C. В этих условиях элементы несущих конструкций испытывают значительные термические напряжения, а локальная температура элементов конструкций может превысить критический предел огнестойкости и привести к их разрушению. Необходимость проведения работ по огнезащите строительных конструкций и материалов от опасных факторов пожара очевидна и является требованием строительных норм и правил» [7].

К строительным конструкциям применяются различные способы огнезащиты в тех случаях, если достичь требуемого уровня огнестойкости и пожаробезопасности другими техническими и технологическими вариантами нельзя либо слишком затратно и не имеет экономической выгоды. На

сегодняшний день имеется в наличие выбор самых разных способов и материалов для проведения огнезащитных мер к строительным конструкциям.

Большинство современных видов огнезащиты сегодня – это:

- «простота и технологичность нанесения;
- ремонтпригодность покрытия;
- длительность эксплуатации;
- относительно невысокая стоимость;
- высокая эффективность в работе» [7].

При проектировании строительного объекта, учитывая его функциональное предназначение, архитектурные и иные особенности, определяются меры для увеличения предела огнестойкости элементов объекта.

На этапе разработки проекта определяются все используемые материалы, конструктивные решения, отделочные материалы. Современное строительство достаточно широко использует различные виды железобетонных изделий, стальных конструкций, деревянных элементов. В соответствии с их свойствами выбираются способы и материалы огнезащиты, для которой основной целью служит увеличение предела огнестойкости конструктивных элементов строительного объекта. Существуют разработанные стандарты испытаний, определены методы расчета времени для установления предела огнестойкости по одному или по нескольким признакам:

- «потери целостности;
- потери несущей способности;
- потери теплоизолирующих свойств из-за повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции или достижения предельной интенсивности теплового потока» [1].

Подборка метода проводится на основе нормативных документов, при этом берут во внимание необходимый предел огнестойкости, тип и

назначение конструктивного элемента, его месторасположение и действующая на него нагрузка и иные условия. Применение различных комбинаций методов огнезащиты значительно повышает эффективность их использования с точки зрения обеспечения безопасности, но необходимо также и экономическое обоснование.

Проект огнезащиты включает:

- «пояснительную записку с указанием степени огнестойкости и уровня ее повышения, наименования состава и толщины слоя, допустимых покрывных материалов;
- технико-экономическое обоснование;
- рабочую документацию с расчетами площади поверхности, подлежащей покрытию, и расхода средства огнезащиты;
- проект производства работ с учетом условий, мероприятий техники безопасности, порядка проведения и параметров контроля качества и сдачи объекта» [1].

Процедура проведения огнезащиты должна включать контроль качества применяемых для защиты материалов, дозировку веществ в составах, отслеживать технологию нанесения защитных материалов, в холодное время года контролировать температурный режим. Степень качественного нанесения защитного слоя на поверхности конструкций можно установить визуальным способом.

1.2 Анализ огнезащитных покрытий строительных конструкций

Каждый вид строительных конструкций имеет свой класс огнестойкости, на основании которого его могут использовать в тех или иных местах строящегося объекта, что дает возможность определить общую степень огнестойкости всего объекта, в том числе и пожарных отсеков.

Строительные конструкции классифицируются с учетом степени противостояния воздействиям факторов пожара, скорости продвижения процесса горения (определяется испытаниями). Такие критерии дают возможность распределять конструкции на группы по пределу огнестойкости:

- «ненормируемый;
- не менее 15 минут;
- не менее 30 минут;
- не менее 45 минут;
- не менее 60 минут;
- не менее 90 минут;
- не менее 120 минут;
- не менее 150 минут;
- не менее 180 минут;
- не менее 240 минут;
- не менее 360 минут» [38].

Стены противопожарного назначения, перекрытия первого типа, применение которых необходимо для образования пожарных отсеков в строящемся объекте, для возведения несущих конструкция, обладают огнестойкостью до 2,5 часов. При строительстве высотных зданий, высота которых составляет более 75 м, необходимо использование конструкций с огнестойкостью 3 часа, 4 часа. В нашей стране при возведении зданий строительные конструкции с огнестойкостью 6 часов не применяются.

На основании действующих нормативных документов по обеспечению пожаробезопасности объекта разработаны методики стандартизированных испытаний по установлению пределов огнестойкости и классов пожароопасности различных типов конструктивных элементов, применяемых в строительстве.

«Пределы огнестойкости и классы пожарной опасности строительных конструкций, аналогичных по форме, материалам, конструктивному исполнению строительным конструкциям, прошедшим огневые испытания, могут определяться расчетно-аналитическим методом, установленным нормативными документами по пожарной безопасности» [31].

«Предел огнестойкости строительных конструкций устанавливается по времени (в минутах) от начала огневого испытания при стандартном температурном режиме до наступления одного или последовательно нескольких нормируемых для данной конструкции предельных состояний по огнестойкости, с учетом функционального назначения конструкции» [31].

Временной промежуток, в течении которого конструкция подвергается воздействию в процессе испытаний (или проведенными расчетами), наступает предел огнестойкости по одному или нескольким признакам, в числе которых:

- «потеря несущей способности (R);
- потеря целостности (E);
- потеря теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных значений (I) или достижения предельной величины плотности теплового потока на нормируемом расстоянии от необогреваемой поверхности конструкции (W)» [36].

Для строительных конструкций, имеющих огнезащитное покрытие, прошедшие испытания без нагрузок, предел огнестойкости устанавливается по критической температуре, соответствующей данному строительному материалу конструкции. «Предел огнестойкости по признаку R конструкции,

являющейся опорой для других конструкций, должен быть не менее предела огнестойкости опираемой конструкции» [31].

Для нормирования пределов огнестойкости несущих и ограждающих конструкций используют следующие предельные состояния:

- «для колонн, балок, ферм, арок и рам – только потеря несущей способности конструкции и узлов;
- для несущих наружных стен и покрытий – потеря несущей способности и целостности;
- для наружных ненесущих стен;
- для несущих внутренних стен и противопожарных преград – потеря несущей способности, целостности и теплоизолирующей способности;
- для ненесущих внутренних стен и перегородок – потеря теплоизолирующей способности и целостности» [36].

Для точек соединения конструкций из разных видов материалов, установление предела огнестойкости может быть равным минимальному пределу (но не меньше) соединяемых конструктивных элементов. «Если требуемый предел огнестойкости конструкции (за исключением конструкций в составе противопожарных преград) R 15 (RE 15, REI 15), допускается применять незащищенные стальные конструкции независимо от их фактического предела огнестойкости, за исключением случаев, когда предел огнестойкости хотя бы одного из элементов несущих конструкций (структурных элементов ферм, балок, колонн и т.п.) по результатам испытаний составляет менее R 8» [5].

Стальные конструкции являются негорючими, но следует иметь в виду, что они не могут достаточно долго подвергаться воздействию факторов пожара без изменения своих свойств. Металлические конструкции обладают гарантированным пределом огнестойкости в течении 15 минут, после чего снижаются прочностные характеристики материала, начинается процесс

деформации в следствие высоких температур и воздействия тушащих веществ при ликвидации пожара.

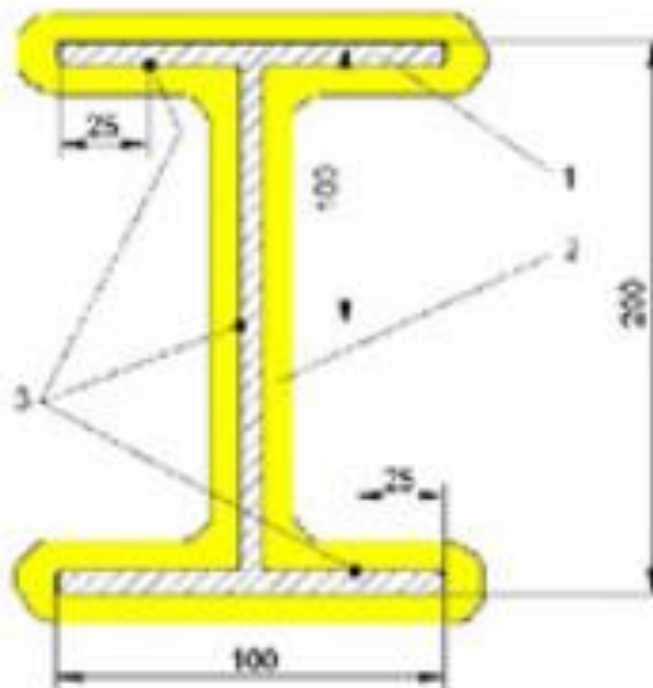
«Интенсивность нагрева стальных строительных конструкций зависит от ряда факторов, к которым относятся характер нагрева конструкций и способы их защиты. Степень нагрева металлической конструкции при пожаре зависит от размеров их элементов и величины поверхности их обогрева. При увеличении объема металла и уменьшении поверхности его обогрева интенсивность роста температуры элемента снижается» [5].

Толщина сечения металлических элементов конструкций влияет на величину возникающих напряжений в металле: увеличение толщины способствует уменьшению напряжений, соответственно возрастает огнестойкость.

Проведение испытания с целью установления предела огнестойкости для металлической конструкции, имеющей огнезащиту, осуществляется специализированной установкой, которая позволяет исследовать теплофизические характеристики конструкции, отдельных элементов конструкций, соединения нескольких элементов, определяя тем самым стоковые напряжения в узле (рисунок 1).

«Огнезащита стальных конструкций должна выполняться составами, обеспечивающими замедление прогрева металла до критической температуры 500 °С в течение времени, соответствующему определённому пределу огнестойкости по признаку R. При расчёте или испытании стальных несущих конструкций под нагрузкой следует принимать критическую температуру стали в соответствии с маркой стали по справочным данным» [5].

После того, как были рассмотрены принципы огнезащиты строительных конструкций, изучена классификация и испытания строительных конструкций по огнестойкости и методы определения пределов их огнестойкости, рассмотрим способы огнезащиты строительных конструкций.



(1 – двутавр, 2 – огнезащитное покрытие, 3 – термоэлектрические преобразователи (термопары))

Рисунок 1 – Схема расстановки термоэлектрических преобразователей в среднем сечении на поверхности опытного образца [5]

Металлическим изделиям характерна высокая теплопроводность, в следствие чего эффективной огнезащитой будет служить метод нанесения на поверхность конструкции теплоизолирующего слоя или применять экранирование, которые предотвращают негативное влияние высокой температуры при пожаре на характеристики металла.

«Наличие теплоизолирующих экранов позволяет конструкциям при пожаре замедлить прогревание стали и сохранить свои функции в течение заданного времени, то есть до наступления критической температуры, при которой начинается потеря несущей способности. Традиционно для повышения пределов огнестойкости применяют такие меры как обетонирование, оштукатуривание, обкладка гипсокартонном, кирпичами» [19].

В настоящее время классификация способов огнезащиты представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Современная классификация способов огнезащиты

Способ огнезащиты	
Конструктивный способ: облицовка конструкций огнезащиты плитными материалами, установка огнезащитных экранов, нанесение толстослойных огнезащитных материалов, штукатурки	Нанесение на поверхность конструкции огнезащитных красок, вспучивающихся при нагреве
Комбинированный способ, представляющий собой рациональное сочетание различных способов огнезащиты	

Вспучивающиеся огнезащитные краски (покрытия) представляют собой «композиционные материалы, включающие в себя полимерное вяжущее и наполнители (антипирены, газообразователи, жаростойкие вещества и стабилизаторы вспененного угольного слоя)» [19] (рисунок 2).

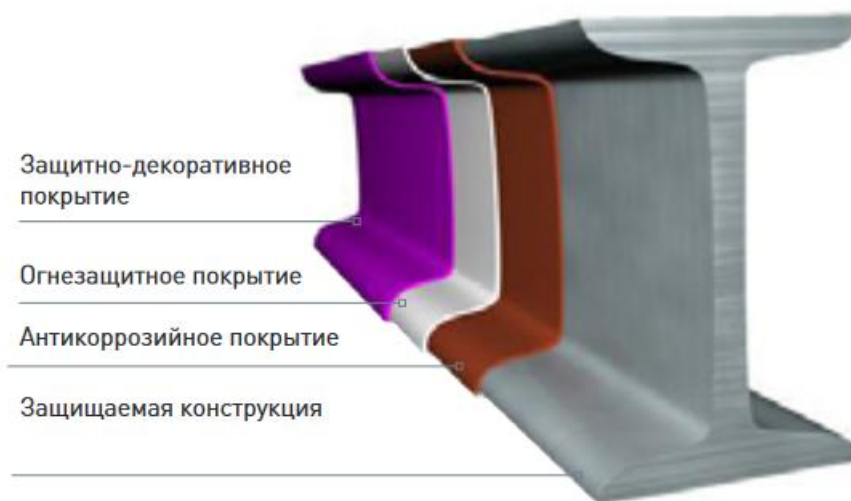


Рисунок 2 – Двутавровая балка с нанесением вспучивающейся краски и покрывного состава [19]

«При нагревании они разлагаются вокруг защищаемой конструкции с поглощением тепла, происходит выделение инертных газов и паров, которые замещают атмосферный кислород и блокируют конвективный перенос тепла

к защищаемой поверхности, подавляя пламя вблизи слоя покрытия, уменьшают радиационный поток тепла и замедляют процесс горения. Вспучивающиеся покрытия в своем составе имеют компоненты, которые являются источником образования вспененного угольного слоя, покрывающего поверхность конструкции, постепенно закоксовываясь, становясь жестким. Вспененный слой, обладая низкой теплопроводностью, выполняет функцию теплозащитного экрана, который замедляет распространение тепла по защищаемой конструкции, а также её прогрев, в результате чего защищенные конструкции значительно позже попадают в область критической температуры» [10].

