

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Еремина Татьяна Юрьевна

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ С РАЗМЕЩЕНИЕМ В НИХ СТАРИННЫХ ЭКСПОНАТОВ (НА ПРИМЕРЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ КУЛЬТУРЫ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭРМИТАЖ»)	16
1.1. Аналитический обзор обеспечения пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов.....	16
1.1.1. Обеспечения пожарной безопасности выставочных залов, музеев в РФ и их экспонатов, анализ пожарной нагрузки.....	16
1.1.2. Анализ несоответствия путей эвакуации в зданиях культурно- исторического наследия с размещенными в них старинными экспонатами требованиям правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности	19
1.2. Анализ обеспечения пожарной безопасности в зданиях культурно- исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов	22
1.3. Пожарная опасность зданий культурно-исторического наследия	25
1.4. Результаты в области обеспечения пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с учетом характеристик отделочных материалов, облицовок, покрытий, экспонатов	28
1.4.1. Оценка пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия	29
1.4.2. Исследование безопасной эвакуации	36
1.4.3. Исследование пожарной нагрузки	38
1.4.4. Исследования в области обеспечения пожарной безопасности Государственного Эрмитажа	41
Выводы по главе 1	43

Глава 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЯ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ: МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЙ, ПЛАНИРОВОК, ИСТОРИЧЕСКИХ ЭКСПОНАТОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	44
2.1. Краткое описание объекта исследования	44
2.1.1. Материалы и конструкции Зимнего дворца	44
2.1.2. Описание Зимнего дворца (планировочные решения, пути эвакуации)	47
2.1.3. Описание Зимнего дворца (организация экспозиции, размещение экспонатов)	50
2.1.4. Подходы к организации эвакуации	51
2.2. Исследование пожарной нагрузки на объекте	54
2.3. Обоснование выбора расчетных методов для Зимнего дворца	60
2.4. Выбор сценариев для расчета	65
Выводы по главе 2	72
Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗИМНЕГО ДВОРЦА	74
3.1. Методы экспериментальных исследований	75
3.1.1. Метод определения газообразных продуктов при термодеструкции	75
3.1.2. Метод определения группы трудногорючих и горючих веществ и материалов	75
3.1.3. Метод определения группы горючести	77
3.1.4. Метод определения коэффициента дымообразования	77
3.1.5. Метод определения показателей токсичности продуктов горения	79
3.1.6. Метод определения параметров воспламеняемости	80
3.1.7. Метод определения низшей теплоты сгорания	81
3.2. Экспериментальные исследования	82

3.2.1. Описание образцов	82
3.2.2. Исследования процессов термодеструкции	87
3.2.3. Исследование группы горючести	93
3.2.4. Исследование для определения группы горючести	94
3.2.5. Исследование для определения коэффициента дымообразования.....	94
3.2.6. Исследование для определения показателя токсичности продуктов горения	95
3.2.7. Исследование для определения группы воспламеняемости	97
3.2.8. Исследование теплоты сгорания	98
Выводы по главе 3	100
Глава 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ	102
4.1. Сопоставление и сравнение результатов исследований	102
4.2. Сопоставление результатов моделирования развития пожаров и эвакуации ..	104
4.3. Обоснование учебной эвакуации	110
4.4. Предложения по актуализации законов, постановлений, приказов по обеспечению пожарной безопасности	124
Выводы по главе 4	126
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	128
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	131
ПРИЛОЖЕНИЕ А Экспериментальное оборудование	146
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акты внедрения	150

ВВЕДЕНИЕ

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, в том числе [54,93,94]. Положения п. 4 ст. 4 123-ФЗ [94] 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 Федерального закона [94].

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 [94].

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 согласно Методике [52], что приводит к невыполнению обязательного расчетного подтверждения требований безопасности людей при пожаре для ряда объектов культурного наследия [61].

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 «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» [51] 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. [3-5,37,57,66-72]. 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. [6,45,63-65,50,92,97-98,102-103,123-124]. 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. [47,48] исследует метод комплексной оценки пожарной безопасности музейных объектов. В работах Богданова А.В. [7-9] 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 [51]. 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 паркетами, 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, заключавшегося 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» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС 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» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС 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).

ГЛАВА 1. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ С РАЗМЕЩЕНИЕМ В НИХ СТАРИННЫХ ЭКСПОНАТОВ (НА ПРИМЕРЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ КУЛЬТУРЫ «ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭРМИТАЖ»)

1. Аналитический обзор обеспечения пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов

1.1. Обеспечение пожарной безопасности выставочных залов, музеев в РФ и их экспонатов, анализ пожарной нагрузки

Для обеспечения пожарной безопасности выставочных залов, музеев и фондохранилищ в РФ и их экспонатов были проанализированы нормативные и правовые документы в соответствующей области [30].

Так, например, к объектам культурного наследия (памятникам истории и культуры) народов Российской Федерации [51] относят объекты недвижимого имущества (включая объекты археологического наследия) и иные объекты с исторически связанными территориями, произведениями живописи, скульптуры, декоративно-прикладного искусства, объектами науки и техники и иными предметами материальной культуры, возникшие в результате исторических событий, представляющие собой ценность с точки зрения истории, археологии, архитектуры, градостроительства, искусства, науки и техники, эстетики, этнологии или антропологии, социальной культуры и являющиеся свидетельством эпох и цивилизаций, подлинными источниками информации о зарождении и развитии культуры.

В соответствии с Федеральным законом [51] регламентируются сохранение, использование и государственная охрана объектов культурного наследия. Однако

общие требования пожарной безопасности к объектам защиты установлены только Федеральным законом [94].

К зданиям культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов относятся объекты с различным классом функциональной пожарной опасности [30], например:

- Ф2 – здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений (музеи, выставочные залы, театры, библиотеки);
- Ф3.7 – объекты религиозного назначения (храмы, храмовые комплексы, монастыри, церкви, колокольни, часовни);
- Ф4 – здания образовательных организаций (школы, университеты, научные организации).

Техническое регулирование в области пожарной безопасности объектов культурного наследия осуществляется в соответствии с требованиями ст. 4 Федерального закона [94] за исключением объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации религиозного назначения, требования пожарной безопасности к которым устанавливаются соответствующими нормативными документами по пожарной безопасности.

Однако, некоторые положения этих федеральных законов [51,94] и нормативные правовые акты, издаваемые на основе и во исполнение этих законов, на рассматриваемых объектах защиты не согласованы [10].

Конкретно: объекты культурного наследия ранней постройки объективно не могут соответствовать современным требованиям пожарной безопасности. Поэтому на практике имеются случаи нарушения требований пожарной безопасности в части несоответствия нормативным документам объемно-планировочных решений, примененных строительных материалов [13].

Как правило, здания культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов относятся к объектам защиты с массовым пребыванием людей. Таким образом, одной из актуальных задач является обеспечение требований пожарной безопасности для данных объектов.

Очевидно, что имеются особенности объектов культурного наследия с размещением в них старинных экспонатов, влияющие на пожарную опасность зданий, указанные в Таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Характерные отличительные особенности объектов культурного наследия с размещением в них старинных экспонатов, влияющие на пожарную опасность зданий

Особенность	Влияние на пожарную опасность
Уникальные интерьеры не позволяют выполнить заполнение проемов противопожарными дверями, окнами, шторами.	Превышение площади пожарного отсека, увеличивается риск распространения ОФП.
Наличие отделки из горючих материалов. Размещение экспонатов, выполненных из органических материалов, на путях эвакуации.	Увеличение горючей нагрузки в здании. В случае возникновения пожара может привести к увеличению его интенсивности и продолжительности
Наличие деревянных перекрытий между этажами	Резко увеличивается пожарная опасность здания из-за возможного распространения открытого пламени, высокотемпературных дымовых потоков по вертикали – по этажам зданий.
Архитектурно-планировочные решения включают в себя наличие внутренних галерей и анфилад значительной протяженности.	Превышение длины пути эвакуации, увеличение времени, необходимого для выхода из здания.
Единовременное нахождение большого количества посетителей на объекте.	Проблемы экстренной эвакуации, риск продолжительного скопления людей у эвакуационных выходов.

Как было указано выше, здания культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов нередко относятся к объектам с массовым пребыванием людей.

Известно, что к объектам защиты с массовым пребыванием людей дополнительные требования пожарной безопасности устанавливаются следующими документами: п. 2 ст. 81 и п. 2 ст. 89 [94]; п.п. 5, 9, 21, 22, 30, 39, 55, 78, 98, 424, 441, глава XXIV [54].

