

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Юргинский технологический институт
Направление подготовки: 280700 Техносферная безопасность
Профиль: Защита в чрезвычайных ситуациях
Кафедра безопасности жизнедеятельности, экологии и физического воспитания

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование огнестойкости стальных конструкций и факторов, влияющих на ее изменение

УДК 614.84:624.014

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-17Г11	Корделян Галина Викторовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. БЖДЭиФВ	Торосян В.Ф.	к.пед.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ЭиАСУ	Нестерук Д.Н.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. БЖДЭиФВ	Луговцова Н.Ю.			

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер каф. БЖДЭиФВ	Романенко В.О.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
БЖДЭиФВ	Солодский С.А.	к.т.н.		

Юрга – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по основной образовательной программе
направления 280700 – Техносферная безопасность

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные и математические знания, достаточные для комплексной инженерной деятельности в области техносферной безопасности.
P2	Применять базовые и специальные знания в области техносферной безопасности для решения инженерных задач.
P3	Ставить и решать задачи комплексного анализа, связанные с организацией защиты человека и природной среды от опасностей техногенного и природного характера, с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей, осуществлять надзорные и контрольные функции в сфере техносферной безопасности.
P4	Проводить теоретические и экспериментальные исследования, включающие поиск и изучение необходимой научно-технической информации, математическое моделирование, проведение эксперимента, анализ и интерпретацию полученных данных, на этой основе разрабатывать технику и технологии защиты человека и природной среды от опасностей техногенного и природного характера в соответствии с техническим заданием и с использованием средств автоматизации проектирования.
P5	Использовать знание организационных основ безопасности различных производственных процессов, знания по охране труда и охране окружающей среды для успешного решения задач обеспечения техносферной безопасности.
P6	Обоснованно выбирать, внедрять, монтировать, эксплуатировать и обслуживать современные системы и методы защиты человека и природной среды от опасностей, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья, безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды.
Универсальные компетенции	
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности.
P8	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности.
P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена группы, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.
P10	Демонстрировать знания правовых, социальных, экономических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности.
P11	Демонстрировать способность к самостоятельной работе и к самостоятельному обучению в течение всей жизни и непрерывному самосовершенствованию в инженерной профессии.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



Юргинский технологический институт
Направление подготовки: 280700 Техносферная безопасность
Профиль: Защита в чрезвычайных ситуациях
Кафедра безопасности жизнедеятельности, экологии и физического воспитания

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой БЖДЭиФВ

_____ С.А.
Солодский
«__» _____ 2016
г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
3-17Г11	Корделян Галине Викторовне

Тема работы:

Исследование огнестойкости стальных конструкций и факторов, влияющих на ее изменение

Утверждена приказом директора (дата, номер) 29.01.2016 г. № 26/с

Срок сдачи студентов выполненной работы: 14.06.2016 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	
	Строительная отрасль является одной из материалоемких отраслей, в которой широко используются металлические сооружения и конструкции. Основными достоинствами металлических конструкций являются: высокая несущая способность; высокая надежность; легкость и транспортабельность и др. Однако огнестойкость металлических несущих конструкций незначительна. Так при температурах более 400 °С стальные конструкции подвергаются пластической деформаций. А при более высоких

	<p>температурах во время пожара несущая способность стальных конструкций резко снижается, а иногда происходит их разрушение. Показателем огнестойкости является предел огнестойкости, пожарную опасность конструкции характеризует класс ее пожарной опасности. Предел огнестойкости стальных конструкций может снижаться в условиях непосредственного контакта их с такими горючими материалами, как древесина и пластик.</p>
--	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>1 Проанализировать проблемы обеспечения огнестойкости металлических конструкций в теории и практике.</p> <p>2 Определить классы пожарной опасности стальных конструкций по значению показателя огнестойкости стали и вывести степень воздействия на него горючих материалов (древесины, пластика).</p> <p>3 Изучить методы и средства огнезащиты стальных строительных конструкций.</p> <p>4 Провести сравнительный анализ действия антипиренов для защиты древесины, как горючего материала.</p> <p>5 Выполнить экспериментальные исследования по определению деформативных характеристик стальных образцов, как показателя огнестойкости стали, соприкасающейся с горючим древесным материалом.</p>
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Нестерук Дмитрий Николаевич
Социальная ответственность	Луговцова Наталья Юрьевна
Нормоконтроль	Романенко Василий Олегович

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	10.02.2016 г.
---	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. БЖДЭиФВ	Торосян В.Ф.	к.пед.н.		10.02.2016

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-17Г11	Корделян Галина Викторовна		10.02.2016

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа _65_с., _14_ рис., _11_ табл., _51_ источник.

Ключевые слова: МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ (СТАЛЬНЫЕ) КОНСТРУКЦИИ, ОГНЕЗАЩИТА, ОГНЕЗАЩИТНЫЙ СОСТАВ, ОГНЕЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ, ОГНЕЗАЩИТНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ПРИВЕДЕННАЯ ТОЛЩИНА МЕТАЛЛА, ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛА НА ИЗГИБ.

Объектом исследования является система сталь-древесина в открытом пламени.

Предмет исследования: огнестойкость стали в системе сталь – древесина

Цель работы – обеспечение огнестойкости стальных конструкций в условиях взаимодействия их с горючим материалом (древесиной).

В процессе проведения испытаний выявлены способы огнезащиты металлических конструкций, находящихся в непосредственном контакте с горючим веществом (древесиной).

В результате исследования доказано, что наибольшую прочность на изгиб имеют стальные образцы, при создании на стальной поверхности функционального покрытия для сварки и пропитке древесины модифицированным антипиреном.

ABSTRACT

Final qualifying work _65_ s., _14__ fig., _11_ table., __51__ sources.

Key words: METAL (STEEL) CONSTRUCTION, FIRE PROTECTION, FLAME RETARDANT, FIRE RESISTANT COATING, FIRE-RESISTANT PERFORMANCE, GIVEN METAL THICKNESS, THE STRENGTH OF THE METAL BENDING.

The object of study is the system steel-wood in an open flame. Subject of research: fire resistance of steel the system steel – wood.

Purpose – to ensure the fire resistance of steel structures in terms of their interaction with combustible material.

In the process of testing the ways of fire protection of steel structures that are in direct contact with combustible substance.

The study proved that the highest Flexural strength have the steel specimens, with the creation on the steel surface functional coatings for welding and impregnation of wood modified with flame retardant.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

ГОСТ 12.1.007-76 Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности

ГОСТ 12.1.044-89 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения

Оглавление

Введение	С. 9
1 Современное состояние проблемы огнестойкости металлических конструкций в теории и практике	11
1.1 Металлические конструкции в строительной отрасли	11
1.2 Статистический анализ пострадавших и погибших в результате пожаров в РФ (2011-2015г)	12
1.3 Проблема огнестойкости стальных конструкций в трудах современных исследователей	16
1.4 Противопожарное нормирование в строительстве для увеличения огнестойкости металлических строительных конструкций	17
1.5 Предел огнестойкости стальных конструкций, как показатель пожарной опасности	22
1.6 Огнезащита металлических конструкций	23
2 Методология огнезащиты стальных строительных конструкций	26
2.1 Методы и средства огнезащиты стальных строительных конструкций	26
2.2 Характеристика наполнителей огнезащитных покрытий	27
2.3 Защита древесины, как горючего материала в условиях соприкосновения с металлом	32
3 Исследование деформативных характеристик, как показателей огнестойкости стали, соприкасающейся с горючими древесными материалами в строительных конструкциях	36
4 «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	49
5 Социальная ответственность	52
Заключение	60
Список используемых источников	61

Введение

В России ежегодно в среднем происходит более 250 тысяч пожаров, материальный ущерб при этом составляет 44 млрд. рублей, погибает свыше 18 тысяч человек, большое количество людей получают травмы. Материальные и людские потери происходят из-за обрушения строительных конструкций, выделения тепла и газов при горении строительных материалов. При этом одним из наиболее распространенных материалов для изготовления строительных конструкций является металл.

Основными достоинствами металлических конструкций являются: высокая несущая способность; высокая надежность; легкость и транспортабельность и др. Однако огнестойкость металлических несущих конструкций незначительна. Так при температурах более 400 °С стальные конструкции подвергаются пластической деформации. А при более высоких температурах, возникающих во время пожара, несущая способность стальных конструкций может значительно снижаться, что может привести к ее разрушению.

Так, например температура воспламенения древесины 400 °С, а температура её горения 800 – 1000 °С. Стальные конструкции, непосредственно соприкасающиеся с древесиной, подвергаются высокотемпературному воздействию. Поэтому одной из главных задач при эксплуатации зданий является обеспечение нормативных прочностных свойств несущих стальных элементов не только в обычных условиях, но и при взаимодействии с горючими материалами, способствующими повышению температуры во время пожара.

Поэтому целью работы является:

Обеспечить огнестойкость стальных конструкций в условиях взаимодействия их с горючим материалом (древесиной).

Задачи:

1. проанализировать проблемы огнестойкости металлических конструкций в теории и практике;
2. определить средства и способы огнезащиты;
3. провести анализ действия антипиренов для огнезащиты древесины;
4. выполнить экспериментальные исследования по снижению деформации характеристик стальных образцов соприкасающихся с древесиной, от воздействия температуры.

Объект исследования: система сталь-древесина в открытом пламени

Предмет исследования: огнестойкость стали в системе сталь-древесина

1 Современное состояние проблемы огнестойкости металлических конструкций в теории и практике

1.1 Металлические конструкции в строительной отрасли

Строительная отрасль является одной из материалоемких отраслей, в которой широко используются металлические сооружения и конструкции. Это требует создание рациональных конструктивных форм с использованием предварительного напряжения, внедрение висячих, пространственных и комбинированных конструкций.

При этом необходимо отметить, что металлические конструкции составляют основу производственных зданий, которые оборудуются тяжелыми мостовыми кранами с большими пролетами и представляют собой сложные инженерные сооружения. В настоящее время на несущие элементы каркаса промышленных зданий (колонны, фермы, подкрановые балки) расходуется свыше 50 % массы строительных металлоконструкций. На листовые конструкции около 20 % тоннажа строительных конструкций.

Особую группу металлоконструкций составляют специальные конструкции гражданского и промышленного назначения, к которым можно отнести железнодорожные и автодорожные мосты, путепроводы и эстакады, несущие каркасы высотных зданий, большепролетные покрытия зданий общественного назначения (спортивные и зрелищные сооружения, выставочные павильоны) и здания специального применения (ангары, авиасборочные цехи, эллинги), башенные и мачтовые сооружения (мачты для радиосвязи и телевидения, опоры линий электропередач высокого напряжения, буровые и нефтяные вышки, башни для маяков и освещения и т.д.), подвижные конструкции (несущие конструкции больших подъемно-транспортных машин и экскаваторов, затворы гидротехнических сооружений, ворота шлюзов и т.д.).

Основными достоинствами металлических конструкций являются: высокая несущая способность; высокая надежность; легкость по сравнению с конструкциями из железобетона, камня и дерева; сплошность материала и соединений, позволяющая, осуществлять водонепроницаемые и газонепроницаемые конструкции; индустриальность, достигаемая изготовлением конструкций на специализированных заводах и высокомеханизированным их монтажом на месте возведения сооружения [1, 2].

Кроме того, металлические конструкции удобны в эксплуатации, легко ремонтируются и легко могут быть усилены при увеличении нагрузок и по этому наиболее полно используются при реконструкциях.

Однако в наблюдениях и исследованиях многих авторов отмечается, что огнестойкость металлических несущих конструкций незначительна. Так при температурах более 400 °С для сталей и более 200 °С для алюминиевых сплавов начинает проявляться существенное развитие пластических деформаций при постоянной нагрузке (ползучесть).

Предел огнестойкости несущих металлических конструкций зависит от приведенной толщины металла, определяемой как отношение площади поперечного сечения в элементах (в см²) к обогреваемой части его периметра сечения (в см). Например, стальные балки, прогоны и статически определимые формы при опоре плит и настилов по верхнему поясу, а также колонны и стойки с приведенной толщиной металла 0,3; 0,5; 1; 1,5; 2; 3 имеют следующие пределы огнестойкости соответственно 0,12; 0,15; 0,25; 0,3; 0,35; 0,45 часа.

