

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Факультет «Механико-технологический»
Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

Рецензент, _____
_____/_____/_____
«__» _____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой БЖД
_____/ А.И. Сидоров /
«__» _____ 2018 г.

Оценка влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную
эффективность покрытий для металлических конструкций

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)
ЮУрГУ – 20.04.01.2018.582 ВКР МД

Научный руководитель, доцент
_____/Г. А. Полунин/
«__» _____ 2018 г.

Автор диссертации
студент группы П – 267
_____/Л. А. Трофимова/
«__» _____ 2018г.

Нормоконтролер, доцент
_____/Г. А. Полунин/
«__» _____ 2018 г.

РЕФЕРАТ

Трофимова Л. А. Оценка влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций. – Челябинск: ЮУрГУ, П – 267, 2018. – 72 с., 20 ил., 8 табл., библиогр. список – 50 наим.

В работе изучены вопросы защиты металлических конструкций от воздействия высоких температур при пожаре.

Проведен литературно-патентный анализ требований, предъявляемых к огнестойкости зданий, строительных конструкций, способов повышения огнестойкости металлических конструкций, методов оценки влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий.

Анализ показал, что законодательно в России не установлено соответствующих стандартов и методик для оценки влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций.

Изучены методы оценки влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для древесины. Проведены исследования по влиянию воды, влажности, теплосмен и агрессивной среды на стойкость огнезащитных составов и их эффективность.

По результатам проведенного исследования проведена оценка влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий и установлена возможность применения используемой в работе методики для металлических конструкций.

SYNOPSIS

Trofimova L. A. Evaluation of the impact of operational factors on the fire-retardant efficiency of coatings for metal structures. – Chelyabinsk: SUSU, P – 267, 2018. – 72 p., 20 il., 8 tabl., Bibliografy – 50.

The paper studies the issues of protection of metal structures from the effects of high temperatures in a fire.

The literary and patent analysis of requirements to fire resistance of buildings, building structures, ways to increase the fire resistance of metal structures, methods of assessing the impact of operational factors on the fire-retardant efficiency of coatings.

The analysis showed that the legislation in Russia has not established appropriate standards and methods for assessing the impact of operational factors on the fire-retardant efficiency of coatings for metal structures.

The methods of assessing the impact of operational factors on the fire-retardant efficiency of coatings for wood are studied. Studies on the effect of water, humidity, heat exchange and aggressive environment on the resistance of flame retardants and their effectiveness.

According to the results of the study, the impact of operational factors on the fire-retardant efficiency of coatings was evaluated and the possibility of using the technique used for metal structures was established.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ЗАЩИТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ОГНЕЗАЩИТНЫМИ СРЕДСТВАМИ.....	9
1.1 Огнестойкость металлических конструкций.....	10
1.2 Нормативные требования к огнестойкости зданий, сооружений и строительных конструкций	16
1.3 Способы повышения пределов огнестойкости металлических конструкций.....	18
1.4 Методы по определению влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций	23
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ.....	38
2.1 Объекты исследования	38
2.2 Метод исследования	40
3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА СТОЙКОСТЬ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ	43
3.1 Исследование влияния эксплуатационных физико-химических факторов на стойкость огнезащитных покрытий	43
3.2 Оценка влияния эксплуатационных физико-химических факторов на стойкость огнезащитных покрытий	52
4 АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ОГНЕЗАЩИТНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОКРЫТИЙ	54
4.1 Оценка огнезащитной эффективности.....	54
4.2 Анализ влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность	63
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	68

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы: В настоящее время в строительстве все чаще используется широкий ассортимент металлических конструкций. Это объясняется тем, что металлические конструкции отличаются быстрой и простой сборкой, а благодаря высокой прочности, надежности работы при различных видах напряженного состояния и долговечности, они способны воспринимать значительные нагрузки [32].

Однако при большом количестве положительных свойств есть и отрицательные свойства металлических конструкций. С точки зрения пожарной безопасности – металлические конструкции не стойки к высоким температурам. Как известно, металл не горючий материал, но, тем не менее, под действием высоких температур в структуре металлов происходят изменения, что приводит к его деформации, и, как следствие, теряется несущая способность металлических конструкций. Во время пожара с повышением температуры прочностные характеристики стали значительно снижаются, что может привести к обрушению несущих металлических конструкций зданий и сооружений, и, как следствие, к гибели людей и значительному материальному ущербу. По данным МЧС РФ, за 2017 год в результате пожара было уничтожено более 34 тысяч строений [49].

Надежная защита строительных конструкций может быть обеспечена их огнезащитой. Качество огнезащитных средств подтверждается в форме сертификации. Но процедура сертификации огнезащитных средств для металлических конструкций подтверждает только соответствие на огнезащитную эффективность.

Необходимо отметить, что ряд огнезащитных средств работают в условиях воздействия эксплуатационных факторов: агрессивных сред, перепадов температур, повышенной влажности и ультрафиолетового излучения и т.д. Однако при разработке огнезащитных средств основное внимание уделяется исследованию его огнезащитной эффективности, а показатели эксплуатационной устойчивости оцениваются в редких случаях. Одним из проблемных вопросов является исследование огнезащитных средств на показатели эксплуатационной

устойчивости, так как для проведения ускоренных испытаний данных показателей не разработано соответствующих методик [38].

Безусловно, данные показатели можно проверить путем натурных испытаний, но они отличаются высокими трудоемкостью и временными затратами. Так как многие огнезащитные средства обладают сроком службы более 10 лет, а продолжительность испытаний соответствует прогнозируемому сроку службы [11].

Таким образом, оценка влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий является актуальной проблемой, т.к. даже толстослойные покрытия (например, акрилатные толщиной 2 мм и более), работающие внутри сооружений, вынесенные из помещений в открытую атмосферу быстро утрачивают огнезащитную эффективность, а на открытых производственных площадках огнезащита многих технических сооружений еще более востребована, чем внутри помещений [50].

Следовательно, при эксплуатации металлических конструкций с огнезащитными покрытиями необходимо владеть достоверной информацией об устойчивости покрытия к воздействию внешних факторов среды.

Актуальность исследования выражена в необходимости изучения влияния условий эксплуатации на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций.

Цель работы: изучить влияние эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций.

Цель достигается выполнением следующих **задач**:

1. Изучить поведение металлических конструкций в условиях пожара и способы повышения их огнестойкости.

2. Осуществить поиск литературных источников, нормативно-технической документации и патентов на огнезащитные составы для анализа существующих методик и способов оценки эксплуатационной устойчивости огнезащитных покрытий.

3. Выбрать методику для оценивания эксплуатационной устойчивости огнезащитных покрытий;

4. Оценить эксплуатационную устойчивость огнезащитных покрытий для металлических конструкций в соответствии с выбранными методиками.

5. Разработать рекомендации о возможности применения выбранного метода для оценки эксплуатационной устойчивости огнезащитных покрытий для металлических конструкций.

Объектом исследования являются огнезащитные покрытия для металлических конструкций.

Предмет исследования – влияние эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций.

Научная новизна: в оценке влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций и установлении целесообразности применения методики ФГБУ ВНИИПО МЧС «Способы и средства огнезащиты древесины. Руководство» для металлических конструкций.

Апробация работы. Научные результаты, полученные в ходе проведения исследований, докладывались и обсуждались на международных научно-практических конференциях:

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 3 статьи в сборниках: «Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения – 2017» материалы международной научно-практической конференции 25-26 мая 2017 г. ФГБОУ ВО «Курганская государственная сельскохозяйственная академия имени Т.С. Мальцева», с. 239-242; "Научные исследования: теория, методика и практика" материалы III международной научно-практической конференции (Чебоксары, 19 ноября 2017 г.) ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н.Ульянова» с. 18-21; «Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства» сборник научных трудов участников межвузовской научно-практической конференции (12 апреля 2018 г.) Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулёва с. 300-305.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы.

Объем работы: содержит 72 страницы машинописного текста, 8 таблиц, 20 рисунков. Библиографический список включает 50 источников.

1 ЗАЩИТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ОГНЕЗАЩИТНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Наряду с основными причинами гибели людей во время пожара, такими как токсичные продукты горения, высокая температура среды не менее опасным является разрушение строительных конструкций. С повышением температуры прочностные характеристики стали значительно снижаются, что может привести к обрушению несущих металлических конструкций зданий и сооружений, и, как следствие, к гибели людей и значительному материальному ущербу.

11 марта 2015 года в ТЦ «Адмирал» в Казани, где внутри здания были не защищенные металлические антресоли с пределом огнестойкости всего лишь 15 минут, несмотря на то, что в 2013 году специализированная организация проводила обследование конструкций ТЦ и в отчете заявлялось о необходимости проведения работ по огнезащите металлических конструкций. По данным СК, сразу после начала пожара металлические конструкции завалились и перекрыли людям пути эвакуации. В результате пожара погибло 17 человек, более 70 получили ожоги и травмы. Без вести пропавшими числятся 2 человека.

Соблюдение требований пожарной безопасности является одним из важнейших мероприятий при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий [2]. При использовании металлических конструкций с пределом огнестойкости ниже требуемой степени огнестойкости для данного типа здания необходимо выполнять огнезащиту этих конструкций [1]. Предел огнестойкости несущих металлических конструкций в зависимости от толщины металлических конструкций составляет от 7 до 27 минут [31], в то время как минимальные значения, требуемых пределов огнестойкости несущих строительных конструкций составляют от 15 и до 120 минут в зависимости от степени огнестойкости зданий [12]. Таким образом, область применения части металлических конструкций ограничена. Использование огнезащиты экономически выгоднее, нежели необоснованное с точки зрения конструкции применение металлических конструкций с большей толщиной только лишь для обеспечения требуемой огнестойкости.

1.1 Огнестойкость металлических конструкций

Несмотря на то, что металл несгораемый материал, фактический предел огнестойкости металлических конструкций в среднем равен 15 минутам. Это объясняется достаточно быстрым снижением прочностных и деформационных характеристик металла при повышенных температурах в условиях пожара. Обрушившиеся или получившие большой прогиб металлические конструкции вызывают порчу оборудования, сырья, готовой продукции и затрудняют решение вопросов эвакуации и тушения пожара. На степень нагрева металлической конструкции влияют ее размеры и величина поверхности ее нагрева. При увеличении объема металла и уменьшении поверхности его обогрева температура элемента снижается.

Повышение температуры приводит к уменьшению прочности, упругости и увеличению пластичности металлов. Чем ниже температура плавления металла или сплава, тем при более низких температурах происходит снижение прочности. При высоких температурах также происходит увеличение деформаций ползучести, которые являются следствием увеличения пластичности металлов.

Наряду с общими закономерностями, характерными для поведения металлов при нагреве, поведение сталей в условиях пожара имеет особенности, которые зависят от: химического состава (углеродистая или низколегированная), способа изготовления или упрочнения арматурных профилей [29].

При нагревании горячекатаной арматуры из углеродистой стали происходит уменьшение ее прочности и увеличение пластичности, что приводит к снижению пределов прочности, текучести, возрастанию относительного удлинения и сужения. При остывании такой стали ее первоначальные свойства восстанавливаются. При нагревании низколегированных сталей до 300 °С происходит некоторое увеличение прочности, которая сохраняется и после остывания.

Термически упрочненная арматура обладает особенностью поведения при пожаре – необратимая потеря упрочнения, которая вызвана отпуском стали. Арматурная проволока, упрочненная наклепом, при нагреве необратимо теряет

упрочнение. Чем выше степень упрочнения (наклепа) тем при более низкой температуре начинается ее потеря.

При возникновении пожара внутри здания или сооружения, температура в зоне горения может достигать порядка 1000 °С, при такой температуре структура стали необратимо изменяется. Это явление называется пережогом стали.

Пережог имеет место, когда температура нагрева приближается к температуре плавления и металл в течение длительного времени находился при высокой температуре в окислительной атмосфере кислорода воздуха. Известно, что стали – это поликристаллические тела, состоящие из множества кристаллов (зёрен), сцепленных между собой. Механические свойства стали во многом зависят от силы сцепления зёрен друг с другом. При значительном перегреве стали наблюдается окисление и частичное оплавление границ зёрен, что резко снижает прочность материала. Образовавшиеся окислённые зёрна стали обладают малым взаимным сцеплением из-за наличия на их границах плёнки окислов. При этом излом такой стали будет камневидным. Данный излом представлен на рисунке 1. Пережог стали очень опасен, потому что при этом сталь становится очень хрупкой, а механические свойства стали резко снижаются, именно поэтому металлическая конструкция теряет свою несущую способность. Пережог стали дефект неисправимый, устранить который можно только переплавкой стали. Металлическую конструкцию, подверженную воздействию высоких температур при пожаре, впоследствии эксплуатировать нельзя [20].

При интенсивном нагреве стальной поверхности наблюдается окалинообразование, обезуглероживание поверхностного слоя (выгорание углерода в поверхностном слое металла, способствующего возникновению растягивающих напряжений в поверхностном слое, снижающих усталостную прочность стали) и рост аустенитного зерна. Величина образовавшегося зерна аустенита в дальнейшем оказывает влияние на свойства стали. Чем выше величина зерна аустенита, тем ниже механические свойства стали.

Так же очень опасен перепад температур по сечению металлического каркаса сооружения, что приводит к возникновению термических напряжений. Резкие

перепады температур по сечению металлические конструкции возникают при тушении пожара, когда на раскалённую стальную поверхность попадает огнетушащее средство – вода. Так, если при резком перепаде температур растягивающие напряжения в материале превысят предел прочности σ_b или предел текучести σ_t , то возможно коробление металлические конструкции или образование в ней трещин.

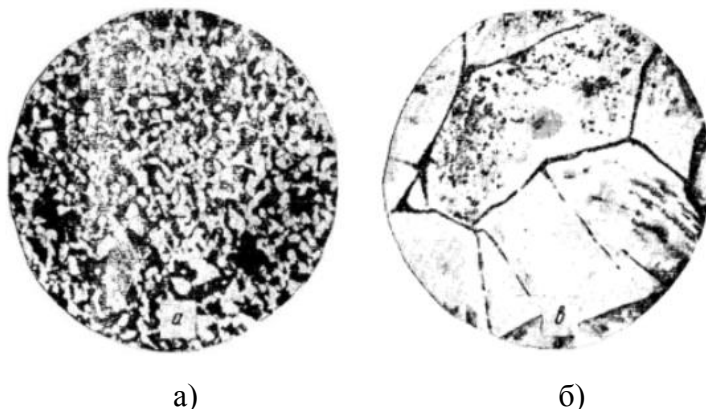


Рисунок 1 – Микроструктура углеродистой стали 35 в зависимости от температуры нагрева:
а) микроструктура стали без перегрева; б) микроструктура стали после длительного воздействия высоких температур (пережог).

