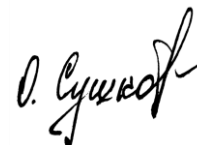


На правах рукописи



Сушкова Ольга Владимировна

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ КУЛЬТУРНО-
ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ С РАЗМЕЩЕНИЕМ В НИХ СТАРИННЫХ
ЭКСПОНАТОВ**

2.1.15. - Безопасность объектов строительства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»

Научный руководитель: **Еремина Татьяна Юрьевна**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Таранцев Александр Алексеевич,**
доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, лаборатория проблем безопасности транспортных систем, заведующий лабораторией.

Асеева Роза Михайловна,
доктор химических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Академия государственной противопожарной службы МЧС России», кафедра пожарной безопасности в строительстве, профессор

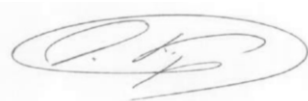
Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России»

Защита диссертации состоится 20 декабря 2023 г. в 12:30 на заседании диссертационного совета 24.2.339.08, созданного на базе ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», по адресу: 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Зал ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», <https://mgsu.ru>

Автореферат разослан « ____ » _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Корольченко Дмитрий Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Одним из актуальных вопросов пожарной безопасности является обеспечение безопасности объектов культурно-исторического наследия.

Обеспечение пожарной безопасности объектов культурного наследия в России осуществляется в соответствии с требованиями действующих нормативных документов. Положения п. 4 ст. 4 Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ (далее - № 123-ФЗ) распространяются на здания - объекты культурного наследия, на которых проводилась реконструкция или приспособление для современного использования, но при этом реконструкция не затрагивает части здания, относящиеся к предметам охраны.

Сохранение материальных ценностей, безопасность людей должны быть обеспечены всегда. Безопасность и сохранение культурных ценностей рассматриваются при приспособлении объекта культурного наследия для современного использования. Условия соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности изложены в ст.6 № 123-ФЗ.

Безопасная эвакуация людей из здания считается обеспеченной, если интервал времени с момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации людей в безопасную зону не превышает необходимого времени эвакуации при пожаре.

Эффективность системы противопожарной защиты объектов должна подтверждаться количественно. В таком случае применяется критерий безопасности людей – пожарный риск, величина которого не должна превышать установленных законом значений. Но некоторые исходные данные для объектов культурного наследия весьма часто ограничивают проведение расчетов пожарного риска, что приводит к невыполнению обязательного расчетного подтверждения требований безопасности людей при пожаре для ряда объектов культурного наследия.

В рамках приспособления объекта для современного использования исторические здания становятся объектами защиты с массовым пребыванием разных категорий людей, уникальными по принимаемым техническим решениям и организацией в одном пространстве помещений разных классов функциональной пожарной опасности. История и современная статистика пожаров показывают, что такие объекты остаются объектами повышенной пожарной опасности. Даже самые незначительные пожары могут привести не только к значительному материальному ущербу имущества музеев, но и к травмированию и гибели людей.

Таким образом, в настоящее время состояние вопроса таково, что требуется всесторонний анализ и аргументация степени пожарной защищенности объектов культурно-исторического наследия, установление мер, нацеленных на гарантированную безопасность пребывающих в них людей.

Актуальность выбранной темы обусловлена:

– несовершенством существующих нормативных положений, устанавливающих требования по обеспечению пожарной безопасности зданий – объектов культурно-исторического наследия;

– анализом уникальности объектов исторического наследия в части:

- принимаемых технических решений обеспечения пожарной безопасности;
- отсутствия исследований пожароопасных свойств исторических материалов на путях эвакуации.

Следует отметить следующие проблемы обеспечения пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия:

- Федеральный закон от 25.06.2002 N 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» не допускает проведение работ по капитальному ремонту, реконструкции зданий культурно – исторического наследия, изменяющих предмет охраны объекта;

– нормативные документы по пожарной безопасности для таких объектов не актуализируются с учетом введения новой нормативно-технической документации.

Во многих международных нормативных документах, регулирующих пожарную безопасность исторических объектов, в формате проверок предлагаются проверочные листы (check list) с перечнем технических параметров музеев. Перечень содержит характеристики, влияющие на пожарную опасность: площадь пожарных отсеков, наличие автоматических средств противопожарной защиты, устройство противопожарных преград, выполнение условий безопасной эвакуации людей.

В связи с этим применение гибких требований к обеспечению пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия приобретает особую актуальность.

Степень разработанности темы исследования

Известно, что при строительстве и отделке внутренних интерьеров широко применялась древесина разных пород и ткани. Весомый вклад в научную разработку тематики в области исследований физико-химических и пожароопасных свойств веществ и материалов, в том числе древесины со сроком эксплуатации внесли российские ученые: Асеева Р.М., Корольченко А.Я., Покровская Е.Н., Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Тарасов Н.И.. В научных трудах установлены особенности термической устойчивости древесины разных пород, взаимосвязь между химическим составом древесины и процессом ее горения, отмечено замедление химических процессов, включая деструкцию древесины в период продолжительного естественного старения.

Примечательно, что характерной особенностью планировки для музейных и дворцовых помещений является анфиладный принцип расположения залов - ряд соединенных друг с другом помещений, которые расположены по прямой линии. В музеях и галереях такая планировка позволяет организовывать движение большого количества посетителей по разработанным маршрутам избегая скопления людей в одном месте. Закономерности процессов эвакуации людей при пожаре изложены в научных трудах таких деятелей науки как: Беляев С.В., Милинский А.И., Холщевников В.В., Самошин Д.А., Никонов С.А., Таранцев А.А., Шидловский Г.Л., Thompson P. Так, в работах Холщевникова В.В. и Самошина Д.А. рассматривались факторы, влияющие на поведение людей в случае пожара, реагирование на извещение о пожаре; движение людей в эвакуационном потоке; кинематические закономерности движения людских потоков. В работах Шидловского Г.Л. исследовано управление эвакуацией людей на исторических объектах на примере православных храмов. Работа Никонова С.А. рассматривает эвакуацию как случайный процесс, на исход которого влияет случайный характер скорости движения отдельных людей, времени начала эвакуации, скорости распространения опасных факторов пожара (ОФП) и функционирования системы оповещения о пожаре на историческом объекте.