Ст. 53 Федерального закона [94] определяет для каждого здания или сооружения необходимость иметь объемно-планировочные решения и конструктивное исполнение эвакуационных путей, обеспечивающие безопасную эвакуацию людей при пожаре.

1.1.2. Анализ несоответствия путей эвакуации в зданиях культурно-исторического наследия с размещенными в них старинными экспонатами требованиям правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности

На примере Федерального государственного бюджетного учреждения культуры «Государственный Эрмитаж» проанализировано несоответствие путей эвакуации в зданиях культурно-исторического наследия с размещенными в них старинными экспонатами требованиям нормативным и правовым документам по пожарной безопасности (Таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Пути эвакуации, не соответствующие требованиям пожарной безопасности [13]

Конструктивные и объемно-планировочные решения	Несоответствие
Эвакуационные пути из помещений проходят через смежные залы с отсутствующими нормативными выходами	ч. 3, 5 ст. 89 № 123-ФЗ
Эвакуация проходит по маршрутам с выступами менее 45 см и ступенями (от 1 до 2)	п. 2 ч. 2 ст. 53 № 123-ФЗ СП 1.13130.2020 п. 4.3.5
Сохраняемая отделка путей эвакуации не отвечает необходимому классу пожарной опасности	п. 5 таб. 28 ст. 52 № 123-ФЗ
Превышается расстояние от помещений до эвакуационных выходов	ч. 12 ст. 89 № 123-ФЗ СП 1.13130.2020 п. 4.3.1
Не соответствуют нормам геометрические параметры эвакуационных выходов и их количество	п. 2 ч. 2 ст. 53 № 123-ФЗ СП 1.13130.2020 п. 4.3.2
Сохраняемые двери, расположенные на путях эвакуации открываются не по направлению выхода из здания	п. 2 ч. 2 ст. 53 № 123-ФЗ СП 1.13130.2020 п. 4.2.22
Отсутствует разделение коридоров длиной более 60 м на участки	п.п. 1, 2 ст. 52 № 123-ФЗ СП 1.13130.2020 п. 4.3.7
Винтовые и парадные криволинейные лестницы на эвакуационных путях имеют ширину ступени в узкой части менее 0,22 м	ст. 89 № 123-ФЗ СП 1.13130.2020 п. 4.3.6; п. 4.4.3
Лестничные марши на путях эвакуации шириной менее 1,35 м	п. 1 ч. 2 ст. 53 № 123-ФЗ СП 1.13130.2020 п. 4.4.1
В одном лестничном марше между площадками лестницы встречается более 16 ступеней	п. 1 ч. 2 ст. 53 № 123-ФЗ СП 1.13130.2020 п. 4.4.4
В объёме лестничных клеток (лестничная площадка) допускается размещение помещений (гардероб)	п. 1 ч. 2 ст. 53 № 123-ФЗ СП 1.13130.2020 п. 4.4.9
В здании высотой более 12 метров размещаются лестничные клетки типа Л2	СП 1.13130.2020 п. 4.4.16
Лестница 2-го типа выходит в вестибюль не отделенный от коридоров и смежных помещений противопожарными перегородками 1-го типа	СП 1.13130.2020 п. 4.4.20

Окончание таблицы 1.2

Конструктивные и объемно-планировочные решения	Несоответствие
Анфиладная система расположения помещений на путях эвакуации.	ч. 3 ст. 89 № 123-ФЗ
Наличие древесины в перекрытиях снижает степень огнестойкости здания.	СП 2.13130 п.6.6.1 табл. 6.9

Анализ обеспечения пожарной безопасности выставочных залов, музеев и фондохранилищ в РФ и их экспонатов должен учитывать созданную на объекте систему обеспечения пожарной безопасности (Таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Перечень необходимых данных для анализа противопожарной защиты объекта

Система предотвращения пожара	Система противопожарной защиты	Организационно-технические мероприятия по обеспечению пожарной безопасности
<ul style="list-style-type: none"> – наличие горючих веществ и материалов, способ их размещения; – изоляция источников зажигания от горючей среды; – наличие молниезащиты 	<ul style="list-style-type: none"> – применение объемно-планировочных решений и средств, обеспечивающих ограничение распространения пожара за пределы очага; – наличие автоматических установок пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией, пожаротушения; – исполнение путей эвакуации, выполняющих требования по безопасной эвакуации людей при пожаре; – наличие средств коллективной и индивидуальной защиты от ОФП; – применение строительных конструкций и материалов с требуемыми показателями пожарной опасности; – наличие первичных средств пожаротушения 	<ul style="list-style-type: none"> – организация обучения работников мерам пожарной безопасности; – установление предельной численности людей на объекте по условиям безопасности их при пожаре; – разработка мероприятий по действиям на случай возникновения пожара и организации эвакуации людей; – организация деятельности подразделений пожарной охраны

Законодательно здания – памятники истории и культуры не выделены в отдельную группу, для которых устанавливаются свои нормативные документы по пожарной безопасности. Таким образом, анализ системы обеспечения пожарной безопасности исторического объекта позволяет определить наличие или отсутствие нормативных требований пожарной безопасности для конкретного объекта, т.е. необходимость разработки специальных технических условий (СТУ) для обеспечения пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с

размещением в них старинных экспонатов [13]; определить необходимость выполнения расчета пожарного риска в соответствии с приказом МЧС России [52]. В ходе проведения обследований объектов культурного наследия с размещением в них старинных экспонатов выявляются типичные нарушения требований пожарной безопасности объемно-планировочного и конструктивного характера, указываемые в предписаниях государственного пожарного надзора (Таблица 1. 4).

Таблица 1.4 – Отступления от требований пожарной безопасности на объектах культурного наследия объемно-планировочного и конструктивного характера [13]

Нарушение	Нормативный документ
Отсутствует разделение коридоров длиной более 60 м на участки перегородками 2-го типа	СП 1.13130.2020 п. 4.3.7
Двери, расположенные на путях эвакуации открываются не по направлению выхода из здания	СП 1.13130.2020 п. 4.2.22
Отсутствует расчетное, экспериментальное или иное обоснование высоты эвакуационных выходов в свету менее 1,9 м.	СП 1.13130.2020 п. 4.2.18
Ширина эвакуационных выходов в свету менее 0,8 м	СП 1.13130.2020 п. 4.2.19
Допускаются эвакуация по путям с имеющимися перепадами высоты менее 45 см и ступенями менее 3-х	СП 1.13130.2020 п. 4.3.5
Эвакуационные выходы из подвальных этажей проходят через лестничные клетки, сообщающиеся с надземными этажами	СП 1.13130.2020 п. 4.2.2
Отсутствуют устройства самозакрывания и уплотнения в притворах у дверей лестничных клеток	СП 1.13130.2020 п. 4.2.24
Лестницы на путях эвакуации имеют забежные ступени с различной высотой и шириной проступи	СП 1.13130.2020 п. 4.3.6
Надземные и подземные этажи здания сообщаются лестницами 2-го типа	СП 1.13130.2020 п. 4.4.20
Коридоры без естественного освещения не оборудованы противодымной вентиляцией	СП 7.13130.2013 п. 7.2
Отделка зальных помещений и путей эвакуации, не соответствует требованиям ФЗ-123	п. 5 таб. 28 ст. 52 № 123-ФЗ

Из приведенных в таблице 1.4 конструктивных характеристик исторических зданий становится очевидным, что некоторые исходные данные ограничивают возможность проведения расчета пожарного риска согласно Методике [52], что приводит к невыполнению обязательного расчетного подтверждения требований безопасности людей при пожаре для ряда объектов культурного наследия.

1.2. Анализ обеспечения пожарной безопасности в зданиях культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов

С целью определения типичных нарушений требований пожарной безопасности в зданиях музеев проведен анализ обеспечения пожарной безопасности значимых объектов культурного наследия Санкт-Петербурга (Таблица 1.5). В рамках выполненной работы было отмечено, что основными характерными нарушениями действующих нормативных документов являются следующие:

- отсутствие (неисправность) элементов систем противопожарной защиты;
- несоответствие пределов огнестойкости строительных конструкций и противопожарных преград, а также отсутствие соответствующих заполнений проемов;
- несоблюдение требований, установленных к размерам и конструктивному исполнению эвакуационных путей и выходов.

Как показывает анализ, подобное положение дел способствует критическому снижению уровня пожарной безопасности зданий музеев.