Следует отметить, что при нагревании стали выше $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ её предел прочности снижается. На рисунке 2 показана зависимость от температуры модуля упругости E , предела текучести σ_t , предела прочности σ_b и удлинения при разрыве δ для малоуглеродистой стали (например, из Ст3 изготавливают швеллеры, из Ст1, Ст2, Ст3 изготавливают катанку для арматуры, уголки, проволоку, гвозди, заклёпки, а из Ст10, 15, 20 трубы) в интервале $0 - 500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Как видно из приведенных кривых, модуль упругости в пределах изменения температуры до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ практически не меняется. Более существенные изменения претерпевают величина σ_b и, особенно, δ , причём имеет место, как говорят, «охрупчивание» стали – удлинение при разрыве уменьшается. При дальнейшем увеличении температуры пластичные свойства стали восстанавливаются, а прочностные показатели быстро падают [48]. Зависимость механических свойств малоуглеродистой стали от температуры представлена на рисунке 2.

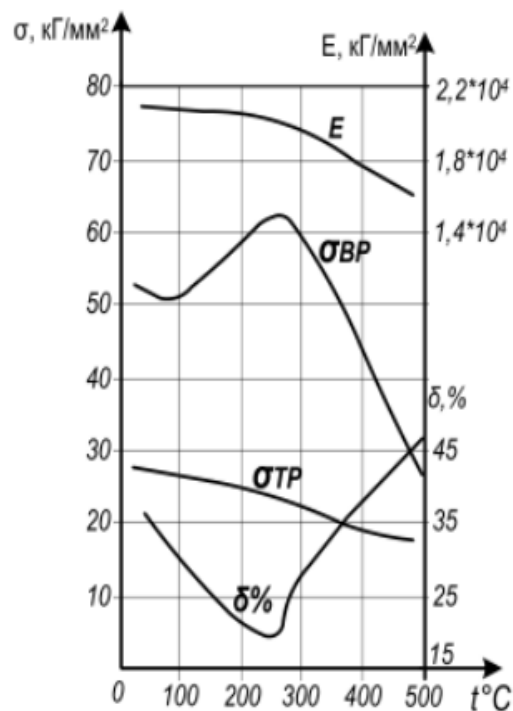


Рисунок 2 – Зависимость механических свойств малоуглеродистой стали от температуры

Главной особенностью алюминиевых сплавов является низкая, по сравнению со сталями, устойчивость к нагреву. Некоторые алюминиевые сплавы способны восстанавливать прочность после нагревания и охлаждения, если температура нагревания не превысила 400 °С.

Таким образом, наибольшей устойчивостью к действию высокой температуры обладают низколегированные стали, несколько хуже углеродистые стали без дополнительного упрочнения, еще хуже стали, упрочненные термическим способом, самой низкой стойкостью обладают стали упрочненные наклепом, а еще ниже – алюминиевые сплавы.

Поведение металлических конструкций в условиях пожара.

Ограждающие конструкции. Наибольшую опасность при пожаре представляют собой утепленные ограждающие конструкции. Анализ пожаров в производственных зданиях с применением таких ограждающих конструкций показал, что покрытия выгорали на значительных площадях (десятки тысяч м²) за 20 – 25 мин. Особенно интенсивно развивался пожар на кровле при возникновении очага пожара внутри здания. Распространению огня по

кровельным ограждающим конструкциям способствует применение рулонных гидроизоляционных материалов на битумной основе. При среднеобъемной температуре 280 °С температура под профилированным настилом достигает 380 °С. При такой температуре наблюдается плавление и воспламенение полимерного утеплителя, его интенсивное горение с выделением токсичных продуктов. Быстрый рост температуры приводит к обрушению покрытия уже через 7 мин после загорания кровли. Наиболее быстро воспламеняются участки кровли, примыкающие к стенам здания, что способствует быстрому распространению пламени (до 20 м/мин) по всему покрытию. Обрушение ограждающих конструкций при пожаре происходит за счет исчерпания несущей способности ее несущих элементов, а также соединений элементов конструкций между собой и с несущими конструкциями покрытия или каркаса здания.

Балки. При действии на балку высоких температур при пожаре даже на ограниченную часть ее поверхности, сечение конструкции быстро прогревается до одинаковой температуры. При этом снижается предел текучести и модуль упругости стали. Обрушение прокатных балок наблюдается в сечении, где действует максимальный изгибающий момент. Разрушение конструкции может наблюдаться в сварных, болтовых или заклепочных соединениях элементов составного сечения от действия сдвигающих усилий. Условия опирания балки также влияет на значение ее предела огнестойкости. Заделка стальной балки в железобетонные или каменные стены стесняет температурные деформации вдоль ее длины.

Фермы. Воздействие температуры пожара на ферму приводит к потере несущей способности ее элементов и соединений этих элементов. При расчете фермы соединения ее элементов между собой рассматриваются как шарнирные, поэтому ферма считается статически определимой конструкцией. Поэтому потеря несущей способности хотя бы одним элементом приводит к отказу при пожаре всей конструкции.

Колонны. Исчерпание несущей способности стальных колонн, находящихся в условиях пожара, может наступить в результате потери: прочности стержнем

конструкции; прочности или устойчивости элементами соединительной решетки, а также узлов креплений этих элементов к ветвям колонны; устойчивости отдельными ветвями на участках между узлами соединительной решетки в колоннах сквозных сечений; местной устойчивости стенки и свесов сжатых полок колонны составного двутаврового сечения; общей устойчивости колонны. Колонны являются элементами плоских рам или пространственного каркаса, шарнирно или жестко соединенных с опирающимися на них конструкциями. В случае жестких соединений колонны с ригелем, ее работа зависит от поведения конструкции ригеля при пожаре.

Арки и рамы. Поведение в условиях пожара арок и рам зависит от статической схемы работы конструкции, а также конструкции сечения их элементов. Работа в условиях высоких температур сплошных составных сечений аналогична работе таких же сечений стальных балок и колонн, а сквозных сечений – работе ферм и сквозных колонн. Разрушение арок и рам может наступить из-за потери несущей способности опорных и конькового узлов, а потеря устойчивости элементов из плоскости конструкции – из-за обрушения связей.

Структурные конструкции. Элементы структурных конструкций, работающие на растяжение или сжатие, имеют небольшие сечения и поэтому быстро нагреваются в условиях пожара. Однако эти конструкции менее чувствительны к повреждениям, т.е. выход одного или нескольких элементов не приводит к обрушению всей конструкции.

Мембранные покрытия. Мембраны, относятся к конструкциям, у которых при нагреве происходит уменьшение усилий до $1/10 - 1/15$ ее пролета в результате температурного расширения и температурной деформации ползучести стали. Поэтому огнестойкость стальной мембраны составляет $0,75 - 1$ ч. Наиболее уязвимым элементом мембранного покрытия является его опорный контур. Прогиб мембраны, образовавшийся во время нагрева, является в большей части необратимым, т.е. после охлаждения конструкции он практически не исчезает [21].

1.2 Нормативные требования к огнестойкости зданий, сооружений и строительных конструкций

Здания, сооружения, пожарные отсеки подразделяются по степеням огнестойкости согласно положениям Технического регламента о требованиях пожарной безопасности [1]. Определено пять степеней огнестойкости зданий, для каждой из которых существуют требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций, они представлены в таблице 1 [1, 10]. Степень огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков должна устанавливаться в зависимости от их этажности, класса функциональной пожарной опасности, площади пожарного отсека и пожарной опасности происходящих в них технологических процессов. Требуемая степень огнестойкости зданий, сооружений устанавливается в проектной документации на объекты капитального строительства и реконструкции [1].

Строительные конструкции классифицируются по огнестойкости для установления возможности их применения в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках определенной степени огнестойкости или для определения степени огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков.

В зависимости от способности сопротивляться воздействию пожара и распространению его опасных факторов в условиях стандартных испытаний, строительные конструкции подразделяются по следующим пределам огнестойкости [13]: 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.

Пределы огнестойкости строительных конструкций определяются в условиях стандартных испытаний. Наступление пределов огнестойкости несущих и ограждающих строительных конструкций в условиях стандартных испытаний или в результате расчетов устанавливается по времени достижения одного или последовательно нескольких из следующих признаков предельных состояний:

- 1) потеря несущей способности (R);
- 2) потеря целостности (E);

3) потеря теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на не обогреваемой поверхности конструкции до предельных значений (I) или достижения предельной величины плотности теплового потока на нормируемом расстоянии от не обогреваемой поверхности конструкции (W).

Пределы огнестойкости строительных конструкций должны определяться в условиях стандартных испытаний по методикам, установленным нормативными документами по пожарной безопасности. Для строительных конструкций пределы огнестойкости и их условные обозначения определяют по ГОСТ [5].

Таблица 1 – Требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций

Степень огнестойкости здания	Предел огнестойкости строительных конструкций, не менее						
	Несущие элементы здания	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные, (в том числе чердачные и над подвалами)	Элементы бесчердачных покрытий		Лестничные клетки	
				Настилы (в том числе с утеплителем)	Фермы, балки, прогоны	Внутренние стены	Марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	Не нормируется						

Пределы огнестойкости строительных конструкций, аналогичных по форме, материалам, конструктивному исполнению строительным конструкциям, прошедшим огневые испытания, могут определяться расчетно-аналитическим методом, установленным нормативными документами по пожарной безопасности.

Для конструкций, защищенных огнезащитными покрытиями и испытываемых без нагрузок, предельным состоянием будет достижение критической температуры материала конструкции [5].

1.3 Способы повышения пределов огнестойкости металлических конструкций

Выше отмечалось, что металлические конструкции обладают пределом огнестойкости. Основным критерием для решения вопроса о необходимости проведения мероприятий по огнезащите металлической конструкции является выполнение следующего условия:

$$P_{\text{ф}} < P_{\text{норм}}, \quad (1)$$

где $P_{\text{ф}}$ – фактический предел огнестойкости конструкций;

$P_{\text{норм}}$ – нормативный предел огнестойкости конструкций.

Если данное условие выполняется, это является обоснованием для проведения огнезащиты металлических конструкций.

Огнезащита – технические мероприятия, направленные на повышение огнестойкости и (или) снижение пожарной опасности зданий, сооружений, строительных конструкций [8].

Средство огнезащиты – огнезащитный состав или материал, обладающий огнезащитной эффективностью и предназначенный для огнезащиты различных объектов [8].

Огнезащитное покрытие – слой, полученный в результате нанесения (монтажа) средства огнезащиты на поверхность объекта огнезащиты [8].

Огнезащитная эффективность – показатель эффективности средства огнезащиты, который характеризуется временем в минутах от начала огневого испытания до достижения критической температуры (500 °С) стандартным образцом стальной конструкции с огнезащитным покрытием и определяется методом, изложенным в разделе 5 ГОСТ 53295 – 2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности» [8].

Огнезащита решает две задачи:

1. Путем повышения предела огнестойкости строительных конструкций повышает устойчивость здания при пожаре;

2. За счет уменьшения горючести материалов и распространению пламени по их поверхности сокращает распространение и развитие пожара в сооружениях [14].

Выбор метода огнезащиты металлической конструкции зависит от многих факторов: величины требуемого предела огнестойкости конструкции, конфигурации металлической конструкции (колонны, стойки, ригели, балки), вида нагрузки, действующей на конструкцию (статическая, динамическая), ограничений по весу огнезащитного покрытия, условий эксплуатации и производства работ по огнезащите (сухие, мокрые, агрессивные процессы), увеличении нагрузки на конструкцию за счет огнезащиты, эстетических требований и др. Также при проектировании огнезащиты учитывается срок службы огнезащитного покрытия, возможность его восстановления и ремонта [37].

Во время пожара огнезащитное средство в зависимости от вида выполняют различные защитные свойства: являются защитным негорючим слоем на поверхности материалов, поглощают тепло в результате разложения, выделяют ингибиторные газы, высвобождают воду, ускоряют образование коксового слоя на поверхности материала. Таким образом, огнезащитное средство путем теплоизоляции сохраняют прочностные характеристики металла, и за счет снижения температуры горения и выделения газов (ингибиторов) препятствуют распространению огня [18].

На основе изучения огнезащитных покрытий для металлических конструкций и проведенного патентного анализа, предложена классификация огнезащитных средств для металлических конструкций:

1. По характеру условий эксплуатации огнезащитного средства:

1) в закрытом помещении (ограничена температура и влажность воздуха помещений, отсутствует агрессивная среда);

2) на открытом воздухе (широкий диапазон температуры и влажности среды, устойчивость к УФ излучению и осадкам);

3) в специальных условиях (устойчивость к агрессивным средам: кислоты, щелочи, масла, бензин и др.);

4) универсальные.

2. По характеру поведения огнезащитного средства во время пожара: невспучивающиеся и вспучивающиеся.

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]. 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, 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.

3. По толщине огнезащитного покрытия:

1) тонкослойное огнезащитное покрытие (вспучивающееся покрытие, краска). Способ огнезащиты строительных конструкций основан на нанесении специальных лакокрасочных составов с толщиной сухого слоя не превышающей 3 мм, увеличивающих ее многократно при нагревании;

2) Конструктивная огнезащита. Способ огнезащиты основан на создании теплоизоляционного слоя средства огнезащиты. К конструктивной огнезащите относятся толстослойные напыляемые составы, огнезащитные обмазки, штукатурки, облицовка плитными, листовыми и другими огнезащитными материалами, в том числе на каркасе, с воздушными прослойками, а также

комбинации данных материалов, в том числе с тонкослойными вспучивающимися покрытиями;

3) Комбинированный способ огнезащиты. Сочетания различных способов огнезащитной обработки [13].

Огнезащитная эффективность средств огнезащиты для стальных конструкций в зависимости от наступления предельного состояния подразделяется на 7 групп и составляет не менее 150 мин для 1-й группы; 120 мин – для 2-й группы; 90 мин для 3-й группы; 60 мин – для 4-й группы; 45 мин – для 5-й группы; 30 мин – для 6-й группы и 15 мин – для 7-й группы [8].

Современная база данных, которую ведет ВНИИПО МЧС России, насчитывает более 300 наименований различных средств огнезащиты. Каждый способ огнезащиты имеет свои преимущества и недостатки, они приведены в таблице 2.