Существует незначительное количество исследований в области обеспечения пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещенными в них экспонатами. Мусликова С.В. исследует метод комплексной оценки пожарной безопасности музейных объектов. В работах Богданова А.В. проводится исследование комплексных проблем пожарной и охранной безопасности крупного музея.

Приспособление объекта культурного наследия предусматривает проведение научно-исследовательских работ в целях создания условий для современного использования. Особенно актуальным является обеспечение пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов.

Цель работы: Разработка научно-обоснованных предложений и практических решений для обеспечения пожарной безопасности при эксплуатации и проведении работ по приспособлению объектов культурного наследия с размещением в них старинных экспонатов к современному использованию.

Для достижения этой цели в работе поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать обеспечение пожарной безопасности Федерального государственного бюджетного учреждения культуры «Государственный Эрмитаж». Результаты могут быть применены на различных объектах культурного наследия.

2. Определить характеристики пожарной опасности помещений здания культурно-исторического наследия, материалов, конструкций, планировок, исторических экспонатов и методов исследования.

3. Провести численные эксперименты процессов распространения опасных факторов пожара в помещениях здания культурно-исторического наследия для выявления допустимой продолжительности пребывания людей.

4. Экспериментально определить оценки характеристик пожарной опасности исторической древесины по: горючести, воспламеняемости, токсичности, дымообразованию с учетом фактора старения образцов, взятых из исторических конструкций.

5. Провести оценку системных изменений низшей теплоты сгорания сохраняемой древесины, используемой в материалах для покрытий полов, облицовках стен и оказывающей влияние на необходимое время эвакуации из помещений зданий исторических объектов.

6. Выполнить исследование по определению особенности процесса эвакуации при пожаре на историческом объекте с размещенными экспонатами в реальном режиме работы объекта.

7. Предложить эффективные решения для «гибкого» нормирования, в допустимых рамках системы пожарной безопасности, в зданиях культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов:

- аргументировать на основе результатов расчетов сохранение на путях эвакуации существующих исторических материалов, подлежащих защите с учетом требований законодательства Российской Федерации об охране объектов культурного наследия;

- разработать требования к проведению тренировок по эвакуации сотрудников совместно с посетителями на объекте защиты с массовым пребыванием людей;

- определить область применения АУП в помещениях зданий культурно-исторического наследия при условии сохранения архитектуры и интерьеров.

8. Разработать предложения пожарной безопасности исторических зданий – музеев.

Объект исследования – параметры пожарной нагрузки исторической древесины дуба и ясеня, состаренной в естественных условиях эксплуатации.

Предмет исследования – обеспечение пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещением экспонатов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Определены термодинамические и термохимические параметры исторической древесины дуба и ясеня: диапазоны температуры деструкции, продуктов разложения, в том числе выделения уксусной кислоты, максимальная скорость потери массы, низшая теплота сгорания и закономерности поведения их в условиях высокотемпературного воздействия. Выбраны термохимические параметры образцов для проведения расчетов распространения ОФП.

2. Получены новые данные для оценки характеристик пожарной опасности древесины лиственных пород, примененной на путях эвакуации, на основании образцов исторического паркета из дуба и ясеня (коэффициент дымообразования в режимах тления и горения, показатель токсичности продуктов горения, параметры воспламеняемости и низшая теплота сгорания).

3. Проведено сравнение и сопоставление низшей теплоты сгорания и коэффициента дымообразования исторической древесины дуба и ясеня для подтверждения обеспечения безопасной эвакуации в зданиях культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов.

4. Впервые исследовано влияние исторической древесины, примененной на путях эвакуации в зданиях культурно-исторического наследия с размещенными экспонатами на условия безопасной эвакуации.

Теоретическая значимость работы заключается в следующем:

1. Получены основные пожарно-технические параметры термического анализа, термодеструкции и отдельных стадий термического разложения, низшей теплоты сгорания для образцов исторической древесины дуба и ясеня, состаренной в естественных условиях эксплуатации.

2. Впервые проведены сравнения результатов моделирования динамики развития пожаров двух сценариев в помещениях Зимнего дворца на справочных данных и полученных экспериментально.

3. Моделирование эвакуации и динамики ОФП, выполненное при горении исторической древесины, обосновывает безопасную эвакуацию людей для здания культурно-исторического наследия с размещенными экспонатами - Зимнего дворца Государственного Эрмитажа.

4. С целью совершенствования противопожарной защиты, «гибкого» нормирования с учетом примененной исторической древесины на путях эвакуации разработаны предложения по актуализации правовой и нормативно-технической документации:

- п.7 ст. 83 Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ, в части подачи светового и звукового сигналов о возникновении пожара на прибор приемно-контрольный пожарный, устанавливаемый в помещении дежурного персонала, или на специальные выносные устройства оповещения в зданиях классов функциональной пожарной опасности Ф2.2, с автоматическим дублированием этих сигналов в подразделение пожарной охраны с использованием системы передачи извещений о пожаре;

- п.16 ст. 134 Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ, в части исключения требования к объектам культурного наследия, где материалы для отделки стен, потолков и покрытия пола являются памятниками истории и культуры, подлежащих сохранению с подтверждением расчетами и (или) испытаниями безопасных условий эвакуации на таких объектах;

- в таблицы 28 и 29 Федерального закона от 22.07.2008 N 123-ФЗ, в части добавления сноски для столбцов «Показатели пожарной опасности материала для покрытия полов» об исключении требования к объектам культурного наследия с историческими паркетными, являющимися памятниками истории и культуры, подлежащих сохранению.