Алгоритм определения необходимости огнезащиты для стальных конструкций представлен на рисунке 3.

Алгоритм определения необходимости огнезащитного покрытия для стальных конструкций	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется степень огнестойкости здания 2. Определяется требуемый предел огнестойкости стальной конструкции 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Определяется приведенная толщина стальной конструкции 2. Определяется собственный предел огнестойкости стальной конструкции

Рисунок 3 – Алгоритм определения необходимости огнезащиты для стальных конструкций

Нанесение огнезащитных составов на поверхности, ранее обработанные пропиточными, лакокрасочными и другими составами, в том числе огнезащитными составами других марок, допускается при положительных результатах исследований на их совместимость, включающих установление сохранения огнезащитных, эксплуатационных свойств, внешнего вида и срока службы огнезащитной обработки. «На словах данный алгоритм звучит так: при известной степени огнестойкости здания, определяются пределы огнестойкости конструкций. Например, для 10-этажной гостиницы площадью до 2200 м². степень огнестойкости принимается II, что соответствует пределу огнестойкости несущих конструкций здания R90. По проекту КМ определяется, что для несущих колонн здания приняты двутавровые сварные балки 30К2. Приведённая толщина металла составляет 6,73 мм., что соответствует собственному пределу огнестойкости 11,02 минут. При собственном пределе огнестойкости ниже, чем требуемом, следует предусматривать мероприятия по огнезащите стальных конструкций. Далее выбирается материал огнезащиты. Для огнезащитных материалов в зависимости от приведённой толщины металла по данным огневых испытаний, в том числе с учётом расчётов, производители составляют таблицы (либо любая другая доступная форма подачи информации), из которой выбираются необходимые параметры огнезащиты» [9].

Кроме основных средств огнезащиты, разрешается применять специальные добавки в состав покрытия, которые придают конструкциям эстетический вид. На основании требований пожаробезопасности, огнезащитные составы могут быть использованы при проведении ремонтных работ – при замене декоративных элементов здания, при реставрации, восстановлении поврежденного покрытия. Один из основных показателей для строительных конструктивных элементов – это условия эксплуатации, определяющие такие параметры, как влажность среды (максимальный и минимальный уровень), температурный режим, динамика перепадов

температур. Кроме того, при нанесении огнезащитных покрытий необходимо учитывать требования заказчиков о неизменности внешнего эстетического вида конструкций. Возможны ситуации с заменой в будущем покрытия огнезащиты. Обработанные огнезащитой металлические покрытия должны иметь свободный доступ к ним, что позволяет восстановить или полностью заменить огнезащитное покрытие в будущем

Выводы по первому разделу

Способы и методы организации огнезащиты конструктивных элементов разнообразны, к их числу относятся: нанесение на поверхности элементов специальных составов, увеличивающих предел огнестойкости металлических конструкций, применение теплозащитного экранирования, различных огнестойких пропиток для древесных элементов, внедрение инновационных материалов со специальными свойствами, препятствующих процессу возгорания. С точки зрения огнезащиты эффективно применение вспучивающихся красок, которые наносят на поверхности конструкций. Во время пожара под воздействием высоких температур такая краска вспенивается, образуется негорючий слой из минеральных веществ, который имеет высокую стойкость к температурам.

В последние годы были разработаны и внедрены новые способы огнезащиты для конструкций из металла, для этих целей стали применять облегченные материалы, наполнители (вспученный перлит, вермикулит, минеральное волокно). Хорошими защитными от огня качествами обладает вспучивающаяся краска, которая при температуре до 170°C создает на поверхностях, где нанесена, особый слой, обладающий хорошим термоизолирующим свойством. Цель защиты металлических конструкций от воздействия пожара состоит в том, чтобы обеспечить на поверхностях теплоизоляцию за счет создания специальных пленок, способных выдержать воздействие пламени и его высокие температуры. Образование на поверхности металла такой пленки замедляет процесс нагревания конструкции, благодаря чему сохраняются свойства конструкции на более длительное время, необходимое для ликвидации пожара.

2 Разработка рекомендаций по оптимизации выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций

2.1 Исследование и анализ методов выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций

В качестве объекта исследования выбраны 3 огнезащитных покрытия, которые приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика огнезащитных покрытий

Огнезащитное покрытие	Состав покрытия	Область применения покрытия	Заявленные изготовителем условия эксплуатации
№1	«Огнезащитный состав на основе жидкого стекла с добавлением вермикулита и кварцевого песка» [20]	«Состав предназначен для защиты металлических, деревянных, кирпичных, бетонных и пластмассовых конструкций с требованиями по огнестойкости не менее 45 минут» [20]	«Покрытие обладает атмосферостойкостью» [20]
№2	«Огнезащитный состав на основе ортофосфорной кислоты с добавлением серпентинита» [22]	«Состав предназначен для защиты металлических, деревянных и пенополистирольных конструкций» [22]	«Условия эксплуатации выявляются в данной работе» [22]
№3	«Огнезащитная вспучивающаяся водно-дисперсионная краска Гефест – М» [21]	«Краска предназначена для защиты стальных конструкций с требованиями по огнестойкости не менее 45 минут» [21]	«Покрытие может эксплуатироваться при относительной влажности воздуха до 98 % в интервале температур от (-50)°С до (+100)°С как внутри, так и снаружи помещений (под навесом)» [21]

Проанализировав технические предложения по огнезащитным покрытиям, можно заметить, что наибольшей популярностью пользуются составы, содержащие жидкое стекло. Этот фактор был использован для выбора покрытий в данном исследовании:

- огнезащитный состав на основе жидкого натриевого стекла – № 1.
- огнезащитный состав на основе ортофосфорной кислоты с добавлением серпентинита – №2.
- огнезащитная краска «Гефест – М» по металлу – № 3.

Все три состава исследовались на эксплуатационную устойчивость. В описании на огнезащитный состав № 1 указывается, что «покрытие обладает атмосферостойкостью, однако не описывается методика ее оценки» [20]. Краска «Гефест – М» имеет сертификат пожарной безопасности, но «сертификат лишь дает гарантию огнезащитной эффективности в лабораторных условиях, без учета воздействия условий эксплуатации» [21].

В состав огнезащитного средства № 1 входят следующие компоненты:

- «жидкое натриево-силикатное стекло – представляет собой щелочной натриевый силикат переменного химического состава. Жидкое натриево-силикатное стекло используют как связующий компонент для изготовления жаропрочных материалов, а также для склеивания и связки строительных материалов. Жидкое натриево-силикатное стекло отличается доступностью и дешевизной, растворимо в воде, твердеет при высыхании на воздухе. Уникальной способностью жидкого стекла являются также его высокие адгезионные свойства к различным подложкам различной химической природы» [20];
- вермикулит – это «минерал со слоистой структурой. Входит он в группу гидрослюдов. Минерал, член группы монтмориллонита-вермикулита. Плавится вермикулит при температуре 1350°С. В составе огнезащитных средств чаще используют вспученный вермикулит, его получают путем нагрева пластин вермикулита, они превращаются в столбики, похожие на нить» [20];

- кварцевый песок – «представляет собой дробленый минерал – кварц. Песок кварцевый очень невосприимчив к атмосферным, химическим и физическим действиям, он не страшится агрессивных сред и огромных температур, в силу чего распространено в строительных организациях при выпуске цемента, кирпича, асфальта, для изготовления декоративно-отделочных строительных материалов, при штукатурке фасадных и внутренних интерьеров» [20].

В состав огнезащитного средства № 2 входят следующие компоненты:

- серпентин – «минеральный компонент, горная порода, породообразующий минерал» [22];
- ортофосфорная кислота (ОФК) – это «неорганическая кислота средней силы. В результате взаимодействия ОФК и серпентиновой горной породы образуется камень, сформированный фосфатами магния различной основности, непрореагировавшим серпентином» [22].

Огнезащитное средство № 3 – «водно-дисперсионная краска. Особенностью российского рынка является наличие множества различных составов продукции, которые производят (или перепродают) небольшие компании. Эти компании часто размещают свои производства в неподготовленных помещениях и используют оборудование, которое уже достигло необходимого срока эксплуатации. Обычно в их организации нет отделения, которое было бы ответственно за контроль качества и имело бы необходимое лабораторное оборудование для анализа. Можно с уверенностью говорить о соответствующем качестве предлагаемой на рынке продукции в данном случае» [21].

Исходя из выявленной проблемы, решено исследовать «влияние эксплуатационных факторов на эффективность огнезащитных покрытий по металлу. Преимущество методик испытаний, содержащихся в руководстве в том, что они простые в исполнении, не требуют сложного оборудования, что удобно для разработчика огнезащитного средства. Испытания по

руководству позволяют разработчику в ходе создания огнезащитного средства постоянно испытывать и отслеживать изменение устойчивости огнезащитного средства» [12].

Методика проведения исследований на установление степени эффективности огнезащитного покрытия на деревянных объектах была адаптирована применительно к металлическим объектам.

В работе исследовалось влияние четырех эксплуатационных факторов:

- «воздействие воды;
- влаги;
- теплосмен;
- агрессивной среды» [27].

Для проведения эксперимента необходимо создать ряд условий и параметров, оказывающих влияние на эксплуатацию (таблица 3).

Таблица 3 – Условия и параметров, оказывающих влияние на эксплуатацию

Воздействие эксплуатационного фактора	Условия проведения эксперимента	Параметр оценки влияния эксплуатационного фактора
Вода	Осуществляли погружение образцов в водную среду эксикатора длительностью 72 часа. «Проводилось во время проведения испытательных процедур визуальное исследование состояния огнезащитного слоя» [23]	1. «Целостность огнезащитного покрытия (отсутствие трещин, отслаиваний, вздутий и других разрушений)» [23] 2. «Потеря массы образца» [23]
Агрессивная среда	«Проводили погружение образцов сроком на 30 суток в химически активную среду в эксикаторе, такой средой были: раствор натрия лимоннокислого трехзамещенного, спирт нашатырный, рН в пределах от 10 до 12» [23]	
Теплосмены	В процессе испытания образцы подвергали	

Продолжение таблицы 3

Воздействие эксплуатационного фактора	Условия проведения эксперимента	Параметр оценки влияния эксплуатационного фактора
	воздействию перепада температур: в течении ночи образцы находились при температуре минус 15 °С (морозильная камера), затем помещались на срок 10 час в сушильный шкаф с температурой 100°С. Всего было выполнено семь циклов	
Влажность	Испытательные образцы подвергали воздействию средой с высоким уровнем влажности (около 100%) длительностью 30 суток	1. «Целостность огнезащитного покрытия (отсутствие трещин, отслаиваний, вздутий и других разрушений)» [23] 2. «Поглощение влаги образцом» [23]

«Поглощение влаги огнезащитным составом определяли по формуле 1» [13]:

$$B = (B - A) / A \cdot 100, \quad (1)$$

где «В – поглощение влаги образцом, %;

Б – масса образца после испытания, г;

А – масса образца перед испытанием, г» [6].

«Потери массы образца после воздействия воды, теплосмен и агрессивной среды определяли по формуле 2» [13]:

$$B = (A - B) / (П \cdot T), \quad (2)$$

где «В – потери массы образца, г/м²ч;

А – масса пластины до испытания, г;

Б – масса пластины после испытания, г;

П – площадь поверхности пластины, м²;

T – время проведения испытания, ч» [13].