Таблица 1.5 – Нарушения требований пожарной безопасности [13]

Объект	Основные нарушения
Александровский дворец	В месте перепада высот на пути эвакуации предусмотрена лестница числом ступеней менее трех (две ступени); выход с лестничной клетки на чердак не оборудован противопожарной дверью 2-го типа.
Левый птичник комплекса «Адмиралтейство»	Эвакуации со второго этажа осуществляется по винтовой лестнице; ширина лестничного марша менее 0,9 м; второй этаж здания не имеет второго эвакуационного выхода.
Музей-квартира А.С. Пушкина, размещена в бывшем особняке князей Волконских	Лестницы для сообщения между подвальным этажом и первым этажом не ограждены противопожарными перегородками 1-го типа с устройством на одном из входов (выходов) – тамбур-шлюза с подачей воздуха при пожаре; двери эвакуационных выходов и других дверей на путях эвакуации открываются не по направлению выхода из здания; фонд хранения не выделен противопожарными перегородками 1-го типа; помещения книгохранилищ не выделены противопожарными перегородками 1-го типа с соответствующим заполнением проемов в противопожарных преградах; часть противопожарных дверей и дверей лестничных клеток не имеют устройств для самозакрывания.

Продолжение таблицы 1.5

Объект	Основные нарушения
Зимний дворец	Пути эвакуации проходят по протяженной анфиладе выставочных залов с отсутствующими эвакуационными выходами. Длинные галереи и коридоры (более 60 м) не разделены на участки противопожарными перегородками. Не соответствуют нормативным требованиям: историческая отделка стен и покрытие полов, геометрические параметры эвакуационных путей и выходов, количество эвакуационных выходов. На путях эвакуации имеются лестницы: криволинейные и зауженные; с числом ступеней менее 3 и более 16; без зазора между поручнями ограждений лестничных маршей; без естественного освещения; сообщающиеся с подвальными помещениями без выхода наружу. Исторические двери эвакуационных путей и выходов открываются не по направлению выхода из здания.
Музей-усадьба Г.Р. Державина	В полу на путях эвакуации размещаются перепады высот менее 45 см; в лестничной клетке, расположенной в левой части западного корпуса минимальная ширина лестничного марша составляет 0,97 м; из коридора второго этажа восточного корпуса без естественного проветривания длиной более 15 метров не предусмотрено удаление продуктов горения при пожаре системами вытяжной противодымной вентиляции; металлические несущие конструкции, расположенные в венткамере, не имеют требуемого предела огнестойкости REI45; двери, ведущие в помещение для хранения картин, не противопожарные.
Екатерининский дворец	Служебный коридор первого этажа длиной более 60 м не разделен противопожарной перегородкой 2-го типа; лестничные клетки эвакуационных лестниц № 7 и № 9 не имеют выходов наружу; в лестничной клетке эвакуационной лестницы № 9, не имеющей световые проемы в наружных стенах на каждом этаже, не предусмотрен подпор воздуха при пожаре; двери выхода с эвакуационной лестницы № 4 в холл первого этажа открываются не по направлению выхода из здания.
Белая башня	Этажи здания 2-6 не имеют второго эвакуационного выхода; на пути эвакуации со второго этажа предусмотрена винтовая лестница.
Домик Петра I с футляром	Дверь эвакуационного выхода, ведущая непосредственно наружу из помещения зала футляра с количеством размещаемых более 15 человек, открывается не по направлению выхода из здания; в полу на пути эвакуации, в месте перепада высот предусмотрена лестница с 2-мя ступенями; числом ступеней не менее трех или пандус с уклоном не более 1:6.
Павловский дворец	Не предусмотрены ограждения на кровлях здания Дворца; отделка пола на путях эвакуации в коридоре и фойе выполнена из горючих материалов (паркет); эвакуационные выходы (лестничные клетки) со 2-го и 3-го этажей не соответствуют требованиям нормативных документов; отсутствует второй эвакуационный выход с 3-го этажа; в качестве второго эвакуационного выхода с этажей северного полуциркуля используется винтовая лестница с выходом в общий коридор 1-го этажа; выход из подвала осуществляется в общую лестничную клетку здания; в церковном флигеле в качестве эвакуационного выхода со 2-го этажа используется лестница с выходом в общий коридор 1 -го этажа.

Окончание таблицы 1.5

Объект	Основные нарушения
Русский музей – Михайловский замок	<p>Площадь пожарного отсека превышает допустимую нормативными документами; на путях эвакуации допускается использование напольных покрытий с более высокой пожарной опасностью, чем установлено нормативными требованиями; не предусмотрено удаление продуктов горения при пожаре системами вытяжной противодымной вентиляции из коридоров без естественного проветривания длиной более 15 метров; не все двери лестничных клеток имеют приспособления для самозакрывания и уплотнения в притворах; допускается прохождение эвакуационного пути через лестничную клетку без световых проемов и не оборудованную подпором воздуха при пожаре; двери эвакуационных выходов в лестничную клетку, с количеством размещаемых на этаже более 15 человек, открываются не по направлению выхода из здания; ширина эвакуационных выходов в свету из помещений на 1-м этаже составляет менее 0,8 м; высота горизонтального участка пути эвакуации по лестнице 2-го типа в свету составляет менее 2 м; помещения хранения музейных ценностей не оборудованы автоматической установкой пожаротушения; не все помещения здания обеспечены нормативными эвакуационными выходами; заполнение проемов не соответствует заполнению проемов в противопожарных преградах.</p>
Михайловский замок (Инженерный замок)	<p>Выходы с лестничных клеток на чердак не оборудованы противопожарными дверьми 2-го типа; на техническом чердаке, вдоль всего здания, не предусмотрены проходы высотой не менее 1,8 метра и шириной не менее 1,2 метра; не все помещения здания обеспечены нормативными эвакуационными выходами (выходы осуществляются через два и более соседних помещения); помещения хранения музейных ценностей не оборудованы автоматической установкой пожаротушения; не предусмотрено удаление продуктов горения при пожаре системами вытяжной противодымной вентиляции из коридоров без естественного проветривания длиной более 15 метров; заполнение проемов в противопожарных перегородках 1-го типа, отделяющих помещения складского назначения, не соответствуют 2-му типу заполнения проемов в противопожарных преградах; эвакуация с антресоли, расположенной в помещении фонда скульптур, осуществляется только по двум винтовым лестницам 2-го типа; дверь эвакуационного выхода, ведущая из зала в лестничную клетку, открывается не по направлению выхода из здания; высота эвакуационного выхода в свету из помещения на 1-м этаже составляет менее 1,9 м; в полу на пути эвакуации из помещения на 1-м этаже устроена лестница с двумя ступенями.</p>

1.3. Пожарная опасность зданий культурно-исторического наследия

В настоящее время активно ведутся процессы реконструкции и реставрации, модернизации выставочных залов, музеев и фондохранилищ. В рамках проводимой деятельности 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 [10,82-85,88-90].

Вместе с тем такие объекты остаются повышенной пожарной опасности. Для примера рассмотрим наиболее характерные пожары, которые произошли в выставочных залах, музеях и фондохранилищах за последние 20 лет (Таблица 1.6) и послужили причиной массового уничтожения исторических ценностей, а также значительного материального ущерба [30].

Таблица 1.6 – Пожары в музеях, выставочных залах, фондохранилищах

Дата пожара	Объект, историческая характеристика	Краткое описание пожара
26.12.2002	Дом-музей академика В. И. Вернадского (Москва). Здание – памятник архитектуры XVII-XIX вв.	Возгорание двухэтажного здания произошло около 12 часов. В тушении огня принимали участие 20 пожарных расчетов. В результате пожара полностью выгорели чердак и мансарда. Площадь пожара составила 200 кв. м, пострадавших не было. Музей академика Вернадского прекратил свое существование.
14.03.2004	Манеж (Москва). Здание построено в 1817 году. С 1957 года Манеж использовался для проведения выставок, концертов и других публичных мероприятий.	Причиной пожара послужило короткое замыкание. Пожару присвоен 5 ранг сложности. В ходе тушения погибли двое пожарных. Сгорели произведения 92 театральных и современных художников. Полностью сгорела кровля
19.02.2004	Библиотека имени Александра Блока (Санкт-Петербург). Расположена в особняке XIX века. Памятник архитектуры ампира, построен в 1831-1833 годах по проекту архитектора Жако.	Пожар начался в 15:28 в помещении картотеки, был присвоен высший (5) номер сложности. В тушении принимали участие 30 единиц техники. Огонь уничтожил 2,5 тыс. м ² площади дома на трех этажах. Были спасены 2 девушки, застрявшие в лифте, эвакуированы 86 человек.