5. Результаты работы позволяют предложить эффективные противопожарные мероприятия, в том числе на стадии проектирования систем противопожарной защиты, направленные на ограничение распространения опасных факторов пожара в зданиях культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов, включая малые объекты.

Практическая значимость работы подтверждена использованием результатов исследования при разработке:

- Правил противопожарного режима в Российской Федерации, утвержденных Постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479, в части необходимости проведения практических тренировок по эвакуации лиц, осуществляющих свою деятельность на объекте защиты с массовым пребыванием людей совместно с посетителями, находящимися в здании;

- свода правил СП 486.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности», утвержденного приказом МЧС России от 20.07.2020 №539, в части особенностей оборудования автоматической установкой пожаротушения объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации;

- специальных технических условий, в части обеспечения мер пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещенными в них старинными экспонатами: Зимний дворец, Большой Эрмитаж, Малый Эрмитаж, Дворец А.Д. Меншикова.

Методология и методы исследования

Решение поставленных задач осуществлялось на основе комплексного подхода, заключающегося в применении стандартных методов оценки показателей пожарной опасности древесины, математической обработке результатов экспериментальных данных, научном моделировании, эмпирическом исследовании, сравнительном анализе.

Личный вклад автора. Автор принимала участие в формулировании цели работы и постановке задач, определении методики проведения экспериментальных исследований, выборе и подготовке образцов для исследования, анализе результатов диссертации, написании статей и выступлениях с докладами на конференциях, в практическом внедрении результатов исследования. В рамках научной работы автором впервые организована и проведена эвакуация персонала и посетителей из здания культурного исторического наследия - крупного музейного комплекса в условиях реальной работы объекта с массовым пребыванием людей. В работах, опубликованных в соавторстве в изданиях, рекомендованных ВАК, все результаты, составляющие научную новизну и выносимые на защиту, получены автором лично.

Положения, выносимые на защиту:

- определение пожарно-технических характеристик исторической древесины дуба и ясеня, состаренной в естественных условиях эксплуатации;
- результаты применения экспериментально полученных пожарно-технических характеристик исторической древесины в расчете индивидуального пожарного риска;
- результаты экспериментов по эвакуации людей при пожаре из исторических зданий – объектов культурного наследия;
- предложения по обеспечению пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов.

Степень достоверности результатов. Достоверность представленных в работе результатов подтверждается расчетными и экспериментальными данными, полученными на основании нормативных и стандартных методов исследования.

Апробация работы. Основные результаты работы были доложены и получили одобрение на следующих научно-практических конференциях:

Практическая конференция «Пожарная безопасность уникальных и сложных объектов: техническое регулирование и особенности проектирования противопожарной защиты» в рамках 24-й Международной выставки технических средств охраны и оборудования для обеспечения безопасности и противопожарной защиты «Securika Moscow/MIPS» (г. Москва, 2018); Практическая конференция «Обеспечение пожарной безопасности и охрана культурных ценностей: современные вызовы и решения» в рамках 25-й Международной выставки технических средств охраны и оборудования для обеспечения безопасности и противопожарной защиты «Securika Moscow» (г. Москва, 2019); Панельная секция «Обеспечение пожарной безопасности в учреждениях культуры» в рамках деловой программы «Музейная безопасность» Международного фестиваля «Интермузей-2019» (Москва, 2019); Международная научно-техническая конференция «Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация» (Санкт-Петербург, СПб УГПС МЧС России, 2019); Веб-конференция «Пожарная безопасность в учреждениях культуры» (г. Москва, Международный совет музеев (ICOM – International Council of Museums), 2020); Круглый стол «Новые требования и меры по охране, противокриминальной защите и обеспечению пожарной безопасности фондохранилищ музейных предметов и музейных коллекций» (г. Москва, Ассоциация «Безопасность туризма», 2021); Всероссийская научно-практическая конференция «Пожарная безопасность объектов капитального строительства. Нормативы, проектирование, устройство и эксплуатация» (Санкт-Петербург, СПб УГПС МЧС России, 2021); Практическая конференция «Предотвращение пожаров и минимизации ущерба от возгораний в зданиях и сооружениях» в рамках Международного форума «Технологии безопасности» (г. Москва,

2021); Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях» (г. Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2021); Семинар-практикум «Пожарная безопасность музеев. Специфические особенности, современные требования и подходы, практика и технологии, методические рекомендации» (г. Москва, Ассоциация «Безопасность туризма», 2022); Практическая конференция «Пожарная безопасность жилых зданий и мест массового пребывания людей» в рамках Международного форума «Технологии безопасности» (г. Москва, 2022); Семинар-практикум «Эвакуация людей и музейных ценностей при пожаре. Методические рекомендации». Ассоциация «Безопасность туризма» (г. Москва, 2022); Практическая конференция «Пожарная безопасность: проектирование и эксплуатация. Обзор удачных решений» в рамках Форума «Безопасность 365» Международной выставки технических средств охраны и оборудования для обеспечения безопасности и противопожарной защиты Sfitex (г. Санкт-Петербург, 2022); Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях» (г. Москва, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2022).

По теме работы опубликовано 10 статей, из них 5 размещены в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК для публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, 1 статья опубликована в журнале, индексируемом международными реферативными базами Web of Science и Scopus.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, заключения, списка литературы и Приложения. Работа содержит 151 страницы текста, иллюстрированного 23 рисунками, включает в себя 37 таблиц, 126 наименований литературы и 2 приложения (А, Б).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель и направления исследований, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации, объеме и структуре работы.

Глава 1 посвящена анализу современного нормативно-правового и технического регулирования в области сохранения и обеспечения пожарной безопасности исторических зданий с размещенными экспонатами, оценке имеющихся нарушений пожарной безопасности, изучению проведенных исследований и разработанных предложений для решения задач по недопущению возгораний, безопасной и своевременной эвакуации людей в случае пожара. Анализ показал необходимость актуализации нормативных документов по пожарной безопасности с учетом сохранности объектов. Пожароопасные свойства материалов, примененных на путях эвакуации исторических зданий, не изучены с учетом времени старения в части формирования и распространении ОФП.