Итак, для проведения исследования влияния эксплуатационных факторов было выбрано 3 огнезащитных покрытия. Для обоснования выбора методики проведения испытаний была рассмотрена характеристика каждого покрытия и свойства его компонентов. Условия проведения эксперимента определяются с учетом реальных условий эксплуатации покрытий. Важно учесть такие факторы, как температура, влажность, степень механического воздействия и другие факторы, которые могут повлиять на свойства покрытий.

Параметры оценки влияния эксплуатационных факторов могут включать такие показатели, как длительность сохранения защитных свойств покрытия, степень защиты от огня, уровень износа покрытия и другие характеристики, которые могут быть важными с точки зрения его функциональности и эффективности.

Для получения достоверных результатов лабораторных испытаний необходимо правильно подобрать методики исследований, эксплуатационные условия, которые оказывают влияние на объекты защиты, что в совокупности даст полное представление о степени защиты, оказываемой данным составом покрытия.

2.2 Рекомендации по оптимизации выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций

Быстро развивающийся в современных условиях научный и технический прогресс предлагает модернизацию или совершенно новые технологии, что требует замены морально устаревшего оборудования. Такое оборудование более эффективно, более производительное, как правило, обладает более высокими скоростями, обладает повышенными требованиями к строительным конструкциям на выдерживание нагрузок. Гибкое

производство – это быстрое изменение планировочного решения в уже используемом производственном помещении, здании. Кроме того, подобный подход применим к жилищному фонду, когда устаревшие жилищные помещения переоборудуются в соответствии с современными требованиями комфортности, для чего необходима независимая предварительная оценка состояния жилищ. Решение вопроса по дальнейшему использованию строительного объекта, его реконструкции, о проведении усиления конструкций – это сложный, основополагающий вопрос, решение которого возможно при всестороннем изучении и обследовании объекта.

В исследовании С.В. Собоурь: «содержит нормативные правовые акты и нормативные документы, применяемые при проведении проектных, монтажных и эксплуатационных работ, связанных с огнезащитой строительных материалов и конструкций» [24].

В другом своем исследовании С.В. Собоурь «отразил извлечения из нормативных правовых актов и нормативных документов, содержащих общие требования пожарной безопасности при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий, сооружений и строений» [25].

В учебном пособии В.С. Федорова «изложены краткие сведения о возникновении и развитии пожара. Приведены пожарно-техническая классификация строительных материалов, конструкций, зданий и методы определения пожарно-технических показателей. Представлены нормативные требования по ограничению распространения пожара и обеспечению безопасности людей при пожаре. Приведены краткие сведения по огнестойкости, пожарной опасности и огнезащите строительных конструкций, а также основные положения методики расчёта огнестойкости железобетонных, металлических и деревянных конструкций» [31].

Труд А.В. Тимкина «включает как общие вопросы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации, так и вопросы обеспечения пожарной безопасности объекта, в том числе и образовательного учреждения» [29].

В справочник С.В. Аникеева «включены извлечения из нормативных правовых актов и нормативных документов и даны методические рекомендации по их применению при проведении пожарно-технического обследования учреждений, организаций и предприятий (далее – организаций), расследовании фактов пожаров и ведении служебной документации» [4].

Согласно исследованиям, приведенным в журнале «System Sensor» «огнезащита конструкций является составной частью общей системы мероприятий по обеспечению пожарной безопасности и огнестойкости зданий и сооружений. Она направлена на снижение пожарной опасности конструкций, обеспечения их требуемой огнестойкости. В число основных задач огнезащиты входят профилактические мероприятия: предотвращение возгорания, прекращение развития в начальной стадии пожара, создание «пассивной» локализации пожара, ослабление опасных факторов пожара, расширение возможности применения новых прогрессивных проектных решений» [34].

У. Huang перечисляет следующие способы защиты строительных конструкций от огневого воздействия:

- «бетонирование, оштукатуривание, обкладка кирпичом;
- облицовка объекта огнезащиты плитными материалами или установка огнезащитных экранов на отnose;
- нанесение на поверхность огнезащитных покрытий (окраска, обмазка, напыление);
- пропитка конструкции огнезащитным составом;
- комбинированный способ, представляющий собой сочетание выше приведенных способов» [36].

Bovio G. отмечает, что «одним из основных направлений повышения уровня пожарной безопасности зданий и сооружений является эффективное обеспечение огнезащиты металлических конструкций, кабельных линий, элементов, используемых в помещениях» [35].

Федеральный закон от 21.12.1994 № 69–ФЗ «О пожарной безопасности» «определяет общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации, регулирует в этой области отношения между органами государственной власти, органами местного самоуправления, общественными объединениями, юридическими лицами, должностными лицами, гражданами, в том числе индивидуальными предпринимателями» [15].

Постановление Правительства РФ от 12 апреля 2012 года № 290 «О федеральном государственном пожарном надзоре» устанавливает «порядок организации и осуществления федерального государственного пожарного надзора. Федеральный государственный пожарный надзор на подведомственных объектах определяет:

- порядок учета объектов надзора, в том числе представления в федеральный орган исполнительной власти, уполномоченный на решение задач в области пожарной безопасности, сведений об объектах надзора, в отношении которых указанные федеральные органы исполнительной власти не осуществляют федеральный государственный пожарный надзор;
- порядок и сроки проведения контрольных (надзорных) мероприятий;
- порядок осуществления профилактики рисков причинения вреда охраняемым законом ценностям;
- порядок обжалования решений, действий (бездействия) должностных лиц;
- квалификационные требования к государственным инспекторам по пожарному надзору» [17].

Постановление Правительства Самарской области №15 от 31.01.2008 «О противопожарной службе Самарской области» определяет задачи противопожарной службы Самарской области:

- «организация и осуществление профилактики пожаров;
- спасение людей и имущества при пожарах, оказание первой помощи;

- организация тушения пожаров;
- организация тушения ландшафтных (природных) пожаров (за исключением тушения лесных пожаров и других ландшафтных (природных) пожаров на землях лесного фонда, землях обороны и безопасности, землях особо охраняемых природных территорий);
- осуществление тушения пожаров;
- иные задачи в соответствии с законодательством Российской Федерации и законодательством Самарской области» [16].

Приказ МЧС РФ № 467 от 25.10.2017 «Об утверждении Положения о пожарно–спасательных гарнизонах» определяет:

- «порядок организации деятельности пожарно-спасательных гарнизонов, в том числе организации и осуществления гарнизонной службы, полномочия начальников и должностных лиц пожарно-спасательных гарнизонов по выполнению задач гарнизонной службы;
- порядок привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны, пожарно-спасательных гарнизонов для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» [18].

Комплекс обследования строительных конструкций включает в себя следующие шаги:

- «первоначальное ознакомление с проектной документацией, рабочими и исполнительными чертежами, актами на скрытые работы;
- визуальный осмотр объекта, установление его соответствия проекту, выявление видимых дефектов (наличие трещин, протечек, коррозии металла, дефектов стыковых сварных и болтовых соединений), составление плана обследования здания или сооружения, проведение комплекса исследований неразрушающими методами;
- анализ состояния здания или сооружения и разработка рекомендаций по устранению выявленных дефектов» [23].

На основе проведенного анализа информации, содержащейся в проектной и исполнительной документации, можно получить представление о конструктивных элементах, работающих с максимально-допустимыми нагрузками.

Проведение визуального осмотра объекта строительства позволяет получить первые данные о его состоянии, о состоянии его конструкций, иметь представление об износе конструктивных элементов, на основе чего принимается решение о необходимости проведения более детальных исследований, в числе которых статические и динамические испытания. Стоит использовать неразрушающие методы испытаний, поскольку они не повредят конструктивные элементы и не вызовут разрушение всего объекта.

Методы инженерной геодезии, которые были успешно применены, позволяют осуществлять измерения осадков объектов строительства, сдвиговую деформацию грунта, анализировать различные характеристики, такие как разломы, разрывы, трещины, прогибы и другие деформации. В течение последних нескольких лет, методы лазерной интерференции демонстрировали значительную эффективность.

Применение данных методик особенно эффективно при выполнении монтажных работ на стройплощадках для контроля качества при производстве строительных конструктивных частей.

Процедуры обследований строительных элементов, конструктивных частей и в целом объектов строительства, в обязательном порядке используют методики контроля качества при их производстве и во время проведения монтажных работ, за счет чего обеспечивается соответствие проектным данным.

Приготовление бетонных смесей с различными характеристиками (морозостойкость, водопроницаемость), соответствующими различным классам прочности, маркам бетона, должно использовать материалы, удовлетворяющие требованиям ГОСТа.

«Изучение состояния монтируемой или эксплуатируемой конструкции при работе в реальных условиях обеспечивается теми же методами, что и при контроле качества их изготовления. Однако зачастую возникает ситуация, когда для эксплуатируемого объекта отсутствует проектная и рабочая документация, тогда ее восстановление связано с изучением реальных условий работы системы. К подобной ситуации относится и тот случай, когда необходимо определить работоспособность системы с учетом отклонения ее параметров от проектных» [33].

В случае аварийных ситуаций при выполнении монтажа или эксплуатации, в результате которых были повреждены конструкции, нанесены травмы различной степени тяжести работающим или произошли случаи со смертельным исходом, к методам обследования должны быть предъявлены высокие требования. В ходе обследований выявляются все самые значимые и характерные повреждения, слабые, уязвимые места, на основе которых разрабатываются предложения для корректировки методов расчета конкретных конструктивных элементов, ведению монтажа, процесса производства конструкций.

«В современном строительстве широко применяются железобетонные, металлические и деревянные конструкции. С каждым годом разрабатываются и осваиваются все более совершенные, в том числе предварительно напряженные железобетонные и металлические конструкции, большеразмерные железобетонные конструкции (фермы пролетом до 50 м, колонны высотой до 25 м, балки покрытий пролетом до 24 м, подкрановые балки пролетом 12 м). Распространение таких конструкций стало возможным и экономически целесообразным главным образом в связи с повышением прочностных характеристик бетонов и сталей, а также благодаря появлению новых конструктивных решений» [37].

Проведение разноплановых лабораторных испытаний, длительное практическое использование данных конструкций доказали, что они достаточно надежны, просты в изготовлении. Но не стоит ослаблять

внимание при тщательной проверке несущих характеристик крупногабаритных строительных конструкций, поскольку вероятность отклонений технологического режима при производстве конструкций не исключается. В следствие данного фактора проведение исследований для крупногабаритных конструкций возможно и в лаборатории, и на открытом пространстве. Для некоторых образцов крупногабаритных конструкций требуется проведение испытаний в реальных условиях производства, когда они изготавливаются в большом количестве (массовое производство).

Необходимо проведение испытаний статическими нагрузками для конструктивных строительных элементов, которое предоставит результирующие данные о прочностных свойствах этих элементов, о степени устойчивости на образование трещин, какого-либо иного деформирующего элемента. Анкерные конструкции должны подвергаться испытаниям в натуральных условиях, то есть испытывается и устанавливается прочность (сжатия, растяжения) узлового соединения, в котором интегрируются локальные напряжения.

Можно проконтролировать качество проведенной последовательности нескольких видов технологических операций (таких, как соединение арматур, качество укладки бетонного слоя, соответствие требованиям используемых материалов) только проведя испытания.

Заметим, что проведение испытаний для строительных объектов (конструктивные строительные элементы, здания, строения) может совмещаться с другими возможными методами контроля качества: могут быть использованы для испытаний контрольные образцы (арматура, куб или призма бетона), составляются акты по скрытым видам работ [14].

Каждый способ контроля качества обладает своей ценностью. Любой вид контроля следует проводить точно и досконально, не пренебрегая ничем в силу предстоящего испытания конструкции целиком.

Способы и методы испытания строительных конструкций зданий решают следующие задачи:

- «первая – определение теплофизических, структурных, прочностных и деформативных свойств конструкционных материалов и выявление характера внешних воздействий, передаваемых на конструкции;
- вторая – сопоставление расчетных схем строительных конструкций, действующих усилий и перемещений с аналогичными параметрами, возникающими в реальной конструкции;
- третья – идентификация расчетных моделей, которая получила развитие в последние годы. Эта задача связана с синтезом расчетных схем, который следует из анализа результатов проведенных исследований. Теоретически решение этой задачи невозможно без применения кибернетики» [27].

В настоящее время в России активно и устойчиво внедряется огнезащитная продукция таких фирм-производителей, как «Ассоциация Крилак», «Научно-производственная лаборатория 38080», «Теплоогнезащита» (г. Сергиев Посад), НПП «Техсервисвермикулит» (Челябинск), ООО «ЭнЦентр» «Утро», «НЕОХИМ», «Научный инновационный центр строительства и пожарной безопасности» (Санкт-Петербург) и множество других.