Таблица 2 Преимущества и недостатки применяемых способов огнезащиты строительных конструкций

Способ огнезащиты	Преимущества способа огнезащиты	Недостатки способа огнезащиты
Обетонирование, оштукатуривание, обкладка кирпичом	<ol style="list-style-type: none"> 1. Относительно низкая стоимость материалов. 2. Долговечность. 3. Доступность. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Большая масса. 2. Необходимость применения стальной сетки и (или) анкеровки. 3. Сложность проведения работ на высоте. 4. Высокая трудоемкость. 5. Невозможность защиты труднодоступных мест
Установка плит из пористых или волокнистых материалов	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкий уровень массы. 2. Повышенная вибростойкость и долговечность за счет механического крепления к конструкции. 3. Технологичность и относительно низкая трудоемкость. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Большой уровень требуемых толщин огнезащиты. 2. Высокий уровень паропроницаемости. 4. Возможно возникновения очагов коррозии под укрывным слоем. 3. Невозможность защиты труднодоступных мест конструкции. 4. Сложность проведения работ на высоте
Применение составов на основе жидкого стекла	<ol style="list-style-type: none"> 1. Относительно низкая трудоемкость 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Низкая вибростойкость покрытия при больших количествах слоев. 2. Трудность обеспечения и контроля заданных толщин покрытия. 3. Большая по времени продолжительность нанесения и сушки покрытия. 4. Невозможность параллельного проведения других работ. 5. Большие технологические потери при нанесении.

Окончание таблицы 2

Способ огнезащиты	Преимущества способа огнезащиты	Недостатки способа огнезащиты
Применение огнезащитных красок вспучивающегося типа (тонкослойные покрытия)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Относительно низкая трудоемкость. 2. Малая толщина покрытия. 3. Возможность нанесения валиком, кистью, распылением. 4. Возможность защиты труднодоступных мест металлические конструкции. 5. Возможность минимизировать технологические потери. 6. Не требует специальной подготовки персонала. 7. Имеет не только огнезащитные, но и декоративные свойства 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ограничение области применения согласно требованиям нормативной документации по пожарной безопасности. 2. Требуется постоянный контроль толщины покрытия

Основными компонентами средств огнезащиты являются:

а) термостойкие заполнители:

— вермикулит вспученный и невспученный (сырье);

— перлит вспученный и невспученный (сырье);

— керамзит;

— минеральные волокна из базальта, а также каолиновые, кремнеземистые и кварцевые волокна;

б) неорганические вяжущие вещества (воздушные, гидравлические и кислотоупорные):

— жидкое стекло натриевого;

— природный двухводный гипс и природный ангидрит;

— портландцемент;

— глиноземистый цемент;

— фосфатные вяжущие (растворы фосфатов и фосфорных кислот);

в) органические (полимерные) связующие:

— меламиноформальдегидная смола;

— аминосмолы;

— эпоксидные смолы в смеси с аминосмолами и др.;

— латексы сополимеров хлористого винила с винилиденхлоридом, бутадиена со стиролом и др.;

г) специальные добавки, усиливающие огнезащитную способность композиции, повышающие технологичность огнезащитного состава, увеличивающие прочность, адгезию и долговечность огнезащиты [36].

1.4 Методы по определению влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций

Как показывает практика, многие конструкции эксплуатируются в условиях воздействия на них повышенной влажности, атмосферных осадков, пониженных и повышенных температур, ультрафиолетового излучения, агрессивной химической среды. Перечисленные факторы могут оказывать негативное влияние на стойкость огнезащитных покрытий и снижать их огнезащитную эффективность.

Актуальность проблемы состоит в том, что даже толстослойные, например, акрилатные покрытия (толщиной 2 мм и более), прекрасно работающие внутри сооружений, будучи вынесенными из помещений в открытую атмосферу быстро утрачивают огнезащитную эффективность, в то время как огнезащита многих технических сооружений снаружи еще более востребована, нежели внутренняя защита [50].

Детальное обсуждение этого вопроса содержится в работе Т. Кузнецовой [25], где рассмотрено влияние условий эксплуатации и процесса естественного старения на прочностные и огнезащитные свойства интумесцентного покрытия «Укртерм М2». Проведенные эксперименты показали, что увеличивая свои прочностные свойства без видимых изменений внешнего вида, массы и толщины, покрытие «Укртерм М2» при экспозиции в климатических условиях морской стационарной платформы за 15 месяцев практически полностью теряет свои огнезащитные свойства, о чем свидетельствует снижение коэффициента вспучивания с 28 до 5.

Этот факт является вполне объяснимым, поскольку неустойчивость покрытий интумесцентного типа к воздействию влаги известна и вполне объяснима. Во влажных условиях происходит вымывание из покрытия водорастворимых

компонентов, что приводит к дисбалансу рецептуры, а, соответственно, и к нарушению механизмов ожидаемых химических процессов при воздействии температуры. В работе [25] содержатся данные, которые ставят под сомнения длительные сроки эксплуатации интумесцентных покрытий даже при условии эксплуатации в самых благоприятных условиях. Коэффициент вспучивания контрольных образцов, которые хранились в помещении без доступа света при температуре 20 °С и влажности воздуха, не превышающей 80%, снизился за 15 месяцев в 3 раза [42].

В процессе эксплуатации огнезащитных покрытий неизбежно происходит их разрушение, которое связано с протеканием в пленках необратимых химических и физических процессов под влиянием внешних и внутренних факторов. Внешние признаки разрушения покрытий – растрескивание, отслаивание, потеря глянца, изменение цвета и т.д. При старении изменяются практически все свойства покрытий: механические, химические, электрические, оптические и др. На определенной стадии старения покрытие перестает выполнять свои защитные функции и требуется его замена. Поэтому проблема долговечности имеет не только научно-технический интерес, но и большое экономическое значение [26].

Кислород воздуха, теплосмены, вода, ультрафиолетовое излучение и другие факторы обуславливают атмосферное старение. Разрушение покрытий в атмосферных условиях происходит быстрее примерно в 50 раз, чем в закрытом помещении. Основные причины разрушения покрытий – фотохимические процессы, инициируемые солнечным светом, а также процессы окислительной и гидролитической деструкции, происходящие под влиянием кислорода, озона и содержащейся в воздухе воды. Чем выше интенсивность солнечной радиации, влажность воздуха и скорость ветра, тем с большей разрушительной силой происходит процесс старения.

Чем выше химическая стойкость пленкообразователя и чем стабильнее его структура в покрытии, тем менее оно подвержено внешним изменениям. Поэтому изучение процесса старения покрытий общего назначения, как правило,

производится в определенных условиях под действием отдельных факторов [23, 41].

Разрушение покрытий под действием солнечного света в начальной стадии старения обусловлено фотоокислительной деструкцией. В процессе фотоокисления покрытий образуются жидкие и газообразные продукты деструкции, что нарушает структуру покрытия и может привести к уменьшению огнезащитной эффективности.

Старение покрытий под действием повышенных, отрицательных и знакопеременных температур связано с термической деструкцией пленкообразователя с процессами структурообразования. Повышенные температуры приводят к термодеструкции полимера, а также изменению структуры покрытий за счет улетучивания остаточного растворителя, пластификатора и других веществ, входящих в лакокрасочную систему. При циклическом воздействии знакопеременных температур возможно возникновение микротрещин.

На огнезащитные покрытия в процессе эксплуатации воздействуют главным образом кислород и влага воздуха. Агрессивными средами также могут быть кислоты, щелочи и другие вещества, влияние которых на покрытие носит специфический характер. К физически агрессивным средам отнесены вода, растворители, масла и другие соединения, вызывающие обратимые изменения полимера, которые не сопровождаются разрушением химических связей основных полимерных цепей. Действие таких агентов приводит к набуханию покрытия и появлению вздутий и пузырей на его поверхности.

К химически агрессивным средам относятся кислород воздуха, неорганические и органические кислоты, основания, водные растворы солей. Эти агенты вызывают необратимые изменения материала покрытия, которые сопровождаются химическими реакциями и изменением структуры, приводящими к разрушению покрытий.

В основном изучены химические процессы, связанные с окислением пленкообразователя при формировании покрытий – окислительной деструкцией.

Особенно эффективно она протекает в атмосферных условиях, этому способствует воздействие солнечного излучения [33].

Диффузия и растворимость кислорода в пленке, наличие в ней реакционноспособных групп – основные факторы, обуславливающие старение (окисление) покрытий под действием кислорода. Таким образом, отсутствие функциональных групп создает благоприятные условия для стойкости пленок. На химической стойкости полимерных пленок сказываются и структурные факторы. Практика показывает, что независимо от характера среды наибольшей химической стойкостью обладают покрытия на основе кристаллических и пространственносшитых аморфных полимеров.

Метод испытания, проводимый при сертификации огнезащитных средств для металла

В соответствии с ФЗ № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (ст. 145 п.4; ст.150) все средства огнезащиты, представленные на рынке, подлежат обязательной сертификации. Проблема заключается том что, при сертификации средств огнезащиты проводятся лишь испытания на огнезащитную эффективность покрытия. Данное испытание для средств огнезащиты стальных конструкций проводится по ГОСТ [8].

При данном испытании оценивается способность образца, покрытого огнезащитным средством, сопротивляться огню, сохранять температуру ниже критической (500 °С). Испытание проводится на образце стальной колонне двутаврового сечения высотой 1700 мм, покрытой огнезащитным средством в установке для огневых испытаний малогабаритных образцов стержневых конструкций. На поверхности образца и в печи установки расставляются термоэлектрические преобразователи (термопары). Системой подачи топлива и вентиляции регулируется температурный режим в печи. С помощью системы измерений проводится измерение температуры печи и образца, также в печи предусмотрено устройство для проведение фото- и видеосъемки. В конце испытания фиксируется время наступления предельного состояния образца.

Статьей 150 ФЗ № 123 [1] установлено, какие характеристики должны быть отражены в сертификате соответствия огнезащитных средств:

- 1) наименования средств огнезащиты;
- 2) значение огнезащитной эффективности, установленное при испытаниях;
- 3) виды, марки, толщина слоев грунтовых, декоративных или атмосфероустойчивых покрытий, используемых в комбинации с данными средствами огнезащиты при сертификационных испытаниях;
- 4) толщина огнезащитного покрытия средств огнезащиты для установленной огнезащитной эффективности.

Из выше перечисленных нет характеристики, которая бы указывала на эксплуатационные условия использования данной огнезащиты.

Например, в сертификатах соответствия на огнезащитные краски для металла производства «ОГНЕЗА» прописывается, что продукция изготовлена по ТУ, соответствует требованиям ФЗ № 123 [1] и ГОСТ [8]. Приводятся сведения по огнезащитной эффективности, группе горючести, токсичности, дымообразующей способности, воспламеняемости [34]. Информации по климатической устойчивости и устойчивости к агрессивным средам в данных сертификатах нет.

Для сравнения, средства огнезащиты древесины при сертификации проходят помимо испытания на огнезащитную эффективность дополнительно испытание на устойчивость к старению по ГОСТ [7]. Сущность испытания заключается в определении сохранения огнезащитной эффективности нанесенного на образцы древесины огнезащитного средства после воздействия на образцы колебаний температуры и влажности в заданной последовательности.

Таким образом, испытания, проводимые при сертификации средств огнезащиты для металла, позволяют оценивать только степень огнестойкости обработанного огнезащитой образца в лабораторных условиях без учета воздействия агрессивной среды и атмосферы.

Методы испытаний огнезащитных средств используемых разработчиками

Проведенный анализ патентных исследований показал, что большинство патентов на атмосфероустойчивые, химически устойчивые огнезащитные

средства не содержат информацию о том, по какой методике авторы патентов проводили испытания на климатическую и химическую устойчивость, что ставит под сомнения факт проведения таких испытаний (например, патент RU № 2415896, патент RU № 2521999, патент RU № 2148066).

Отдельно хочется выделить патенты, в которых приводятся ссылки на методики, по которым проводились испытания огнезащиты. Например, в патенте RU № 902450 на огнезащитный вспучивающийся состав содержится краткое описание метода определения влагостойкости и стойкости к агрессивным средам. Покрытие оценивали по внешнему виду после 30 суток выдержки соответственно в воде и парах 10%-ного раствора кислот. Однако авторы не ссылаются на нормативную документацию, в соответствии с которой было проведено испытание [16].

Авторы защитного покрытия, предназначенного для защиты металла, дерева, бумаги и пластика (патент RU № 2131899), определяли водостойкость по ГОСТ [4].

В патенте RU № 2313548 авторы заявляют срок службы покрытия не менее 10 лет при эксплуатации под навесом и в неотапливаемых помещениях, определяя показатели на стойкость к воздействию климатических факторов по ГОСТ [9].

Огнезащитная краска НЕМРАСКОРЕ ONE FD 43601 испытывалась на воздействие внешней среды по ЕТАG-018 тип X (атмосферное воздействие).

Данные факты указывают на отсутствие унифицированной методики определения климатической и химической устойчивости огнезащитных средств по металлу.

Методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов по ГОСТ 9.401-91

Для огнезащитных средств металла существует основополагающий ГОСТ [8], который содержит метод испытания огнезащитной эффективности, который проводят при сертификации средств огнезащиты. Выше отмечалось, что в данном ГОСТ отсутствует методика на определение устойчивости покрытия к эксплуатационным условиям (климатической и химической устойчивости).

Каких-либо других нормативных документов содержащих данные методики и используемых при сертификации не существует. Однако для разработчиков огнезащитного средства существует требование, указывать в технической документации на огнезащитные средства информацию о гарантийном сроке и условиях эксплуатации огнезащитного средства. Некоторые разработчики ввиду отсутствия других методов используют методы по ГОСТ [9] .

В ГОСТ [9] предусмотрено несколько методов исследования покрытий, которые отличаются количеством воздействующих факторов, их периодичностью и уровнем воздействия. Выбор метода зависит от требуемых климатических условий дальнейшей эксплуатации покрытий. При проведении испытаний по ГОСТ [9] используется следующее оборудование: камера холода, камера соляного тумана, камера влаги, аппарат искусственной погоды, камера солнечной радиации, камера сернистого газа, термокамера, эксикаторы.

После проведения ускоренных испытаний образцы подвергаются исследованию по методам оценки адгезии по ГОСТ [3] и по методам оценки внешнего вида по ГОСТ [10]. В результате, образцам выставляются баллы, по которым можно сделать заключение об устойчивости покрытия.

Был проведен анализ, устанавливающий некорректность использования данных методов применительно к огнезащитным средствам для металла:

1. Из названия можно видеть, что ГОСТ [9] предназначен для лакокрасочных покрытий. Огнезащитные покрытия сложно назвать лакокрасочными покрытиями, потому что они также бывают в виде паст, обмазок, плит. В системе ГОСТ (ЕСЗКС) в классификации лаков и красок огнезащитные краски не выделены как отдельный вид лаков и красок.

2. Устойчивость покрытия после климатических испытаний по ГОСТ [9] определяется на основе результатов адгезии и внешнего покрытия. Эти показатели не гарантируют сохранение огнезащитной эффективности покрытия.

Таким образом, ГОСТ [9] не предназначен для огнезащитных средств и не предусматривает оценивание сохранения огнезащитных свойств покрытий для металлических конструкций.