В главе 2 проведено описание планировочных решений, примененных материалов и оценка путей эвакуации в Зимнем дворце; проанализированы показатели типовой горючей нагрузки и характеристики пожарной опасности древесины, собранные в различной справочной литературе, представлены моделирование развития пожаров и эвакуации людей из здания для 3-х разработанных сценариев.

Анфиладная планировка Зимнего дворца с большим количеством протяженных галерей и лестниц при пожаре будет способствовать быстрому распространению ОФП. В отделке интерьеров на путях эвакуации присутствуют материалы, имеющие показатели пожарной опасности, не соответствующие требованиям № 123-ФЗ. Установлены отличия в справочных информационных базах по значениям характеристик пожарной опасности для однородной древесины и показателям пожарной опасности типовой горючей нагрузки для однотипных помещений, влияющие на расчетную величину пожарного риска (Таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительные показатели типовой горючей нагрузки для музеев и выставок

Показатели		Справочная литература	
		[39] ¹	[58] ²
Низшая теплота сгорания, МДж/кг		14,000	13,800
Линейная скорость распространения пламени, м/с		0,0163	0,0055
Удельная массовая скорость выгорания, кг/ (м ² с)		0,01520	0,0145
Дымообразующая способность, Нп · м ² /кг		53,00	270
Удельный расход кислорода, кг/кг		1,2180	1,0300
Выделение газа, кг/кг	СО ₂	1,42300	0,20300
	СО	0,02300	0,0022
	НСI	0,00010	0,01400

Безопасная эвакуация людей исследовалась в трех сценариях развития пожара: 1 - помещение кафе; 2 - выставочный зал № 35; 3 - выставочный зал № 36. Выбор места обосновывался анализом возможных аварийных ситуаций с учетом специфики музея. Выполнение расчетов распространения ОФП и времени эвакуации проводилось в компьютерной программе для расчета пожарного риска «СИГМА ПБ». В целях исключения хищения экспонатов при экстренной эвакуации посетителей из музея, требуется проведение досмотровых процедур, поэтому для Зимнего дворца рассматривались выходы во внутренний двор.

Расчеты показали: критическая продолжительность пожара ($t_{кр}$) определяется параметром «задымление», время существования скоплений людей на участках пути ($t_{ск}$) не превысило 6 минут. Расчеты подтвердили безопасную эвакуацию т.к. выполняются следующие условия:

$$0.8 \cdot t_{бл} \geq (t_p + t_{нэ}) \text{ и } t_{ск} \leq 6 \text{ мин} , \quad (1)$$

где: $t_{бл}$ – время блокирования путей эвакуации ОФП; t_p – расчетное время эвакуации людей из зданий и помещений; $t_{нэ}$ – интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей.

Величина пожарного риска вычислялась формулой:

$$Q_v = Q_p (1 - K_{ап}) P_{пр} (1 - P_э) (1 - K_{п.з}) , \quad (2)$$

где: $Q_p = 0,0138$ - частота возникновения пожара в здании в течение года; $K_{ап} = 0$ - коэффициент, учитывающий установки пожаротушения - в Зимнем дворце системы автоматического пожаротушения отсутствуют; $P_{пр} = 0,458$ – вероятность присутствия людей в здании (3):

$$P_{пр} = t_{функц} / 24 , \quad (3)$$

где: $t_{функц}$ – промежуток времени от прихода персонала на работу - 9.00 до закрытия музея – 20.00; $P_э$ - вероятность эвакуации равная 0,999, так как выполняется условие (1); $K_{п.з} = 0,8704$ - коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты (4),

$$K_{п.з} = 1 - (1 - K_{обн} K_{СОУЭ}) (1 - K_{обн} K_{ПДЗ}) , \quad (4)$$

¹ Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие / Ю.А. Кошмаров. – М. : Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

² Пособие по применению «Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности». – М. : ВНИИПО, 2014. – 226 с.

где коэффициенты: $K_{обн} = 0,8$ - учитывающий систему пожарной сигнализации; $K_{соуэ} = 0,8$ - учитывающий систему оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей; $K_{пдз} = 0,8$ - учитывающий систему противоподымной защиты - принят на основании разработанных для Зимнего дворца специальных технических условий.

$Q_b = 8,19 \cdot 10^{-7}$, что не превышает допустимого значения 10^{-6} в год.

В главе 3 изложены методы проводимых исследований, приведено описание изучаемых материалов, представлены результаты.

Исследовались фрагменты деревянных заготовок, применяемых в реставрации – образцы №№ 1-6; элементы существующего исторического пола из залов Зимнего дворца: образцы №№ 7, 8 (дуб) - зал № 35 и образец № 9 (ясень) – зал № 36 (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Исторический паркет: а - дубовый паркет; б - паркет из ясеня

Анализ деструкции образцов в температурном диапазоне от 30 до 500 °С выявил разную термическую стабильность (Таблица 2).

Таблица 2 – Результаты исследования совмещенным методом

№ образца	Начальная температура деструкции, t °С	Температура интенсивной потери массы, t °С	Скорость потери массы, мг/мин	Температурный диапазон присутствия уксусной кислоты, t °С	Процент остаточной массы/ при температуре, % / t °С
1	248,19	285	0,439	243,8 – 349,32	6,520/490
		325,35	0,817		
		475,59	0,576		
2	260,35	330,36	1,029	238,78-339,38	5,226/448
3	265,12	331,78	0,947	261,78-366,43	0,328/473
4	269,28	332	1,383	207,99-379,00	0,352/483
5	271	330,36	1,390	262,00-343,21	0,010/471
6	292	Пика интенсивной потери массы не выявлено		263,00-377,06	0,321/520
7	248,19	293,92	0,583	247,50-335,50	1,253/490
		434,81	0,677		
8	243,71	278	0,786	243,64-335,50	4,616/490
		422,62	0,709		
9	247,52	312	0,576	232,48-349,03	1,554/490
		437,92	0,502		

Интенсивная потеря массы древесины образца 1 – дуб (ок. 70 лет) – три стадии (Рисунок 2), у образцов 7, 8 и 9 (ок.160 лет) – две стадии.