Продолжение таблицы 1.6

20.04.2004	<p>Политехнический музей (Москва). Музей был учрежден по личному указу Александра II в 1872 году. Архитектура строения отражает лучшие традиции классического русского зодчества. Здание представляет собой культурно-историческую ценность, взято под охрану государства.</p>	<p>Пожар вспыхнул в 11:40. Причиной стало короткое замыкание. Горели 2-й и 3-й этажи здания. Пожар тушили по 3-му номеру сложности. Чтобы огонь не распространялся по деревянным перекрытиям, пришлось залить водой здание внутри. Всех сотрудников и посетителей, среди которых были экскурсионные группы со школьниками, успели эвакуировать. Всего здание покинуло 1600 человек. Пострадал 1 человек. Коллекция музея не пострадала.</p>
24.04.2004	<p>Дом-музей композитора П.И. Чайковского (Клин, Московская область). Старейший мемориальный музыкальный музей в России, открыт 9 (21) декабря 1894 года. В доме хранились вещи, библиотека и архив композитора, а также вся обстановка, в которой он провел последние годы жизни.</p>	<p>Причина пожара – пожароопасные работы, проводимые в период реставрации наружных стен деревянного дома. Огнем были охвачены крыша и внутренние помещения. Эвакуация музейной коллекции началась сразу после возгорания. Часть коллекции пострадала, некоторые вещи утрачены.</p>
27.07.2006	<p>Музей-усадьба Ф.И. Тютчева (Мураново, Московская область). Главный дом усадьбы был построен в 1842 г.</p>	<p>Причина возгорания – попадание молнии. Площадь пожара 200 м². Огнем были охвачены крыша, чердак и перекрытия. В результате сильно пострадала коллекция музея. Утрачены полотна А.К. Саврасова и выполненный в стиле ампира столик. Нанесен серьезный ущерб картинам Айвазовского, повреждена библиотека. Спасая музейные предметы, пострадали 3 сотрудника.</p>
12.04.2007	<p>Государственный геологический музей истории Земли им. Вернадского (Москва). Здание возводилось в 1914-1918 гг. Архитектор-строитель здания – Р.И. Клейн</p>	<p>Пожар возник в 3-этажном в 10:26. Изначально горел паркет на 2-м этаже, а уже от него огонь поднялся к перекрытиям. Работало 10 пожарных расчетов. Ситуацию осложняло нахождение в соседнем помещении реставрационной мастерской, из которой пожарным приходилось эвакуировать картины. Из музея все были вовремя эвакуированы. Площадь пожара составила 10 м².</p>

Окончание таблицы 1.6

Дата пожара	Объект, историческая характеристика	Краткое описание пожара
15.07.2010	Всероссийский художественный научно-реставрационный центр им. Грабаря (ВХНРЦ). В Центре Грабаря находились на реставрации картины из музеев со всей России.	Пожар начался в административном здании в районе мансарды и крыши от паяльной лампы, которую использовали при ремонте кровли. Затем огонь распространился по деревянным перекрытиям на 2-й и 3-й этажи. Площадь пожара составила 1500 м ² . Пожар тушили по 3-му номеру сложности, были задействованы 3 вертолета и 65 единиц пожарной и спасательной техники, а также более 250 пожарных. В результате обрушения перекрытия двое пожарных погибли. Для тушения понадобилось почти 5 часов. Музеи страны потеряли большое количество картин и икон.
30.01. 2015	Институт научной информации по общественным наукам РАН (Москва). Здание в эстетике брутализма, представляющее собой соединение бетонных и стеклянных конструкций, построено в 1960-х - начале 1970-х годов по проекту Я.Б. Белопольского, Е.П. Вулыха и Л.В. Мисожникова	К возгоранию привело короткое замыкание вследствие протечки кровли и попадания воды на светильник в техническом помещении. Быстрому распространению огня способствовало отсутствие соответствующего нормам перекрытия между 3-м этажом и чердаком, противопожарных клапанов на воздуховодах системы вентиляции. Произошло обрушение 1000 м ² кровли, сгорело левое крыло здания. Всего было утрачено 5,42 млн экземпляров редких справочных изданий и материалов по истории Первой и Второй мировых войн. Пожар стал катастрофой национального значения.
03.11.2017	Отдел личных коллекций ГМИИ имени Пушкина (Москва). Музей расположен в здании 1804 года постройки. Образец жилого дома начала 19 века.	Пожар возник в системе вентиляции музея. Затем загорелась кровля. Площадь возгорания составила 40 м ² , горели утеплитель и стекловата. В тушении участвовали около 70 спасателей и 20 единиц техники. Свыше 30 человек были эвакуированы. Экспонаты не пострадали.
25.06. 2020	Литературный музей А.М. Горького (Нижний Новгород). Здание – образец жилой купеческой постройки II-й половины XIX века, построено в стиле академической эклектики в 1882 г. петербургским архитектором Н.Д. Григорьевым. Дом является памятником истории и культуры регионального значения.	Пожар произошел в здании музея, находившемся на реконструкции. На тушение ушло более 4,5 часов. Общая площадь возгорания составила 500 м ² . Произошло частичное обрушение чердачного перекрытия. Подразделения принимали участие в спасении культурных ценностей. Пострадали фасад здания и внутренние интерьеры, составляющие его основную ценность.

Собранные в Таблице 1.6 сведения демонстрируют, что возгорание или пожар в музее - это серьезная угроза коллекции, невозполнимая утрата экспонатов, физический ущерб зданию, а также травмирование или даже гибель людей.

1.4. Результаты в области обеспечения пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с учетом характеристик отделочных материалов, облицовок, покрытий, экспонатов

Научные исследования в области обеспечения пожарной безопасности выставочных залов, музеев и фондохранилищ с точки зрения горения материалов и их параметров в России и за рубежом имеют определенные особенности [27]. Но при этом просматриваются единые тенденции по снижению пожарного риска.

На основе сравнения российских и международных научных исследований авторами [19] предложен вероятностный подход при оценке пожарного риска в случае приспособления исторических зданий для современного использования, который является в этом отношении более гибким и совершенным, т.к. основан на более рациональном сопоставлении ОФП, уровня безопасности людей, ожидаемого материального ущерба и, в итоге, затрат на противопожарную защиту.

Применительно к проблеме пожарной безопасности и сохранения исторических элементов объекта защиты следует отметить обзор современных подходов к пожарной безопасности в исторических зданиях [62]. В Гонконге [125] типы исторических зданий разнообразны, включая традиционные китайские родовые особняки, жилые дома в западном стиле и здания функционального назначения (например, полицейские участки). Выполнение существующих на сегодняшний день норм пожарной безопасности при перестройке или ремонте исторических зданий неизбежно вызывает проблемы, так как воздействие на исторические материалы, внешний вид и эстетику должно быть минимизировано, и в то же время уровень пожарной безопасности не должен снижаться. Использование альтернативного подхода или подхода, основанного на

характеристиках к проектированию пожарной безопасности в таком случае, является единственным решением проблем пожарной безопасности и сохранения исторических элементов.

В исследовании [112], рассматривая перспективу сохранения исторических зданий, предлагается особое внимание уделить созданию специальных баз данных о пожарах на таких объектах, применять более подходящие методы для оценки риска пожара. Это позволит совершенствовать законодательство и нормативную документацию, выработать соответствующую стратегию противопожарной защиты таких объектов.

1.4.1. Оценка пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия

В работе [111] представлена оптимизация функционального использования реконструированных пространств исторических зданий с точки зрения пожарной опасности. Проводится оценка противопожарной защиты в жилом доме Habánský Dvor, расположенном в деревне Вельке-Левар, функции которого были преобразованы в музей. Был проведен статический анализ существующих несущих конструкций и оценка их огнестойкости по Еврокодам. Оптимизация запланированного функционала и его масштабов в оцениваемом здании позволила реализовать противопожарную защиту без дальнейших модификаций исходных конструкций, что было подтверждено проведенным исследованием. В итоге авторы определили, что несущая конструкция сохраняет свою статическую нагрузочную способность даже при критической нагрузке во время пожара, что подтверждается обугленным поперечным сечением. Это может стать идеальным решением с точки зрения сохранения здания, поскольку конструкция фермы остается оригинальной. Здание сохраняет подлинность всех элементов кровли, что имеет большое значение для сохранения памятника. В работе [111] подчеркивается актуальность разработки чек-листа для анализа конструкций и материалов, их функционального назначения.