Оценка допустимого срока эксплуатации тонкослойных огнезащитных покрытий в различных климатических условиях. Методика, ВНИИПО

Методика [30] разработана ФГБУ ВНИИПО МЧС России, распространяется на огнезащитные покрытия, подлежащие испытаниям на пожарную опасность или огнезащитную эффективность и/или испытаниям в целях установления соответствия Техническому регламенту о требованиях пожарной безопасности, а также добровольной сертификации в области пожарной безопасности. Методика устанавливает порядок, правила и методы испытаний и исследований. Область применения Методики – установление степени сохранения огнезащитных свойств покрытий при их последующей эксплуатации на объектах в различных климатических условиях.

В методике указывается, что искусственное ускоренное старение образцов покрытий проводится в соответствии с ГОСТ [9]. После ускоренного старения оценивается сохранение огнезащитных свойств по методу определения теплоизолирующих свойств огнезащитных покрытий по металлу [28], либо методом термического анализа.

Метод определения теплоизолирующих свойств огнезащитных покрытий заключается в определении времени прогрева необогреваемой стороны образца до критической температуры (для стали 500 °С) в процессе испытаний. В качестве нагревательных элементов используются ТЭН.

Для оценки огнезащитной эффективности ОЗП используются следующие методы термического анализа:

- термогравиметрический (ТГ);
- термогравиметрический по производной (ДТГ);
- дифференциально-термический (ДТА);
- дифференциально-сканирующая калориметрия (ДСК).

Программное обеспечение должно представлять зависимость «сигнал – температура» или «сигнал – время» в виде кривой. Сущность методики заключается в сравнении значимых термоаналитических характеристик (идентификационных параметров) образцов покрытий (объектов с огнезащитной

пропиткой) с «эталонными» данными. Под «эталонными» понимаются данные, представленные в технической документации на производство проверяемых огнезащитных составов или полученные при первичных испытаниях (сертификационных испытаниях) образцов огнезащитных веществ и материалов. Сравнению подлежат термоаналитические характеристики и параметры, полученные только при полностью одинаковых условиях на приборах одного 72 класса точности. Упрощенно говоря, каждый материал имеет набор термического анализа кривых и параметров, характерных только для его рецептуры. Экспериментально установлено, что любые, даже незначительные, изменения в рецептуре материала влекут за собой изменения в термическом анализе кривых и идентификационных характеристиках. На этом и основано применение экспериментального метода термического анализа для идентификации материалов при испытаниях на пожарную опасность (огнезащитную эффективность) и контроля качества огнезащитных работ [22]. В научной литературе многие эксперты заявляют, что оценить огнезащитную эффективность исключительно методами термического анализа невозможно, но можно провести идентификацию огнезащитного средства [39].

Недостатки методики [30]:

1. Методика не имеет обязательного характера, не используется при сертификации, нет в правовых системах, на сайте ВНИИПО платно.
2. Сохранение огнезащитной эффективности определяется не по методу установленным обязательным к исполнению ГОСТ [8], эффективность которых некоторыми экспертами ставится под сомнение.
3. Испытательное оборудование (климатические камеры), не позволяет проводить ускоренные испытания образцов металлических конструкций, предусмотренных для определения параметров огнестойкости. Так как огнезащитную эффективность проводят на образце двутавра длиной 1700 мм, который в два раза превышает размеры климатических камер.

Нужно сказать, что ГОСТ [9] возможно использовать для эксплуатационных испытаний, если затем огнезащитную эффективность проводить по контрольному

методу ГОСТ [8] – но этот метод рекомендуемый для контроля в процессе производства.

Таким образом, методы испытаний эксплуатационных факторов указанных в методике [30] проводятся по ГОСТ [9], который по приведенным выше доводам не предназначен для огнезащитных средств. Методика [30] имеет ряд недостатков, самый главный из которых, невозможность исследования образцов соответствующих размерам ГОСТ [8].

ETAG 018. Fire protective products

В странах общего европейского рынка товары и услуги должны отвечать требованиям соответствующей директивы – законодательному инструменту, который устанавливает обязательные требования к продукции в процессе проектирования, изготовления, реализации и утилизации. Для того чтобы показать соответствие продукции основным требованиям директив, на изделия наносится специальная маркировка (CE – маркировка), которая показывает, что данная продукция может беспрепятственно распространяться на внутреннем рынке Европейского содружества.

Методики испытаний и оценки эксплуатационных характеристик строительных изделий, на которых основываются заключения органов по подтверждению соответствия, базируются на основных положениях и рекомендациях ETAG (нормы европейского технического свидетельства), выдаваемых EOTA (Европейской организацией по технической аттестации). EOTA включает уполномоченные организации (Approval Bodies) на выпуск Европейских технических одобрений (European Technical Approvals – ETAs), подтверждаемых государствами – членами ЕС и государствами – членами, которые входят в Европейскую экономическую зону.

Рабочей группой EOTA 11.01/04 «Fire Protective Products» выпущены руководства ETA для средств огнезащиты строительных конструкций, которые делятся на следующие части:

1) ETAG 018. Fire protective products. Part 1: General («Средства огнезащиты. Часть 1: Общие требования»);

2) ETAG 018. Fire protective products. Part 2: Reactive Coatings («Средства огнезащиты. Часть 2: Реактивные покрытия»);

3) ETAG 018. Fire protective products. Part 3: Renderings and kits based on Renderings intended to fire resisting applications («Средства огнезащиты. Часть 3: Обмазки и штукатурные системы, предназначенные для повышения огнестойкости»);

4) ETAG No 018. Fire protective products. Part 4: Fire Protective Board, Slab and Mat Products and Kits («Средства огнезащиты. Часть 4: Огнезащитная облицовка панелями, плитами, матами и конструкционными системами»).

По условиям эксплуатации вспучивающиеся покрытия делятся на:

Тип X: система реактивного покрытия применяется для всех условий: внутри помещения, под навесом и наружные условия эксплуатации;

Тип Y: система реактивного покрытия для внутренних условий эксплуатации и под навесом, которая включает температуру ниже нуля, но не под открытым дождем и не допускает воздействие УФ – излучения;

Тип Z1: система реактивного покрытия, предназначенная для условий эксплуатации внутри помещения (исключая температуру ниже нуля) с высокой влажностью;

Тип Z2: система реактивного покрытия, предназначенная для внутренних условий (исключая температуру ниже нуля) с классом влажности за исключением Z1.

Соответственно, продукты, которые соответствуют требованиям типа X, отвечают требованиям для всех других типов, что соответствует требованиям для типа Y, также отвечают требованиям для типов Z1 и Z2. Продукты, соответствующие требованиям для типа Z1, также отвечают требованиям для типа Z2.

Возможные факторы старения при сроке эксплуатации и/или долговечности средств огнезащиты определяются с использованием категорий, представленных в документе Руководство EOTA 003 «Assessment of working life of products» («Оценка долговечности продукции») [47].

После выбора категории, учитывающей условия эксплуатации покрытия, проводятся ускоренные испытания по соответствующей категории схеме. Например, испытания на воздействие внешней среды по ЕТАС – 018 тип Х (атмосферное воздействие):

Этап 1: состоит из 112 циклов (эквивалентно 28 дням), включающих 5 часов воздействия УФ – излучения в сухой среде при 50°C ($\pm 3^\circ\text{C}$) с относительной влажностью 10% ($\pm 5\%$) и 1 час орошения водой при 20°C ($\pm 3^\circ\text{C}$)

Этап 2: состоит из трех циклов, когда покрытие подвергалось резкой смене температуры и влажности.

В соответствии с «ЕТАГ – 18 Part 2: Reactive coatings for fire protection of steel elements» после проведения ускоренных испытаний по выбранной схеме определяют предел огнестойкости образца металлические конструкции по стандарту BS476: Part 20: 1987 « Fire tests on building materials and structures. Method for determination of the fire resistance of elements of construction» («Огневые испытания строительных материалов и конструкций. Способ определения огнестойкости элементов конструкции»), который дает однозначный ответ на вопрос: «Какой предел огнестойкости обеспечивает покрытие после воздействия факторов, моделирующих предполагаемые условия эксплуатации?» [47].

Таким образом, европейские средства огнезащиты должны соответствовать положениям ЕТАГ для того чтобы распространяться на внутреннем рынке Европейского содружества. ЕТАГ – это специальные руководства, распространяющиеся только на средства огнезащиты. ЕТАГ предусматривает оценку сохранения огнезащитной эффективности покрытия после воздействия эксплуатационных факторов.

Для более четкого понимания и сравнения методической базы, разработана схема, которая представлена на рисунке 3. В ней представлена нормативная и методическая база по вопросу влияния эксплуатационных факторов на огнезащитные покрытия для металлических конструкций и древесины.

Размеры аппаратов используемых при испытаниях по ГОСТ Р 9.401-91:

- камера солнечной радиации 12КСР-0,4-001. Размеры измерительной плоскости, 740*740 мм;
- камера тепла и холода КХТБ-0,4-65/155. Внутренние размеры, 735*735*735 мм;
- камера соляного тумана КСТ-0,4-015. Внутренние размеры, 820*740*780 мм;
- гидростат типа Г-4 Внутренние размеры камеры, 550*470*480 мм;
- камеры конденсата и сернистого газа. Настольная модель К300. Объем камеры, 300 л;
- сушильный шкаф СНОЛ 3,5.3,5.3,5/3,5-ИМ. Размеры рабочего пространства не менее 350*320*350 мм.

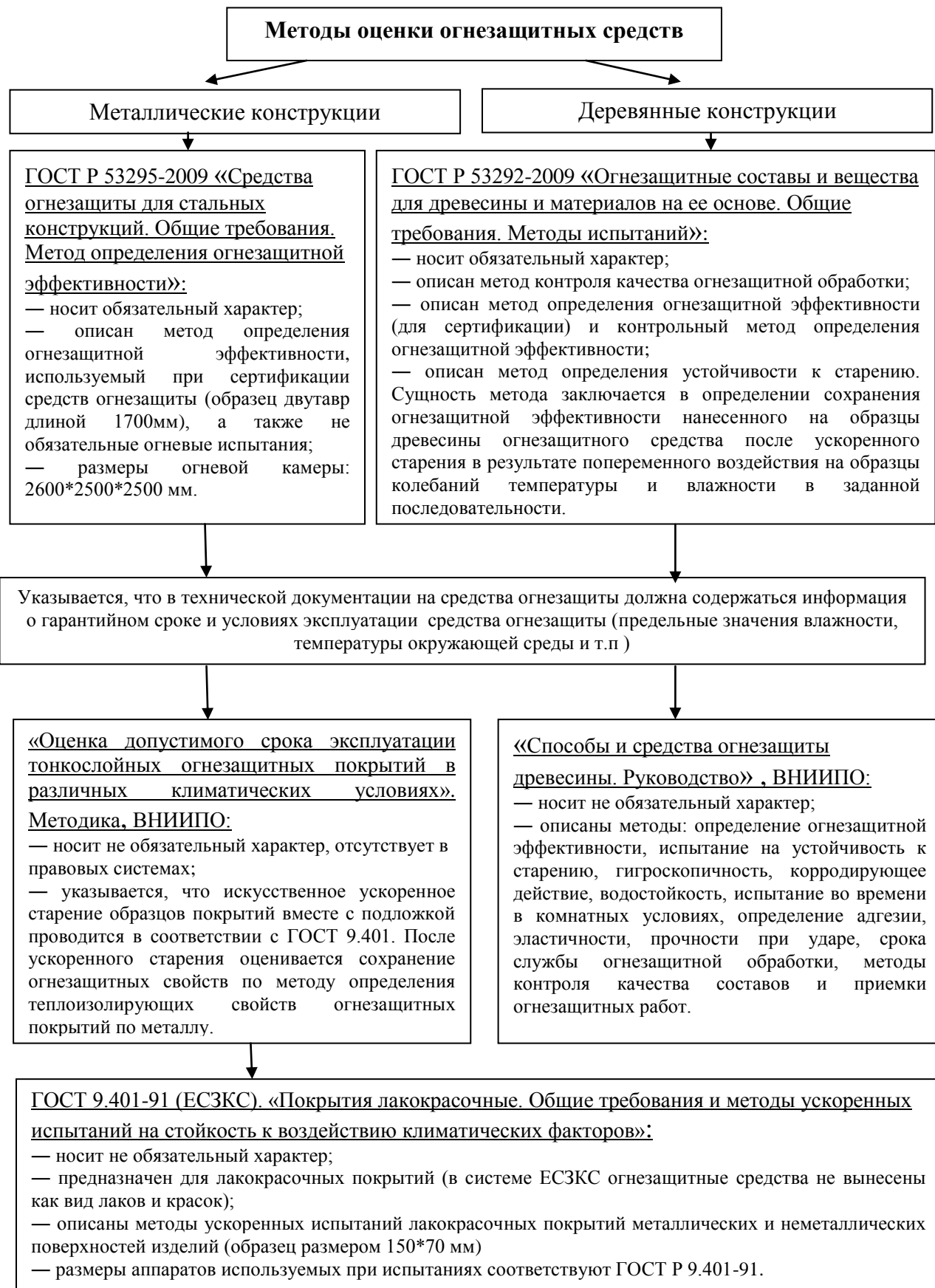


Рисунок 3 – Методы оценки огнезащитных средств для металлических и деревянных конструкций

Вывод по главе 1: на основании литературных данных [21], [48], [20] установлено, что металлические конструкции не устойчивы к воздействию высоких температур и большинство металлических конструкций, используемых в строительстве, не соответствуют требуемым пределам огнестойкости и нуждаются в огнезащите. Существует достаточно много способов огнезащиты металлических конструкций со своими преимуществами и недостатками. Проведенный анализ научной и нормативной литературы показал, что законодательно в России не установлено соответствующих стандартов и методик для оценки влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций. Существует необходимость разработки единого государственного стандарта для оценки влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе выполнения диссертационной работы были использованы следующие методы исследования: аналитический, экспериментальный, обобщение.

2.1 Объекты исследования

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

Таблица 3 – 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 (патент № 2148066)	Состав предназначен для защиты металлических, деревянных, кирпичных, бетонных и пластмассовых конструкций с требованиями по огнестойкости не менее 45 минут	Покрытие обладает атмосферостойкостью
№ 2	Огнезащитный состав на основе ортофосфорной кислоты с добавлением серпентинита.	Состав предназначен для защиты металлических, деревянных и пенополистирольных конструкций	Условия эксплуатации выявляются в данной работе
№ 2	Огнезащитная вспучивающаяся водно-дисперсионная краска «Гефест – М»	Краска предназначена для защиты стальных конструкций с требованиями по огнестойкости не менее 45 минут	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).

По результатам патентного поиска установлено, что наиболее распространенными и доступными являются покрытия на основе жидкого стекла. Поэтому для исследования выбран огнезащитный состав (Патент № 2148066) на основе жидкого натриевого стекла – № 1. Опытный состав, разработанный кафедрой «Строительные материалы и изделия» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» – №2. Огнезащитная краска «Гефест – М» по металлу – № 3.