1.2 Статистический анализ пострадавших и погибших в результате пожаров в РФ (2011-2015г)

В России ежегодно в среднем происходит более 250 тысяч пожаров, материальный ущерб при этом составляет свыше 44 млрд. рублей, погибает более 18 тысяч человек, большое количество людей получают травмы [3].

Потери людей и сооружений происходят из-за обрушения строительных конструкций, выделения тепла и газов при горении строительных материалов. Министерство по чрезвычайным ситуациям в Российской Федерации ведет статистический учет пожаров и их причин в нашей стране. В таблице 1 представлено количество пострадавших и погибших за 2011-2015г.г.

Таблица 1 – Количество травмированных и погибших в результате пожаров в РФ в период с 2011 по 2015 годы

Год	Количество погибших в результате пожара, чел	Количество травмированных в результате пожара, чел
2011	12019	12516
2012	11652	12229
2013	10601	11132
2014	10138	10997
2015	9337	10920

На графике, рис. 1 показано, что наибольшее количество травмированных и погибших в результате пожаров в РФ приходится на 2011 г.

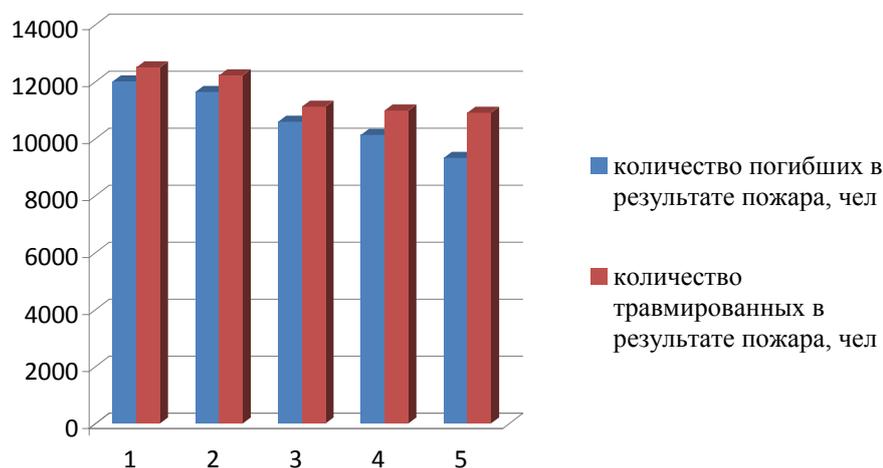


Рисунок 1 – Количество травмированных и погибших в результате пожаров в РФ в период с 2011 по 2015 годы

Анализ результатов таблицы 2 по­зво­ляет, что наи­боль­шее ко­ли­че­ство уни­что­жен­ных стро­е­ний и тех­ни­ки в ре­зуль­та­те по­жа­ров при­хо­дит­ся на 2011 и 2014 го­ды.

Таблица 2 – Ко­ли­че­ство уни­что­жен­ных стро­е­ний и тех­ни­ки в ре­зуль­та­те по­жа­ров в РФ в пе­ри­од с 2011 по 2015 го­ды

Год	Ко­ли­че­ство уни­что­жен­ных стро­е­ний, тыс. ед.	Ко­ли­че­ство уни­что­жен­ной тех­ни­ки, тыс. ед.
2011	43,54	8,1
2012	40,9	8,2
2013	36	8
2014	41,4	8,3
2015	41,3	0

Анализ результатов таблицы 2 по­зво­ляет, что наи­боль­шее ко­ли­че­ство уни­что­жен­ных стро­е­ний и тех­ни­ки в ре­зуль­та­те по­жа­ров при­хо­дит­ся на 2011 и 2014 го­ды.

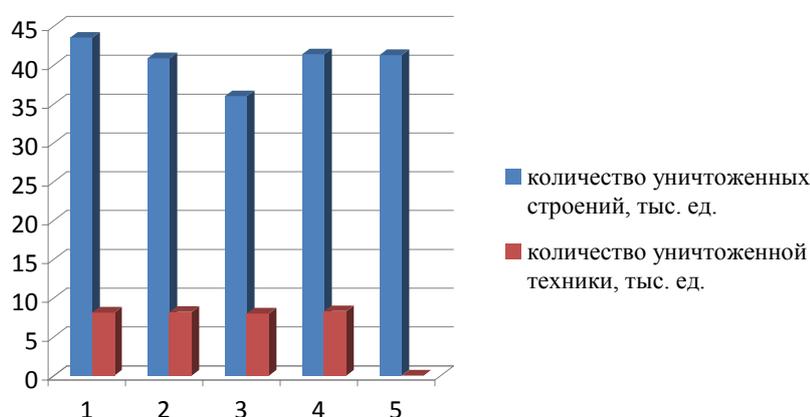


Рисунок 2 – Ко­ли­че­ство уни­что­жен­ных стро­е­ний и тех­ни­ки в ре­зуль­та­те по­жа­ров в РФ в пе­ри­од с 2011 по 2015 го­ды

Из рисунка 2 видно, что самое большое количество пожаров приходится на строительные конструкции, в целом за период с 2011г. по 2015 г. уничтожено 203,14 тыс. строений.

Причем важно отметить, что материальный ущерб причиненный пожарами в РФ за период с 2011 по 2015 годы в городских поселениях и

сельской местности значительно отличается, и об этом свидетельствует анализ данных представленных на диаграммах (рис.2 и 3). Что на наш взгляд может быть связано с высокой концентрацией в городах промышленных зданий и сооружений, а так же наличием современных объектов инфраструктуры которые построены с использованием стальных строительных конструкций.

Таблица 3 – Материальный ущерб причинённый пожарами в городах и сельской местности в РФ за период с 2011 по 2015 годы

Год	Прямой материальный ущерб, тыс. руб	Материальный ущерб в городах, тыс. руб	Материальный ущерб в сельской местности, тыс. руб
2011	18199471	12839368	5360103
2012	15693390	10864340	4829050
2013	14885340	9091734	5793605
2014	18246565	12466513	5780053
2015	18814077	11496996	7317081

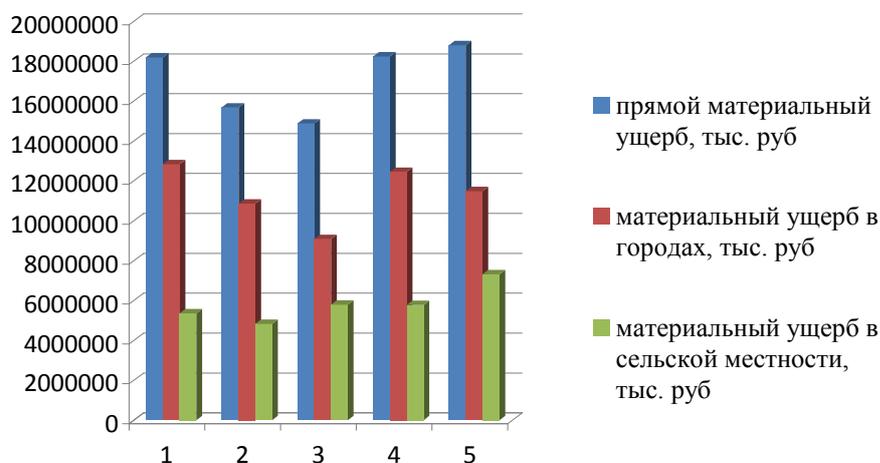


Рисунок 3 – Материальный ущерб причинённый пожарами в городах и сельской местности в РФ за период с 2011 по 2015 годы

Причем важно отметить, что материальный ущерб причинённый пожарами в РФ за период с 2011 по 2015 годы в городских поселениях и сельской местности значительно отличается, и об этом свидетельствует анализ данных представленных на диаграммах (рис.2 и 3). Что на наш взгляд может быть связано с высокой концентрацией в городах промышленных зданий и

сооружений, а так же наличием современных объектов инфраструктуры которые построены с использованием стальных строительных конструкций.

1.3 Проблема огнестойкости стальных конструкций в трудах современных исследователей

Проблемой огнестойкости стальных конструкций занимались многие исследователи, такие как А.И. Яковлев, В.Г. Олимпиев, В.П. Бушев, В.С. Федоренко, В.А. Пчелинцев, В.И. Мурашев, И.С. Молчадский, Р.А. Яйлиян, Ю.Н. Работнов, М.Я. Ройтман, В.И. Голованов, И. Дорн, Н. Хофф, О. Петерсон, С. Магнуссон, Д. Тор и др.

Яковлевым А.И. разработаны номограммы для определения времени прогрева стальных пластин различной толщины, защищенных различными материалами от нагрева. Такие номограммы имеют практическое значение для определения предела огнестойкости защищенных стальных пластин, а также конструкций любой конфигурации, используя предварительно определенную толщину поперечного сечения. Автор вывел формулу для определения изменений абсолютных и относительных значений величин деформационно-прочностных характеристик металла при нагреве, выполнил расчеты времени прогрева незащищенных металлических конструкций. Но автором не достаточно учтены химический состав стальных материалов и их устойчивость в особых условиях пожара [4, 5].

В.П. Бушев и В.А. Пчелинцев в своих исследованиях разрабатывали методы испытаний строительных конструкций зданий на огнестойкость, способы определения пределов огнестойкости железобетонных и стальных несущих элементов и различных ограждающих конструкций, а так же особенности работы современных конструкций в условиях пожаров, а также даются рекомендации по определению требуемых пределов огнестойкости конструктивных элементов.

В.Г. Олимпиев, Н.Ф. Гавриков, С.В. Давыдов и т.д. занимались разработкой основных положений расчета огнестойкости стальных и железобетонных конструкций, соответствующих требованиям СНиП II-В.1-62, СНиП II-А.5-62 и СН 295-64. В том числе по расчету длительности прогрева и оценке напряженно-деформированного состояния железобетонных плит при нестационарном высокотемпературном воздействии и методы расчета огнестойкости изгибаемых элементов по нормальным и наклонным сечениям [6].

1.4 Противопожарное нормирование в строительстве для увеличения огнестойкости металлических строительных конструкций

Нормы пожарной безопасности (НПБ) – нормативные акты, устанавливающие необходимые правила противопожарной защиты различных объектов: производственных и жилых помещений, судов, транспортных средств, а так же правила проектирования, эксплуатации и обслуживания специальных средств противопожарной защиты (пожарная сигнализация, установка пожаротушения).

Нормы пожарной безопасности в основном разработаны ФГУ ВНИИПО МЧС России (Федеральное государственное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»).

- НПБ 105-95 (105-03) Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности [7];

- НПБ 107-97 Определение категорий наружных установок по пожарной опасности [8];

▪ НПБ 110-99 Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией [9].

Основой обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений является так же система противопожарных норм строительного проектирования. Ведущими документами, в которых изложены общие положения, огнестойкость зданий, сооружений и конструкций являются:

1. СНиП 2.01.02-85* «Противопожарные нормы» [10];
2. СНиП 21-01-97* «Пожарная безопасность зданий и сооружений» [11].

Статистика пожаров и анализ причинно-следственной связи с точки зрения использования огнезащитных составов еще раз подтверждают о необходимости разработки эффективных огнезащитных составов с заданными свойствами для использования в зданиях различного назначения.

Например, для общественных, производственных и жилых зданий необходимы высокие показатели надежности: огнебиозащитная обработка с длительным сроком эксплуатации и неагрессивным воздействием к окружающим предметам, либо к конструкциям. Аналогично огнезащитные составы для строительных конструкций должны иметь высокий показатель адгезии с учетом срока эксплуатации (из-за естественного износа) в зданиях исторической постройки и высокую огнезащитную эффективность.

В настоящее время обеспечение пожарной безопасности зданий и сооружений различного назначения основывается на развернутой системе противопожарных норм строительного проектирования.

Последняя редакция Строительных норм и правил пожарной безопасности зданий и сооружений была утверждена в постановлении Госстроя России от 3 июня 1999 г. № 41 и введена в действие с 1 июля 1999 г. (СНиП 21-01-97).