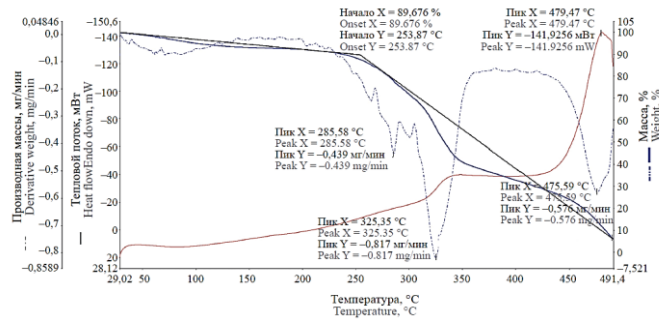


Рисунок 2 – Термоаналитические кривые образца 1 (дуб, ок. 70 лет)

ИК-спектр исследуемых образцов показывает выраженные полосы поглощения, характерные для присутствия в газовой фазе уксусной кислоты (Таблица 2, Рисунок 3), отнесенной к вредным химическим веществам 3-го класса опасности (СанПиН 1.2.3685-21). При пожаре эти пары будут увеличивать его ядовитые свойства.

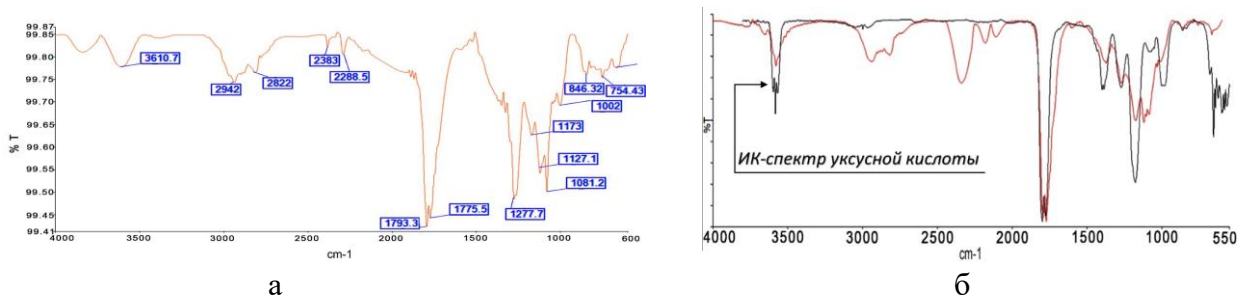


Рисунок 3 – Вид ИК-спектра: а - образец 7 при температуре 247,50 °С; б - образец 9 - при температуре 302,48 °С в сравнении с ИК-спектром уксусной кислоты

Экспериментально установлено: образцы исторической древесины относятся к группе сильногорючих (Г4) легковоспламеняемых (В3) материалов, с высокой дымообразующей способностью (Д3), по токсичности продуктов горения - умеренно опасные (Т2). Значение низшей теплоты сгорания у дуба - 16,5 Мдж/кг, у ясеня – 16,0 Мдж/кг.

Расчет величины пожарной нагрузки (Q) выставочных залов определялся формулой:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{H_i}^p, \quad (5)$$

где: G_i – количество i -го материала пожарной нагрузки, кг; $Q_{H_i}^p$ – низшая теплота сгорания i -го материала пожарной нагрузки, МДж/кг. $Q = 18110,4$ МДж (№ 35); $Q = 14604,8$ МДж (№ 36).

Расчет удельной пожарной нагрузки (q) вычислялся соотношением:

$$q = Q/S, \quad (6)$$

где: S – площадь размещения пожарной нагрузки, м², принимается равной площади выставочных залов. $q = 231$ МДж/м² (№ 35); $q = 224$ МДж/м² (№ 36).

В главе 4 проведено сравнение полученных экспериментально показателей пожарнотехнических характеристик исторической древесины дуба и ясеня с данными справочной литературы, сопоставление моделирования развития пожаров и эвакуации на основе результатов исследования, предложена актуализация правовой и нормативно-технической документации.

Сопоставление справочных значений характеристик пожарной опасности с результатами исследований демонстрирует числовые различия и недостаточную детализацию в справочной литературе. (Таблица 3).

Таблица 3 – Сравнение результатов исследования

Материал	Теоретические (по справочным данным)	Практические (экспериментальные)	
Температурный диапазон присутствия уксусной кислоты			
Дуб	Показатель отсутствует	247,50-335,50 °С;	
Ясень		232,48-349,03 °С;	
Коэффициент дымообразования, тление/горение, м ² /кг			
Дуб	Высокая дымообразующая способность (ДЗ)	749/65 - (ДЗ)	
Ясень		619/72 - (ДЗ)	
Показатель токсичности продуктов горения (H _{CL50} , г/м ³ /)			
Дуб	Высокоопасный (ТЗ)	92,6 (Т2)	
Ясень		67,7 (Т2)	
Температура интенсивной потери массы, t °С / Скорость потери массы, мг/мин			
Дуб	Показатель отсутствует	две стадии: 293,92 / 0,583; 434,81 / 0,677	
Ясень		две стадии: 312 / 0,576; 437,92 / 0,502	
Величина КППТП /Группа воспламеняемости			
Дуб	Показатель отсутствует	15 кВт/м ² /В3	
Ясень	15 кВт/м ² /В3 [49] ³	15 кВт/м ² /В3	
Определение низшей теплоты сгорания, МДЖ/кг			
Дуб	Общий для древесины 13,800 -14,500	16,5	
Ясень		16,0	
Определение удельной пожарной нагрузки для выставочного зала, МДЖ/м ²			
Древесина	Среднее значение	Расчетное значение	Экспериментальное значение
Дуб	300 [73] ⁴	600 [73]	231
Ясень			224

На основании полученных характеристик пожарной опасности исторической древесины дуба и ясеня проведены новые расчеты безопасной эвакуации из выставочных залов № 35 и № 36, сценарии 4 и 5 соответственно (Таблицы 5 и 6).