Культурные реликвии – это одновременно и ценное культурное наследие, оставленное предками, и знак культурного развития того времени. На основе исследования и анализа существующей ситуации и существующих проблем, связанных с пожарной безопасностью исторических зданий в Гонконге, были предложены соответствующие меры для предотвращения пожаров и контроля за пожарной безопасностью исторических зданий [105]. Было отмечено, что обеспечение пожарной безопасности исторических зданий должно возглавляться правительством при активном сотрудничестве учреждений работающих по таким направлениям как: пожарная безопасность, культура, религия, туризм, городское развитие. Организации и подразделения всех уровней должны серьезно относиться к выполнению обязанностей, возложенных на них законом о противопожарной защите, выполнять необходимые противопожарные мероприятия, устранять и регулировать существующие пожарные риски и постепенно приводить к стандартным условиям противопожарной защиты. На основании научных исследований Китая [105], для обеспечения пожарной безопасности исторических объектов необходимо проводить больше научных исследований для совершенствования процессов управления пожарной безопасностью исторических зданий.

Как известно, пожарная безопасность объекта защиты – это состояние, характеризующее возможность предотвращения возникновения и развития пожара, а также воздействия на людей и имущество ОФП [94]. Здания, приспособленные под выставочные залы, музеи и фондохранилища, отнесенные к историко-культурному наследию, в силу ряда факторов, таких как значительная величина пожарной нагрузки, большое количество одновременного нахождения людей, сложность объемно-планировочных решений, усложняющих организацию эвакуации, невозможность в полном объеме выполнить требуемые противопожарные мероприятия, – рассматриваются как объекты повышенной пожарной опасности [40,43,44,46,59]. Оценке пожарной безопасности различных объектов посвящено достаточно много исследований [14,15,17,26,35,36,81,95,104,113].

К вопросу количественной оценки пожарной безопасности объектов культурного наследия также обращались неоднократно. Для оценки пожарной безопасности особо ценных объектов культурного наследия в предложенной методике [101] уровень пожарной безопасности музеев (Y) определяется суммированием оценок пожарной безопасности по всем зданиям музея (Y_i), которые, в свою очередь, находятся как сумма 39 показателей:

$$Y_i = \sum \alpha_j \varphi_j^i, \quad (1.1)$$

где α_j – постоянные весовые коэффициенты, различающиеся по группам музеев;

φ_j^i – функции факторов, влияющих на уровень пожарной безопасности музеев;

$$i = 1; j = 39.$$

Полученные по этой методике значения уровней пожарной безопасности нескольких особо ценных объектов сравнивались между собой. Предложенная методика позволяет выявить факторы, оказывающие наибольшее влияние на уровень пожарной безопасности объекта.

Представленная в научных исследованиях [47,48] Муслаковой С.В. методика оценки пожарной безопасности зданий или комплекса зданий музея предлагает рассчитывать показатель пожарной опасности по формуле:

$$U = \sum_{i=1}^N \frac{S_i}{S} U_i, \quad (1.2)$$

где N – число учетных зданий объекта;

S_i – сумма поэтажных площадей i -го здания, $i = 1 \dots N$;

$S = \sum S_i$ – общая площадь помещений объекта;

U_i – показатель пожарной безопасности i -го объекта здания;

U_i и U – положительные величины; чем больше значение U , тем выше показатель (уровень) пожарной безопасности объекта.

Предложенный метод комплексной оценки пожарной безопасности музейных объектов позволяет:

- оценить текущее состояние пожарной безопасности музея;
- оценить «нормативную» (потенциальную) пожарную безопасность, соответствующую выполнению всех требований противопожарных норм и правил;
- ранжировать музейные объекты по уровню пожарной безопасности;
- провести группировку музеев по уровню пожарной безопасности;
- определить эффективные противопожарные мероприятия по повышению пожарной безопасности музейных объектов.

В научном исследовании [48] разработан вероятностный метод прогноза площадей горения в музеях без учета свойств реальных материалов на путях эвакуации. Впервые предложен инструмент совершенствования противопожарной защиты, «гибкого» нормирования ряда элементов системы противопожарной защиты (ППЗ) музеев, требующий актуализации.

Реализуемый в приведенных методиках эвристический подход к методу оценки пожарной безопасности не учитывает обстоятельства исторической значимости и сохраненной подлинности рассматриваемого объекта, способных влиять на пожарную опасность. Эти факторы учтены в предложенном количественном инженерном методе оценки пожарной безопасности музеев в научной работе [61]. На основании чек-листов объекты культурного наследия предлагается классифицировать по 5-ти признакам значимости и сохранности исторической структуры с целью разделения их на группы, получается 25 групп. Далее для каждого объекта из группы определяют на основе заданных параметров индивидуальную детерминистическую характеристику b_{ij} . В результате обследования объекта, относящегося к определенному классу по заданным параметрам, вычисляется его интегральная пожарная характеристика:

$$B_i = \sum_{j=1}^5 b_{ij}, \quad (1.3)$$

где b_{ij} – значение j -го признака для i -го объекта, $i = \overline{1, \dots, N}$;

N – количество обследованных объектов из анализируемой группы.

На основе характеристики B_i строится гистограмма распределения количества объектов $n(B_i)$ (Рисунок 1.1). Пожарная опасность объекта возрастает с увеличением его балльной характеристики B_i .

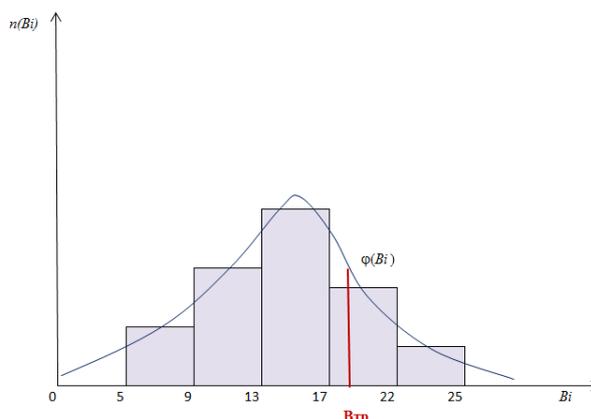


Рисунок 1.1 – Гистограмма количества объектов $n(B_i)$ в зависимости от интегральной пожарной характеристики объекта B_i ;

$\varphi(B_i)$ – плотность распределения пожарной характеристики объекта;

$B_{тр}$ – требуемый уровень пожарной безопасности музейного объекта

Данную гистограмму можно аппроксимировать и найти плотность распределения объекта культурного наследия в группе $\varphi(B_i)$.

Требуемый уровень пожарной безопасности музеев определяется как величина, равная значению 0,75 [61].

Предложенный метод позволяет:

1) установить место конкретного исторического объекта среди других исторических объектов по уровню пожарной опасности;

2) выбрать с учетом характеристик рассматриваемого объекта наиболее эффективные противопожарные мероприятия, реализация которых позволит перевести его в группу объектов, приемлемых по уровню пожарной опасности.

Однако рассмотренные выше индексные методы оценки пожарной опасности объектов культурного наследия не принимают во внимание характеристики горючей нагрузки музеев, размещение в них экспонатов.

В международных научных исследованиях постоянно подчеркивается уникальность объектов защиты и в связи с этим необходимость индивидуального подхода при разработке концепции их пожарной безопасности. Кроме того, в большинстве таких исследований используется необходимый для проверки перечень требований, так называемый чек-лист (check list) [62]. Результаты этих исследований были использованы при разработке нормативных документов по пожарной безопасности. Формы различных опросных листов для оценки пожарной опасности исторических объектов приводятся в документах, разработанных CFPA (Confédération of Fire Protection Association), NFPA (National Fire Protection Association), BSI (British Standard Institute), CTIF (International Association of Fire and Rescue Service).

Для музеев, выставочных залов, фондохранилищ важно знать не только пожарную опасность самого здания, в котором они размещаются, также важно оценить возможную угрозу хранящимся экспонатам. На основании результатов обследования музеев, а также анализа нормативно-правовой базы Российской Федерации было подготовлено Руководство [11,12] по разработке комплексной унифицированной системы безопасности музейных учреждений. Документ содержит сведения по общим вопросам концептуального подхода к построению систем безопасности, организации службы безопасности, организационным мероприятиям по обеспечению пожарной безопасности.