Данные нормы и правила были разработаны в соответствии с рекомендациями международных организаций по стандартизации и

нормированию и требованиями СНиП 10-01-94. Они являются основополагающим документом комплекса 21 «Пожарная безопасность» Системы нормативных документов в строительстве.

В документ были внесены существенные изменения, по сравнению с последним СНиП 2.01.02-85* основными из которых являются: изложение главных требований к противопожарной защите зданий и сооружений в форме целей этой защиты, развитие классификационной основы противопожарного нормирования, приоритетность требований, направленных на обеспечение безопасности людей при пожаре [3].

В настоящих нормах приведены противопожарные требования, подлежащие обязательному соблюдению; в тех случаях, когда предполагается возможность отступления от какого-либо требования, оно излагается с оговоркой «как правило» и с условиями, при которых допускаются отступления [12, 13].

Разработанные и опробованные на практике средства и способы обеспечения противопожарных требований, приведенные в СНиП 21-01-97, излагаются в сводах правил, в первую очередь в СП 21-101 «Обеспечение безопасности людей» и в СП 21-102 «Предотвращение распространения пожара». Основные действующие документы приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Противопожарное нормирование в области огнезащиты

Обозначение Нормативного документа	Объект применения	Номер пункта нормативного документа
СНиП 2.01.02-85*	Огнезащита	Огнестойкость зданий, сооружений и пожарных отсеков п. 1.8
	Повышение огнестойкости зданий	Огнестойкость зданий, сооружений и пожарных отсеков п. 1.1
СНиП 21-01-97*	Снижение горючести материалов	Строительные материалы п. 5.3-5.8
	Повышение пределов огнестойкости конструкций	Строительные конструкции п. 5.9-5.11

Продолжение таблицы 5

<p>ППБ 01-93</p>	<p>Огнезащита</p> <p>Снижение горючести материалов</p> <p>Повышение огнестойкости зданий</p>	<p>Содержание зданий, сооружений, помещений п.1.3.2.4, 1.3.2.18, Строительно-монтажные и реставрационные работы п.15.11, 15.16, 15.18, 15.21 Требования пожарной безопасности к территориям, зданиям, сооружениям, помещениям п. 1.3.3.3 Строительно-монтажные и реставрационные работы п. 15.17</p>
<p>СНиП 2.08.01-89* «Жилые здания»</p>	<p>Повышение пределов огнестойкости конструкций</p>	<p>Этажность и степень огнестойкости п. 1.12, 1.13</p>
<p>СНиП 2.08.02-89* «Общественные здания и сооружения»</p>	<p>Огнезащита</p> <p>Повышение пределов огнестойкости конструкций</p>	<p>Общие требования п. 1.11, Этажность общественных зданий, степень огнестойкости зданий и их элементов п. 1.43, 1.44, 1.57, 1.61, 1.85, 1.86, 1.88 Этажность общественных зданий, степень огнестойкости зданий и их элементов п. 1.43, 1.52, 1.58, 1.59, 1.61, 1.84</p>
<p>СНиП 2.09.02-85* Производственные здания</p>	<p>Огнезащита</p>	<p>Объемно – планировочные и конструктивные решения п. 2.16</p>
<p>СНиП П-99-77 Животноводческие, птицеводческие и звероводческие здания и помещения</p>	<p>Огнезащита</p>	<p>Объемно – планировочные и конструктивные решения п. 2.7</p>
	<p>Повышение пределов огнестойкости конструкций</p>	<p>Объемно – планировочные и конструктивные решения п. 2.6, 2.7</p>

Продолжение таблицы 5

<p>ППБ-05-86 Правила пожарной безопасности при производстве строительно-монтажных работ</p>	<p>Огнезащита</p>	<p>Меры пожарной безопасности при производстве монтажно – строительных работ п. 3.3, 3.9</p>
<p>НПБ 108-96 Культовые сооружения. Противопожарные требования</p>	<p>Огнезащита</p> <p>Повышение пределов огнестойкости конструкций</p>	<p>Требования к размещению зданий, объёмно-планировочные, конструктивные решения. Огнестойкость сооружений, конструкций, требования к материалам, пути эвакуации п. 2.8-2.10</p> <p>Требования к размещению зданий, объёмно-планировочные, конструктивные решения. Огнестойкость сооружений, конструкций, требования к материалам, пути эвакуации п. 2.1</p>
<p>ППБ-АС-95 Правила пожарной безопасности при эксплуатации атомных станций</p>	<p>Огнезащита</p> <p>Повышение пределов огнестойкости конструкций</p>	<p>Содержание зданий и помещений. п. 4.2.5, Энергетическое и технологическое оборудование п. 5.4.3, 5.4.8, 5.4.15-5.4.17, Складское хозяйство п. 7.1.9 Содержание зданий и помещений п. 4.2.17, Энергетическое и технологическое оборудование 5.4.3</p>
<p>СНиП 31-03-2001 Производственные здания</p>	<p>Повышение пределов огнестойкости конструкций</p>	<p>Предотвращение распространения пожара. п. 7.1, 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 7.7, 7.8, 7.9</p>

Таким образом, можно сказать, что любые противопожарные нормы должны развиваться по следующим направлениям: нормы, направленные на

снижение возможности возникновения пожаров; нормы, направленные на ограничение распространения огня внутри зданий и между ними [14-17].

1.5 Предел огнестойкости стальных конструкций, как показатель пожарной опасности

Согласно СНиП 21-01-97*, строительные конструкции характеризуются огнестойкостью и пожарной опасностью. Показателем огнестойкости является предел огнестойкости, пожарную опасность конструкции характеризует класс ее пожарной опасности. Предел огнестойкости строительных конструкций устанавливается по времени (в минутах) наступления одного или последовательно нескольких, нормируемых для данной конструкции, признаков предельных состояний:

- потери несущей способности (R);
- потери целостности (E);
- потери теплоизолирующей способности (I) [18,19].

Пределы огнестойкости строительных конструкций и их условные обозначения устанавливают по ГОСТ 30247. По пожарной опасности строительные конструкции подразделяют на четыре класса:

- K0 (непожароопасные);
- K1 (малопожароопасные);
- K2 (умереннопожароопасные);
- K3 (пожароопасные).

Класс пожарной опасности конструкций устанавливают по ГОСТ 30403-96.

Металлы обладают высокой чувствительностью к повышению температуры и к действию огня. Они быстро нагреваются и снижают прочностные свойства.

Классификация на группы огнезащитной эффективности стальных конструкций (по времени достижения металлом критической температуры 500 °С в минутах):

- 1 Не менее 150
2. От 120 до 150
3. От 90 до 120
4. От 60 до 90
5. От 30 до 60
6. Менее 30 [20]

Металлические конструкции относят к противопожарным преградам в строительстве, которые и нормируют по пределам огнестойкости конструкций, обеспечивающих устойчивость преграды, узлов крепления между ними и конструкций, на которые она опирается, по признаку R должны быть не менее требуемого предела огнестойкости ограждающей части противопожарной преграды. Пожарная опасность противопожарной преграды определяется пожарной опасностью ее ограждающей части с узлами крепления и конструкций, обеспечивающих устойчивость преграды. Все противопожарные преграды должны быть класса K0 [21].

1.6 Огнезащита металлических конструкций

Для обеспечения требований пожарной безопасности металлических конструкций необходимо использовать специальные средства огнезащиты, которые подвергаются обязательной сертификации, в соответствии НПБ 236-97 «Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Методы определения огнезащитной эффективности», ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Метод испытания на огнестойкость. Общие требования». Каждое огнезащитное покрытие получает сертификат пожарной безопасности, в котором указывается: наименование огнезащитного материала; толщина сухого слоя покрытия; огнезащитная эффективность;

теоретический расход огнезащитного материала (без учета потерь), наименование и толщина грунта [22, 23].

Следует отметить, что недопустимо нанесение огнезащитного покрытия на грунт, отличающийся от указанного в Сертификате, а также нанесение на поверхность огнезащитного покрытия других покрытий, не указанных в Сертификате.

Сертификат пожарной безопасности выдается на срок не более трех лет органом по сертификации.

При разработке проекта нового строительства или реконструкции, в случае необходимости, огнезащита несущих металлических конструкций разрабатывается в составе мероприятий по пожарной безопасности в разделе «Архитектурно-строительные решения» в соответствии со СНиП 11-01-95.

При применении для огнезащиты несущих конструкций огнезащитных составов в пояснительной записке к проекту указываются: группа огнезащитной эффективности состава по НПБ 236; требуемый предел огнестойкости несущих конструкций; толщина сухого слоя огнезащитного состава; наименование огнезащитного состава, номер ТУ и Сертификата пожарной безопасности; допускаемые виды (марки) грунтов для металлических конструкций (по Сертификату пожарной безопасности); допускаемые виды (марки) покрывных материалов.

Для эксплуатируемых зданий и сооружений в случае необходимости огнезащиты несущих строительных конструкций разрабатывается проект огнезащиты в соответствии с НПБ 236-97. Проект огнезащиты разрабатывается организацией, имеющей лицензию на данный вид деятельности.

К проведению работы по огнезащите металлических конструкций допускаются только организации, имеющие лицензии на производство огнезащитных работ, а также сертификаты на применяемые огнезащитные средства. Лицензирование деятельности в области огнезащиты осуществляется

в соответствии с Положением о лицензировании ГПС МВД России работ и услуг в области пожарной безопасности.

Технические характеристики огнезащитных материалов, не указанные в Сертификате пожарной безопасности, должны подтверждаться ТУ, протоколами испытаний и заключениями испытательных лабораторий.

Ряд ведущих отечественных разработчиков и производителей средств огнезащиты достаточно успешно занимаются выполнением огнезащитных работ с применением собственных материалов и технологий, постоянно их совершенствуя. Исследования этих организаций, проводимые совместно с ВНИИПО, позволяют сократить расход огнезащитных материалов, заменить их новыми более совершенными материалами, доработать огнезащитные материалы в соответствии с требованиями объекта и, как следствие, снизить стоимость огнезащитных работ при повышении качества [18].

2 Методология огнезащиты стальных строительных конструкций

2.1 Методы и средства огнезащиты стальных строительных конструкций

Предел огнестойкости стальных конструкций в зависимости от толщины элементов сечения и действующих напряжений составляет от 0,1 до 0,4 ч. Минимальные значения требуемых пределов огнестойкости основных строительных конструкций, в том числе металлических, составляют от 0,25 и до 2,5 ч в зависимости от степени огнестойкости зданий и типа конструкций.

Задача огнезащиты стальных конструкций заключается в создании на поверхности элементов конструкций теплоизолирующих пленок, выдерживающих высокие температуры и непосредственное действие огня. Наличие этих пленок способствует замедлению прогрева металла и позволяет сохранять конструкции свои функции при пожаре в течение заданного периода времени [24].

Огнезащиту металлических конструкций осуществляют несколькими способами. Это и традиционные методы, такие как обетонирование, оштукатуривание, использования кирпичной кладки, и новые, современные методы, основанные на механизированном нанесении облегченных материалов и легких заполнителей - асбеста, вспученного перлита и вермикулита, минерального волокна.

Одним из перспективных из действующих на сегодняшний день средств огнезащиты металлических конструкций является применение составов терморасширяющегося типа (вспучивающиеся покрытия). Действие их основано на вспучивании нанесенного покрытия под воздействием высоких температур (170 — 250 °С) и образовании пористого теплоизолирующего слоя. При этом огнезащитное покрытие толщиной от 0,5 до 2 мм увеличивается в объеме в 10 – 40 раз и обеспечивает огнезащитную эффективность от 0,5 до 1,5 часа [26].

Основные принципы построения рецептур огнезащитных вспучивающихся (интумесцентных) красок аналогичны рецептурам лакокрасочных материалов: пленкообразователь, наполнители, пигменты (если необходимо), реологические ингредиенты, сиккативы (отвердители), если покрытие отверждаемого типа. Главное отличие заключено в наличии интумесцентной системы, отвечающей за процесс образования пенококса.