Все три состава не исследовались на эксплуатационную устойчивость. В патенте на огнезащитный состав № 1 указывается, что покрытие обладает атмосферостойкостью, однако не описывается методика ее оценки. Краска «Гефест – М» имеет Сертификат пожарной безопасности №ССПБ.RU.ОП019.Н00574. Однако, как было отмечено выше, сертификат лишь дает гарантию огнезащитной эффективности в лабораторных условиях, без учета воздействия условий эксплуатации.

В состав огнезащитного средства № 1 входят следующие компоненты:

жидкое натриевое стекло – представляет собой щелочной натриевый силикат переменного химического состава, выраженного общей формулой $R_2O \cdot nSiO_2$, где R_2 обозначает Na_2 [40]. Жидкое натриевое стекло используют как связующий компонент для изготовления жаропрочных материалов, а также для склеивания и связки строительных материалов. Жидкое натриевое 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 [24].

Вермикулит – это минерал со слоистой структурой. Входит он в группу гидрослюдов. Минерал, водный силикат Mg, Fe^{3+}, Al с гидроксидом, член группы монтмориллонита-вермикулита. Плавится вермикулит при температуре $1350^{\circ}C$. В составе огнезащитных средств чаще используют вспученный вермикулит, его получают путем нагрева пластин вермикулита, они превращаются в столбики, похожие на червяка или на нить [43].

Кварцевый песок – представляет собой дробленый минерал – кварц. Песок кварцевый очень невосприимчив к атмосферным, химическим и физическим действиям, он не боится 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 [46].

В состав огнезащитного средства № 2 входят следующие компоненты:

серпентин – минеральный компонент, горная порода, породообразующий минерал – серпентин, химический состав $3\text{MgO}\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ [27].

Ортофосфорная кислота (ОФК) – это неорганическая кислота средней силы. Формула ортофосфорной кислоты H_3PO_4 , в данной работе использовали ортофосфорную кислоту 70 % концентрации.

В результате взаимодействия ОФК и серпентиновой горной породы образуется камень, сформированный фосфатами магния различной основности, непрореагировавшим серпентином.

Огнезащитное средство № 3 – водно-дисперсионная краска.

2.2 Метод исследования

В первой главе отмечалось, что в процессе эксплуатации огнезащитных покрытий неизбежно происходит их разрушение. В связи с этим необходимо исследовать этот процесс.

Отличительной чертой российского рынка является наличие большого количества разнообразных составов, которые производятся (или перепродаются) небольшими компаниями, размещающими свои производства в не приспособленных помещениях с использованием оборудования, выработавшего необходимый эксплуатационный ресурс. Как правило, подразделения по контролю качества с соответствующим лабораторно-аналитическим оснащением у них отсутствуют. В данном случае говорить о соответствующем качестве предлагаемой на рынке продукции можно с очень большой долей вероятности. Проведение же испытаний в аккредитованных лабораториях по ГОСТ [9] сложная и дорогостоящая процедура, также выше отмечалось, что данный ГОСТ [9] не предназначен для огнезащитных средств, но за неимением другого стандарта остается единственным применимым в отношении установления климатической устойчивости огнезащитных средств.

Таким образом, выявляется необходимость разработки государственного стандарта для исследования огнезащитных средств на эксплуатационную устойчивость, в которой должна содержаться упрощенная методика для установления данной устойчивости в процессе разработки состава, а также

методика для подтверждения устойчивости при сертификации огнезащитных средств для металлических конструкций.

Исходя из выявленной проблемы, решено исследовать влияние эксплуатационных факторов на эффективность огнезащитных покрытий по металлу на основе руководства ФГБУ ВНИИПО МЧС «Способы и средства огнезащиты древесины. Руководство» [35]. Преимущество методик испытаний содержащихся в руководстве [35] в том, что они простые в исполнении, не требуют сложного оборудования, что удобно для разработчика огнезащитного средства. Испытания по руководству [35] позволяют разработчику в ходе создания огнезащитного средства постоянно испытывать и отслеживать изменение устойчивости огнезащитного средства.

Так как методики испытаний руководства [35] предназначены для испытаний огнезащиты древесины, они были скорректированы для оценки огнезащитных покрытий для металлических конструкций.

В работе исследовалось влияние четырех эксплуатационных факторов: воздействие воды, влаги, теплосмен и агрессивной среды.

Условия проведения эксперимента и параметры оценки влияния эксплуатационных факторов представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Условия проведения эксперимента и параметры оценки влияния эксплуатационных факторов

Воздействие эксплуатационного фактора	Условия проведение эксперимента	Параметр оценки влияния эксплуатационного фактора
Вода	Образцы помещали на 72 ч в эксикатор с водой. В процессе испытания проводили визуальное наблюдение за состоянием огнезащитного покрытия.	1.Целостность огнезащитного покрытия (отсутствие трещин, отслаиваний, вздутий и других разрушений). 2. Потеря массы образца
Агрессивная среда	Образцы помещали в эксикатор с химически активной средой (натрий лимоннокислый трехзамещенный и нашатырный спирт; pH = 10–12) на 30 дней.	
Теплосмены	Образцы помещали в морозильную камеру с T= –15 °C на ночь, утром переносились в сушильный шкаф с T=100 °C на 10 часов. Испытания включали 7 циклов.	

Окончание таблицы 4

Воздействие эксплуатационного фактора	Условия проведение эксперимента	Параметр оценки влияния эксплуатационного фактора
Влажность	Образцы помещали в эксикатор с относительной влажностью воздуха близкой к 100 % и выдерживали в течение 30 суток.	1.Целостность огнезащитного покрытия (отсутствие трещин, отслаиваний, вздутий и других разрушений). 2. Поглощение влаги образцом

Поглощение влаги огнезащитным составом определяли по формуле

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

где B – поглощение влаги образцом, %; B – масса образца после испытания, г;
A – масса образца перед испытанием, г.

Потери массы образца после воздействия воды, теплосмен и агрессивной среды определяли по формуле

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

где B – потери массы образца, г/м²ч; A – масса пластины до испытания, г;
B – масса пластины после испытания, г; П – площадь поверхности пластины, м²;
T – время проведения испытания, ч.

Вывод по главе 2: для исследования влияния эксплуатационных факторов выбраны 3 огнезащитных покрытия, приведена их характеристика и свойства компонентов покрытия. Обоснован выбор методики для проведения испытаний, приведены условия проведения эксперимента и параметры оценки влияния эксплуатационных факторов.

3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА СТОЙКОСТЬ ОГНЕЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ

Задача исследования состоит в экспериментальном установлении влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций, а также установления возможности использования методик руководства [35] для огнезащитных средств для металлических конструкций.

Экспериментальные исследования проводились в лаборатории «Пожаровзрывобезопасность» кафедры «Безопасность жизнедеятельности» ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» на образцах: стали марки Ст3 размером 50*85*4 мм, древесины размером 10*10*76 мм, которые были покрыты тремя огнезащитными средствами: № 1, № 2, № 3.

Экспериментальную часть работы проводили поэтапно:

- 1) Подготовка огнезащитных составов.
- 2) Нанесение на поверхность образцов подготовленных огнезащитных составов.
- 3) Сушка образцов.
- 4) Оценка адгезионных свойств покрытий до физико-химических испытаний
- 5) Испытания образцов на воздействие физико-химических факторов.
- 6) Оценка адгезионных свойств покрытий после физико-химических испытаний.
- 7) Анализ полученных результатов.

3.1 Исследование влияния эксплуатационных физико-химических факторов на стойкость огнезащитных покрытий

Подготовка огнезащитных составов

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 в ручную стеклянной палочкой сухие компоненты, далее добавлялось жидкое стекло. Компоненты состава тщательно и быстро перемешивались.

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.

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

Нанесение на поверхность образцов подготовленных огнезащитных составов

Образцы обрабатывались огнезащитными средствами поверхностным методом нанесения покрытий (как наиболее дешевый и технологичный способ огнезащиты), с помощью малярной кисти.

Огнезащитное средство № 1 и № 2 наносилось на очищенную, обезжиренную уайт-спиритом и сухую поверхность металла без грунта в один слой, так как это предусмотрено авторами патента. Сухие и чистые образцы древесины также покрывались в один слой. Толщина покрытий №1 и № 2 в среднем 4,5 мм и 2 мм.

Огнезащитное средство № 3 наносилось в соответствии с рекомендациями завода изготовителя. Предварительно металлическая пластина очищалась, обезжиривалась уайт-спиритом и покрывалась грунтом ГФ – 021. Спустя 48 часов после высыхания грунта пластины покрывались огнезащитной краской. Для достижения требуемой толщины покрытия в 1,2 мм образец покрывался тонкими слоями 5 раз.

Толщина покрытий измерялась микрометром.

Сушка образцов

Огнезащитное средство № 1 согласно патенту подвергалось сушке не менее 12 часов при комнатной температуре.

Огнезащитное средство № 2 подвергалось сушке не менее 24 часов при комнатной температуре.

Огнезащитное средство № 3 подвергалось сушке не менее 24 часов (каждый слой при комнатной температуре).

Внешний вид образцов, обработанных огнезащитными средствами, представлены на рисунках 4, 5, 6.



а)



б)

Рисунок 4 – Внешний вид образцов, обработанных огнезащитным средством № 1:

а) металл; б) древесина.



а)



б)

Рисунок 5 – Внешний вид образцов, обработанных огнезащитным средством № 2:

а) металл; б) древесина.



Рисунок 6 – Внешний вид образцов металла, обработанных огнезащитным средством № 3

Оценка адгезионных свойств покрытий до физико-химических испытаний

Обязательных требований для проведения оценки адгезии огнезащитных покрытий для металлических конструкций отсутствуют.

Методика [35] предусматривает проведение оценки адгезии огнезащитных покрытий для древесины наряду с другими испытаниями (испытания на воздействия влажности, агрессивной среды и т.д.). В работе адгезия дополнительно оценивалась до и после воздействия физико-химических факторов.

Адгезия – явление взаимодействия на границе раздела между твердой поверхностью и другими материалами за счет молекулярных сил [6].

Количественной характеристикой адгезии является работа адгезии W_a . Качественной характеристикой – адгезионная прочность τ_0 , – сила, необходимая для разрушения адгезионного соединения [15].

Существуют следующие методы проверки адгезии:

- метод отрыва;
- метод отслаивания;
- метод параллельных надрезов;

- метод решетчатых надрезов;
- метод X-образного надреза.

Составы для огнезащиты металлических конструкций необходимо проверять на адгезионные свойства, ведь от качества сцепления огнезащитного материала с защищаемой поверхностью зависит долговечность полученного покрытия. Кроме того, при низких показателях адгезии происходит осыпание теплоизолирующего слоя, снижающее качество огнезащиты металлических конструкций.

Качество сцепления огнезащитного состава с защищаемой поверхностью металлические конструкции зависит от нескольких условий:

- состав вспучивающейся огнезащитной краски,
- подготовка защищаемой поверхности,
- технология нанесения и расход состава,
- условия эксплуатации огнезащитного покрытия [45].

Решающее влияние на величину адгезионной прочности оказывают количество и тип функциональных групп огнезащитного материала, которыми он способен «зацепиться» и «удерживаться» на защищаемой поверхности. Из этого следует, что любое изменение состава покрытия (несоблюдение рецептуры, разбавление на объекте, вымывание антипиренов при неправильной эксплуатации) способно привести к фатальным последствиям. К этим же последствиям приведет и плохая подготовка поверхности металла перед огнезащитной обработкой. Ржавчина, грязь, и старые покрытия препятствуют закреплению образующегося в условиях пожара пенококса. Исходя из вышесказанного, представляется целесообразным внедрить практику: контроль адгезионной прочности исходных огнезащитных покрытий.

Авторские опыты показывают, что толщина сухого слоя практически никак не сказывается на значениях адгезионной прочности. Этот показатель остается наиболее наглядным и информативным. Характер отрыва может быть:

- 1) адгезионным:
 - отрыв от металла;
 - отрыв от грунта;
- 2) когезионным:

- по слою материала;
- по слою финишного покрытия;

3) смешанным: адгезионно-когезионным [44].

Адгезия покрытий оценивалась по ГОСТ [6] методом Х-образного надреза. Основой параметр, по которому подобран именно этот метод – это толщина исследуемого покрытия. В отличие от методов определения адгезии по ГОСТ [3], которые распространяются на покрытия до 200 мкр, метод Х-образного надреза может быть использован на покрытиях любой толщины. Также метод применен в связи с его простотой оборудования и удобностью проведения испытания. Для этого были использованы следующие приспособления:

- однолезвийный режущий инструмент, а именно, канцелярский нож;
- линейка металлическая;
- прозрачная липкая лента, а именно, скотч шириной 50 мм.

Испытания проводились на обработанных и просохших образцах металла и древесины. Х-образные надрезы по возможности выполнялись до окрашиваемой поверхности металла и древесины. Длина каждого надреза не менее 40 мм, угол пересечения надрезов между 30° и 45°. Затем полоску скотча длиной не менее 75 мм помещают на центр Х-образного надреза и разглаживают вдоль острых углов, плотно прижимая к покрытию, и плавно удаляют, держа за свободный конец под углом примерно 60°. Используя приложение А ГОСТ [6] определяют степень разрушения в баллах. Результаты определения адгезии представлены в таблице 5 и на рисунке 7.

Таблица 5 – Оценка адгезии огнезащитных покрытий

Огнезащитное покрытие	Материал образца	Степень разрушения, балл
№ 1	Металл	3
	Древесина	1
№ 2	Металл	5
	Древесина	не удалось сделать надрезы
№ 3	Металл	0

Минимальной адгезией характеризуется огнезащитное покрытие № 2, оцененный в 5 баллов из 5 максимально возможных.

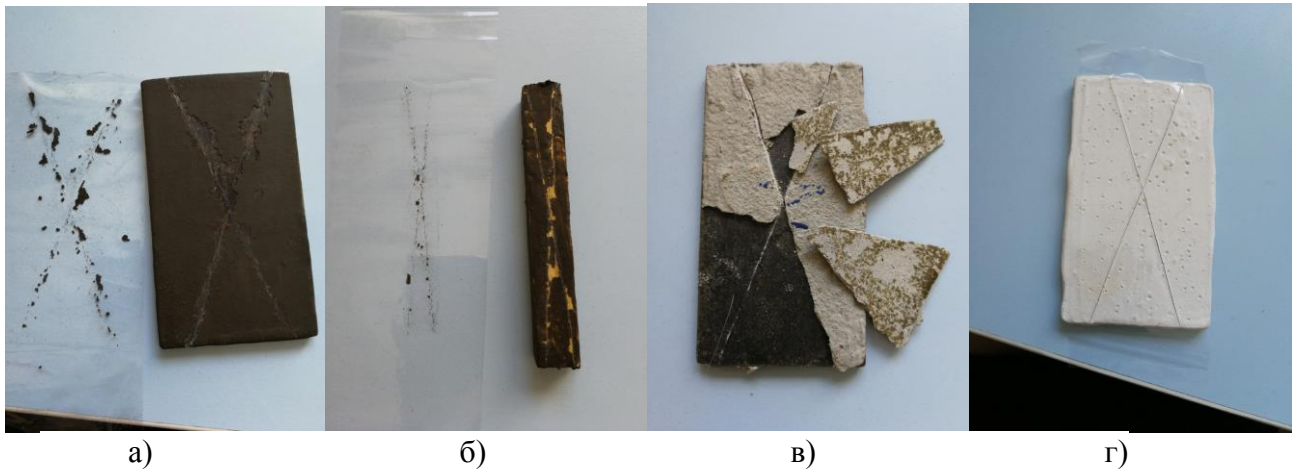


Рисунок 7 – Адгезионные свойства огнезащитных покрытий:
 а) № 1 (металл); б) № 1 (древесина); в) № 2 (металл); г) № 3 (металл).