Таблица 5 – Сравнение результатов в выставочном зале № 35

Эвакуационные пути и выходы		Время окончания эвакуации, (t _{эв} = t _р + t _{нэ}), с	Время блокирования ОФП (t _{бл} · 0,8), с	
			Сценарий 2	Сценарий 4
Выставочные залы	33	81	604,8	561,6
	34	68	240	139,2
	36	66,5	240	182,4
	37	73,25	374,4	307,2
	38	79,25	513,6	408
Выход №1		816,5	955,2	955,2
Выход №2		368	955,2	955,2
Выход №5		исключен	609,6	566,4
Выход №6		411,75	955,2	955,2

³ Наконечный, С.И. Исследование процесса воспламенения древесины ясеня [Электронный ресурс] / С.И. Наконечный // Электронный научный журнал «SCI-ARTICLE.RU». – 2017. – № 49 (сентябрь). – Режим доступа: <https://sci-article.ru/stat.php?i=1505724320>

⁴ СИТИС СПН-1. Пожарная нагрузка. Справочник : ред. 1 от 14.05.2014. – ООО «СИТИС», 2014. – 53 с.

Таблица 6 – Сравнение результатов в выставочном зале № 36

Эвакуационные пути и выходы		Время окончания эвакуации, ($t_{эв} = t_p + t_{нэ}$), с	Время блокирования ОФП ($t_{бл} = 0,8$), с	
			Сценарий 3	Сценарий 5
Выставочные залы	34	76,75	278,4	153,6
	35	68	187,2	86,4
	37	66,25	187,2	72
	38	76	240	120
	47	140,25	504	321,6
Выход №1		817,5	955,2	873,6
Выход №2		368,25	955,2	873,6
Выход №5		исключен	504	873,6
Выход №6		411,75	955,2	873,6

Представленные результаты показывают: условия безопасной эвакуации выполняются даже при наименьших значениях времени блокирования ОФП эвакуационных выходов в сценарии 4 для зала № 34 и в сценарии 5 для зала № 37.

Исследование процесса эвакуации установило:

- не все посетители восприняли речевое оповещение о необходимости покинуть здание (Рисунок 4а);
- в условиях отсутствия признаков пожара панических настроений посетители не проявляли (Рисунок 4б);
- большая часть людей воспользовалась эвакуационными выходами №№ 1 и 2, расположенными у Главного входа в музей (Рисунок 5).



Рисунок 4 – Скриншот видеосъемки: а - сотрудники просят посетителей покинуть здание; б – процесс эвакуации людей по времени

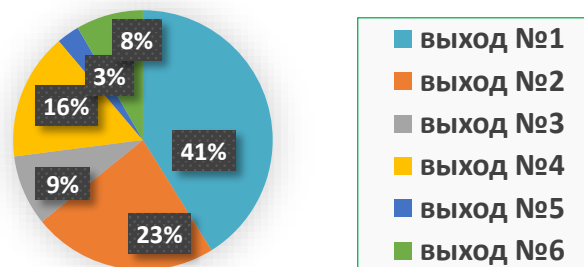


Рисунок 5 – Процентное соотношение количества эвакуировавшихся посетителей через эвакуационные выходы

Итоги эвакуации доказали: распределение людей по эвакуационным выходам в исторических зданиях, где пути эвакуации не соответствуют пожарным нормам необходимо продумывать заблаговременно и отрабатывать действия сотрудников на тренировках по эвакуации.

Сравнение результатов исследований безопасной эвакуации (Таблица 8) выявило: эмпирическое время эвакуации через выход №3 (370 с) превышает расчетные значения времени блокирования ОФП (264 с) и эвакуации (171,5 с) в сценарии 1, выполненном на справочных исходных данных.

Таблица 8 – Сравнение расчетных и эмпирических исследований

№ проектного сценария пожара	Исходные данные	Расчетные значения			Эмпирические значения	
		Время блокирования ОФП ($t_{\text{бл}} \cdot 0,8$), с	Время окончания эвакуации, ($t_{\text{эв}} = t_{\text{р}} + t_{\text{нэ}}$), с	Количество эвакуированных х, чел.	Время эвакуации, с	Количество эвакуированных х, чел.
Выход №1						
1	[58] Результаты исследования	955,2	369,5	157	360	580
2		955,2	816,5	778		
3		955,2	817,5	777		
4		955,2	816,5	777		
5		873,6	817,5	777		
Выход №2						
1	[58] Результаты исследования	955,2	474,5	158	241	325
2		955,2	368	778		
3		955,2	368,25	777		
4		955,2	368	778		
5		873,6	368,25	778		
Выход №3						
1	[58] Результаты исследования	264	171,75	230	370	124
2		955,2	751,25	770		
3		955,2	752,5	770		
4		955,2	751,25	770		
5		955,2	752,5	770		
Выход №4						
1	[58] Результаты исследования	456	424,5	790	397	223
2		955,2	531,75	710		
3		955,2	533	710		
4		955,2	531,75	710		
5		955,2	533	710		
Выход №5						
1	[58] Результаты исследования	304	256,2	1770	183	40
2		609,6	Эвакуация посетителей через выход в сценариях не рассматривалась			
3		504				
4		566,4				
5		873,6				
Выход №6						
1	[58] Результаты исследования	955,2	439,75	560	150	118
2		955,2	411,75	965		
3		955,2	411,75	965		
4		955,2	411,75	965		
5		873,6	411,75	965		

Расчеты, выполненные на экспериментальных исходных данных в сценариях 4 и 5 демонстрируют, что наступление предельно допустимых значений ОФП превышает эмпирическое время эвакуация людей, тем самым, подтверждают выполнение условий безопасной эвакуации.