На основе жидкого стекла в России разработано несколько типов огнезащитных обмазок: «ОФП-ММ, ОФП-МВ, ОФП-10, ОФП-11 и множество других составов. Эти составы отличаются, в основном, различными видами наполнителей, добавок и отвердителей. Они имеют низкую среднюю плотность, низкий коэффициент теплопроводности, обладают высокими огнезащитными свойствами» [8].

А также из российских разработок в области огнезащитных материалов можно привести огнезащитную мастику «Феникс ПВУ» «на основе водной дисперсии синтетического плёнкообразователя, предназначенная для заполнения швов и трещин огнезащищённых монолитных и сборных конструкций, герметизации стыков при монтаже огнезащищённых изделий» [21].

Разработанный терморасширяющийся огнезащитный состав на водной основе «Феникс СЕ» предназначен «для огнезащиты кабельной продукции, а также для защиты стальных конструкций. Огнезащитный терморасширяющийся состав «Феникс СТВ» на водной основе предназначен для эффективной огнезащиты стальных строительных конструкций. Краску целесообразно применять на действующих предприятиях с постоянным пребыванием людей и повышенными требованиями по взрывопожарной безопасности, в помещениях с ограниченной вентиляцией и особыми санитарно-эпидемиологическими требованиями» [21].

В условиях современных требований обеспечения пожаробезопасности строительные технологии и применяемые конструкции должны соответствовать всем нормативно установленным критериям. Поэтому в последние годы значительное внимание уделяется созданию новых составов огнезащитных покрытий для конструктивных элементов в строительной индустрии, которые позволят повысить огнестойкость строений:

- «высокотемпературных неорганических связующих: алюмофосфатных, алюмоборфосфатных, алюмохромфосфатных и других, совместимых с такими компонентами как двуокись титана, оксид магния, двуокись кремния, гидроксид алюминия;
- высокотемпературных органических связующих;
- мочевиноформальдегидных или мочевино-меламино-формальдегидных смол;
- антипиренов: полифосфата аммония, алкилфосфоновых кислот;
- специальных вспучивающихся компонентов – оксидированного графита, отходов полистирола» [8].

Одно из направлений разработки огнезащитных составов - образование защитной пленки на поверхности строительных материалов. Эта пленка выступает в роли барьера, предотвращающего проникновение огня и задерживающего его распространение. Для создания такой пленки используются различные химические вещества, которые при воздействии

высоких температур выделяют газы или образуют негорючие соединения. Это позволяет защитить строительные материалы на длительное время и уменьшить вероятность возникновения пожара.

Огнезащитные покрытия представлены широко. Большая группа составов включает фосфатные вяжущие компоненты, минеральные пористые или волокнистые наполнители. В составах может содержаться фосфатно-вяжущего компонента в пределах 16 – 85%, что объясняется свойствами используемого вяжущего компонента. В литературе уделяется внимание также и исследованию новых композиций огнезащитных покрытий для строительных материалов. Эти покрытия обладают специальными свойствами, позволяющими им быть эффективными в условиях высоких температур. Они могут предотвращать прогорание материалов, обеспечивать теплоизоляцию и предотвращать распространение пламени. В этих новых составах часто применяются наноматериалы, такие как графен или нанотрубки, которые улучшают огнестойкость и механические свойства покрытий. Можно найти исследования, посвященные разработке огнезащитных составов на основе природных компонентов, таких как растительные экстракты или биологически активные вещества. Составные модули такого эксперимента, проведенного в условиях, соответствующих положению НПБ 236-97, приведены на рисунке 4.

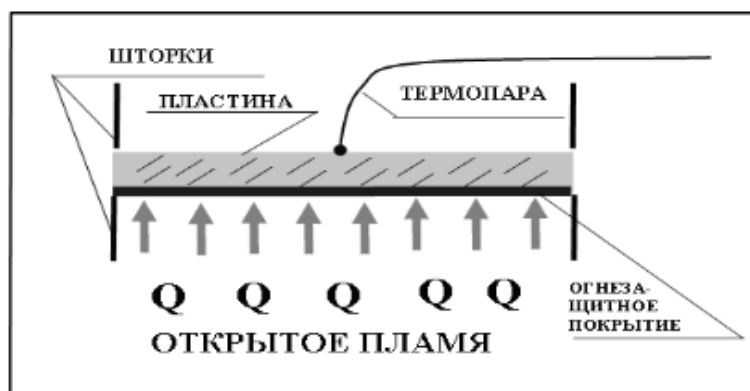
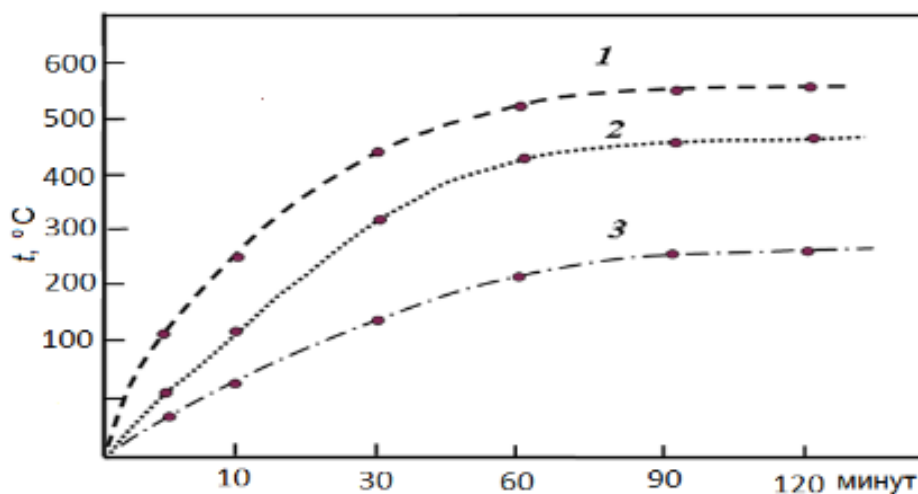


Рисунок 4 – Схема эксперимента по измерению огнезащитных свойств покрытий для металлических изделий и конструкций

Использование таких составов дает дополнительные преимущества: они безопасны для окружающего пространства, могут быть антибактериальными, обладать противогрибковым действием. Проводилось сравнение нескольких составов с эффектом вспучивания, применяемых для огнезащиты металлических поверхностей, в результате удалось установить покрытие, обладающего большей эффективностью. Были созданы соединения, обладающие эффективностью, в состав которых вошли порошок вермикулита, волластонит (минерал силикат кальция); проводились исследования для установления степени эффективности защиты металла от воздействия высоких температур данными составами.

Металлическую пластину подвергали нагреву с одной стороны на протяжении 2,5 часов, замер температуры делали с другой стороны. Эксперимент показал неизменность температуры на стороне, где производился её измерение. Для определения температуры нагрева пластины использовалась термопара (два проводника из хромеля и алюмеля). Продолжающийся более 2-х часов нагрев не привел к каким-либо повреждениям огнезащитное покрытие. На рисунке 5 продемонстрирован результат проведенного испытания нагревом.



(1 – без огнезащитного покрытия, 2 – с огнезащитным покрытием толщиной 0,15 см, 3 – с огнезащитным покрытием толщиной 0,25 см)

Рисунок 5 – Температура металлической пластины площадью 100 см^2 и толщиной 1 см при нагревании одной её стороны в течение двух часов при температуре $900\text{-}1000^\circ \text{C}$

На температурном графике, составленном по результатам замеров температур при нагреве пластины, хорошо виден факт различия температур (кривые 1, 2) в пределах $50 - 60^\circ \text{C}$ после 15 – 20-минутного нагрева, различие температур у кривых 1 и 3 существенно больше – в пределах $120 - 130^\circ \text{C}$. Эта разница сохраняется на протяжении всего эксперимента, который продолжается 150 минут.

Во многих разработках «для улучшения теплоизоляционных свойств огнезащитных покрытий в исходный состав введены вспученный перлит, вермикулит, полые фосфатные микросферы, отходы пенополиуретана и пенополистирола, асбестовые, каолиновые, минеральные и стеклянные волокна и другие наполнители» [12]. Составы обеспечивают образование жесткого слоя, поскольку создается поверхность из пустотелых фосфатных микросфер, благодаря которым покрытие имеет высокие теплозащитные свойства. Совокупность фосфатного компонента с добавлением глины тонкого помола образует на поверхности слой состава, обладающего незначительным уровнем внутреннего напряжения, более низким содержанием фосфатных связующих, оксида двухвалентного металла.

«В качестве волокнистых наполнителей используют асбест хризолитовый, минеральную вату и стекловолокна. Добавки глинозёма, шамота, магнезита, молотого доменного шлака повышают огнеупорность и снижают усадку огнезащитного состава, что в свою очередь даёт дополнительный временной фактор обеспечения эффективного тушения для подразделений» [11].

«Кроме преимуществ (сравнительно низкой стоимости из-за меньшего расхода, а также технологичности применения) вспучивающихся покрытий свойственны некоторые недостатки. Например, способность адсорбировать влагу, приводящая к коррозии металла конструкции и ухудшению свойств

самого покрытия, а также наличие благоприятной среды для развития внутри слоя вспучивающихся красок колоний микроорганизмов» [8].

Итак, на основе проведенных исследований можно сделать вывод: предлагаемое решение по обеспечению огнезащиты обладает эффективностью, экономично, имеет долгий срок службы и может быть в дальнейшем доработано и улучшено.

Вывод по второму разделу

Во втором разделе исследования проведен анализ средств и способов для обеспечения огнезащиты покрытий строительных конструкций на объекте исследования, определены параметры эксплуатационной надежности строительных конструкций.

Комплекс обследования строительных конструкций включает в себя следующие шаги:

- «первоначальное ознакомление с проектной документацией, рабочими и исполнительными чертежами, актами на скрытые работы;
- визуальный осмотр объекта, установление его соответствия проекту, выявление видимых дефектов (наличие трещин, протечек, коррозии металла, дефектов стыковых сварных и болтовых соединений), составление плана обследования здания или сооружения, проведение комплекса исследований неразрушающими методами;
- анализ состояния здания или сооружения и разработка рекомендаций по устранению выявленных дефектов» [32].

Можно отметить, что в литературе отмечается растущий интерес к созданию огнезащитных составов для строительных конструкций. Исследования в этой области направлены на поиск новых составов и методов, которые обеспечат эффективную защиту от огня и будут более безопасными и экологичными.

Достаточно успешно зарекомендовали себя методы с использованием инженерной геодезии, позволяющие провести измерение осадок объектов

строительства, сдвиговую деформацию грунта, характеристики разломов, разрывов, трещин, прогибов и иных деформаций. За последние годы высокую эффективность показали методы лазерной интерференции.

Процедуры обследований строительных элементов, конструктивных частей и в целом объектов строительства, в обязательном порядке используют методики контроля качества при их производстве и во время проведения монтажных работ, за счет чего обеспечивается соответствие проектным данным.

Способы и методы испытания строительных конструкций зданий решают следующие задачи:

- «первая – определение теплофизических, структурных, прочностных и деформативных свойств конструкционных материалов и выявление характера внешних воздействий, передаваемых на конструкции;
- вторая – сопоставление расчетных схем строительных конструкций, действующих усилий и перемещений с аналогичными параметрами, возникающими в реальной конструкции;
- третья – идентификация расчетных моделей, которая получила развитие в последние годы. Эта задача связана с синтезом расчетных схем, который следует из анализа результатов проведенных исследований. Теоретически решение этой задачи невозможно без применения кибернетики» [27].

3 Опытнo-экспериментальная апробация предлагаемых методов оптимизации выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций

3.1 Программа создания и внедрения предлагаемых методов оптимизации выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций

Для установления уровня эффективности огнезащитного покрытия необходима организация специального испытания. Кроме данного испытания проводят также эксплуатационные испытания, позволяющие установить влияние влажности, влияние агрессивных сред. Для получения достоверных данных при определении на сколько эффективно огнезащитное покрытие, следует проводить исследование дважды: до начала испытания на степень влияния эксплуатационных условий и по их завершению. После чего исследуют огнезащитное покрытие и приводят выводы.

Экспериментальную часть работы проводили поэтапно:

- «подготовка образцов;
- огневое испытание образцов;
- оценка результатов огневых испытаний: визуальная оценка устойчивости покрытия при огневом испытании, оценка огнезащитной эффективности покрытий;
- анализ полученных результатов» [4].

Для огневого испытания использовались следующие образцы:

- «образцы древесины и металла без покрытия;
- образцы древесины и металла, покрытые огнезащитными средствами № 1, № 2, № 3 не подвергавшиеся эксплуатационным испытаниям;
- образцы древесины и металла, покрытые огнезащитными средствами № 1, № 2, № 3 прошедшие эксплуатационные испытания» [4].