2.2 Характеристика наполнителей огнезащитных покрытий

Для вспучивающихся покрытий применяют специальные компоненты, подразделяемые на четыре группы:

полиолы – органические гидроксилсодержащие соединения с большим содержанием углерода (пентаэритрит, ди-, трипентаэритрит, крахмал, декстрин и др.);

неорганические кислоты или вещества, выделяющие кислоту при 100 – 250 °С (фосфорная кислота, ее эфиры и соли, соли аммония, меламинфосфат и полифосфат аммония);

амиды или амины (мочевина, дициандиамид, гуанидин и др.);

галогенсодержащие соединения, чаще всего хлорпарафины с 70 %-м содержанием хлора.

Кроме того, ряд наполнителей (гидроксид алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, оксалаты, карбонаты металлов, борная кислота и ее соли, фосфаты, содержащие кристаллизационную воду) также проявляет свойства антипиренов. Огнезадерживающее действие наполнителей-антипиренов обусловлено выделением паров воды при разложении в пламени. В некоторых случаях происходит образование оксидной пленки на горячей поверхности, выделение газов, не поддерживающих горение [27].

Очень часто используются галогенсодержащие антипирены, их доля в общем выпуске составляет почти 25%. В качестве добавок к полиолефинам применяют хлорпарафины, которые хорошо совмещаются с полимером, они

достаточно эффективны, однако могут выпотевать; гексахлорциклопентадиен, его димеры и аддукты с бутадиеном, дивинилбензолом, циклооктадиеном, дивинилбензолом или малеиновым ангидридом; броморганические циклоалифатические соединения – гексабромциклододекан, тетрабромциклооктан и др. Если сравнивать эффективность различных галогенов в их смесях с оксидом сурьмы (Sb_2O_3), то бром проявляет наибольший эффект. Так, при одновременном присутствии в системе хлора и брома преимущественно образуются бромиды сурьмы, а хлор выделяется в виде хлороводорода.

Широко известны неорганические и органические соединения фосфора. В настоящее время только эфиры фосфорных кислот составляют более 15 % всех антипиренов-добавок. Также существенное значение имеют реакционноспособные фосфорсодержащие антипирены, например, фосфорсодержащие полиолы. Введение фосфорсодержащих фрагментов в системы покрытий не только снижает их горючесть, но и повышает адгезию, противокоррозионную стойкость и улучшает важные свойства. Добавки на основе фосфора единственные препятствуют тлению – фосфорсодержащие антипирены действуют на начальных стадиях процесса горения, предотвращая разогрев и вызывая дегидратацию полимера, ускоряя его коксование, поэтому они больше подходят для зоны пиролиза.

В настоящее время наметилась тенденция к использованию для огнезащиты безгалогенных материалов на основе меламина (например, меламинцианурат), кроме того, минимизируются добавки оксидов сурьмы. Требования к таким веществам следующие: они не должны подвергаться коррозии ни в течение переработки, ни в случае пожара; выделять при сгорании минимальное количество дымогазовой смеси; по возможности исключать возникновение диоксинов. Применительно к этим веществам должна быть указана термостабильность, т. е. температура, при которой возникают первые признаки разложения. Они должны быть нерастворимы в воде и индифферентны к полимерам. Соединения подобного вида очень

безопасны, выделяют небольшой объем дыма при пожаре и обладают низкой токсичностью газов сгорания. Меламинамилфосфат также может использоваться в качестве эффективного заменителя оксида сурьмы как огнезащитного вещества в эластичных поливинилхлоридах [28].

В качестве добавок, снижающих пожарную опасность покрытий, в настоящее время начинают применять стеклосферы, полые стеклянные микрошарики, и углеродные нанотрубки. Это достаточно новый, но уже доказавший свою перспективность материал, представляющий собой полые трубки размером от 20 до 30 тысяч нм, состоящие из свернутых слоев углерода.

Выбор полимерного связующего определяется требованиями к физико-химическим, эксплуатационным и огнезащитным свойствам вспучивающихся красок. Для получения лакокрасочных материалов можно использовать пленкообразующие системы различных видов, в том числе водные дисперсии, органодисперсии и 100 %-е пленкообразующие системы. Наиболее распространены однофазные пленкообразующие системы, представляющие собой растворы пленкообразующих в органических растворителях.

В качестве катализатора карбонизации во вспенивающихся композициях широко используются различные фосфаты. Большинство из них водорастворимы, и, следовательно, их существенным недостатком является низкая водо- и атмосферостойкость. Поэтому главным критерием при выборе должна стать невысокая растворимость в воде.

С другой стороны, для интенсивного пенококсообразования и обеспечения эффективной огнезащиты необходимо, чтобы процессы, происходящие в покрытии при воздействии на них теплового потока, протекали в строго определенной последовательности, и, если учесть, что она зависит в первую очередь от температуры разложения составляющих компонентов покрытия, следующим критерием является значение температур при начале разложения фосфатов [25].

Основной характеристикой полифосфата аммония для огнезащитного состава является содержание азота и фосфора, которые должны находиться в пределах 14 – 15% азота и не менее 70 % фосфора соответственно. Более низкое содержание фосфора не позволит достичь нужной высоты (кратности) пены. Полифосфат аммония существует в двух видах: с кристаллической фазой I (степень полимеризации $n < 1000$) и кристаллической фазой II ($n > 1000$). Для первого типа характерны линейная структура, более низкая температура разложения и высокая степень водорастворимости, поэтому в производстве красок используется полифосфат фазы II с высокой степенью полимеризации.

Другим важным компонентом огнезащитного вспучивающегося покрытия считается карбонизирующий материал, который в условиях высокотемпературного пиролиза в смеси с катализатором карбонизации способен образовывать устойчивые конденсированные структуры. В качестве такого материала, к примеру, применяют пентаэритрит, ди- и трипентаэритриты, различные углеводы, аминокформальдегидные олигомеры и др.

Для дополнительного усиления эффективности катализатора карбонизации и карбонизирующего материала в огнезащитные вспучивающиеся материалы добавляют вспенивающие агенты (газообразователи). Последние, благодаря выделению большого количества негорючих газов при терморазложению, способствуют образованию вспененного слоя (таблица 6).

Несомненно, в связи с неблагоприятной экологической ситуацией наиболее распространены водно-дисперсионные вспучивающиеся покрытия, производство и применение которых не связано с использованием токсичных и пожароопасных органических веществ. Тем, не менее при окраске различных сооружений возникает необходимость в атмосферостойких вспучивающихся ЛКМ, применяемых в условиях повышенной влажности (по мокрым поверхностям), с повышенной морозостойкостью при условиях нанесения в зимний период и возможностью транспортировки в районы с холодным

климатом. Кроме того, в процессе строительства краски могут наноситься на конструкции недостроенных объектов без стеновых и крышных панелей, поэтому разработка вспучивающихся огнезащитных покрытий на основе органических растворителей до сих пор остается актуальной [26].

Таблица 6 – Свойства некоторых вспенивающих агентов

Название соединения	Растворимость в воде	Температура разложения, °С	Основные продукты разложения
Мочевина	Растворим	130	NH ₃ , H ₃ PO ₄
Гуанидин	Растворим	160	NH ₃ , H ₃ PO ₄
Бутилмочевина	Не растворим	96	NH ₃ , H ₃ PO ₄ , H ₂ O, CO ₂
Тиомочевина	мало растворим	180	NH ₃ , H ₃ PO ₄ , H ₂ O, CO ₂
Хлорпарафин	не растворим	200	H ₂ O, CO ₂ , HCl
Дициандиамид	не растворим	230	NH ₃ , H ₂ O, CO ₂
Меламин	не растворим	300	NH ₃ , H ₂ O, CO ₂

Органические растворители, используемые для этих целей, играют большую роль в процессе формирования покрытий, оказывая сильное воздействие на структуру и свойства пленок, полученных из растворов полимеров.

Если до недавних пор подбор оптимального состава растворителей осуществлялся в основном эмпирическим путем, то в последнее время при выборе растворителей руководствуются термодинамическим сродством в системе полимер – растворитель и летучестью растворителя. От сродства компонентов системы зависит скорость растворения пленкообразователя, стабильность и реологические свойства растворов или дисперсий, в определенной степени – структура и свойства покрытий. Летучесть растворителя сказывается на технологических характеристиках лакокрасочных материалов и внешнем виде покрытий, которые также находятся в зависимости от методов нанесения [29].

В качестве пленкообразователей для атмосферостойких растворных вспучивающих составов применяют хлосульфированный полиэтилен,

пентафталевые лаки, хлорвиниловые, стирол-акриловые полимеры. Наиболее оптимальны для таких связующих системы растворитель-разбавитель, где в качестве растворителя используются ароматические растворители (толуол, ксилол, бутилацетат). Разбавителем выступают сольвент или уайт-спирит. Время высыхания до степени «3» ГОСТ 19007 – 73 при температуре 20 °С таких покрытий составляет, как правило, не более 6 часов.

В целом, для разработки рецептур огнезащитных вспучивающихся красок чаще применяют систему полифосфат аммония – донор фосфорной кислоты, меламин – газообразующий агент, пентаэрит – карбонизатор в начальном соотношении 20:10:10. Практически все производители смол и дисперсий предлагают клиентам базовые рецептуры и описание технологического процесса: растворение смол (если речь идет об органорастворимых красках), затем введение наполнителей, пигментов и реологических добавок.

2.3 Защита древесины, как горючего материала в условиях соприкосновения с металлом

Особо опасными можно считать условия, когда металлические конструкции соприкасаются с деревом или пластиком и их присутствие усугубляет процесс, снижая тем самым время огнестойкости.

Поэтому проблема обработки деревянных конструкций огнезащитными пропитками – антипиренами является весьма актуальной.

Антипирены (от греч. Anti – приставка, означающая противодействие, и руг – огонь) (ингибиторы горения), вещества, понижающие горючесть материалов органического происхождения (древесины, пластмасс, тканей и др.) [30].

Предполагают, что их действие обусловлено:

- 1) разложением антипиренов под действием пламени с поглощением тепла и выделением негорючих газов;

- 2) изменением направления разложения материала в сторону образования негорючих газов и трудногорючего коксового остатка;
- 3) торможением окисления в газовой и конденсированной фазах;
- 4) образованием на поверхности материала теплозащитного слоя пенококса;
- 5) изменением направления реакций в предпламенной области в сторону образования сажеподобных продуктов.

Антипирены могут быть разделены на инертные и активные; последние вступают с материалом в химическую реакцию. Антипирены должны удовлетворять следующим требованиям: совмещаться с материалом и не мигрировать на его поверхность; не ухудшать механические и другие физические характеристики материала; не разлагаться при переработке материала и эксплуатации изделия; быть нетоксичными, не выделять при горении токсичных продуктов и уменьшать дымообразование. Желательно также, чтобы антипирены были бесцветны, атмосферостойки, обладали высокими диэлектрическими показателями.

Наиболее распространенные антипирены: $Al(OH)_3$, соединения бора (напр., $2BaO \cdot 3B_2O_3 \cdot nH_2O$; $2ZnO \cdot 3B_2O_3 \cdot nH_2O$), фосфора [фосфаты аммония, три(2,3-дибромпропил)фосфат и др.], сурьмы (Sb_2O_3 и др.), высокохлорированные парафины $C_{20}-C_{25}$, бромпроизводные ароматических углеводородов, смеси солей неорганических кислот с меламино- или мочевино-формальдегидными смолами, аммины Ni, Zn, Co, карбонаты и сульфаты аммония, соли Mo, V, Se. На практике применяют обычно смеси различных антипиренов.

Способ введения антипиренов зависит от типа защищаемого материала. Так, древесину пропитывают раствором антипирена или наносят на ее поверхность краску, содержащую антипирен. В синтетические полимеры антипирены могут быть введены на стадии их получения, при последующей переработке или в готовое изделие.

В настоящее время существует множество антипиренов и антипиренов-антисептиков, выпускаемых различными отечественными и зарубежными производителями. Их разработкой занимаются различные организации и ведомства.