В Руководстве для музеев, разработанном Агентством по Федеральному правительству США (National Park Service Museum Management Program) [119] представлен широкий круг тем по управлению музейными и архивными коллекциями. К ним относятся музейное хранение, экологические стандарты,

биологическое заражение, противопожарная защита музеев, планирование чрезвычайных ситуаций и готовность к ним. В разделе, посвященном пожарной безопасности музеев, рассматриваются вопросы: оценка рисков для идентификации пожарной опасности; план действий, направленный на повышение пожарной безопасности; план действий в случае возникновения пожара; определение необходимости в автоматической противопожарной защите музея; реагирование на чрезвычайные ситуации при пожаре и действия по спасению; обучение, учебные тренировки и наличие необходимой документации по противопожарной защите музея. Представлен обзор систем и оборудования автоматического обнаружения и тушения пожаров, включая проверку, тестирование и техническое обслуживание, обзор огнетушителей. Согласно Руководству [119], чтобы оценить пожарную опасность для музейных коллекций, эксперт должен выявить угрозы вместе со специалистом по противопожарной защите и руководством объекта. Оценка состоит из трех этапов:

1. Рабочий лист (таблица) по оценке рисков.

Каждые 5 лет или после значительного события (пожар, строительство или реконструкция, установка новой экспозиции, смена эксперта) заполняется специально разработанная таблица с акцентом на пожарную опасность, которая ежегодно пересматривается.

2. Разрабатывается контрольный список вопросов для сохранения и защиты музейных коллекций, в котором учитываются требования к помещениям, где размещаются музейные коллекции, а также вопросы безопасности и сохранности исторических предметов. Список вопросов пересматривается ежегодно и обновляется каждые 5 лет.

3. Оценка объекта

Заполняется форма, в которой проводится оценка возможности установки автоматических систем противопожарной защиты или перемещение коллекции в помещение, оборудованное этими системами.

1.4.2. Исследование безопасной эвакуации

Одно из требований, предъявляемых к пожарной безопасности зданий, – возможность эвакуации людей (с учетом особенностей инвалидов и других групп населения с ограниченными возможностями передвижения) в безопасную зону до нанесения вреда их жизни и здоровью вследствие воздействия ОФП [93,94].

Исследованию процессов эвакуации всегда уделялось большое внимание [28,29,60,74,108]. В научных работах рассматривались факторы, влияющие на поведение людей в случае пожара [6,45,97.98], реагирование на извещение о пожаре [55,96,99,100]; движение людей в эвакуационном потоке; кинематические закономерности движения людских потоков; параметры, характеризующие индивидуальное и поточное движение людей с нормальной и пониженной мобильностью в зданиях разных классов функциональной пожарной опасности; концепция нормирования времени начала эвакуации в зависимости от физического и физиологического состояний людей; требования пожарной безопасности к эвакуационным путям и выходам [16,42,64,92,102], нормированию их размеров и обеспечению беспрепятственной и своевременной эвакуации людей [63,65,91,106,107,114-118,120,123,124,126].

Чтобы организовать безопасную эвакуацию людей, объект должен иметь необходимое количество эвакуационных путей и выходов с соответствующим конструктивным исполнением, обеспечивающим беспрепятственность движения людей, и быть оснащен системой оповещения и управления эвакуацией [94]. Не всегда указанные требования могут быть реализованы в зданиях-памятниках.

Управление эвакуацией людей на исторических объектах рассматривалось на примере православных храмов [103]. Предметом исследования были модели движения людских потоков. Учитывая, что большинство православных храмов построены до принятия в силу современных требований пожарной безопасности, в связи с чем могут им не соответствовать, результаты исследовательской работы – разработанные модели совместного движения эвакуирующихся разных групп

мобильности и движения людей «цепочкой» при эвакуации по винтовым и прямым лестницам и по узким проходам в православных храмах, а также предложенный метод расчета времени эвакуации из православных храмов потока людей разных групп мобильности при угрозе чрезвычайных ситуаций, позволяют оценить время эвакуации по специфичным эвакуационным путям и выходам, поэтому могут быть применены к другим объектам исторической постройки.

Что касается противопожарной защиты и безопасной эвакуации, основанной на характеристиках пожарной нагрузки и количества посетителей, была проанализирована возможность безопасной эвакуации в библиотеке колледжа в Китае [109]. Сбор данных о пожарных нагрузках и эвакуации посетителей читальных залов проводился путем обследования в выходные и праздничные дни, когда приходит максимальное количество посетителей. После проведенного всестороннего анализа показателей безопасной эвакуации библиотеки был сделан вывод, что из-за большого количества книг и скопления людей 1-й, 3-й и 4-й читальные залы признаны наиболее опасными зонами, поэтому их выбрали для проверки пожарной безопасности и безопасной эвакуации. Чтобы упростить расчет, в качестве пожарной нагрузки рассматривались только книги. RSET (требуемое время безопасной эвакуации) рассчитывалось в соответствии с полученными данными и складывалось из времени обнаружения пожара, времени до начала эвакуации и времени эвакуации. ASET (доступное время безопасной эвакуации) определялось путем моделирования пожара в помещении с использованием полевой модели FDS (Fire Dynamics Simulator). Принимая во внимание большое количество читателей во время праздников и выходных, запись количества опрошенных читателей повторялась 3 раза, полученное среднее значение было принято за количество эвакуированных в разное время. Теоретическое значение параметров безопасной эвакуации было рассчитано по формуле. В работе делаются следующие выводы:

– при сравнении, исследуемое значение времени эвакуации оказалось намного меньше теоретического расчета, поэтому было сделано заключение, что

количество эвакуированных соответствовало существующим нормативным требованиям;

– анализ пожарной нагрузки, расстояний по путям эвакуации и количества эвакуированных людей выявил, что 4-й читальный зал был самым неблагоприятным для безопасной эвакуации. Результаты показали, что система противопожарной защиты в 4-м читальном зале отвечает требованиям безопасной эвакуации;

– анализ существующей системы противопожарной защиты и безопасной эвакуации библиотеки колледжа, основанного на характеристиках, демонстрирует, что системы пожарной безопасности соответствуют требованиям.

Авторы [109] указали, что на основании приведенного выше анализа можно подтвердить эффективность противопожарной защиты и безопасную эвакуацию в библиотеке колледжа. Но более комплексно с точки зрения пожарной нагрузки данная задача не проанализирована.

1.4.3. Исследование пожарной нагрузки

Как правило, основным горючим материалом на объектах культурного наследия является древесина. Научные исследования древесины свидетельствуют о постоянном интересе к физико-химическим изменениям, связанным с периодом эксплуатации, видам и местом произрастания древесины, влияющим на ее пожароопасные свойства [30-33,66-72,86,111]. В работе [68] для проведения экспериментального исследования в качестве образцов были взяты спилы хвойной породы древесины с существующих деревянных строений в Вологодской области эксплуатационного возраста от 60 до 150 лет. Анализ результатов показал, что с увеличением возраста древесины увеличивается время воспламенения материала и критическая поверхностная плотность теплового потока (КППТП), наблюдается уменьшение массовой скорости выгорания, снижение токсичности продуктов горения, связанное со снижением низшей теплоты сгорания, отражающей

энергетику протекающих процессов при горении древесины. Физико-химические изменения древесины в период ее эксплуатационного старения влияют и на снижение дымообразования при горении.

Ранее экспериментальные исследования термической устойчивости древесины в зависимости от срока эксплуатации проводились с образцами сосны из внутреннего интерьера зданий [57]. Временной интервал эксплуатации образцов на момент эксперимента составлял 90, 100, 200, 300, 378, 410, 479, 514 и 525 лет. В результате изучения термопревращений древесины в атмосфере воздуха было отмечено волнообразное изменение эффективной энергии активации в зависимости от времени эксплуатации. Исследование показало, что в первые 50-100 лет эксплуатации и через 300 лет древесина наиболее подвержена терморазложению, а более устойчива в период эксплуатации около 200 и 400 лет.

Влияние длительного естественного старения на пожарную опасность объектов культуры из древесины с лакокрасочным покрытием исследовалось в научной работе [1]. В качестве образцов для исследования были взяты элементы отделки и конструкции из древесины на объектах культуры: элементы конструкций внутри деревянной церкви (Донская деревянная церковь в Московской области), элементы дубового паркета с декоративным лаком из здания постройки 1913 года (особняк Кочубея в Санкт-Петербурге) и элементы деревянных конструкций с внешней стороны зданий сроком от 58 до 100 лет эксплуатации. На поверхность элементов деревянных конструкций наносились наиболее применяемые при строительстве и реконструкции объектов культуры лакокрасочные покрытия (ЛКП). В результате исследования выявлено снижение величины КППТП процесса воспламенения для образцов древесины длительного срока с ЛКП. Наиболее низкие значения были получены для образца древесины сосны с краской на нитроцеллюлозной основе – $5,0 \text{ кВт/м}^2$ и образца древесины сосны с масляной краской – $2,0 \text{ кВт/м}^2$. Установлено значительное повышение значений индекса распространения пламени для элементов деревянных конструкций с ЛКП длительного срока эксплуатации и их высокая дымообразующая способность (ДЗ).