Образцы к испытаниям должны быть подготовлены, их следует выдержать на протяжении семи дней или больше в среде с нормальными условиями.

Испытаниям на огневое воздействие подвергались образцы из металла, для чего применялись следующие инструменты, приспособления и оборудование:

- «экспериментальная установка для теплофизических исследований и испытаний малогабаритных фрагментов плоских конструкций;
- газовая горелка;
- секундомер» [3].

Чтобы провести исследования теплофизических свойств металлических образцов, была использована экспериментальная установка, позволяющая также испытывать плоские конструктивные элементы небольших размеров. Экспериментальная установка состоит из таких частей: «печь, выложенная огнеупорными кирпичами, термопары, изготовленные из провода диаметром не более 0,75 мм электронный преобразователь температуры, газовая горелка» [3]. Установка для проведения испытаний устроена аналогичным образом, что и промышленная, но допущено некоторое упрощение, изображение установки продемонстрировано на рисунке 6.



Рисунок 6 – Установки для проведения огневых испытаний образцов: металла, древесины

Одним из допущенных упрощений, которое не оказало влияния на достоверность результатов проведенного исследования, было изменение размеров образца: длину уменьшали в 7 раз, ширину – в 12. Испытание с образцом таких размеров можно было проводить с первой термопарой. В работе «принимается упрощение, что термопары не устанавливались методом зачеканивания, а непосредственно соприкасались с образцом» [6].

Продолжительность времени между началом нагрева образца (от розжига пламени) до получения нужного нагрева (температура образца доведена до 500°C) замерялась секундомером. Изменение температуры образца при нагреве замерялось и регистрировалось через каждые 10 сек., отмечались внешние факторы происходящих изменений с образцом в виде обугливания, отслоений, вспучивания, выделения сгораемых продуктов.

На основе получаемых результатов по длительности времени, за которое испытуемый образец достигает установленной максимальной температуры, присваивалась определенная группа эффективности огнезащитного покрытия (всего 7 групп):

- «1-я группа – не менее 150 мин;
- 2-я группа – не менее 120 мин;
- 3-я группа – не менее 90 мин;
- 4-я группа – не менее 60 мин;
- 5-я группа – не менее 45 мин;
- 6-я группа – не менее 30 мин;
- 7-я группа – не менее 15 мин» [6].

В процессе испытания подвергали образец нагреву непосредственно в горящем огне на протяжении двух минут, после чего образец охлаждался.

Оценка результатов огневых испытаний:

- «визуальная оценка устойчивости покрытия при огневом испытании»
- «оценка огнезащитной эффективности покрытий» [28].

Рисунки 7-14 и приложение А содержат информацию о результатах испытания огнем и степени процессов адгезии.

Степень огнезащитных свойств, которыми обладает огнезащитное средство под № 1, приведены рисунком 7.

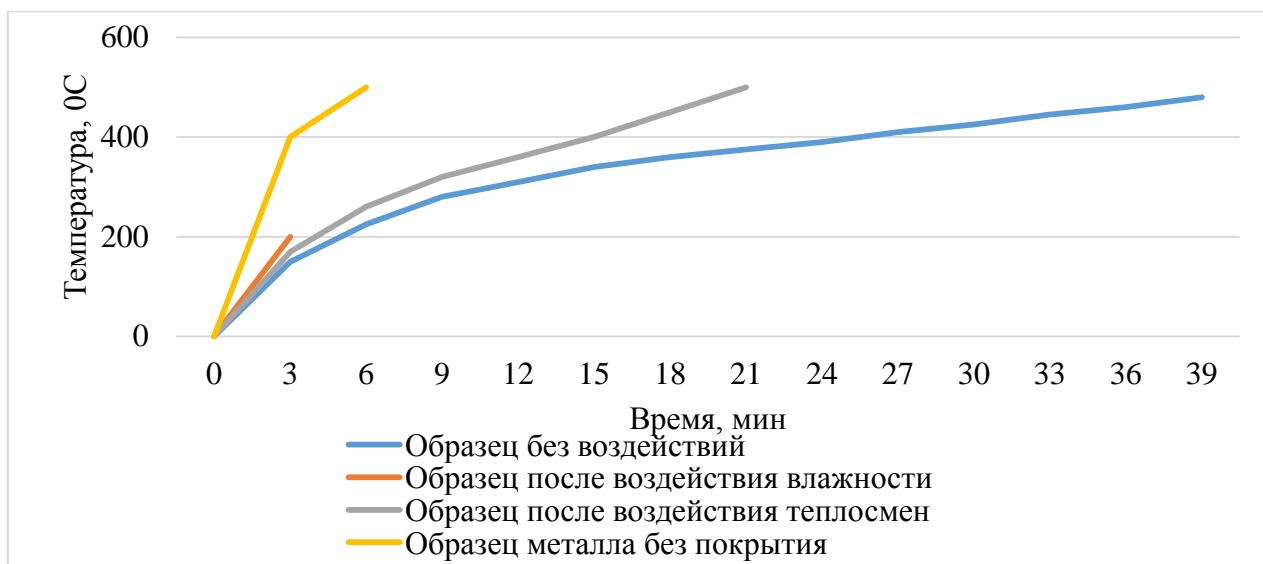


Рисунок 7 – Огнезащитная эффективность огнезащитного средства № 1

Огнезащитная эффективность огнезащитного средства № 2 представлена на рисунке 8.

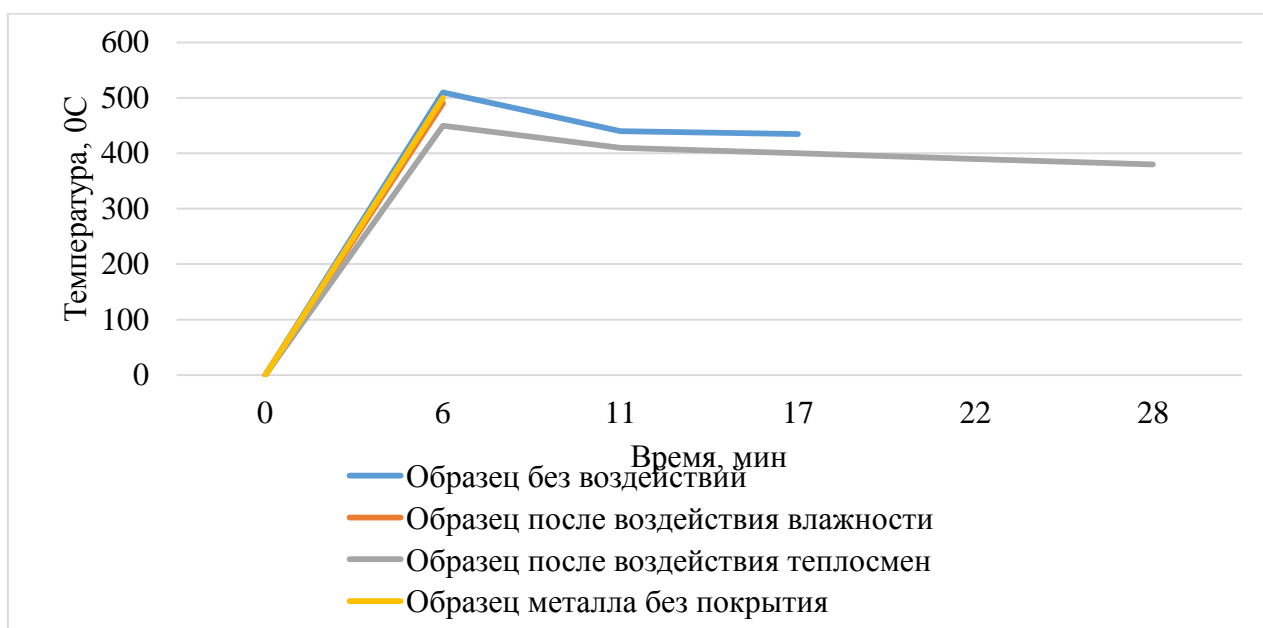


Рисунок 8 – Огнезащитная эффективность огнезащитного средства № 2
 Огнезащитная эффективность огнезащитного средства № 3
 представлена на рисунке 9.

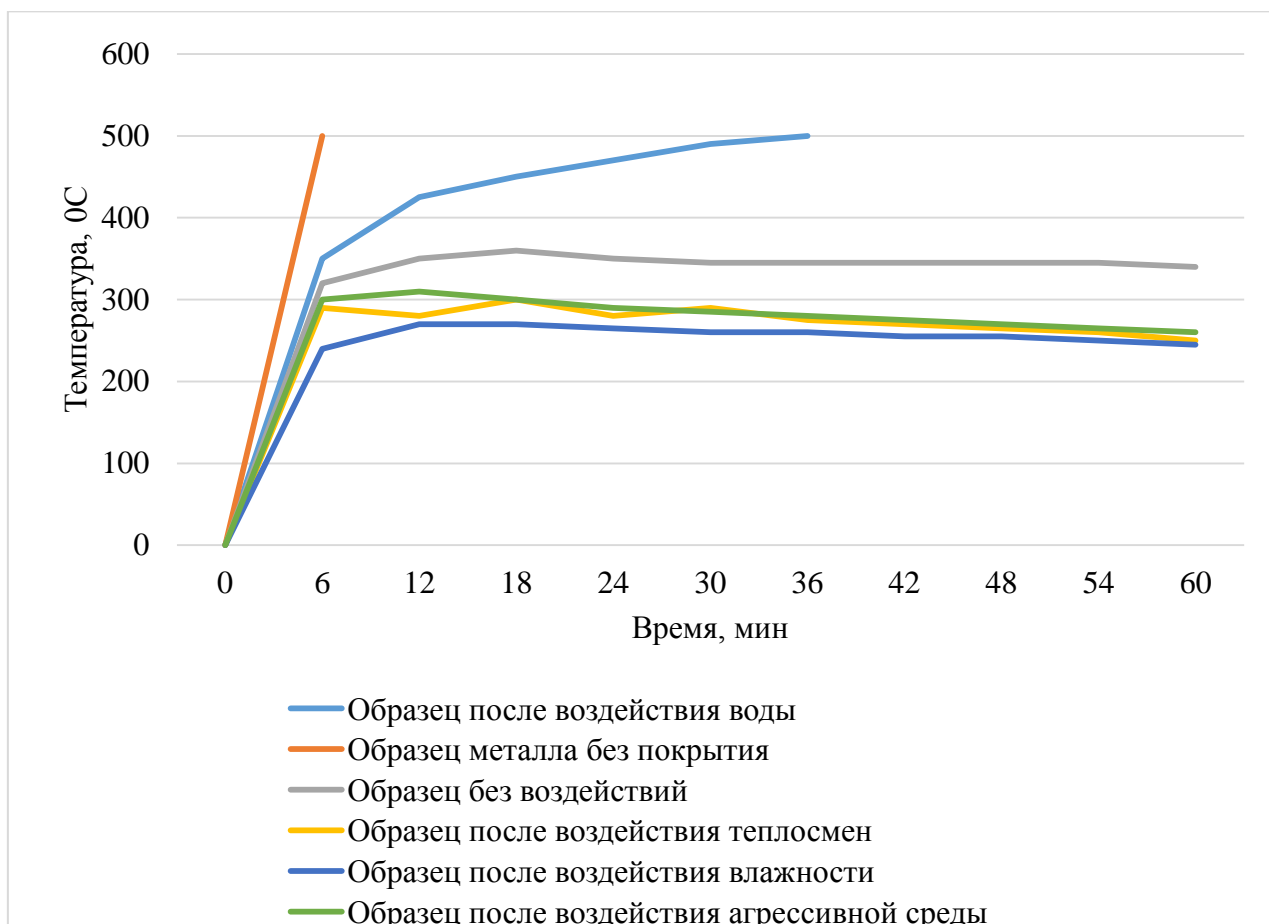


Рисунок 9 – Огнезащитная эффективность огнезащитного средства № 3

После остывания образцы взвешивались и вычислялась потеря массы образца.

Потерю массы испытанного образца, %, вычисляют по формуле:

$$P = \frac{(M_1 - M_2) \cdot 100}{M_1}, \quad (1)$$

где M_1 – масса образца до испытания, г;

M_2 – масса образца после испытания, г.

По результатам испытания устанавливают группу огнезащитной эффективности испытанного огнезащитного средства при данном способе его применения. «При потере массы не более 9 % для огнезащитного средства устанавливают I группу огнезащитной эффективности. При потере массы более 9 %, но не более 25 % для огнезащитного средства устанавливают II группу огнезащитной эффективности. При потере массы более 25 % считают, что данный состав не обеспечивает огнезащиту древесины и не является огнезащитным» [13].