Определение влияния физико-химических факторов

Образцы подвергались испытанию согласно методикам, описанным во второй главе.

На рисунке 8 представлены фотографии процесса проведения испытаний.

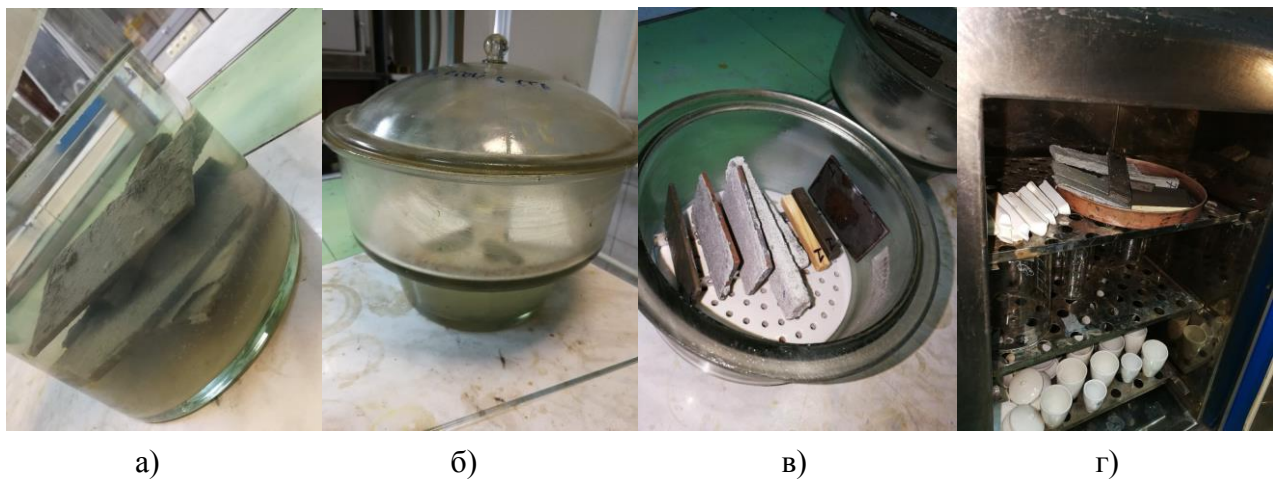


Рисунок 8 – Испытания на воздействие физико-химических факторов:
 а) вода; б) влажность; в) агрессивная среда; г) теплосмены

Результаты воздействия физико-химических факторов на огнезащитные покрытия приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты воздействия физико-химических факторов на огнезащитные покрытия

Огнезащитное покрытие	Воздействие физико-химического фактора	Целостность покрытия	Потеря массы образца, г/м ² ч	Поглощение влаги образцом, %
Металлические образцы				
№ 1	Вода*	Полное растворение	-	-
	Влажность	Частичное отслоение	-	0,75
	Теплосмены	Трещины, осыпание	2,234	-
	Агрессивная среда*	Полное отслоение	-	-
№ 2	Вода*	Полное растворение	-	-
	Влажность	Целое	-	0,537
	Теплосмены	Частичное отслоение	21,01	-
	Агрессивная среда*	Полное отслоение	-	-
№ 3	Вода	Частичное вспучивание	0,05	-
	Влажность	Целое	-	0,882
	Теплосмены	Целое	0,01	-
	Агрессивная среда	Целое	-0,15	-
Образцы древесины				
№ 1	Вода*	Полное растворение	-	-
	Влажность	Вспучивание	-	50,8
	Теплосмены	Трещины, осыпание	2,705	-
	Агрессивная среда	Целое	-4,016	-
№ 2	Вода*	Полное растворение	-	-
	Влажность	Целое	-	12,83
	Теплосмены	Трещины, осыпание	5,341	-
	Агрессивная среда*	Полное отслоение	-	-

* – образцы с полным разрушением покрытия, не участвующие в дальнейшем испытании

Оценка адгезионных свойств покрытий после физико-химических испытаний

На образцах, прошедших испытание на устойчивость к физико-химическим факторам, определяли адгезионные свойства покрытия по ГОСТ [6]. Результаты определения адгезии представлены в таблице 7 и на рисунках 9 – 11.

Таблица 7 – Оценка адгезии огнезащитных покрытий после воздействия физико-химических факторов

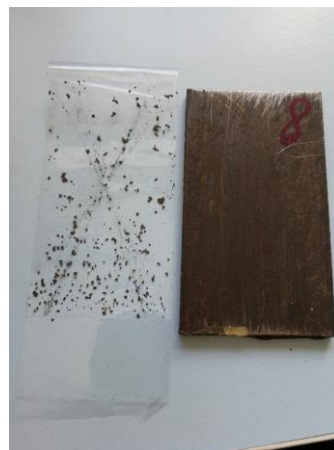
Огнезащитное покрытие	Воздействие физико-химического фактора	Степень разрушения, балл
Металлические образцы		
№ 1	Влажность	5
	Теплосмены	5
№ 2	Влажность	1
	Теплосмены	3

Окончание таблицы 7

Огнезащитное покрытие	Воздействие физико-химического фактора	Степень разрушения, балл
Металлические образцы		
№ 3	Вода	0
	Влажность	0
	Теплосмены	0
	Агрессивная среда	0



а)



б)

Рисунок 9 – Адгезионные свойства огнезащитного покрытия № 1 после воздействия:

а) влажности; б) теплосмен.



Рисунок 10 – Адгезионные свойства огнезащитного покрытия № 2 после воздействия

влажности



а)

б)

в)

г)

Рисунок 11 – Адгезионные свойства огнезащитного покрытия № 3 после воздействия:

а) воды; б) влажности; в) теплосмен; г) агрессивной среды

3.2 Оценка влияния эксплуатационных физико-химических факторов на стойкость огнезащитных покрытий

В результате проведенных исследований установлено:

1. Образцы металла, обработанные огнезащитными средствами № 1 и № 2, показали низкие результаты адгезии до проведения физико-химических испытаний. После проведения физико-химических испытаний образцы металла, обработанные огнезащитным средством № 1 утрачивали полностью свои адгезионные свойства. Образцы металла, обработанные огнезащитным средством № 2 наоборот после воздействия физико-химических факторов, показали лучше результат адгезии, чем до воздействия факторов. Возможно, это связано с некачественной подготовкой поверхности металла перед обработкой огнезащитным средством.

2. На основе визуальных изменений целостности покрытий и оценки адгезии следующие покрытия являются неустойчивыми к эксплуатационным факторам:

— Огнезащитное средство № 1 на металле не устойчиво к воздействию воды и агрессивной среде (полное разрушение при физико-химическом испытании), влажности и теплосменам (5 группа адгезии). Огнезащитное средство № 1 на древесине не устойчиво к воздействию воды (полное разрушение при физико-химическом испытании).

— Огнезащитное средство № 2 на металле не устойчиво к воздействию воды, агрессивной среде (полное разрушение при физико-химическом испытании).
Огнезащитное средство № 2 на древесине не устойчиво к воздействию воды и агрессивной среде (полное разрушение при физико-химическом испытании).

— Огнезащитное средство № 3 устойчиво ко всем воздействиям.

Вывод по главе 3: проведено исследование воздействия физико-химических факторов на стойкость огнезащитных покрытий. Установлено, что физико-химические факторы влияют на стойкость огнезащитных покрытий, снижается их адгезия к металлу, нарушается целостность покрытия, меняется масса образцов.

4 АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ НА ОГНЕЗАЩИТНУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОКРЫТИЙ

Методикой [35] предусмотрено проведение испытаний на установление огнезащитной эффективности покрытия. Оно проводится наряду с другими эксплуатационными испытаниями (воздействие влажности, агрессивной среды и т.д.) Считаем, что целесообразнее проводить испытание на установление огнезащитной эффективности до и после воздействия эксплуатационных факторов. Затем сравнить влияние этих факторов на изменение огнезащитной эффективности покрытий.

4.1 Оценка огнезащитной эффективности

Экспериментальную часть работы проводили поэтапно:

- 1) Подготовка образцов.
- 2) Огневое испытание образцов.
- 3) Оценка результатов огневых испытаний: визуальная оценка устойчивости покрытия при огневом испытании, оценка огнезащитной эффективности покрытий.
- 4) Анализ полученных результатов.

Подготовка образцов

Для огневого испытания использовались следующие образцы:

1. Образцы древесины и металла без покрытия.
2. Образцы древесины и металла покрытые огнезащитными средствами № 1, № 2, № 3 не подвергавшиеся эксплуатационным испытаниям.
3. Образцы древесины и металла покрытые огнезащитными средствами № 1, № 2, № 3 прошедшие эксплуатационные испытания.

Перед огневым испытанием все образцы находились в нормальных условиях не менее 7 дней.

Огневое испытание образцов

Для огневого испытания образцов металла использовались следующие средства измерения, испытательное оборудование:

- экспериментальная установка для теплофизических исследований и испытаний малогабаритных фрагментов плоских конструкций;
- газовая горелка;
- секундомер.

Испытания образцов металла проводились на экспериментальной установке для теплофизических исследований и испытаний малогабаритных фрагментов плоских конструкций. Основные элементы экспериментальной установки: печь, выложенная огнеупорными кирпичами, термопары, изготовленные из провода диаметром не более 0,75 мм электронный преобразователь температуры, газовая горелка. Данная установка представляет упрощенную версию, но аналогичную по возможностям установку по ГОСТ [8] для проведения контрольного испытания средств огнезащиты. Фотографии установок для проведения огневых испытаний представлены на рисунке 12.



а)



б)

Рисунок 12 – Установки для проведения огневых испытаний образцов:

а) металла; б) древесины

Также в работе принималось упрощение по размеру образца металла, однако считаем, что на достоверность данных это не повлияло, так как по ГОСТ [8] используется стальная пластина размером 600*600*5 мм с допустимыми отклонениями по ширине и длине стальной пластины ± 5 мм, а по толщине $\pm 0,5$ мм и используется 3 термопары, которые устанавливаются в количестве трех

штук, одна в центре, две другие по диагонали на расстоянии (200 ± 5) мм от центра. В нашем случае образец по ширине меньше в 12 раз, по длине в 7 раз, и используется 1 термопара, которой достаточно для образца данного размера. Также принимается упрощение, что термопары не устанавливались методом зачеканивания, а непосредственно соприкасались с образцом [17].

В ходе испытания на секундомере засекалось время с момента подачи газа в печь до наступления предельного состояния образца (достижение температуры образца равной $500\text{ }^{\circ}\text{C}$). Температура образца фиксировалась непрерывно, каждые 10 секунд. Также фиксировались визуальные изменения образца (вспучивание, обугливание, отслоение, выделение дыма, продуктов горения и т.д.)

По результатам времени достижения образцом предельной температуры устанавливалась одна из 7 групп огнезащитной эффективности: 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.

Для огневого испытания образцов древесины использовались следующие средства измерения, испытательное оборудование:

- спиртовая горелка;
- весы;
- секундомер;
- вытяжной шкаф с принудительной вентиляцией.

Испытания образцов дерева проводились путем сжигания образца в пламени спиртовой горелки по ГОСТ [7].

В ходе испытания засекалось время – 2 минуты, в течение этого времени образец держали в пламени горелки. Через 2 минуты образец вынимали из пламени и охлаждали. После остывания образцы взвешивались и вычислялась потеря массы образца.

Потерю массы испытанного образца, %, вычисляют по формуле:

$$P = \frac{(M_1 - M_2) \cdot 100}{M_1}, \quad (3)$$

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.

Оценка результатов огневых испытаний: визуальная оценка устойчивости покрытия при огневом испытании, оценка огнезащитной эффективности покрытий

Результаты огневого испытания и определения адгезии образцов приведены в таблице 8 и рисунках 13 – 20.