Под действием пламени компоненты антипирена преобразуются в твердые продукты и газообразные вещества, которые, испаряясь, охлаждают деревянную поверхность. В свою очередь, обуглившись твердые компоненты образуют сплошную пленку, которая блокирует поступление кислорода. Таким образом, осуществляется как внутренняя, так и наружная огнезащита пропитанной антипиренами древесины.

При выборе ингибиторов горения особое внимание следует обращать на группу огнезащитной эффективности, которой они соответствуют согласно ГОСТ Р 53292-2009 «Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытания». Пропитки, относящиеся ко второй группе, только препятствуют возгоранию, тогда как составы с первой группой огнезащитной эффективности способны обеспечить полноценную защиту на всех стадиях развития пожара [30].

Отдавая предпочтение определенной огнезащитной пропитке, кроме показателя группы огнезащитной эффективности, необходимо учитывать особенности горения каждого из типов древесного материала, т. е. принимать к сведению сорт, тип, плотность древесины, которую необходимо будет обработать. В частности, дубовая доска загорается медленнее, вне зависимости от наличия антипиренов на ее поверхности, а еловый или сосновый брус уничтожается огнем за считанные минуты.

В бытовых условиях огнезащитные пропитки принято наносить кистью на поверхность деревянных конструкций или изделий, однако это гарантирует лишь краткосрочную защиту: состав не проникает вглубь древесной структуры, предохраняя от огня лишь поверхность.

Антипирены нового поколения также отличает совместимость с финишным декоративным покрытием, наносимым на пропитанную древесину.

Подобное ранее не представлялось возможным. Традиционные ингибиторы горения создаются на кислотной основе, вследствие чего любое взаимодействие с лакокрасочным слоем приводит к повреждению последнего, в связи с этим их принято выпускать в нескольких цветовых решениях [31].

Среди неоспоримых преимуществ водорастворимых составов – безопасность для внутренней отделки зданий, а также офисной мебели. Этим объясняется их столь возросшая популярность.

Следует подчеркнуть, что подобные пропитки не повышают гигроскопичные свойства древесины, не способствуют развитию коррозионных процессов у металлических деталей и соединений, не наносят вред окружающей среде и здоровью человека.

Однако при выполнении огнезащитных работ не стоит забывать о дополнительной защите древесины от появления грибка, насекомых, нарастания плесени, которую способны обеспечить антисептики.

К их числу принято относить химические препараты, предохраняющие деревянные поверхности от биологического разрушения (гниения, поражения древоточцами и пр.). При нанесении антисептиков также происходит глубинное заполнение структуры древесного материала специальным составом, позволяющим полностью предотвратить губительное воздействие внешних разрушающих факторов [32].

Обработка древесины подобными материалами производится в автоклаве под высоким давлением с использованием вакуума, после чего все покрытые изделия подвергаются сушке в условиях комнатной температуры в течение 48 часов [33].

Для защиты столь широко используемого материала, как древесина, необходимо тщательно выбирать огнезащитные и антисептические средства, предпочитая современные материалы, прошедшие автоклавную обработку [34].

3 Исследование деформативных характеристик, как показателей огнестойкости стали, соприкасающейся с горючими древесными материалами в строительных конструкциях

Прочность, надежность, индустриальность в изготовлении стальных конструкций с учетом принципов унификации и стандартизации, транспортабельность, небольшие сроки при монтаже, все эти характеристики определяют экономичность использования стальных конструкций в строительстве [2]. Однако стальные конструкции обладают такими недостатками, как подверженность воздействию коррозии, а также небольшая огнестойкость, немного более 400°С. Основная проблема использования стальных конструкций заключается в том, что во время пожара при нагревании они деформируются. Причем в условиях нахождения рядом со стальными конструкциями деревянных балок, прогонов, обрешетки кровли, плит перекрытия, заполненных легковоспламеняющимися материалами, устойчивость стальных конструкций значительно снижается.

Так как в нашем исследовании были проведены эксперименты по выявлению деформативных характеристик стали, соприкасающейся с горючими древесными материалами, то важно рассмотреть закономерности снижения несущей способности деревянных элементов. Важно отметить, что снижение несущей способности деревянных элементов конструкций происходит из-за обугливания древесины, что приводит к уменьшению размеров рабочего сечения этих элементов. При этом изменяется и несущая способность соединений сталь – древесина, так как снижаются и прочностные характеристики стали.

В НИИПО МВД РФ были проведены исследования и предложена физическая модель обугливания древесины при воздействии на них огня. На рисунке 5 представлены процессы обугливания.

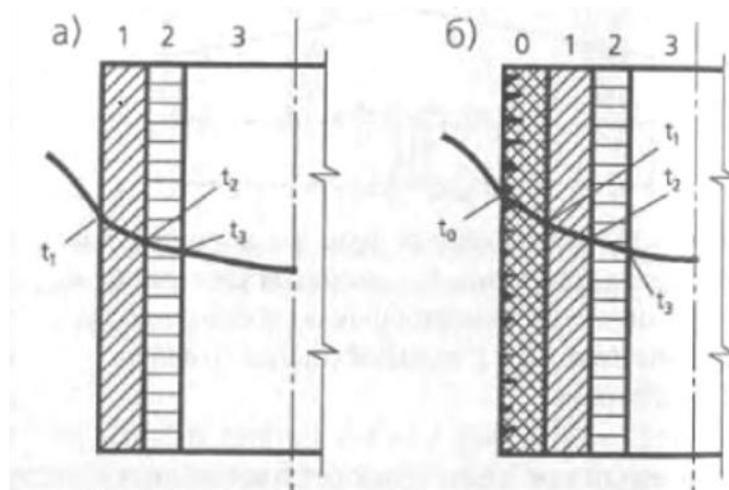


Рисунок 5 – Процессы обугливания древесины

В соответствии с рис.5а первый этап процесса характеризуется интенсивным прогревом поверхностных слоев древесины, в результате которого происходит выделение влаги, находящейся в древесине, в окружающую среду и перенесение её вглубь древесины. При этом образуются три характерные зоны, в первой из которых происходит частичная деструкция древесины, значение температур на границах этой зоны соответственно: $t_1 \leq 300^\circ C$ и $t_2 \geq 175^\circ C$. Во второй зоне при $t_3 \geq 100^\circ C$ происходит фазовое превращение влаги в пар. В третьей зоне температура в древесине колеблется в пределах от $20^\circ C$ до $100^\circ C$. Через 3-5 минут после начала воздействия пламени на поверхности древесины с относительной влажностью не более 9% температура достигает $280-300^\circ C$ при такой температуре происходит процесс карбонизации поверхностных слоев древесины, которая теряет свои первоначальные механические свойства. Согласно предложенной модели после этого начинается второй этап процесса обугливания древесины рис.5б, когда кроме зон 1,2,3 появляется зона 0, где $t \geq 300^\circ C$, в которой образуется слой угля с неоднородной пористой структурой и усадочными трещинами.

Этот переугленный слой древесины обладает более низкими, по сравнению с необугленной древесиной, теплофизическими характеристиками: коэффициентом теплопроводности, удельной теплоемкостью. Процесс обугливания происходит последовательно, распространяясь от поверхностных слоев вглубь древесины, что приводит к уменьшению размеров деревянных

элементов конструкции. Скорость обугливания разных пород древесины находится в пределах 0,6 – 1,0 мм/мин в зависимости от продолжительности температурного воздействия пламени, плотности и влажности древесины, размеров сечения деревянного элемента конструкции и шероховатости поверхности [35 – 37].

Поведение элементов стальных конструкций, работающих в контакте с деревянными элементами, зависит от статической схемы конструкции, от конструкции сечения их элементов. Стальные конструкции небольшого сечения работают на растяжение и сжатие. Мембранные конструкции (1-2 мм) прогибаются, их огнестойкость 0,75-1,0 час.

Важно отметить, что традиционные методы расчета огнестойкости стальных конструкций не учитывает температурного расширения и температурной деформации ползучести стали при воздействии процессов обугливания древесины, поэтому требуется дополнительная оценка огнестойкости таких стальных конструкций. Решение этой проблемы было ведущей задачей нашего эксперимента.

В эксперименте были использованы элементы конструкции, состоящие из стальной пластины 100x100x2 мм закрепленные на деревянном бруске 100x50x50 мм, которые подвергались температурному воздействию пламени. Для проведения эксперимента была сконструирована установка в виде шкафа. За основу конструкции взят прибор для определения огнестойкости модификации ОТ – 68 (ГОСТ 15898-70). Прибор состоит из металлического корпуса размером 290x270x530 мм, в котором находится горелка и стержень для удерживания образцов. Металлический корпус имеет переднюю дверцу.

Горелка служит для создания заданного пламени при проведении испытания; расположена она в нижней части прибора и закреплена на перемещающемся держателе. В работе использовалась газовая горелка с шириной фитиля 25 мм [38].

Стержень для удерживания образцов служит для закрепления испытуемой пробы, его подвешивают через захватывающий держатель к съемной крышке, расположенной в верхней части прибора.

Для циркуляции воздуха в камере прибора в нижней части передней и задней стенок, а также в боковых дверцах имеются отверстия, регулируемые задвижками, а для создания тяги – труба высотой 30 мм с крышкой, расположенная в верхней части прибора (рис. 6 и 7).



Рисунок 6 – Прибор для определения огнестойкости модификации ОТ – 68 (ГОСТ 15898-70)



Рисунок 7 – Расположение образца в приборе для определения огнестойкости модификации ОТ – 68 (ГОСТ 15898-70)

Для измерения времени горения пользовались секундомером, для определения степени разрушения древесины образцы взвешивали до и после испытания на весах 2 класса точности ВСТ – 600/10.

На подготовленные образцы были нанесены огнезащитные покрытия. Так как цель работы заключалась в модификации огнезащитных составов,

которые не только бы снижали горючесть древесины, но и способствовали противокоррозийной стойкости стали, находящейся в контакте с ней. Известно, что к таким составам относится, среди неорганических соединений, фосфорсодержащие антипирены.

Поэтому в качестве основы для разработки составов был взят экологически безопасный антипирен для древесины Пирилакс – Люкс, который используется для внутренней обработки деревянных конструкций [39].

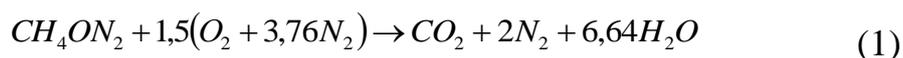
Пирилакс – это антипирен на основе фосфорсодержащего соединения состоящего из продуктов реакции фосфористой кислоты (H_3PO_3) и водного аммиака NH_3 в объёмных соотношениях 1:1. Токсиколого-гигиенические исследования его по воздействию на человека и окружающую среду проводились в институте токсикологии г. Санкт – Петербурга. По степени воздействия на организм человека он относится к IV классу малоопасных веществ (ГОСТ 12.1007-76). Показатель токсичности продуктов горения материалов, пропитанных им так же относят согласно ГОСТ 12.1049-89 к малоопасным [40, 41].

В состав данного антипирена в качестве модифицирующей добавки был введен карбамид в соотношении 2 (H_3PO_3) : 2 (NH_4OH) : 1 (CH_4ON_2).

Карбамид в составе Пирилакса не выделял, при горении, токсичных продуктов, обладал диэлектрическими показателями, не придавая ему окраски.

Так как горючее – индивидуальное вещество, то для определения объема и состава продуктов горения запишем уравнение химической реакции.

При горении карбамид образует:



Из данного уравнения следует, что продукты горения состоят из

$$V_{CO_2} = 1 \text{ моль}, V_{H_2O} = 2 \text{ моль}, V_{N_2} = 6,64 \text{ моль},$$

Далее определяем низшую теплоту сгорания по формуле (1).

$$Q_H = \sum (n\Delta H_i - n\Delta H_j). \quad (1)$$

где ΔH_i , ΔH_j – соответственно теплота образования одного кмоль i -го конечного продукта горения и j -го исходного вещества;

n_i , n_j – соответственно количество кмоль i -го продукта реакции и j -го исходного вещества в уравнении реакции горения.

$$Q_H = 1 \cdot 396,97 + 2 \cdot 242,2 - 319,2 = 562,1 \text{ кДж/моль}$$

Средняя энтальпия продуктов горения рассчитывается по формуле (2).

$$H_{ср} = \frac{562,1}{9,64} = 58,3 \text{ кДж/моль} \quad (2)$$

$H_{ср}$ выражена в кДж/моль, по таблице 3.3 выбираем, ориентируясь на азот, первую приближенную температуру горения $T_1 = 1600 \text{ С}$.