Данные по потере массы образцов древесины огнезащитного средства № 1 и № 2 представлены на рисунке 10.

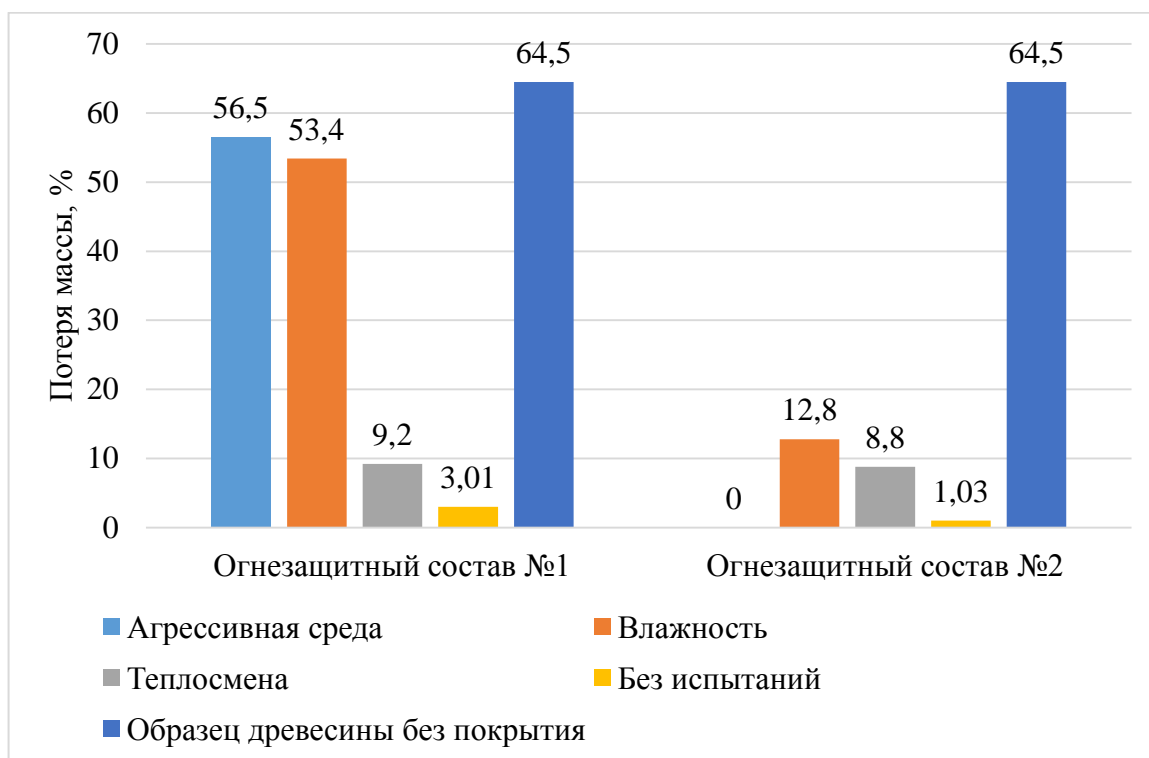


Рисунок 10 – Потеря массы образцов древесины огнезащитного средства № 1 и № 2

Проведя огневые испытания с металлическими образцами, приступим к испытаниям с образцами из металла, имеющих покрытие огнезащитного состава № 1. Рисунок 11 демонстрирует полученные результаты.



Рисунок 11 – Образцы металла, обработанные огнезащитным составом № 1 после огневого испытания: «образец после воздействия влажности; образец после воздействия теплосмен; образец без воздействий» [6]

Проведенные исследования показали полную неустойчивость огнезащитного покрытия под номером 1 на металлическом образце при воздействии на него водой, агрессивной средой – покрытие было полностью уничтожено во время огневых и эксплуатационных испытаний, были потеряны адгезивные свойства. Оказанное действие теплосменами снизило огнезащитные свойства от 6 группы на 7, были утрачены адгезивные свойства.

При нанесении на деревянный объект огнезащитного покрытия с номером 1 при испытаниях оно было разрушено водой, агрессивной средой, при огневых испытаниях зафиксировано значительное снижение массы образца. Оказанное действие теплосменами снизило огнезащитные свойства от 1 группы на 2. Можно сделать следующий вывод: применение огнезащитного покрытия №1 в следствие его неустойчивости к атмосферным условиям невозможно, данное покрытие не обладает заявленными автором патентного изобретения свойствами. Данный факт может иметь предположение, что автором технического предложения не проводились

исследования на установление степени устойчивости защитного покрытия от воздействий атмосферных условий или использовались иные условия и способы оценок.

На образцы из металла было нанесено огнезащитное покрытие с составом № 2, их подвергли огневым испытаниям, результаты которых представлены на рисунке 12.



Рисунок 12 – Образцы металла, обработанные огнезащитным составом № 2 после огневого испытания: «образец после воздействия влажности; образец после воздействия теплосмен; образец без воздействий» [6]

Проведенные испытания показали низкий уровень огнезащитных свойств покрытия №2 на образце из металла, на основании чего можно утверждать, что его нельзя отнести к огнезащитным средствам. Можно предположить, что к данному факту имеет отношение адгезия низкого уровня между защитным покрытием и металлом.

Проведенные исследования показали полную неустойчивость огнезащитного покрытия под номером 2 на металлическом образце при воздействии на него водой, агрессивной средой – покрытие было полностью уничтожено во время огневых, эксплуатационных испытаний и испытаний теплосменами.

Нанесенное на деревянную поверхность огнезащитное покрытие под номером 2 показало неустойчивость при испытаниях, оно было разрушено

водой, агрессивной средой. Оказанное действие теплосменами снизило огнезащитные свойства от 1 группы на 2.

Металлические образцы были обработаны огнезащитным покрытием под номером 3, проведено огневое испытание, после которого образцы продемонстрированы на рисунке 13.

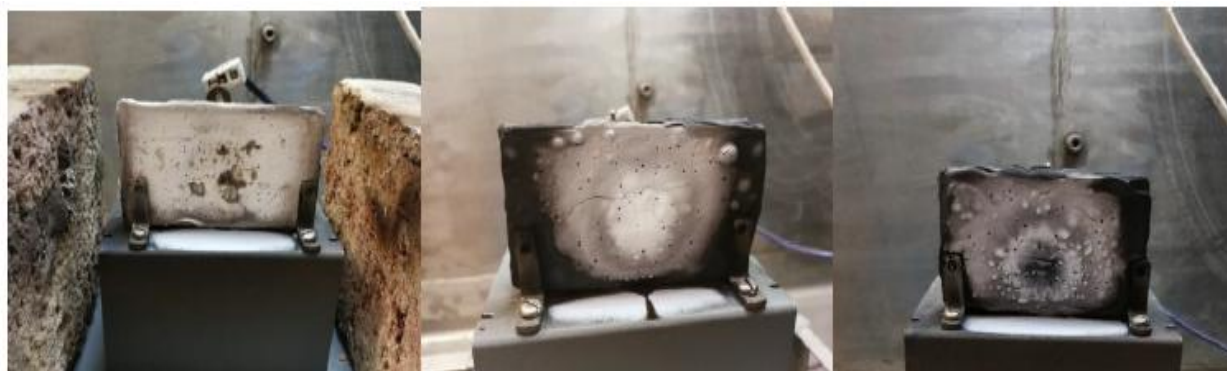


Рисунок 13 – Образцы металла, обработанные огнезащитным составом № 3 после огневого испытания: «образец после воздействия воды; образец после воздействия теплосмен; образец без воздействий» [6]

Проведенные опытные исследования с огнезащитным покрытием под номером 3 показали следующие результаты: под действием влаги, агрессивных сред, теплосменами изменился темп нагрева образцов (уровень температуры зафиксирован на отметке 250-300°C, тогда как образцы, не участвующие в эксплуатационных испытаниях, нагревались до 350°C. Данный факт доказывает наличие изменений, произошедших в огнезащитном средстве, однако они не оказали существенного влияния на огнезащитные свойства покрытия и на свойства адгезии. Оказанное влияние влагой снижает эффективность огнезащиты с 4 на 6 группу. Эксплуатационные условия не повлияли на свойства адгезии рассматриваемого покрытия. Можно сделать следующий вывод: характеристики огнезащитного покрытия №3 позволяют использовать его при заявленных эксплуатационных условиях.

Выбранные образцы из дерева были обработаны огнезащитным покрытием под номером 3, проведено огневое испытание, после которого образцы продемонстрированы на рисунке 14.

Выявлено уменьшение адгезии, что стало причиной снижения качества огнезащиты. При обработке металлических образцов огнезащитным покрытием №1 и №2 были установлены низкие уровни адгезии на них перед проведением лабораторных испытаний, по окончании их проведения образцы с покрытием №1 теряли свойства адгезии, образцы с покрытием №2 показали лучшие результаты по сравнению с тем, что было до начала эксплуатационных испытаний.



«1 – образец без огнезащитного покрытия; 2 – образец, обработанный составом № 1 (влажность); 3 – образец, обработанный составом № 1 (теплосмены); 4 – образец, обработанный составом № 1 (агрессивная среда); 5 – образец, обработанный составом № 2 (влажность); 6 – образец, обработанный составом № 2 (теплосмены); 7 – образец, обработанный составом № 2 (без воздействия); 8 – образец, обработанный составом № 1 (без воздействия)» [6]

Рисунок 14 – Образцы древесины после огневого испытания

Причиной такого обстоятельства возможно состояло в том, что поверхность образцов была подготовлена недостаточно хорошо.

Осмотрев огнезащитное покрытие на образцах после испытаний и проанализировав действие адгезии, следует отметить неустойчивость к воздействию эксплуатационных условий таких видов огнезащиты:

- огнезащитное покрытие №1, нанесенное на металлическую поверхность, не обладает устойчивостью под действием влаги или агрессивных сред (уничтожено в процессе химико-физических испытаний), под действием теплосмен (снижение свойств адгезии до группы 5). Данное покрытие на деревянных поверхностях не обладает устойчивостью под действием влаги (уничтожено в процессе химико-физических испытаний);
- огнезащитное покрытие №2, нанесенное на металлическую поверхность, не обладает устойчивостью под действием влаги или агрессивных сред (уничтожено в процессе химико-физических испытаний). Данное покрытие на деревянных поверхностях не обладает устойчивостью под действием влаги или агрессивных сред (уничтожено в процессе химико-физических испытаний);
- огнезащитное покрытие №3, нанесенное и на металлические, и на деревянные поверхности показало достаточную устойчивость при воздействиях любых сред.

Следовательно, приведенные результаты проделанного исследования могут использоваться для установления эффективности огнезащитных покрытий, нанесенных на металлические поверхности, от воздействия на них факторов эксплуатации.

Представленная методика обладает простотой, в ней не используется дорогостоящее оборудование, что служит несомненным плюсом для разработчиков защитных средств. Выявлено влияние химико-физических факторов на устойчивость огнезащитных средств, на уменьшение свойств адгезии и изменение веса образцов.

В настоящем исследовании для исследования выбраны:

- огнезащитный состав на основе жидкого натриевого стекла – № 1.
- огнезащитный состав на основе ортофосфорной кислоты с добавлением серпентинита – №2.
- огнезащитная краска «Гефест – М» по металлу – № 3.

В работе исследовалось влияние четырех эксплуатационных факторов:

- «воздействие воды;
- влаги;
- теплосмен;
- агрессивной среды» [27].

В огневых испытаниях использовалась лабораторная установка, функциональная схема которой представлена на рисунке 15.