Таблица 8 – 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
Металлические образцы						
№ 1	Влажность	Покрытие разрушилось	1,34	—	не является огнезащитным покрытием	5
	Теплосмены	Трещины, осыпание	21	—	7	5
	Без воздействия	Изменение цвета, небольшое вспучивание	41	—	6	3
№ 2	Влажность	Отслоение покрытия	6	—	не является огнезащитным покрытием	1
	Теплосмены	Отслоение покрытия	6,2	—	не является огнезащитным покрытием	3
	Без воздействия	Трещины	9	—	не является огнезащитным покрытием	5
№ 3	Вода	отсутствует вспучивание, выделение едкого дыма	33	—	6	0
	Влажность	почернение, вспучивание, выделение едкого дыма	более 60	—	4	0
	Теплосмены	почернение, вспучивание, выделение едкого дыма	более 60	—	4	0
	Агрессивная среда	почернение, вспучивание, выделение едкого дыма	более 60	—	4	0
	Без воздействия	почернение, вспучивание, выделение едкого дыма	более 60	—	4	0
Без покрытия	Без воздействия	—	6,4	—	—	—

Окончание таблицы 8

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 древесины						
№ 1	Влажность	горение через 20 секунд, осадок в виде смолы, белые следы, запах олифы	—	53,4	не является огнезащитным покрытием	—
	Теплосмены	горение через 40 секунд, осадок в виде смолы, белые следы, запах олифы	—	9,2	2	—
	Агрессивная среда	горение через 20 секунд, осадок в виде смолы, белые следы, запах олифы	—	56,5	не является огнезащитным покрытием	—
	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 от горелки затухает	—	12,8	2	—
	Теплосмены	горение через 30 секунд, при удалении от горелки затухает	—	8,8	1	—
	Без воздействия	горение через 30 секунд, при удалении от горелки затухает	—	1,03	1	не удалось надрезать
Без покрытия	Без воздействия	горение через 5 секунд	—	64,5	—	—

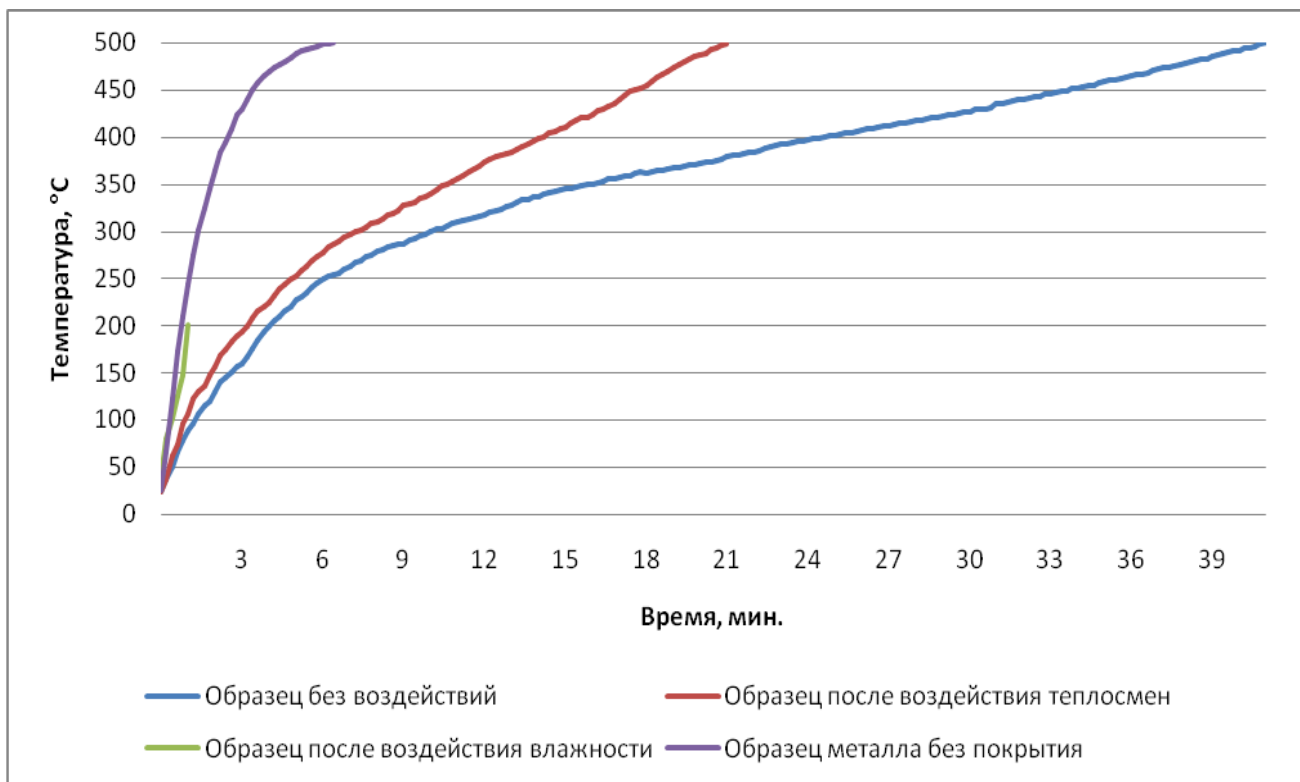


Рисунок 13 – Огнезащитная эффективность огнезащитного средства № 1

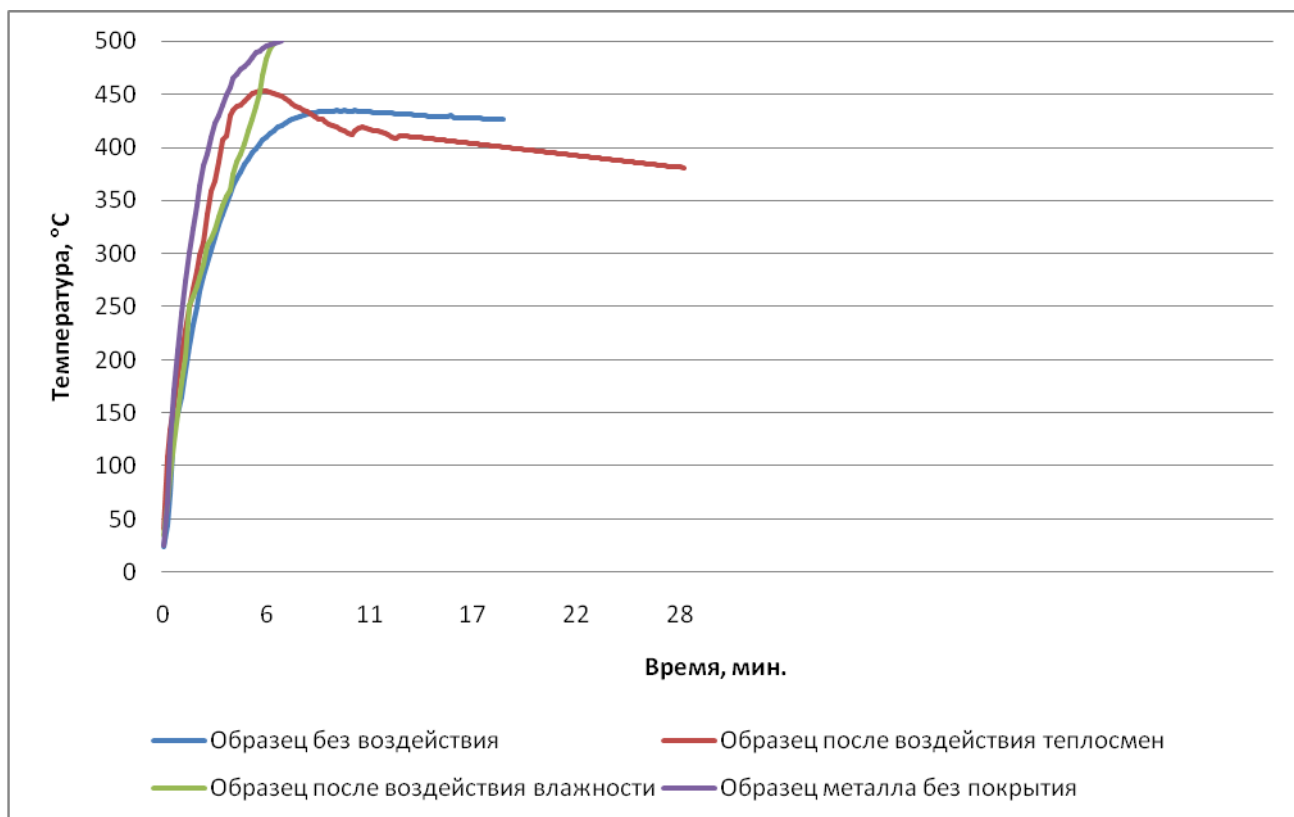


Рисунок 14 – Огнезащитная эффективность огнезащитного средства № 2

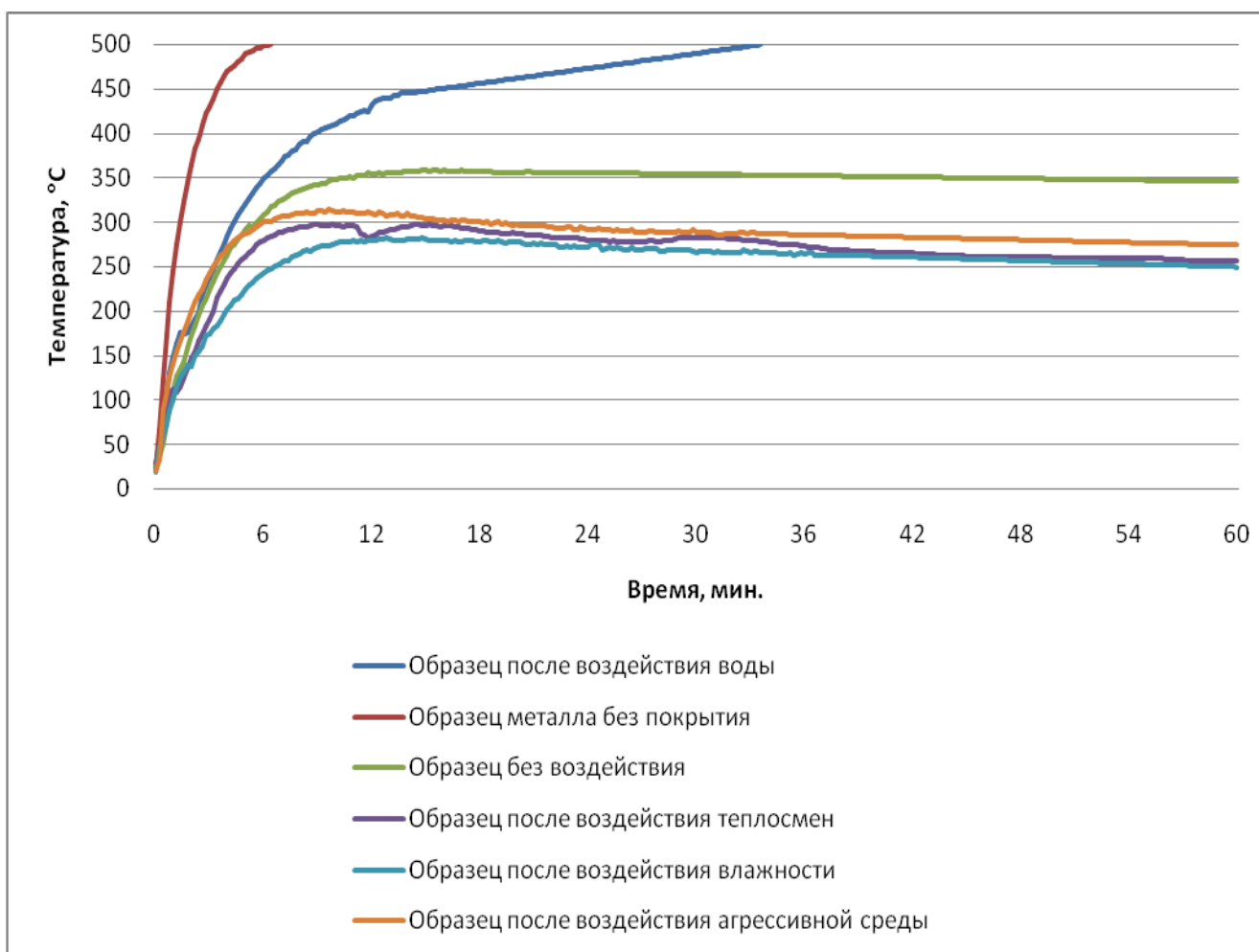


Рисунок 15 – Огнезащитная эффективность огнезащитного средства № 3

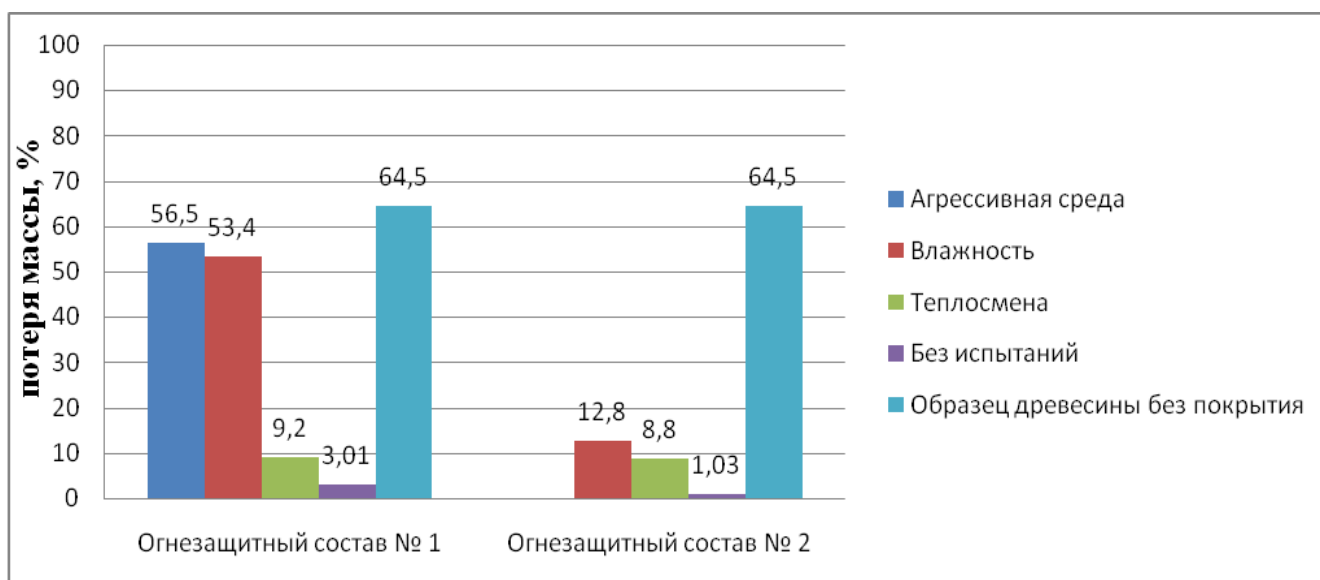


Рисунок 16 – Потеря массы образцов древесины огнезащитного средства № 1 и № 2



а)

б)

в)

Рисунок 17 – Образцы металла, обработанные огнезащитным составом № 1 после
огневого испытания:

а) образец после воздействия влажности; б) образец после воздействия теплосмен; в)
образец без воздействий.



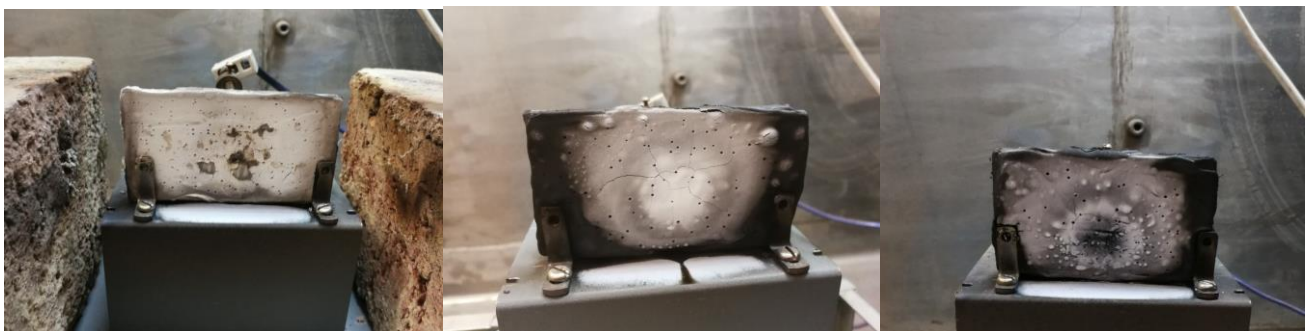
а)

б)

в)

Рисунок 18 – образцы металла, обработанные огнезащитным составом № 2 после огневого
испытания:

а) образец после воздействия влажности; б) образец после воздействия теплосмен; в)
образец без воздействий.