В работе [110] представлены результаты исследования плотности пожарной нагрузки, проведенного в Ору-Прету (штат Минас-Жерайс, Бразилия). Использовался метод инвентаризации. Обследованы 43 здания разного функционального назначения. Определение плотности пожарной нагрузки произведено для 39 объектов, состоящих из одной или нескольких комнат и здания в целом. Средняя плотность пожарной нагрузки составила 2989 МДж/м^2 , а стандартное отклонение – 2833 МДж/м^2 . Торговые магазины считаются наиболее загруженными, а максимальная плотность пожарной нагрузки – $14\,560 \text{ МДж/м}^2$ наблюдается в аптеке. Из-за новых переделок в старых зданиях некоторые помещения имеют относительно низкие пожарные нагрузки. Замечено, что значительную часть пожарной нагрузки составляет древесина. Она представлена в 35% случаев временной пожарной нагрузкой и 37% – постоянной пожарной нагрузкой. При сравнении полученных результатов с результатами, установленными бразильским стандартом NBR 14432, оказалось, что измеренные значения могут превышать стандартные значения в 10 раз. Авторы [110] подчеркивают, что необходимо совершенствовать методологию исследования пожарной нагрузки для исторических зданий.

В исследовании [122] проводился анализ комбинации горючих материалов пожарной нагрузки. Выявлено, что древесина очень часто является основным материалом в торговых зонах, гостиницах, офисах и больницах, тогда как пластмассы присутствуют в небольших количествах. Авторы приходят к выводу, что анализ можно провести на более высоком уровне, увеличив количество данных. Это важный момент в подходе, основанном на характеристиках, и эффективный способ обнаружения изменений в распределении пожарной нагрузки. Следовательно, продолжение исследований пожарной нагрузки предоставит полезную информацию, которая будет собрана в национальной базе данных. Впервые в работе [122] указана необходимость анализа данных о пожарной нагрузке для исторических зданий.

Плотность пожарной нагрузки в исторических зданиях исследовалась и в Индии в храмах Дарья Даулат Баг и Махадвара Гопурам Ранганатха Свами в

Шрирангапатна Талук (округ Мандья, Карнатака) [121]. Были обследованы два исторических объекта площадью 1068,64 м², применялся метод инвентаризации, проведен анализ влияния функционала помещения и площади на пожарные нагрузки. Установлено, что назначение помещения и площадь пола являются основными параметрами, влияющими на пожарные нагрузки в помещении. Сделана попытка рассчитать состав горючей нагрузки в обследованных зданиях. Отмечено, что в зданиях древесина составляет значительную часть полной пожарной нагрузки, а постоянная нагрузка составляет около 90% полной пожарной нагрузки.

Авторы [121] подчеркивают, что наиболее эффективный метод обеспечения пожарной безопасности – регулярное проведение оценки пожарного риска с тщательным мониторингом и анализом; т.е. «профилактика – лучший метод».

1.4.4. Исследования в области обеспечения пожарной безопасности Государственного Эрмитажа

В настоящее время проведено несколько исследований в области обеспечения пожарной безопасности Государственного Эрмитажа [2,9,29-32,50]. Среди них необходимо отметить научные работы С.А. Никонова [50] и А.В. Богданова [9].

В исследовании [50] впервые рассмотрена эвакуация как случайный процесс, на исход которого влияет случайный характер скорости движения отдельных людей, времени начала эвакуации, скорости распространения ОФП и функционирования системы оповещения о пожаре. Разработаны аналитические методы расчета вероятностных характеристик процесса эвакуации, в том числе вероятности успешной эвакуации, которая принята показателем эффективности мероприятий по организации эвакуации. Обоснована необходимость использования методов численного моделирования процессов движения людских

потоков для определения этого показателя. Разработаны численные модели свободного движения людей и движения людских потоков в стесненных условиях, позволяющие рассчитывать вероятностные характеристики процесса эвакуации с помощью современных ЭВМ. С помощью методов численного моделирования установлены законы распределения времени эвакуации в зависимости от планировки эвакуационных путей, уровня психологической напряженности движения и времени задержки начала эвакуации. В исследовании [50] впервые дана оценка уровня безопасности людей и разработан комплекс мероприятий по организации эвакуации в случае пожара из Государственного Эрмитажа. Разработана и использована методика натурных наблюдений по определению практической численности и размещения людей в зданиях крупных музеев, но без анализа среднестатистической информации за год. При этом оценка уровня обеспечения безопасности людей при эвакуации не учитывает характеристики пожароопасных свойств реальных материалов и конструкций.

Научная работа [9] посвящена системному исследованию комплексных проблем пожарной и охранной безопасности крупного музея. На примере Государственного Эрмитажа впервые была внедрена интегрированная система пожарно-охранной безопасности крупного музейного комплекса с учетом архитектурно-планировочных особенностей, которая позволяет повысить эффективность комплексных мер безопасности. Исследованием [9] определено, что в ходе создания информационной системы обеспечения безопасности необходимо предусматривать комплекс организационно-технических мероприятий, а также вместе с информационными и техническими системами необходимо обязательное использование организационно-социологических мер и архитектурно-планировочных принципов обеспечения безопасности крупных музейных комплексов. С учетом предложенного уникального алгоритма функционирования системы целесообразно разработать рекомендации по проведению комплексной оценки пожарной безопасности музеев или соответствующий стандарт.

Выводы по главе 1

Проведенный анализ обеспечения пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов показал:

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

– необходима актуализация нормативных документов по пожарной безопасности с учетом исторической сохранности объектов;

– пожароопасные свойства сохраняемых материалов зданий культурно – исторического наследия, примененных на путях эвакуации и являющихся предметом охраны, практически не исследованы с учетом времени старения в части формирования и распространении опасных факторов пожара;

– не исследованы процессы возгорания, дымообразования, токсичности продуктов горения исторических материалов на путях эвакуации зданий культурно наследия, которые могут привести не только к значительному материальному ущербу и утрате предметов музейной коллекции, но и к травмированию и гибели людей.

Глава 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОМЕЩЕНИЙ ЗДАНИЯ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ: МАТЕРИАЛОВ, КОНСТРУКЦИЙ, ПЛАНИРОВОК, ИСТОРИЧЕСКИХ ЭКСПОНАТОВ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Краткое описание объекта исследования

2.1.1. Материалы и конструкции Зимнего дворца

Современное здание Зимнего дворца Государственного Эрмитажа было восстановлено, а правильнее сказать, построено почти заново в 1839 году после пожара, который произошел в декабре 1837 года [20]. От величественного дворца, построенного зодчим Ф.-Б. Растрелли, тогда остались только закопченные развалины. Работами по проектированию восстановления дворца занимались архитекторы В.П. Стасов и А.П. Брюллов. При восстановлении дворца применялись негорючие материалы и новые для того времени технологии:

- для опоры кровли были созданы облегченные конструкции из металла – треугольные стропильные фермы;
- для перекрытий залов дворца выполнены дутые эллиптические балки из склепанных листов кровельного железа, соединенных болтами;
- в конструкциях был применен чугун и железные полосы с раствором извести (прообраз железобетона);
- внутренние стены-перегородки и своды возводились с использованием гончарных горшков, которые представляли собой глухие пустотелые конусы с шероховатыми стенками, чтобы прочнее связать их раствором;
- для облицовки стен был применен искусственный мрамор.

Несущие строительные конструкции восстановленного после пожара Зимнего дворца уже не менялись. Таким образом, современное здание Зимнего дворца по характеристикам в основе своей имеет строительные конструкции класса пожарной опасности К0.

При восстановлении после пожара интерьеров, стены гостиных обивали шелковыми тканями и бархатом, применяли разные породы дерева, тисненную кожу. В современном Зимнем дворце такая отделка стен сохранилась в нескольких залах, представляющих русскую культуру и дворцовые интерьеры, – 178, 194, 305, 306 (Рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Отделка стен в залах Зимнего дворца тканью, древесиной, кожей

Декоративно-отделочные и облицовочные материалы стен в этих залах относятся к группе горючести Г4.