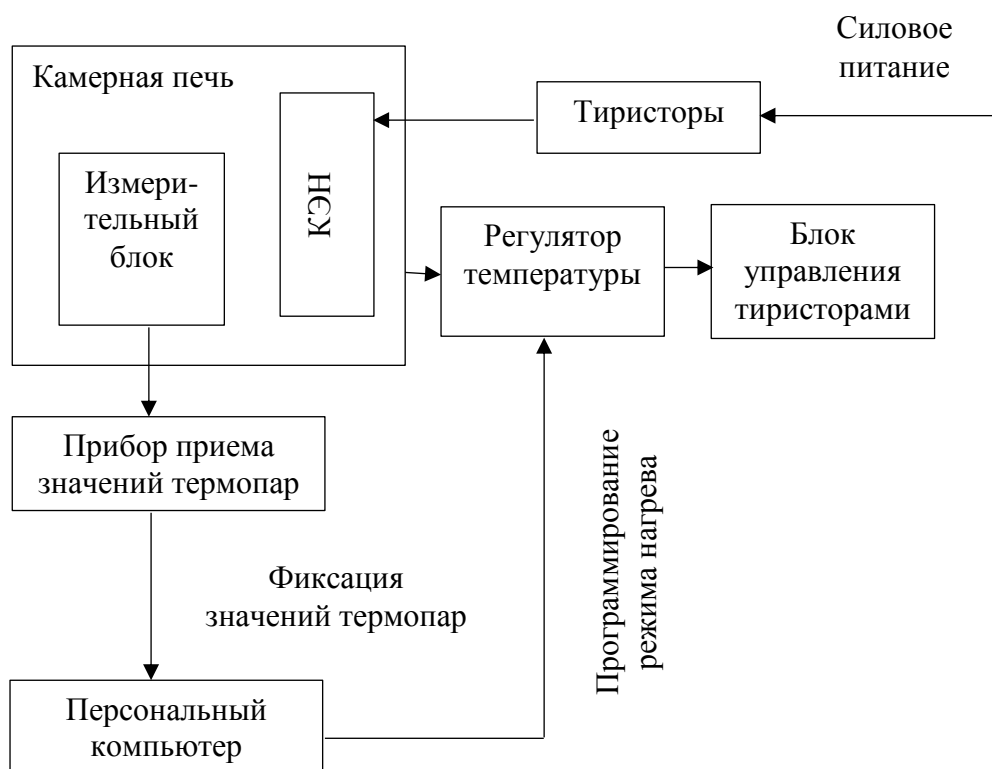


Рисунок 15 – Функциональная схема применяемой лабораторной установки

С целью выявления лучших методик по обеспечению защиты металлических объектов от теплового воздействия, были проведены

- оценка адгезионных свойств покрытий до физико-химических испытаний;
- испытания образцов на воздействие физико-химических факторов;
- оценка адгезионных свойств покрытий после физико-химических испытаний;
- анализ полученных результатов» [32].

Огнезащитное средство № 1 готовилось по описанию к патенту «в соотношении 60% жидкого стекла, 20% вермикулита, 20% кварцевого песка. Сухие компоненты измельчались до необходимой дисперсности в 7 микрон на установках: дезинтегратора DESI – 11 и планетарной шаровой мельницы АГО – 2У. Затем смешивались вручную стеклянной палочкой сухие компоненты, далее добавлялось жидкое стекло. Компоненты состава тщательно и быстро перемешивались» [20].

Огнезащитное средство № 2 готовилось «путем смешивания вручную лабораторной лопаткой тонко измельченного серпентина и ортофосфорной кислоты, в соотношении: 2 части серпентина, 1 часть кислоты. В результате взаимодействия ОФК и серпентиновой горной породы образуется камень, сформированный фосфатами магния различной основности, непрореагировавшим серпентином» [22].

Огнезащитное средство № 3 – это «готовая к использованию краска. Перед использованием краска была размешана с помощью дрели-миксера» [21].

Металлические поверхности перед нанесением огнезащитных средств с №№ 1 и 2 обезжиривали (применялся уайт-спирит), просушивали, грунтовка не использовалась, средство наносилось одним слоем. Покрытие огнезащитное с №1 и №2 имели толщину 4,5 мм и 2 мм соответственно.

Нанесение средства с №3 проводилось согласно предписаниям производителя. Металлические поверхности перед нанесением огнезащитного средства с №3 обезжиривали (применялся уайт-спирит), просушивали, грунтовали (грунт ГФ-021). Огнезащитное средство

наносилось на поверхности по прошествии 48 часов после грунтовки, необходимую толщину покрытия 1,2 мм достигали с помощью 5 тонких слоев.

На основании рекомендаций патента сушка защитного средства №1 проводилась в течении 12 час в условиях комнатных температур.

На основании рекомендаций патента сушка защитного средства №2 проводилась в течении 24 час в условиях комнатных температур.

На основании рекомендаций патента сушка каждого слоя (всего 5 слоев) защитного средства №3 проводилась в течении 12 часов в условиях комнатных температур.

Рисунки 17-19 демонстрируют внешние виды образцов с покрытием огнезащитных средств.



Рисунок 17 – Внешний вид образцов, обработанных огнезащитным средством № 1: металл; древесина



Рисунок 18 – Внешний вид образцов, обработанных огнезащитным средством № 2: металл; древесина



Рисунок 19 – Внешний вид образцов металла, обработанных огнезащитным средством № 3

Проведению испытаний подвергались металлические и деревянные образцы, обработанные средствами и выдержанные после обработки необходимое время согласно рекомендациям. Нанесение X-образных надрезов на поверхностях образцов выполнялось до нанесения защитного

средства. Надрезы выполнялись длиной 40 мм с углами их пересечений в 30° и 45°, далее в место пересечения линий надрезов накладывался скотч (разрешенная длина 75 мм и более), его приклеивали плотно к поверхности по направлению к углам надрезов, после чего скотч снимается с поверхности, удерживая за один конец (угол ленты скотча при снятии должен быть около 60° по отношению к поверхности).

3.2 Анализ и оценка эффективности внедрения предлагаемых методов оптимизации выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций

Проведение экономического обоснования применения рекомендуемых мер представлено в таблице 4.

Таблица 4 – План финансового обеспечения мероприятия

Наименование мероприятия	Основание	Стоимость, руб.	Срок реализации	Ответственный
Использование огнезащитных покрытий	План мероприятий по улучшению условий труда на 2025 г.	550 руб./м ²	4 кв. 2025 г.	Главный инженер

Экономический эффект:

$$Э_r = Y - Z, \quad (2)$$

где « $Э_r$ – годовой экономический эффект, руб.;

Y – величина потерь организации при пожаре, руб.;

Z – затраты на реализацию мероприятия, руб.» [2].

$$Э_r = 680000 - 315019 = 363981 \text{ руб.}$$

Итак, предварительно экономический эффект является положительным значением.

Экономическая эффективность мероприятия:

$$\mathcal{E}_r = \frac{Y}{Z} \quad (3)$$

где « \mathcal{E}_r – годовой экономический эффект, руб.;

Y – величина потерь организации при пожаре, руб.;

Z – затраты на реализацию мероприятия, руб.» [2].

$$\mathcal{E}_r = \frac{680000}{316019} = 2,15$$

Чистый экономический эффект:

$$\text{ЧЭЭ} = \sum \mathcal{E}_t - Z_t, \quad (4)$$

где « \mathcal{E}_t – результаты, достигнутые на t -ом шаге расчета;

Z_t – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения» [2].

Чистый дисконтированный доход:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T (\mathcal{E}_t - Z_t + A_t) \frac{1}{(1 + E)^t} \quad (5)$$

где « \mathcal{E}_t – результаты (эффекты, предотвращенный ущерб), достигнутые на t -ом шаге расчета;

Z_t – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения;

A_t – амортизационные отчисления, осуществляемые на этом шаге;

T – горизонт расчета;

Е – норма дисконта» [2].

Срок окупаемости:

$$T_{ok} = T - \frac{ЧДД_T}{ЧДД_{T+1} - ЧДД_T}, \quad (6)$$

где «Т – год, в котором значение чистого дисконтированного дохода последний раз отрицательное;

ЧДД_Т – последнее отрицательное значение чистого дисконтированного дохода в период времени Т;

ЧДД_{Т+1} – первое положительное значение чистого дисконтированного дохода» [2].

Индекс доходности:

$$ИД = \frac{\sum_{t=0}^T (\mathcal{E}_t + A_t)(1+E)^{T-1}}{\sum_{t=0}^T K_t(1+E)^{T-1}}, \quad (7)$$

где « \mathcal{E}_t – результаты (эффекты, предотвращенный ущерб), достигнутые на t-ом шаге расчета;

Z_t – затраты, осуществляемые на этом шаге, включая капитальные вложения;

A_t – амортизационные отчисления, осуществляемые на этом шаге;

Т – горизонт расчета;

Е – норма дисконта» [2].

Результаты расчет экономической эффективности предлагаемого мероприятия представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Интегральные показатели эффективности мероприятия

Наименование показателей	Значение показателей по годам, руб.				
	1	2	3	4	5

Капитальные вложения	316019	0	0	0	0
Ежегодные затраты	-	18000	18000	18000	18000
Амортизация	-	3600	3600	3600	3600
Эффект	363981	363981	363981	363981	363981
ЧЭЭ	47962	345981	345981	345981	345981
ЧДД с нарастающим итогом	36980	244780	244780	244780	244780
Срок окупаемости	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Индекс доходности	1,35				

Выводы по третьему разделу

Для установления уровня эффективности огнезащитного покрытия была необходима организация специального испытания. Кроме данного испытания были проведены также эксплуатационные испытания, позволяющие установить влияние влажности, влияние агрессивных сред. В процессе испытания подвергали образец нагреву непосредственно в горящем огне на протяжении двух минут, после чего образец охлаждался.

По результатам испытаний можно сделать следующий вывод: применение огнезащитного покрытие №1 в следствие его неустойчивости к атмосферным условиям невозможно, данное покрытие не обладает заявленными автором патентного изобретения свойствами. Данный факт может иметь предположение, что автором технического предложения не проводились исследования на установление степени устойчивости защитного покрытия от воздействий атмосферных условий или использовались иные условия и способы оценок.

Проведенные испытания показали низкий уровень огнезащитных свойств покрытия №2 на образце из металла, на основании чего можно утверждать, что его нельзя отнести к огнезащитным средствам. Можно предположить, что к данному факту имеет отношение адгезия низкого уровня между защитным покрытием и металлом. Проведенные исследования показали полную неустойчивость огнезащитного покрытия под номером 2 на металлическом образце при воздействии на него водой, агрессивной средой – покрытие было полностью уничтожено во время огневых, эксплуатационных испытаний и испытаний теплосменами. Нанесенное на деревянную поверхность огнезащитное покрытие под номером 2 показало неустойчивость при испытаниях, оно было разрушено водой, агрессивной средой. Оказанное действие теплосменами снизило огнезащитные свойства от 1 группы на 2.

Проведенные опытные исследования с огнезащитным покрытием под номером 3 показали следующие результаты: под действием влаги,

агрессивных сред, теплосменами изменился темп нагрева образцов (уровень температуры зафиксирован на отметке 250-300° С, тогда как образцы, не участвующие в эксплуатационных испытаниях, нагревались до 350° С. Данный факт доказывает наличие изменений, произошедших в огнезащитном средстве, однако они не оказали существенного влияния на огнезащитные свойства покрытия и на свойства адгезии. Оказанное влияние влагой снижает эффективность огнезащиты с 4 на 6 группу. Эксплуатационные условия не повлияли на свойства адгезии рассматриваемого покрытия. Можно сделать следующий вывод: характеристики огнезащитного покрытия №3 позволяют использовать его при заявленных эксплуатационных условиях.

Выбранные образцы из дерева были обработаны огнезащитным покрытием под номером 3, проведено огневое испытание, после которого образцы продемонстрированы на рисунке 9.

Выявлено уменьшение адгезии, что стало причиной снижения качества огнезащиты. При обработке металлических образцов огнезащитным покрытием №1 и №2 были установлены низкие уровни адгезии на них перед проведением лабораторных испытаний, по окончании их проведения образцы с покрытием №1 теряли свойства адгезии, образцы с покрытием №2 показали лучшие результаты по сравнению с тем, что было до начала эксплуатационных испытаний.

Следовательно, приведенные результаты проделанного исследования могут использоваться для установления эффективности огнезащитных покрытий, нанесенных на металлические поверхности, от воздействия на них факторов эксплуатации.

Заключение

Выбранная тема магистерской диссертации: «Анализ и оптимизация выбора огнезащитных покрытий строительных конструкций».

Пожар, как неконтролируемый процесс, сопровождается уничтожением ценностей, наносит не только материальный ущерб, но и экологический, несет угрозу здоровью и жизни граждан. Вопрос обеспечения пожаробезопасности зданий, строений – это очень важный для общества вопрос, поскольку процесс пожара и его ликвидация разрушает само строение, уничтожает отделочные материалы, снижает прочностные характеристики строительных конструкций. Для повышения огнестойкости сооружения строительные конструкции подвергают противопожарной обработке – наносится огнезащитное покрытие, которое позволяет сохранить при пожаре на определенное время характеристики несущих конструкций, элементов перекрытий, лестничных маршей. В настоящее время складывается такая ситуация, когда на вершине пирамиды по своей значимости находится проблема системы обеспечения пожарной безопасности. На сегодняшний день на государственном уровне субъекты, участвующие в законодательной деятельности, активно дискутируют по поводу того, насколько необходимо регламентировать на уровне национального законодательства требования, возлагающие на работодателей обязанность по производству непрерывной работы, направленной на достижение наивысшей безопасности персонала, одновременно принимая меры для адекватной охраны окружающей среды и экологии.