Рассчитываем теплосодержание продуктов горения при 1600 С по формуле (3).

$$Q_{пр} = 67,3 \cdot 2 + 84,6 + 6,64 \cdot 52,4 = 567,1 \text{ кДж/моль} \quad (3)$$

Если, $Q_{пр} > Q$, то $T_2 < T_1$. Следовательно, T_2 принимаем 1500 С .

Рассчитываем теплосодержание продуктов горения при 1500 С по формуле (3).

$$Q_{пр} = 62,3 \cdot 2 + 78,6 + 6,64 \cdot 48,8 = 527,23 \text{ кДж/моль}$$

Далее определяем температуру горения по формуле (4).

$$T_r = 1500 + \frac{(562,1 - 527,23)(1600 - 1500)}{567,1 - 527,23} 1578^\circ \text{ С} \quad (4)$$

Таблица 7 – Энтальпия (теплосодержание) газов при постоянном давлении

Температура горения, С	Теплосодержание, кДж/моль				
	O2	N2	Воздух	CO2	H2O
1300	44,0	41,7	42,1	66,8	52,6
1400	47,7	45,3	45,6	72,7	57,4
1500	51,5	48,8	49,2	78,6	62,3
1600	55,2	52,4	52,8	84,6	67,3
1700	59,0	55,9	56,4	90,5	72,4

Надо отметить, что известны антипирены с применением огнезащитного состава из ортофосфорной кислоты, раствора аммиака и мочевины (карбамида), но он обнаруживает токсические свойства, как в процессе разложения при горении, так и в процессе синтеза.

Так же нами был подготовлен раствор на основе H_3PO_3 и NH_4OH , но в соотношении 1 (H_3PO_3) : 8 (NH_4OH), который имел $\text{pH} > 7$.

Деревянные образцы были пропитаны растворами подготовленных составов.

Образцы погружались в растворы на 2-3 минуты, после чего высушивались до постоянной массы при температуре 25-30 °С (в течение трех суток). А так же механическим способом приводились к одинаковой массе (100гр.).

Для создания защитной пленки на стальной пластине было использовано покрытие состава, разработанного для функционального использования при дуговой сварке плавлением (патент №2353491 РФ) [42].

Данное покрытие может быть использовано в качестве огнезащитного для металлических конструкций, так как создает защитную пленку при его термическом разложении. А под действием пламени выделяет негорючие, а так же нетоксичные вещества.

Например:



Покрытие наносилось на стальные пластины в 2 слоя с промежутком в 1 час.

Результаты проведенных экспериментов приведены в таблицах 8 и 9.

Таблица 8 – Огнезащитные покрытия

№ образца	Состав антипирена (основные компоненты)			Функциональное покрытие для сварки плавлением
	1H ₃ PO ₃ : 1NH ₄ OH, pH≤5,5	2H ₃ PO ₃ : 2NH ₄ OH: 1CH ₄ NO ₂ , pH≤5,5	1H ₃ PO ₃ : 8NH ₄ OH, pH=8,5	
1.древесина	+			
сталь	-			
2.древесина		+		
сталь		-		
3.древесина			+	
сталь			-	
4.1древесина	+			
сталь				+
4.2древесина		+		
сталь				+
4.3древесина			+	
сталь				+
5.древесина	-	-	-	
сталь				-

В таблице 8 приведены составы огнезащитных покрытий образцов древесины и стальных пластин, которые прикреплялись к деревянным брускам. Всего было подготовлено для эксперимента 7 образцов, по 3 параллельных пробы, которые различались не только составом огнезащитной пропитки, но и вариацией пропитки компонентов системы древесина – сталь.

Таблица 9 – Результаты изменения массы, степени разрушения древесины и изменения прочности стали на изгиб в системе «сталь +древесина», находящейся в открытом пламени горелки с использованием различных покрытий

№ образца	Исходная масса древесины, г	Масса древесины после воздействия пламени, в течение времени, г		Разрушение массы древесины после воздействия пламени, в течение времени, % масс.		Прочность стали на изгиб, после воздействия пламени в течение времени	
		10 минут	25 минут	10 минут	25 минут	10 минут	25 минут
1.1	100,00	95,80	93,10	4,20	6,90	1,12	1,28
1.2	100,00	95,90	93,20	4,10	6,80	1,11	1,30
1.3	100,00	95,80	92,90	4,20	7,10	1,10	1,31
2.1	100,00	97,60	93,80	2,40	6,20	1,20	1,35
2.2	100,00	97,50	93,70	2,50	6,30	1,18	1,33
2.3	100,00	97,70	94,00	2,30	6,00	1,20	1,35
3.1	100,00	94,20	91,10	5,80	8,90	1,00	1,15
3.2	100,00	94,10	91,20	5,90	8,80	1,05	1,20
3.3	100,00	94,40	91,30	5,60	8,70	1,10	1,20
4.1.1	100,00	96,50	94,00	3,50	6,00	1,15	1,30
4.1.2	100,00	96,30	94,20	3,70	5,80	1,14	1,32
4.1.3	100,00	96,40	94,10	3,60	5,90	1,15	1,34
4.2.1	100,00	97,80	94,70	2,20	5,30	1,20	1,35
4.2.2	100,00	97,90	94,60	2,10	5,40	1,22	1,36
4.2.3	100,00	97,70	94,80	2,30	5,20	1,20	1,35
4.3.1	100,00	95,20	92,80	4,80	7,20	1,05	1,20
4.3.2	100,00	95,40	92,60	4,60	7,40	1,00	1,18
4.3.3	100,00	95,30	92,50	4,70	7,50	1,05	1,21
5.1	100,00	80,60	67,30	19,40	32,70	1,00	1,15
5.2	100,00	80,50	66,30	19,50	33,70	1,02	1,17
5.3	100,00	80,90	66,80	19,10	33,20	1,01	1,13

На рисунках 8 и 9 представлены графики зависимости разрушения древесины (% масс.) после воздействия пламени в течение 10 и 25 минут соответственно.

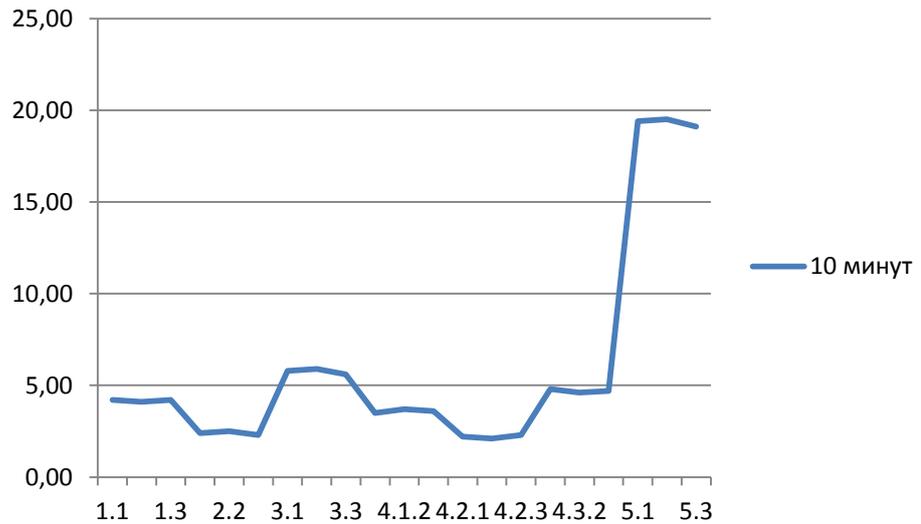


Рисунок 8 – Разрушение древесины от воздействия пламени, в течение 10 мин., % (масс.)

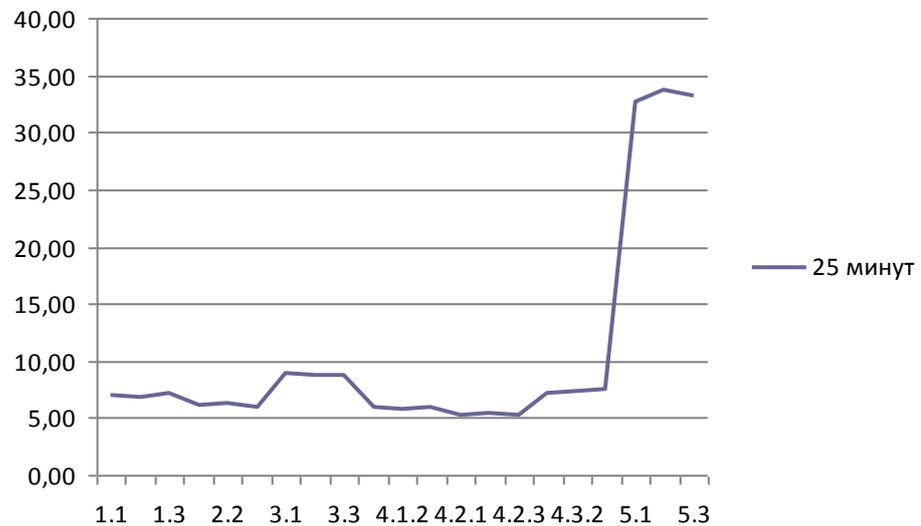


Рисунок 9 – Разрушение древесины от воздействия пламени, в течение 25 мин., % (масс.)



Рисунок 10 – Прочность стали на изгиб, при воздействии пламени, в течение 10 минут

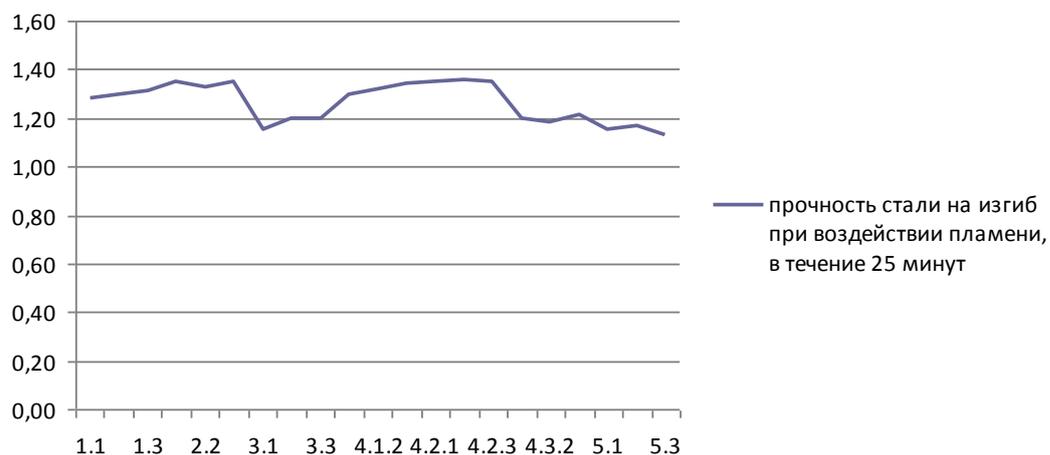


Рисунок 11 – Прочность стали на изгиб, при воздействии пламени, в течение 25 минут

На рисунках 10 и 11 представлены графики зависимости прочности стали на изгиб (кН) после воздействия пламени в течение 10 и 25 минут.

Результаты воздействия открытого пламени в течение 10 минут пробы образца №5 необработанного огнезащитными средствами показали, что масса древесины уменьшилась более, чем на 19%, а в течение 25 минут более чем на 30% (рисунок 12).



Рисунок 12 – Результаты воздействия открытого пламени в течение 10 и 25 минут на пробы образца №5 необработанного огнезащитными средствами

Пробы образца №1, с древесиной обработанной антипиреном состава «Пирилакс» в результате воздействия открытого пламени в течение 10 минут показали разрушение по массе примерно 4%, а в течение 25 минут – около 7%.