а)

б)

в)

Рисунок 19 – Образцы металла, обработанные огнезащитным составом № 3 после огневого
испытания:

а) образец после воздействия воды; б) образец после воздействия теплосмен; в) образец без
воздействий.



Рисунок 20 – Образцы древесины после огневого испытания

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).

4.2 Анализ влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность

На основании полученных результатов установлено:

1. Огнезащитное покрытие № 1 на металле оказалось не устойчивым к воздействию воды, агрессивной среде (полное разрушение при эксплуатационном испытании) и влажности (утрата адгезионных свойств после эксплуатационного испытания, а также разрушение покрытия при огневом испытании). Воздействие теплосмен привело к снижению огнезащитной эффективности с 6 на 7 группу, а также утрате адгезионных свойств. Огнезащитное покрытие № 1 на древесине не устойчиво к воздействию воды (полное разрушение при эксплуатационном испытании), агрессивной среде и влажности (большая потеря веса образцов при

огневом испытании, полная утрата огнезащитных свойств). Воздействие теплосмен привело к снижению огнезащитной эффективности с 1 на 2 группу. Следовательно, огнезащитное покрытие № 1 не является атмосфероустойчивым и не соответствуют заявленным автором патента условиям эксплуатации. Это позволяет предположить либо отсутствие проведения оценки воздействия атмосферостойкости на защитные покрытия автором патента, либо применение им других методов оценки.

2. Огнезащитное покрытие № 2 на металле показало низкие результаты огнезащитной эффективности на всех этапах исследования и, следовательно, не является огнезащитным средством. Предположительно, это связано с низким уровнем адгезии огнезащитного покрытия к металлу. Огнезащитное покрытие № 2 на металле оказалось не устойчивым к воздействию воды, агрессивной среде (полное разрушение при эксплуатационном испытании) и влажности, теплосмен (разрушение покрытия при огневом испытании). Огнезащитное покрытие № 2 на древесине не устойчиво к воздействию воды и агрессивной среде (полное разрушение при эксплуатационном испытании). Воздействие теплосмен незначительно повлияло на огнезащитную эффективность образца древесины (группа огнезащитной эффективности сохранилась), воздействие влажности привело к снижению огнезащитной эффективности с 1 на 2 группу.

3. Огнезащитное покрытие № 3. После воздействия влажности, агрессивной среды, теплосмен наблюдается изменение характера набора температуры образцов при огневом испытании: температура фиксируется на уровне 250 – 300 °С, в отличие от образца не подверженному эксплуатационным испытаниям, температура которого фиксировалась на уровне 350 °С. Это свидетельствует об изменениях в составе огнезащитного средства, но эти изменения не повлияли на огнезащитную эффективность и адгезию. Воздействие воды влияет на снижение огнезащитной эффективности (с 4 группы на 6 группу). Воздействие эксплуатационных факторов не повлияло на адгезионные свойства покрытия. Следовательно, огнезащитное средство № 3 соответствует заявленным условиям эксплуатации.

4. Снижение адгезионных свойств привело к снижению огнезащитной эффективности покрытий.

5. Проведенные эксперименты показали, что методика руководства ФГБУ ВНИИПО МЧС «Способы и средства огнезащиты древесины. Руководство» может быть применима к оценке влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций на начальном уровне. Испытания по данной методике простые в исполнении, не требуют сложного оборудования, что удобно для разработчика огнезащитного средства, позволяют разработчику в ходе создания огнезащитного средства постоянно испытывать и отслеживать изменение устойчивости огнезащитного средства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях пожара металл быстро теряет свою прочность, упругость и увеличивает пластичность. При высоких температурах также происходит увеличение деформаций ползучести, которые являются следствием увеличения пластичности металлов, что в конечном итоге приводит к потере несущей способности вплоть до разрушения зданий.

Использование большинства строительных металлических конструкций сопровождается необходимостью их огнезащиты для повышения предела огнестойкости. Средства огнезащиты можно разделить на несколько видов в зависимости от условий эксплуатации, толщины покрытия, поведения в условиях пожара. Для качественного выполнения огнезащиты учитываются различные факторы и выбирается соответствующий способ огнезащиты. (или Применение того или иного способа огнезащиты определяется специфическими особенностями различных видов конструкций, областями их применения, значениями требуемых пределов огнестойкости, а также температурно-влажностными условиями производства работ по огнезащите и эксплуатации этих конструкций).

Федеральным законом № 123 предусмотрено требование о наличии информации об условиях эксплуатации средств огнезащиты. Проведенный анализ научной и нормативной литературы показал, что законодательно в России не установлено соответствующих стандартов и методик для оценки влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций.

В работе проведено исследование влияния эксплуатационных факторов на эффективность огнезащитных покрытий по металлу на основе руководства ФГБУ ВНИИПО МЧС «Способы и средства огнезащиты древесины. Руководство».

Проведенное исследование выявило влияние эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность. Время наступления предельного состояния всех исследуемых покрытий снизилось после воздействия эксплуатационных

факторов. Установлено, что огнезащитное средство № 1 не соответствует заявленной характеристики – атмосферостойкость. Огнезащитное средство № 2 не устойчиво к эксплуатационным факторам. Огнезащитное средство № 3 соответствует заявленным условиям эксплуатации.

Проведенные эксперименты показали, что методика руководства ФГБУ ВНИИПО МЧС «Способы и средства огнезащиты древесины. Руководство» может быть применима к оценке влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций на начальном уровне. Испытания по данной методике простые в исполнении, не требуют сложного оборудования, что удобно для разработчика огнезащитного средства, позволяют разработчику в ходе создания огнезащитного средства постоянно испытывать и отслеживать изменение устойчивости огнезащитного средства.

Однако существует необходимость разработки единого государственного стандарта для оценки влияния эксплуатационных факторов на огнезащитную эффективность покрытий для металлических конструкций, который будет использоваться при сертификации средств огнезащиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123 – ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. Федеральный закон от 29 декабря 2004 г. № 190 – ФЗ. Градостроительный кодекс Российской Федерации.
3. ГОСТ 15140-78 Материалы лакокрасочные. Методы определения адгезии (с Изменениями № 1, 2, 3). – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1978. – 8 с.
4. ГОСТ 2678 – 94 Материалы рулонные и гидроизоляционные. Методы испытаний. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1994. – 46 с.
5. ГОСТ 30247.0-94 (ИСО 834-75) Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1994. – 7 с.
6. ГОСТ 32702.2-2014 (ISO 16276-2:2007) Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом X-образного надреза. – М.: Стандартиформ, 2014. – 11 с.
7. ГОСТ Р 53292-2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2009. – 17 с.
8. ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности (с Изменением № 1). – М.: Стандартиформ, 2009. – 8 с.
9. ГОСТ 9.401-91 ЕСЗКД. Покрытия лакокрасочные. Общие требования и методы ускоренных испытаний на стойкость к воздействию климатических факторов. – М.: Стандартиформ, 1991. – 103 с.
10. ГОСТ 9.407 – 84 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида. – М.: Стандартиформ, 1984. – 8 с.

11. ГОСТ 9.906-83 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Станции климатические испытательные. Общие требования (с Изменениями № 1, 2). – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1983. – 17 с.
12. СП 112.13330.2011. СНиП 21-01-97* Пожарная безопасность зданий и сооружений. – М.: ГУП ЦПП, 2011. – 30 с.
13. СП 2.13130.2012 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2012. – 23 с.
14. Барышников, А.А., Анализ перспективных огнезащитных покрытий металлических конструкций / А.А. Барышников, С.А. Горелов, Н.Ш. Мустафин // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. – Самара, 2016. – № 2 (14). – С. 284 – 286.
15. Богданова, Ю. Г. Адгезия и ее роль в обеспечении прочности полимерных композитов: учебное пособие / Ю. Г. Богданова. – М.: Издательский центр МГУ имени М.В. Ломоносова, 2010. – 68 с.
16. Боровик, С.И. Анализ методик оценки влияния эксплуатационных факторов на огнезащитные покрытия для металлических конструкций / С.И. Боровик, Л.А. Трофимова // Научные исследования: теория, методика и практика : материалы III Междунар. научно-практ. конф. – Чебоксары, 2017. – С. 18 – 21.
17. Боровик, С.И. Исследование влияния эксплуатационных факторов на эффективность огнезащитных покрытий по металлу/ С. И. Боровик, Л. А. Трофимова, А.С. Бухмастова // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства: сборник науч. трудов участников межвуз. конф. – Санкт – Петербург, 2018. – С. 300 – 305.
18. Боровик, С.И. Огнезащитные составы для металлических конструкций / С.И. Боровик, Л.А. Трофимова // Безопасность жизнедеятельности: проблемы и решения – 2017: материалы междунар. научно-практ. конф. – Курган, 2017. – С. 239 – 242.
19. Габдулин, Р.Ш. Эффективные способы огнезащиты строительных конструкций / Р. Ш. Габдулин // Безопасность. – 2011. – №1. – С. 48 – 49.

20. Гуляев, А.П. *Металловедение* / А. П. Гуляев. – М.: *Металлургия*, 1986. – 542 с.
21. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник / под ред. И.Л. Мосалкова. – М.: АГПС МЧС РФ, 2003. – 656 с.
22. Кальченко, И.Е. Анализ объективности оценки огнестойкости и эффективности огнезащиты конструкций объектов инфраструктуры различного назначения / И.Е. Кальченко // – Теоретические и прикладные аспекты современной науки : сборник научных трудов по материалам III Междунар. научно-практ. конф.: в 5 ч. / под общ. ред. М.Г. Петровой – Белгород, 2014. – Ч. I. – С. 64 – 72.
23. Карякина, М. И. Физико - химические основы процессов формирования и старения покрытий / М. И. Карякина. - М.: *Химия*, 1980. – 216 с.
24. Коренев, В.И., Данилов В.В. *Растворимое и жидкое стекло* / В. И. Коренев, В. В. Данилов. – СПб: *Стройиздат*, 1996. – 213 с.
25. Кузнецова, Т.А. Определение срока службы огнезащитных покрытий / Т. А. Кузнецова // *Науковий вісник УкрНДІПБ*. – 2007. – № 2 (16). – С. 125 – 128.
26. Лакокрасочные материалы и покрытия. Теория и практика / под ред. Р. Ламбурна / пер. с англ. под ред. Л.Н. Матляковского. – СПб.: *Химия*, 1991. – 512 с.
27. Минералы. Справочник. Силикаты со структурой, переходной от цепочечной к слоистой. Слоистые силикаты (каолиновые минералы, серпентины, пирофиллит, тальк, слюды) / под ред. Ф.В. Чухрова. – М.: *Наука*, 1992. – Т.4. – 599 с.
28. Определение теплоизолирующих свойств огнезащитных покрытий по металлу: методика. – М.: ВНИИПО, 1998. – 19 с.
29. Орлова, С.С. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебное пособие / С.С. Орлова, Т.А.Панкова, С.В. Затицацкий. – Саратов: Издательство «Саратовский источник», 2015. – 130 с.

30. Оценка допустимого срока эксплуатации тонкослойных огнезащитных покрытий в различных климатических условиях: методика. – М.: ВНИИПО, 2014. – 40 с.
31. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов. – М.: Стройиздат, 1985. – 56 с.
32. Пронин, Д.Г. Огнестойкость стальных несущих конструкций: пособие/ Д. Г. Пронин. – М.: АКСИОМ ГРАФИКС ЮНИОН, 2015. – 52 с.
33. Романенков, И. Г. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов / И. Г. Романенков, В. Н. Зингерн-Корн. – М.: Стройиздат, 1984. – 240 с.
34. Собурь, С.В. Огнезащита материалов и конструкций: учебно-справочное пособие / С. В. Собурь. – М.: ПожКнига, 2008. – 200 с.
35. Способы и средства огнезащиты древесины. Руководство. – М.: ВНИИПО, 2011. – 33 с.
36. Страхов, В. Л. Огнезащита строительных конструкций: современные средства и методы оптимального проектирования / В.Л. Страхов, А. Н. Гаращенко //Строительные материалы. – 2002. – №6. – С. 2 – 5.
37. Страхов, В. Л. Огнезащита строительных конструкций / В. Л. Страхов, А.М. Кругов, Н.Ф. Давыдкин. – М.: ТИМР, 2000. – 436 с.
38. Теплоухов, А. В. Методика и результаты оценки влияния длительной эксплуатации конструкций на основные свойства вспучивающихся огнезащитных покрытий / А. В.Теплоухов, В. Г. Зверев, А. Н. Гаращенко // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, №1. – С. 9 – 16
39. Уткин, С.В. Проблемы оценки эффективности огнезащитных покрытий для металлических конструкций / С. В. Уткин, Н. В. Семенова, С. А. Кондратьев // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2015. – № 7 (164). – С. 159 – 161.
40. Химическая энциклопедия: в 5 т. / под ред. Зефирова Н. С. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1995. – Т.4. – 639 с.

41. Яковлев, А. Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий / А. Д. Яковлев. – Л.: Химия, 1989. – 384 с.
42. Вахитова, Л.Н. Срок службы огнезащитных покрытий вспучивающегося типа/ Л.Н. Вахитова, М.П. Лапушкин, К.В. Калафат // Независимый украинский журнал F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты. – <http://security-info.com.ua/articles/ELEMENTID=1655>.
43. Вермикулит. Научно-популярный журнал о минералах. – <http://www.catalogmineralov.ru/mineral/vermiculite.html>.
44. Диагностика качества вспучивающихся огнезащитных покрытий для металлических и стальных конструкций. – <http://krauzpro.ru/diagnostika-kachestva-vspuchivayuschih-sya-ognezashchitnyh-pokrytiy-dlya-metallicheskih-i-stalnyh-konstruktsiy>.
45. Диагностика качества нанесения и эффективности косообразующих огнезащитных покрытий для металлических конструкций. – <http://www.ogneportal.ru/articles/technology/2717>.
46. Кварцевый песок. – <http://ogneypor.ru>.
47. Оценка соответствия огнезащитных вспучивающихся покрытий для строительных конструкций. – http://www.infracim.ru/sprav/publications/fireprotection/otsenka_sootvetstviya_ognezashchitnykh_vspuchivayushchikhsya_pokrytiy_dlya_stroitelnykh_konstruktsiy.
48. Пучков, П. В. Разрушение строительных металлических конструкций в условиях пожара / П.В. Пучков, В.В. Киселев, А.В. Топоров // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – <https://cyberleninka.ru/article/n/razrushenie-stroitelnyh-metallokonstruktsiy-vusloviyah-pozhara>.
49. Сведения о пожарах и их последствиях за январь – декабрь 2017 года. – <http://www.mchs.gov.ru/folder/4026801>.
50. Современные научно-практические тенденции в огнезащите. – <http://www.neohim.ru/about/articles/44/>.