Во втором разделе исследования проведен анализ средств и способов для обеспечения огнезащиты покрытий строительных конструкций на объекте исследования, определены параметры эксплуатационной надежности строительных конструкций. Комплекс обследования строительных конструкций включает в себя следующие шаги:

- «первоначальное ознакомление с проектной документацией, рабочими и исполнительными чертежами, актами на скрытые работы;
- визуальный осмотр объекта, установление его соответствия проекту, выявление видимых дефектов (наличие трещин, протечек, коррозии металла, дефектов стыковых сварных и болтовых соединений), составление плана обследования здания или сооружения, проведение комплекса исследований неразрушающими методами;
- анализ состояния здания или сооружения и разработка рекомендаций по устранению выявленных дефектов» [32].

Для установления уровня эффективности огнезащитного покрытия была необходима организация специального испытания. Кроме данного испытания были проведены также эксплуатационные испытания, позволяющие установить влияние влажности, влияние агрессивных сред. В процессе испытания подвергали образец нагреву непосредственно в горящем огне на протяжении двух минут, после чего образец охлаждался.

По результатам испытаний можно сделать следующий вывод: применение огнезащитного покрытие №1 в следствие его неустойчивости к атмосферным условиям невозможно, данное покрытие не обладает заявленными автором патентного изобретения свойствами. Данный факт может иметь предположение, что автором технического предложения не проводились исследования на установление степени устойчивости защитного покрытия от воздействий атмосферных условий или использовались иные условия и способы оценок. Проведенные испытания показали низкий уровень огнезащитных свойств покрытия №2 на образце из металла, на основании чего можно утверждать, что его нельзя отнести к огнезащитным средствам. Можно предположить, что к данному факту имеет отношение адгезия низкого уровня между защитным покрытием и металлом. Проведенные исследования показали полную неустойчивость огнезащитного покрытия под номером 2 на металлическом образце при воздействии на него

водой, агрессивной средой – покрытие было полностью уничтожено во время огневых, эксплуатационных испытаний и испытаний теплосменами. Нанесенное на деревянную поверхность огнезащитное покрытие под номером 2 показало неустойчивость при испытаниях, оно было разрушено водой, агрессивной средой. Оказанное действие теплосменами снизило огнезащитные свойства от 1 группы на 2. Проведенные опытные исследования с огнезащитным покрытием под номером 3 показали следующие результаты: под действием влаги, агрессивных сред, теплосменами изменился темп нагрева образцов (уровень температуры зафиксирован на отметке 250-300° С, тогда как образцы, не участвующие в эксплуатационных испытаниях, нагревались до 350° С. Данный факт доказывает наличие изменений, произошедших в огнезащитном средстве, однако они не оказали существенного влияния на огнезащитные свойства покрытия и на свойства адгезии. Оказанное влияние влагой снижает эффективность огнезащиты с 4 на 6 группу. Эксплуатационные условия не повлияли на свойства адгезии рассматриваемого покрытия. Можно сделать следующий вывод: характеристики огнезащитного покрытия №3 позволяют использовать его при заявленных эксплуатационных условиях.

Выбранные образцы из дерева были обработаны огнезащитным покрытием под номером 3, проведено огневое испытание. Выявлено уменьшение адгезии, что стало причиной снижения качества огнезащиты. При обработке металлических образцов огнезащитным покрытием №1 и №2 были установлены низкие уровни адгезии на них перед проведением лабораторных испытаний, по окончании их проведения образцы с покрытием №1 теряли свойства адгезии, образцы с покрытием №2 показали лучшие результаты по сравнению с тем, что было до начала эксплуатационных испытаний.

Следовательно, приведенные результаты проделанного исследования могут использоваться для установления эффективности огнезащитных

покрытий, нанесенных на металлические поверхности, от воздействия на них факторов эксплуатации.

Список используемых источников

1. Азаркин Н. М. Об огнезащите строительных конструкций // Строительные материалы и конструкции. 2019. №1. С. 18-20.
2. Анализ и оценка эффективности предлагаемых мероприятий по обеспечению техносферной безопасности в организации [Электронный ресурс]. URL: <https://edu.rosdistant.ru/mod/assign/view.php?id=132795> (дата обращения: 11.01.2024).
3. Андронов В. А. Лабораторная установка для оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий для металлических покрытий // Пожаровзрывобезопасность. 2020. №10. С. 19-23.
4. Аникеев С. В. Справочник инспектора пожарного надзора: справочник. М. : ПожКнига, 2019. 432 с.
5. Благородова Н. В. К вопросу определения огнестойкости строительных конструкций // Безопасность, надежность, качество, энергосбережение техносферы. 2021. №9. С. 224-241.
6. Боровик С. И. Исследование влияния эксплуатационных факторов на эффективность огнезащитных покрытий по металлу // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства. 2018. №5. С. 300-305.
7. Демехин В. Н. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре. М. : Академия ГПС МЧС России, 2023. 656 с.
8. Ибрагимов Б. Т. Вспучивающиеся составы для огнезащиты // Проблемы современной науки и образования. 2021. №5. С. 29-36.
9. Кислова Ю. А. Анализ российского рынка огнезащитных ЛКМ для металлоконструкций в 2018–2022 гг. Прогноз до 2027 г. // Промышленная окраска. 2022. № 3. С. 17–23.
10. Кошелев В. А., Орлов А. А. Принципы обеспечения огнезащитных свойств материалов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. 2019. № 2. С. 50–54.

11. Крашенинникова М. В. Огнезащитные вспучивающиеся материалы на основе органорастворимых пленкообразователей // Лакокрасочные материалы и их применение, 2018. № 12. С. 14-19.

12. Кривцов Ю. В. Безопасность энергетических объектов - широкое использование огнезащитных покрытий // Пожарная безопасность, 2019. № 2. С. 132-134.

13. Крюппа Ж. Огнестойкость строительных конструкций. М. : СтройИздат, 2020. 216 с.

14. Милюткина М. В. Огнезащита строительных конструкций // 2023. №12. С. 2-5.

15. О пожарной безопасности [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 21.12.1994 № 69–ФЗ (ред. от 29.12.2022). URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/ (дата обращения: 29.04.2023).

16. О противопожарной службе Самарской области [Электронный ресурс] : Постановление Правительства Самарской области №15 от 31.01.2008 (ред. от 28.03.2022). URL: <https://docs.cntd.ru/document/945018710> (дата обращения: 30.04.2023).

17. О федеральном государственном пожарном надзоре [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 12 апреля 2012 года № 290 (ред. от 28.09.2022). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902341612> (дата обращения: 23.04.2023).

18. Об утверждении Положения о пожарно–спасательных гарнизонах [Электронный ресурс] : Приказ МЧС РФ № 467 от 25.10.2017 (ред. от 28.02.2020). URL: <https://docs.cntd.ru/document/542610976> (дата обращения: 24.04.2023).

19. Павлович А. А., Владенков В. В., Изюмский В. Н. Огнезащитные вспучивающиеся покрытия // Лакокрасочная промышленность. 2022. № 5. С. 12-19.

20. Патент 2126776. Огнезащитный состав и способ его изготовления / В.О. Бржезанский, В.Ф. Молоков, Ю.Н. Павшенков; заявитель и правообладатель: ЗАО «Этна»; № 98112982; заявл. 16.07.1998; опубл. 27.02.1999. Бюлл. №2. 14 с.

21. Патент 2244727. Огнезащитная вспучивающаяся краска / А.С. Аверченко, В.А. Варюхин, С.А. Жидков, В.К. Карцев; заявитель и правообладатель: ООО НИИ «Карбон ПБ»; № 2003133194; заявл. 12.11.2003; опубл. 20.01.2005. Бюлл. № 1. 11 с.

22. Патент 3254895. Огнезащитный пропиточный состав для древесины и способ его изготовления / С.Н. Рябов, Л.П. Борило, А.В. Заболотская, И.Я. Астафьев; заявитель и правообладатель: ГБОУ «Томский государственный университет»; №3254895; заявл. 26.06.2006; опубл. 10.10.2007. Бюлл. № 7. 9 с.

23. Ройтман В. М. Технические решения для оценки огнестойкости восстановленных конструкций и зданий. М. : Пожарная охрана и наука, 2021. 382 с.

24. Собурь С. В. Огнезащита материалов и конструкций: учебно-справочное пособие. М. : ПожКнига, 2019. 256 с.

25. Собурь С. В. Пожарная безопасность: справочник. М. : ПожКнига, 2020. 240 с.

26. Сосков А. А., Пронин Д. Г. Огнезащита стальных конструкций // Промышленное и гражданское строительство. №7. 2020. С. 57-59.

27. Страхов В. Л. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования // Строительные материалы. 2022. №5. С. 2-5.

28. Теплоухов А. В. Методика и результаты оценки влияния длительной эксплуатации конструкций на основные свойства вспучивающихся огнезащитных покрытий // Пожаровзрывобезопасность. 2016. №1. С. 9-16.

29. Тимкин А. В. Основы пожарной безопасности: учебное пособие. М. : Директ-Медиа, 2020. 269 с.
30. Тимофеева С. С. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре. Иркутск : ИрГТУ, 2020. 143 с.
31. Федоров В. С., Колчунов В. И., Левитский В. Е. Противопожарная защита зданий. М. : Издательство Ассоциации вузов, 2020. 176 с.
32. Худина К. И. Оценка предела огнестойкости несущих конструкций в условиях внутреннего пожара // Инновационная наука. 2021. №4. С. 76-79.
33. Abner J. Fireproof Building. Steel and composite structures: Behaviour and design for fire safety // Fire Industry Association. 2022. №5. P. 9-13.
34. Aspirating Smoke Detection // System Sensor. 2019. №4. P. 24–30.
35. Bovio G. Design, Installation, Commissioning and Maintenance of Aspirating Smoke Detector // Fire Industry Association. №6. 2021. P. 12–24.
36. Huang Y.; Wang E.; Bie Y. Simulation investigation on the smoke spread process in the large-space building with various height // Case Stud. Therm. 2020, №18. P. 7–15.
37. Irish S. The Fireproof Building: Technology and Public Safety // Technology and Culture. 2021. №1. P. 12-25.
38. Lataille J. Fire Protection Engineering in Building Design // Journal of Systems and Control. 2022. №3. P. 3-9.

Приложение А

Результаты огневого испытания

Таблица А.1 – Результаты огневого испытания

Огнезащитное покрытие	Воздействие эксплуатационного фактора	Визуальные изменения образца при огневом испытании	Время наступления предельного состояния образца, мин	Потеря массы образца, %	Группа огнезащитной эффективности	Степень разрушения (адгезия), балл
Образцы из металла						
№1	Влажность	Покрытие разрушилось	1,34	–	Не является защитным покрытием	5
	Теплосмены	Трещины, осыпание	21	–	7	5
	Без воздействия	Изменение цвета, небольшое вспучивание	41	–	6	3
№2	Влажность	Отслоение покрытия	6	–	Не является защитным покрытием	1
	Теплосмены		6,2	–		3
	Без воздействия	Трещины	9	–		5
№3	Вода	Отсутствует вспучивание, выделение едкого дыма	33	–	6	0
	Влажность	Почернение, вспучивание, выделение едкого дыма	Более 60	–	4	0
	Теплосмены			–	4	0
	Агрессивная среда			–	4	0
	Без воздействия			–	4	0

Продолжение таблицы А.1

Огнезащитное покрытие	Воздействие эксплуатационного фактора	Визуальные изменения образца при огневом испытании	Время наступления предельного состояния образца, мин	Потеря массы образца, %	Группа огнезащитной эффективности	Степень разрушения (адгезия), балл
Без покрытия	Без воздействия	–	6,4	–	–	–
Образцы из древесины						
№1	Влажность	Горение через 20 секунд, осадок в виде смолы, белые следы, запах олифы	–	53,4	Не является защитным покрытием	–
	Агрессивная среда		–	56,5		–
	Теплосмены	Горение через 40 секунд, осадок в виде смолы, белые следы, запах олифы	–	9,2	2	–
	Без воздействия	Горение через 1 минуту, осадок в виде смолы, белые следы, запах олифы	–	3,01	1	1
№2	Влажность	Горение через 30 секунд, при удалении горелки затухает	–	12,8	2	–
	Теплосмены		–	8,8	1	–
	Без воздействия		–	1,03	1	Не удалось надрезать
Без покрытия	Без воздействия	Горение через 5 секунд	–	64,5	–	–