Пробы образцов №2, с древесиной обработанной антипиреном модифицированным раствором карбамида под воздействием открытого пламени в течение 10 минут уменьшили массу на 2,5%, а в течение 25 минут на 6%.

Пробы образца №3, с древесиной обработанной антипиреном с добавлением аммиака ($\text{pH} > 7$) под воздействием открытого пламени в течение 10 минут показали увеличение степени разрушения по массе, что составило около 6%, а в течение 25 минут – 9%.

Пробы образцов №№ 4.1, 4.2, 4.3, древесина которых была обработана использованными в эксперименте антипиренами, а металлическая пластина покрыта функциональным покрытием для сварки под воздействием открытого пламени в течение 10 минут и 25 минут показали разное разрушение древесины:

№ 4.1 – древесина за 10 минут разрушилась на 3,6%, а за 25 минут – примерно на 6%;

№ 4.2 – древесина за 10 минут разрушилась на 2,2%, а за 25 минут – примерно на 5,4%;

№ 4.3 – древесина за 10 минут разрушилась на 4,6%, а за 25 минут – примерно на 7,4%;

Таким образом, огнезащитная пропитка, модифицированная карбамидом, улучшает огнезащитные свойства древесины.

Металлические пластины в образцах, подвергшихся воздействию открытого пламени, были испытаны на прочность стали на изгиб.



Рисунок 13 – Металлические пластины в образцах, подвергшихся воздействию открытого пламени, после испытания на прочность стали на изгиб

Стальные пластины и древесина не обработанные антипиренами под воздействием открытого пламени показали минимальную прочность на изгиб – 1,01 кН при 10 минутах и 1,15 при 25 минутах воздействия пламени.



Рисунок 14 – Образцы, показавшие наименьшие и наибольшие значения разрушения древесины и прочности металлических пластин на изгиб

Наибольшую прочность на изгиб металлические пластины показали пробы образца 4.2 (1,36 кН), которые были обработаны функциональным покрытием, а древесина имела минимальное разрушение при обработке модифицированным антипиреном (рисунок 14).

В эксперименте были использованы элементы конструкции, состоящие из стальной пластины 100x100x2 мм закрепленные на деревянном бруске 100x50x50 мм, которые подвергались температурному воздействию пламени. Для проведения эксперимента была сконструирована установка в виде шкафа.

Для проведения эксперимента была сконструирована установка в виде шкафа. За основу конструкции взят прибор для определения огнестойкости модификации ОТ – 68 (ГОСТ 15898-70). Прибор состоит из металлического корпуса размером 290x270x530 мм, в котором находится горелка и стержень для удерживания образцов.

Использовалась также стандартная горелка, пропано-кислородная инжекторная со сменными наконечниками, предназначенная для пайки высокотемпературными припоями, нагрева, плавления и других технологических процессов.

Газовая смесь находится в баллоне под давлением.

Технологическое оборудование изготавливалось для выполнения данной ВКР, сроки окончания работ устанавливались в связи с графиком проведения экспериментов. Бюджет составлялся исходя из рыночной стоимости товаров и услуг в регионе. Основными рисками проекта является несоблюдение сроков исполнения работ.

Работа выполнялась в рамках НИРС студентов кафедры БЖДЭиФВ, заработная плата научному руководителю выплачивалась согласно штатного расписания и индивидуального плана преподавателя. В смете расходов запланирована оплата труда наемного персонала (сварщик) по договоренности.

В настоящее время цена определяется преимущественно на основании экспертных оценок, а также анализа опыта проведения аналогичных работ.

Сметная стоимость научно- исследовательских и тематических работ определяется путем составления сметно- финансовых расчетов и складывается из основных расходов, накладных расходов, плановых накоплений, компенсируемых затрат, подрядных работ и НДС.

Таблица 10 – Смета расходов на изготовление технологического оборудования

Наименование статей расходов	затраты, %	затраты, руб
Хозяйственные расходы, в т.ч.	72	5300
расходы на приобретение материалов (металл для изготовления оборудования и проведения эксперимента)		3000
расходы на приобретения горелки		1000
расходы на приобретение оборудования (газовый баллон)		600
оплата услуг сторонних организаций (проведение сварочных работ)		700
Итого прямые расходы	72	5300
Накладные расходы	10	736
НДС	18	1325
Всего затрат	100	7361

Оценка работ и материалов производилась из средней стоимости подобных услуг в нашем регионе.

Так работа сварщика в течение 1 часа составляет 700 рублей. Стоимость металла сталь 3 толщиной 2 мм размерами 2500x1250 составила 3000 рублей. Заправка газового баллона – 600 рублей, приобретение горелки –

1000 рублей. Итого на хозяйственные нужды было потрачено 5300 рублей. Таким образом основную часть затрат составили хозяйственные расходы.

Накладные расходы предполагают стоимость доставки оборудования и материалов.

Всего затрачено на изготовление оборудования 7361 рубль, эффективность и окупаемость данных работ является высокой, поскольку данное оборудование будет в дальнейшем использоваться работниками кафедры БЖДЭиФВ для выполнения научно-исследовательских работ в рамках научного и учебного плана развития кафедры.

5 Социальная ответственность

Рабочим местом объекта исследования является лаборатория ЮТИ ТПУ, г.Юрги. Размеры лаборатории: длина – 30 м, ширина – 18 м, высота – 4 м.

Материал стен – сэндвич панели, материал пола и потолка – бетон и бетонные плиты. Количество оконных проемов – 4 и дверных – 3. Лаборатория занимает площадь, равную 540 м².

Исследования проводились в отдельном блоке лаборатории, предназначенном для проведения эксперимента по определению огнестойкости веществ и материалов. Длина – 3 м, ширина -3 м, высота – 4 м.

Для работы применялись образцы (древесные бруски + металлические пластины), прибор для проведения эксперимента по образцу ГОСТ 15898-70 ОТ-68 оборудованный горелкой с использованием пропана поступающего из баллона, который находится на металлической подставке и жестко закреплен.

При работе в данных условиях были выявлены следующие вредные факторы производственной среды: микроклиматические условия рабочей зоны; присутствие вредных веществ (копоть, задымленность); освещение [43].

Микроклиматические условия рабочей зоны

При работе в лаборатории работнику должны быть предоставлены комфортные микроклиматические условия [44].

Жизнедеятельность человека сопровождается непрерывным выделением теплоты в окружающую среду. Ее количество зависит от степени физического напряжения (энерготрат) в определенных климатических условиях и составляет от 50 Вт (в состоянии покоя) до 500 Вт (при тяжелой работе).

Для того чтобы физиологические процессы в организме протекали нормально, выделяемая организмом теплота должна полностью отводиться в окружающую среду. Нарушение теплового баланса может привести к

перегреву либо к переохлаждению организма и, как следствие, к потере трудоспособности, быстрой утомляемости, потере сознания и тепловой смерти.

Тепловое состояние человека, следовательно, его работоспособность зависит от воздействия ряда параметров микроклимата. К ним относятся:

- температура воздуха;
- температура поверхностей;
- относительная влажность воздуха;
- скорость движения воздуха;
- интенсивность теплового облучения.

Переносимость человеком температуры и его тепловые ощущения в значительной мере зависят от влажности и скорости окружающего воздуха. Чем больше относительная влажность, тем меньше испаряется пота в единицу времени и тем быстрее наступает перегрев организма [45].

Особенно неблагоприятное воздействие на тепловое состояние человека оказывает высокая влажность в сочетании с высокой температурой (больше 30° С).

Недостаточная влажность воздуха – неблагоприятна для человека из-за интенсивного испарения влаги со слизистых оболочек, их пересыхания и растрескивания, а затем загрязнения болезнетворными микробами.

Значительная интенсивность теплового облучения (инфракрасное излучение) и высокая температура воздуха могут оказать неблагоприятное воздействие на организм человека. Тепловое облучение интенсивностью до 350 Вт/м² не вызывает неприятного ощущения, при 1050 Вт/м² уже через 3...5 мин на поверхности кожи появляется неприятное жжение (температура кожи повышается на 8...10 °С), а при 3500 Вт/м² через несколько секунд возможны ожоги.

Кроме непосредственного воздействия на человека лучистая теплота нагревает окружающие конструкции. Эти вторичные источники отдают

теплоту окружающей среде излучением и конвекцией, в результате чего температура воздуха внутри помещения повышается.

Оптимальные микроклиматические условия- сочетания количественных показателей микроклимата, которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального теплового состояния организма без напряжения механизмов терморегуляции. Они обеспечивают ощущение теплового комфорта и создают предпосылки для высокого уровня работоспособности [46].

В качестве предельно допустимой температуры воздуха для работ первой категории (легкие физические работы) установлена температура 28°C.

При работе с газовыми горелками на работника могут воздействовать следующие опасные производственные факторы:

повышенная загазованность рабочей зоны;

▪ повышенное содержание вредных паров и аэрозолей в воздухе рабочей зоны;

▪ опасность получения ожогов;

▪ статическая нагрузка на плечевой пояс;

▪ физические перегрузки;

▪ взрывоопасность;

▪ пожароопасность.

Оптимальные параметры микроклимата в лаборатории представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Температура в рабочей зоне, °С	Влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура поверхности, °С
Холодный период	18-20	40-60	0,2-0,3	21-25
Теплый период	21-23	40-60	0,3-0,4	17-21

Источники возникновения вредных и опасных производственных факторов:

- неисправное лабораторное оборудование или неправильная его эксплуатация;

- отсутствие, неисправность, неправильная эксплуатация СИЗ;

- неисполнение или ненадлежащее исполнение работником должностной инструкции, инструкций по охране труда, правил внутреннего трудового распорядка, локальных нормативных актов, регламентирующие порядок организации работ по охране труда, условия труда на объекте.

Для создания благоприятного микроклимата в лаборатории необходимо обеспечить: эффективную, рационально оборудованную вентиляцию, кондиционирование воздуха, систему отопления.

Расчет степени комфорта работающих в лаборатории:

Для оценки сочетания параметров микроклимата используют соотношение Д. Ван- Зейлена

$$K = 7,83 - 0,1t_B - 0,0968t_{\Pi} - 2,8 \cdot 10^{-4} P + 0,0367 \sqrt{v(37,8 - t_B)} \quad (1)$$

где t_B - температура воздуха в рабочей зоне, °С;

t_{Π} – средняя температура нагретых поверхностей (лучистое тепло), °С;

P – давление водяных паров, Па;

v – скорость движения воздуха, м/с.

Для расчета примем следующие параметры:

- в холодный и переходный периоды: $t_B = 20$; $\varphi = 60\%$;

- в теплый период: $t_B = 25$; $\varphi = 60\%$.

Показатель комфорта и дискомфорта K может иметь следующие значения:

1 – очень жарко;

2 – слишком тепло;

3 - тепло, но приятно;

4 – комфорт;

5 – прохладно, но приятно;

6 – холодно;

7 – очень холодно.

Для теплого периода $K = 3,14$. Это значит тепло, но приятно. Климат в лаборатории приемлемый с гигиенической точки зрения.

Таким образом, по параметрам микроклимата условия в лаборатории пригодны для работы.

Еще одним из основных мероприятий по оптимизации параметров микроклимата в наших условиях является обеспечение надлежащего воздухообмена.

Вентиляция – это система воздухообмена для удаления производственных вредностей и создания в рабочей зоне воздушной среды, отвечающей санитарным нормам. Она используется для борьбы с избыточным теплом, влагой, вредными газами, парами и пылью.

Кондиционирование – наиболее совершенный вид промышленной вентиляции; он предназначен для создания наиболее оптимальных метрологических условий в производственных помещениях. Кондиционирование воздуха – это его автоматическая обработка с целью поддержания в производственных помещениях заранее заданных параметров микроклимата не зависимо от их изменения с наружи и технологических режимов внутри помещения. Кондиционеры могут быть местными (для обслуживания отдельных помещений) и центральные (для обслуживания нескольких отдельных помещений).

Анализ освещенности помещения

Малая освещенность отрицательно сказывается на точности, качестве работ и производительности. Исследования показывают, что при хорошем освещении производительность труда повышается примерно на 15 %.