Полученный результат исследования показывает:

- прогнозирование развития пожаров на объектах культурного наследия с размещенными экспонатами необходимо выполнять на исходных данных учитывающих протекающие процессы термического разложения горючего материала, дымообразования и т.д;
- при сохранении на путях эвакуации в Зимнем дворце существующих исторических материалов условия безопасной эвакуации выполняются.

На основе анализа исследования процесса эвакуации сформулированы предложения для защиты людей при пожаре в Зимнем дворце, которые могут быть применены в других исторических зданиях – музеях:

1. Предусмотреть на путях эвакуации систему видеонаблюдения. Для своевременной передачи информации о пострадавших или нуждающихся в спасении людей, пост контроля системы видеонаблюдения оборудовать прямой телефонной связью с пожарной охраной.

2. Обеспечить средствами индивидуальной защиты органов дыхания и зрения, со временем работы не менее расчетного времени эвакуации из здания сотрудников:

- задействованных в эвакуации людей и экспонатов;
- выполняющих свою деятельность в помещениях, не обеспеченных нормативными эвакуационными выходами.

3. Криволинейные лестницы на путях эвакуации оборудовать фотолюминесцентной эвакуационной системой.

4. На путях эвакуации в местах перепада высот предусмотреть устройство пандусов из негорючих материалов с уклоном в соответствии с действующими нормативными документами. Края пандусов обозначить сигнальными знаками.

5. С учетом специфики здания определить зоны безопасности для людей, в том числе МГН, в зависимости от возможного очага пожара. Обеспечение безопасных условий подтвердить расчетными методами.

6. Разработать решения по определению безопасных зон, где допустимо проводить досмотровые процедуры в случае экстренной эвакуации посетителей при пожаре.

Для зданий культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов в допустимых рамках системы пожарной безопасности предложены эффективные решения «гибкого» нормирования:

1. Реализованные предложения, подтвержденные актами внедрения:

– в п. 9 Правил противопожарного режима РФ внесено требование о проведении практических тренировок по эвакуации лиц, осуществляющих свою деятельность на объекте защиты с массовым пребыванием людей, совместно с посетителями;

– в примечание 5) таблицы 3 свода правил СП 486.1311500.2020, внесено дополнение: «На объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации допускается не применять АУП для помещения в целом, при условии, что помещение защищается автоматическими установками локального пожаротушения или автономными установками пожаротушения».

2. Направленные предложения по актуализации положений Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ сведены в Таблицу 9.

3. Предложения по внесению в справочники данных о горючей нагрузке (данные, полученные в результате исследования характеристик пожарной опасности древесины дуба и ясеня).

Таблица 9 – Предложения по актуализации

Положение в НПА	Предложение	Цель актуализации
<p>Раздел III. Глава 19. Статья 83. п.7. «Системы пожарной сигнализации должны обеспечивать подачу светового и звукового сигналов о возникновении пожара на прибор приемно-контрольный пожарный, устанавливаемый в помещении дежурного персонала, или на специальные выносные устройства оповещения, а в зданиях классов функциональной пожарной опасности Ф1.1, Ф1.2, Ф4.1, Ф4.2 с автоматическим дублированием этих сигналов в подразделение пожарной охраны с использованием системы передачи извещений о пожаре».</p>	<p>К перечисленным зданиям добавить здания класса функциональной пожарной опасности Ф2.1 и Ф2.2.</p>	<p>Сокращение времени прибытия подразделений пожарной охраны к месту пожара на объекте культурно-исторического наследия с размещенными в нем старинными экспонатами.</p>
<p>Раздел VI. Глава 30. Статья 134. п.16. В демонстрационных залах помещений зданий класса функциональной пожарной опасности Ф2.2 не допускается применять материалы для отделки стен, потолков и заполнения подвесных потолков с более высокими показателями пожарной опасности, чем Г1, В2, Д2, Т2, и материалы для покрытия пола с более высокими показателями пожарной опасности, чем В2, Д3, Т2, РП2.</p>	<p>В статью добавить предложение: «Требование не распространяется на объекты культурного наследия, где материалы для отделки стен, потолков и покрытия пола являются памятниками истории и культуры, подлежащих сохранению. Обеспечение безопасных условий эвакуации подтверждается расчетами и (или) испытаниями»</p>	<p>Предотвращение изменения облика интерьера, относящегося к предмету охраны</p>
<p>В конце таблиц 28 и 29 № 123-ФЗ от 22.07.2008 вынести сноску для столбцов «Показатели пожарной опасности материала для покрытия полов».</p>	<p>Требование не распространяется на объекты культурного наследия с историческими паркетами, являющимися предметами охраны.</p>	<p>Физическая сохранность историко-культурной ценности художественных наборных паркетов.</p>

Заключение

1. Проведен анализ нормативно-технической документации за последние 15 лет, обзор научных исследований в части обеспечения пожарной безопасности объектов исторического наследия за последние 30 лет, в т.ч. в части учета свойств исторических материалов на путях эвакуации.
2. На основе стандартизованных испытаний получены пожарно-технические характеристики древесины основных строительных конструкций музея.
3. Исследован эффект естественного старения материалов конструкций музеев из древесины. Установлено, что в результате старения имеет место:
 - существенное увеличение дымообразующей способности древесины лиственных пород (дуб, ясень);
 - заметно возрастает низшая теплота сгорания;

- уменьшение показателей токсичности.

4. Разработаны предложения по размещению очагов пожара, учитывающих специфику музейных объектов.

5. Проведены численные эксперименты по расчетам времени блокирования ОФП эвакуационных выходов и времени эвакуации для двух вариантов исходных данных: для варианта с табличными данными и варианта с экспериментально установленными данными по характеристикам пожарной нагрузки. Установлены расхождения по результатам расчетов запаса времени на эвакуацию и времени блокирования (ASET и RSET)

6. Повышена точность расчетов индивидуального пожарного риска за счет полученных параметров пожарной нагрузки.