Основные требования и значения нормируемой освещенности рабочих поверхностей изложены в СНиП 23-05-95.

При освещении помещений используют естественное освещение (создаваемое прямыми солнечными лучами и рассеянным светом небосвода), искусственное освещение (создаваемое электрическими источниками света) и

совмещенное освещение (при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняют искусственным) [47].

К числу источников света, выпускаемых нашей промышленностью, относятся лампы накаливания, люминесцентные лампы и лампы ртутные.

Основными показателями, определяющими выбор светильника при проектировании осветительной установки, следует считать: конструктивное исполнение светильника с учетом условий среды, светораспределение светильника и его экономичность.

Расчет общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняют методом коэффициента использования светового потока [48].

Величина светового потока лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{n \cdot \eta}, \quad (2)$$

где Φ – световой поток каждой из ламп, лм;

E – минимальная освещенность, лк, $E=300$ лк для общего освещения;

k – коэффициент запаса, $k=1,5$ для помещений с малым выделением пыли;

S – площадь помещения, м²;

Z – коэффициент неравномерности освещения, $Z=0,9$ для светильников с люминесцентными лампами;

n – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока, $\eta=47\%$.

Отсюда:

$$n = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot Z}{\eta \cdot \Phi}. \quad (3)$$

Для светильников типа ОД с лампой ЛБ $\Phi=7445$ лм.

Площадь проектируемого участка составляет 9 м².

$$n = \frac{300 \cdot 1,5 \cdot 9 \cdot 0,9}{0,47 \cdot 7445} = 1,04.$$

Принимаем количество светильников, равным $n=1$ шт.

Согласно проведенным расчетам, система освещения лаборатории КСП должна состоять из 1 двухлампового светильника типа ОД с люминесцентными лампами ЛБ мощностью 125 Вт, что соответствует количеству светильников в лаборатории.

К термическим опасностям и пожаровзрывоопасностям следует отнести получения ожогов и возможность возникновения пожара и взрыва в лаборатории при проведении исследования.

Источниками данного вида опасностей является наличие газовой горелки и баллона с пропаном. Средствами защиты являются безопасная организация рабочего места и эксплуатации оборудования.

Механические опасности и опасность получения электротравмы может возникнуть при общих причинах не соблюдения правил безопасности оборудования находящегося в лабораторном корпусе.

Основным объектом защиты при проведении работ является воздух. Очистка загрязнённого воздуха и отходящих газов, выделяющихся при технологических процессах и выбрасываемых в атмосферу, от содержащихся в них вредных твёрдых, жидких и газообразных примесей является основным способом охраны воздушной среды от загрязнения.

Для очистки выбрасываемого из лаборатории воздуха в окружающую среду достаточно производить улавливание пыли, продуктов горения и газообразных примесей из загрязнённого воздуха. В системе вентиляции предусмотрена установка с масляным фильтром EF-3000-4-4.6с. для очистки выбрасываемого воздуха от загрязнений.

Пыль, проходя через лабиринт отверстий (вместе с воздухом), образуемых кольцами или сетками, задерживается на их смоченной масляным раствором поверхности. По мере загрязнения фильтра кольца и сетки промывают в содовом растворе, а затем покрывают масляной плёнкой. Эффективность фильтров данного типа составляет $95\div 98\%$.

Географическое расположение и климатические условия практически исключают возникновения чрезвычайных ситуаций связанных с наводнением и землетрясением. От возможных стихийных бедствий в виде урагана или бури здание надежно спроектирована в соответствии с технической документацией по проектировке и эксплуатации зданий и сооружений в данной местности.

Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности в лаборатории рассмотрены в нормативно – технической документации к лабораториям такого типа, например Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96 от 1 октября 1996г или Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса и т.д. [49,50,51].

Заключение

В настоящей работе были проанализированы статистические данные по пожарам в РФ с 2011 г. по 2015 г. и выявлено, что наибольшее количество пожаров приходится на строительные сооружения с использованием металлических конструкций.

Рассмотрены теоретические и практические способы огнезащиты металлических конструкций и древесины, причем основу способов огнезащиты стальных конструкций составляет образование на поверхности пленок, создающих при высоких температурах пористый объемный теплоизолирующий слой, а действие антипиренов для защиты древесины основано на их термическом разложении под действием пламени с поглощением тепла на поверхности теплозащитного слоя – пенококса.

Выявлены способы огнезащиты металлических конструкций, находящихся в непосредственном контакте с горючим веществом (древесиной) и доказано, что наибольшую прочность на изгиб имеют стальные образцы, при создании на стальной поверхности функционального покрытия для сварки и пропитке древесины модифицированным антипиреном.

Рассмотренные условия работы в экспериментальной лаборатории по состоянию микроклимата соответствуют нормативам, в качестве рекомендации, обоснованной расчетом, предложена схема искусственного освещения.

Затраты на изготовления оборудования для проведения эксперимента составили 7361 рубль.

Список используемых источников

1. Воронцов, В.М. Металлические материалы в архитектуре: учебное пособие /В.М. Воронцов, В.И. Мосьпан. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009.– 56с
2. Халилова Р.А. Повышение огнестойкости металлических конструкций объектов нефтегазовой отрасли применением вспучивающихся красок: диссертация кандидата технических наук – Уфа 2008
3. Еремина Т. Ю. Снижение пожарной опасности строительных конструкций и материалов за счет применения эффективных огнезащитных средств: диссертация доктора технических наук – Москва, 2004, 328 стр.
4. Расчет огнестойкости строительных конструкций: учеб. для вузов / А.И. Яковлев – М.: Строиздат, 1988
5. Методика расчета пределов огнестойкости металлических конструкций. / А.И. Яковлев // Огнестойкость строительных конструкций. – Сб. тр., вып 8. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1980, с. 15 - 27.
6. Рекомендации по применению огнезащитных материалов и составов для металлических конструкций: ЦНИИСК им В.А. Кучеренко – М: 1988 – 60 с.
7. НПБ 105-95 (105-03) «Определение категорий помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности» – М:Типография ВНИИПО МВД России, 2003
8. НПБ 23697 «Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Методы определения огнезащитной эффективности» – М:Типография ВНИИПО МВД России, 1997
9. НПБ 110-99 «Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и автоматической пожарной сигнализацией» М:Типография ВНИИПО МВД России, 1999

10. СНиП 2.01.02-85* «Противопожарные нормы» – Госстрой СССР, М: 1991
11. СНиП 21-01-97* «Пожарная безопасность зданий и сооружений» – Госстрой России, М.: ГУП ЦПП, 1999
12. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учеб. для слушателей и курсантов пожарно-технических образовательных учреждений МЧС России / В.Н. Демёхин, И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина, Б.Б. Серков, А.Ю. Фролов, Е.Т. Шурин; под ред. И.Л. Мосалкова. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 656 с.
13. Ройтман М.Я. Противопожарное нормирование в строительстве / М.Я. Ройтман 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат 1985. – 591 с.
14. Правила пожарной безопасности при производстве строительно-монтажных работ: ППБ-05-86: Утв. 26 февраля 1986 г./М-во внутренних дел СССР. Гл. упр. пожарной охраны. - М.: Стройиздат, 1988
15. ППБ 01-93* Правила пожарной безопасности в Российской Федерации – М.: Типография ВНИИПО МВД России № 1998
16. СНиП 2.01.02-89* «Жилые здания» – Госстрой СССР (России), М: 2000
17. СНиП 31-03-2001 «Производственные здания» – Госстрой России, М.: ГУП ЦПП, 1999
18. Оптимальный выбор средства огнезащиты металлических конструкций [Электронный ресурс] / В.А. Никитин – Режим доступа: <http://www.concenter.ru>. Дата обращения: 25.04.2016
19. Демехин В.Н. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: / В.Н. Демехин, И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина, Б.Б. Серков, А.Ю. Фролов, – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. - 656 с, ил.
20. Лобанова Н. А. Противопожарная защита систем безопасности новых АЭС : диссертация кандидата технических наук - Москва, 2006. - 209 с.
21. Огнезащита строительных конструкций: учеб. для вузов / И.Г. Романенков, Ф.А. Левитес – М.: Стройиздат 1981 – 321 с.

22. Пожарная профилактика в строительном деле: учеб. для слушателей ВИПТШ МВД СССР. / М.Я. Ройтман – М.: РИО ВИПТШ, 1975. – 526 с.

23. Пожарная профилактика в строительстве: учеб. для вузов МВД СССР / под ред. В.Ф. Кудаленкина. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985. - 454 с.

24. Ершов А. В. Правовые аспекты оценки качества работ в области огнезащиты при осуществлении государственного пожарного надзора: автореферат дис. кандидата юридических наук : – Санкт-Петербург, 2009 – 22 с.

25. Здания сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник. Часть 1. «Строительные материалы, их пожарная опасность и поведение в условиях пожара»/ Под общей редакцией Г.Н.Кирилова. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2007. – 176с.

26. Дмитриева Ю. Н. Повышение степени огнестойкости многофункциональных комплексов новым средством огнезащиты: диссертация кандидата технических наук – Санкт-Петербург 2008

27. Пехотиков А. В. Огнестойкость изгибаемых стальных конструкций: диссертация кандидата технических наук – Москва 2008

28. Сулейманов Ф. Н. Разработка мероприятий и огнезащитных материалов для обеспечения пожарной безопасности на объектах нефтегазового комплекса: диссертация кандидата технических наук – Уфа 2001

29. Ямщикова С. А. Повышение огнезащитной способности вспучивающихся покрытий для объектов нефтегазовой отрасли : диссертация кандидата технических наук : 05.26.03, 05.02.01 – Уфа, 2009. – 170 с

30. 43. ГОСТ Р 53292-2009 Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. – М: Стандартинформ, 2007

31. Антипирены. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/322.html>. Дата обращения: 25.05.2016

32. Леонович А.А. Огнезащита древесных плит и слоистых пластиков: / А.А. Леонович, Г. Б. Шалун – М., 1974
33. ГОСТ Р 53295-2009 Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности – М: Стандартинформ, 2009
34. Пинкас М. В. Разработка микронаполненных составов эпоксидных компаундов различного функционального назначения: диссертация кандидата технических наук – Саратов 2010
35. Осмотр места пожара: методическое пособие / под ред. И.Д. Чешко [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ohranatruda.ru>. Дата обращения: 01.06.2016
36. Асеева М. Горение полимерных материалов / М. Асеева, Г. Е. Занков – М., 1981
37. Nilado C. J. Flammability handbook for plastics, 2 ed., Westport (Conn.), 1974
38. Загоруйко М.В. Разработка методов придания огнезащитных свойств и исследования термического воздействия на структуру и свойства материалов и пакетов одежды: диссертация кандидата технических наук : – Москва, 2011. – 209 с
39. Технические характеристики Пирилакс [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.forgot.ru>. Дата обращения: 24.04.2016
40. ГОСТ 12.1.007-76 ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА Классификация и общие требования безопасности – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001
41. ГОСТ 12.1.044-89 ПОЖАРОВЗРЫВООПАСНОСТЬ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ. Номенклатура показателей и методы их определения– М.: ИПК Издательство стандартов, 2000
42. Функциональное покрытие для дуговой сварки плавлением. Патент №2353491 РФ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2353491>. Дата обращения: 25.04.2016

43. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96 от 1 октября 1996 года

44. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда Р 2.2.2006-05 от 1 ноября 2005 года

45. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). – М.: Стандартинформ, 2008

46. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.548-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 1 октября 1996 г. N 21) – Система ГАРАНТ: <http://base.garant.ru>. Дата обращения: 28.04.2016

47. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* – М: Минрегион России, 2011

48. Гришагин В.М. Расчеты по обеспечению комфорта и безопасности: учебное пособие. В.М. Гришагин, В.Я. Фарберов – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 155с.

49. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности». – Собрании законодательства Российской Федерации от 26 декабря 1994 г. N 35 ст. 3649, в "Российской газете" от 5 января 1995 г. N 3

50. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Редакция документа с учетом изменений и дополнений подготовлена АО "Кодекс".

51. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». – Москва, Кремль 30 декабря 2009 года N 384-ФЗ.