7. Впервые за последние 40 лет в рамках всего Зимнего дворца разработаны требования и проведена эвакуация посетителей и сотрудников музея в условиях возникновения пожарной опасности. При этом были получены результаты, которые необходимо использовать при обосновании выбора сценариев пожара и корректировке результатов расчета эвакуации.

8. Проведено сравнение фактических результатов эвакуации с расчетными данными. Установлены для ряда эвакуационных выходов заметные расхождения.

9. По результатам исследования процесса эвакуации посетителей сформулированы предложения по решению задач направленных на защиту людей при пожаре в Зимнем Дворце Государственного Эрмитажа, которые могут быть применены на других исторических зданиях – музеях.

10. На основании проведенного исследования актуализирована нормативная и нормативно-техническая документация.

10.1 Впервые внедрено для объектов защиты с массовым пребыванием людей требование о проведении практических тренировок по эвакуации лиц, осуществляющих свою деятельность на объекте защиты вместе с посетителями. Требование отражено в Правилах противопожарного режима в Российской Федерации, утвержденных постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479.

10.2. Впервые в СП 486.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности» для сохранения архитектуры и интерьеров объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации внесено дополнение о допущении не применять АУП для помещения в целом, при условии, что помещение защищается автоматическими установками локального пожаротушения или автономными установками пожаротушения».

11. По результатам проведенного исследования подготовлены решения «гибкого» нормирования для зданий культурно-исторического наследия с размещенными в них старинными экспонатами.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Для решения задач объектов охранного статуса необходимо комплексно изучать различные аспекты защиты таких зданий, в том числе проводить соответствующие исследования пожароопасных свойств горючих материалов, примененных при эксплуатации объектов. Такой подход поможет дополнить существующие базы данных параметров горючей нагрузки, что повлияет на точность проводимых расчетов величины пожарного риска исторических зданий в проектной практике реконструкции и проведении работ в рамках приспособления объектов культурного наследия к современному использованию.

В перспективе предлагается разработать метод инженерной оценки пожарной безопасности объектов культурного наследия, на основе которого классифицировать объекты по группам и сформулировать необходимые нормативные требования к каждой группе, с учетом сохранения исторической структуры.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, включенных в перечень рецензируемых:

1. Присадков, В. И., Еремина, Т. Ю., Богданов, А. В., Сушкова, О. В., Тихонова, Н. В. Требуемый уровень пожарной безопасности музеев – объектов культурного наследия [Текст] / В. И. Присадков, Т. Ю. Еремина, А. В. Богданов, О. В. Сушкова, Н. В. Тихонова // Пожаровзрывобезопасность. — 2018. — № 27(4). — С. 42-49.
2. Присадков, В. И., Еремина, Т. Ю., Богданов, А. В., Сушкова, О. В., Тихонова, Н. В. Обзор международных нормативных документов, регламентирующих правила пожарной безопасности для объектов исторического и культурного наследия [Текст] / В. И. Присадков, Т. Ю. Еремина, А. В. Богданов, О. В. Сушкова, Н. В. Тихонова // Пожаровзрывобезопасность. — 2018. — № 27(5). — С. 7-16.
3. Еремина, Т. Ю., Богданов, А. В., Сушкова, О. В. Исследование особенностей процесса эвакуации для объектов культурного наследия [Текст] / Т. Ю. Еремина, А. В. Богданов, О. В. Сушкова // Пожаровзрывобезопасность. — 2019. — № 28(1). — С. 54-66.
4. Еремина, Т. Ю., Сушкова, О. В. Экспериментальное исследование пожароопасных характеристик материалов в помещениях зданий культурно-исторического наследия [Текст] / Т. Ю. Еремина, О. В. Сушкова // Пожаровзрывобезопасность. — 2021. — № 30 (6). — С. 24-38.
5. Еремина, Т.Ю. Исследования характеристик пожарной опасности паркетов исторических объектов с массовым пребыванием людей / Т.Ю. Еремина, О.В. Сушкова // Пожаровзрывобезопасность. – 2023. – Т. 32, № 3. – С. 31-40. – doi: 10.22227/0869-7493.2023.32.03.

Публикации в журналах, индексируемых в международных реферативных базах Scopus, Web of Science и др.:

6. Kirik E., Bogdanov A., Sushkova O., Gravit M., Shabunina D., Rozov A., Vitova T., Lazarev Yu. Fire safety in museums: simulation of fire scenarios for the development of control evacuation schemes from the Hermitage Winter Palace. [Текст] / Kirik E., Bogdanov A., Sushkova O., Gravit M., Shabunina D., Rozov A., Vitova T., Lazarev Yu. // Buildings . — 2022. — № 12.

Публикации в других научных журналах и изданиях:

7. Богданов А., Сушкова О. Насущные проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов культурного наследия [Текст] / Богданов А., Сушкова О. // Алгоритм безопасности. — 2014. — № 5. — С. 6-11.
8. Богданов, А.В. Специальные технические условия для объектов культурного наследия. Актуальные вопросы / А.В. Богданов, Т.Ю. Еремина, О.В. Сушкова // Материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург. – СПб. : УГПС МЧС России, 2019. – С. 44-49.
9. Сушкова, О. В. Экспериментальное определение пожароопасных свойств материалов, примененных на путях эвакуации в зданиях культурного наследия / О. В. Сушкова // Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях : сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции. — Москва:МИСИ-МГСУ, 2021. — С. 13-15.
10. Еремина, Т.Ю. Обеспечения противопожарной защиты объектов культурного наследия. Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях [Электронный ресурс] / Т.Ю. Еремина, О.В. Сушкова // Сборник докладов Всероссийской научно-практической конф. (г. Москва, 30 ноября 2022) / Минобрнауки РФ, Национальный исследовательский Московский гос. ун-т, Институт гидроэнергетического стр-ва, кафедра комплексной безопасности в строительстве. – М. : Изд-во МИСИ – МГСУ, 2023. – Режим доступа: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>.