Выставочные залы размещены на всех этажах здания. Отделка стен в зальных помещениях и на путях эвакуации, исключая 4 выставочных зала (Рисунок 2.1), выполнена из материалов с показателями пожарной опасности НГ, что соответствует требованиям таблиц 28 и 29 [94]. Полы выставочных залов 1-го этажа выполнены из камня, кроме 9-ти залов, где на полах уложены паркетные доски из массива древесины, и это составляет 11% от количества залов 1-го этажа с размещенными в них экспонатами. Во всех залах 2-го и 3-го этажей полы паркетные. Согласно законодательству [94] для помещений класса функциональной пожарной опасности Ф2.2 показатели пожарной опасности материалов покрытий полов в залах, вместимостью более 15 человек, не должны превышать В2, Д2, Т2, РП1, а на путях эвакуации - В2, Д3, Т2, РП2.

Из документальных источников музея известно, что оригинальный паркет, изготовленный мастерами 18-19 веков, составляет около 70% площади полов. Для изготовления художественного наборного дворцового паркета использовалось до

16 пород дерева: сандал, палисандр, граб, орех, ясень, клен, лиственница, дуб, береза и другие (Рисунок 2.2). Такой паркет собирался бесшпунтованным способом в модули, четкую геометрию которых удерживает специфическая клейкая прослойка.



Рисунок 2.2 – Художественные паркетные полы в выставочных залах

С точки зрения класса функциональной пожарной опасности (ФПО) Зимний дворец строился как Ф1. Современное использование здания, как известно, относит его к Ф2. Дворец располагает значительным количеством служебных помещений класса Ф4.3. В некоторые из них вход осуществляется из выставочных залов через исторические двери, которые не подлежат замене (Рисунок 2.3а). Служебные помещения расположены на всех этажах здания и сообщаются между собой внутренними коридорами и служебными лестницами. Лаборатории и хранилища класса Ф5.1 и Ф5.2 расположены в помещениях, исторически выделенных противопожарными преградами 1-го типа с современным заполнением проемов противопожарными дверями 2-го типа (Рисунок 2.3б).



а

б

Рисунок 2.3 – Двери в служебные помещения Зимнего дворца: а - класса Ф4.3; б - класса Ф5.1

Таким образом, для них выполняется требование нормативных документов по пожарной безопасности о выделении противопожарными преградами помещений разного класса ФПО. Также для них определены категории по взрывопожарной и пожарной опасности ВЗ-Д.

Характерные вещества и материалы в помещениях хранения и кабинетах представлены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Пожарная опасность веществ и материалов, обращающихся в служебных помещениях

Наименование помещения	Наименование горючих предметов и материалов	Краткая характеристика пожарной опасности	Требуемые средства тушения
кабинеты	офисная мебель, оргтехника, бумага, пластик	– быстрое распространение горения по сгораемым материалам; – сильное задымление помещений	вода
хранилища	экспонаты		газ

Также, на 1-м этаже здания присутствуют помещения класса ФЗ.2, не выделенные противопожарными преградами.

2.1.2. Описание Зимнего дворца (планировочные решения, пути эвакуации)

Современное трехэтажное здание Зимнего дворца имеет подвальный этаж и многочисленные антресольные этажи, некоторые парадные залы 2-го этажа – двухсветные. В плане здание имеет форму каре с внутренним двором и фасадами. Строительный объем – 518 262 м³. Площади этажей составляют: 1-й этаж – 22 790 м²; 2-й этаж – 22 790 м²; 3-й этаж – 14 963 м²; подвальный этаж – 22 790 м². Здание не разделено на пожарные отсеки. Имеются пожарные секции, выделенные противопожарными преградами. Планировкой здания зоны безопасности для маломобильных групп населения (МГН) не предусмотрены. Технические

характеристики, влияющие на пожарную опасность здания, представлены в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Пожарно-технические характеристики Зимнего дворца

Объект		Характеристики
Геометрические размеры (м)		175,39 x 222,35; высота – 30
Этажность		от 3-х основных для посетителей до 5-ти служебных этажей, функционально связанных между собой и объединенных едиными инженерными сетями и коммуникациями
Количество лестниц		117 (включая внутренние служебные)
Количество помещений		1084
Высота потолков		от 3-х до 15 метров
Стены		кирпичные
Перекрытия		сводчатые кирпичные
Перегородки		кирпичные
Кровля		металлическая по металлической обрешетке и металлическим фермам
Класс конструктивной пожарной опасности, степень огнестойкости		С0, II
Количество выходов		эвакуационных с 1-го этажа – 8; из подвала – 12; въезд на дворовую территорию – 1
Лестничные клетки		лестничные марши – каменные плиты по металлическим косоурам
Полы		выставочные залы 1-го этажа – каменные, 2-го и 3-го этажей – паркетные. В офисных помещениях паркет, также имеется линолеум по деревянному основанию
Окна		рамы из древесины
Энергетическое обеспечение	Напряжение в сети	силовое – 220/380 В; осветительное – 220 В; аварийное – 220 В
	Управление	службой Ленэнерго в ТП-1, ТП-2, ТП-3, ТП-4, расположенных на 1-м этаже, вход со двора. Распределительные щиты расположены на каждом этаже, обесточиваются сотрудниками отдела главного энергетика музея
	Отопление	центральное, водяное
Автоматические системы		СПС (адресно-аналоговая); СОУЭ (4 тип); АПТ и системы приточно-вытяжной противодымной вентиляции отсутствуют
Внутренний противопожарный водопровод		диаметр 51 мм, пожарные краны оборудованы рукавами длиной 20 м и полугайками системы Богданова, пожарная насосная станция с насосом-повысителем

Принятые в период строительства здания архитектурные, планировочные и интерьерные решения, которые необходимо сохранить, не в полной мере отвечают современным требованиям пожарной безопасности не только в части исполнения путей эвакуации (Таблица 1.2), но и в части ограничения распространения пожара, защиты от воздействия ОФП (Таблица 2.3).

Таблица 2.3 – Планировочные решения Зимнего дворца, не отвечающие требованиям нормативных и правовых документов по пожарной безопасности

Конструктивные и объемно-планировочные решения	Несоответствие требованиям
Исторические двери обычных лестничных клеток не оборудованы приспособлениями для самозакрывания и уплотнениями притворов	ч. 19 ст. 88 № 123-ФЗ СП 2.13130.2020 п. 5.4.16
Исторические двери незадымляемых лестничных клеток типа Н2 не являются противопожарными 2-го типа	ч. 19 ст. 88 № 123-ФЗ СП 2.13130.2020 п. 5.4.16
Открытые лестницы, соединяющие более двух надземных этажей, не отделены от примыкающих коридоров, на всех этажах противопожарными перегородками не ниже 1-го типа	СП4.13130.2013 п. 4.19
Коридоры без естественного проветривания при пожаре длиной более 15 м не оборудованы противодымной вентиляцией	СП 7.13130. 2013 п. 7.2
Отсутствует система противодымной вентиляции в гардеробе, площадью более 200 м ²	СП 7.13130. 2013 п. 7.2
В помещениях хранения отсутствуют автоматические системы пожаротушения	СП 486.1311500.2020 табл. 3 п. 32

После трагического пожара в 1837 году, произошедшего вследствие конструктивной ошибки архитектора Монферрана, разместившего душник отопительной системы в узком пространстве, отгороженном деревянной перегородкой [33], было принято решение использовать огневоздушное (пневматическое) отопление по проекту генерала Н.А. Амосова [18]. Его принцип заключался в размещении дровяных печей в подвале здания и подаче теплого воздуха по внутристенным жаровым каналам в помещения. Одна печь обслуживала 2-4 канала, огорожена была стенами и сводом из кирпича. Для циркуляции воздуха в стенах здания делались вентиляционные каналы, по которым воздух из помещения выводился наружу. В местах выхода отопительных каналов устанавливались медные решетки. Некоторые внутристенные отопительные каналы используются сегодня в качестве воздуховодов. В

теплоцентрах, расположенных в подвале дворца, установлены огнезадерживающие клапаны (ОЗК) при пересечении вентканалами противопожарных преград. ОЗК оборудованы устройствами, обеспечивающими их автоматическое закрывание при срабатывании системы пожарной сигнализации, в соответствии с нормативными требованиями [77,80]. В каналах в местах выхода на этаж ОЗК отсутствуют, поэтому существующие каналы необходимо рассматривать как пути распространения ОФП между этажами и по всему зданию.

2.1.3. Описание Зимнего дворца (организация экспозиции, размещение экспонатов)

На 1-м этаже (Рисунок 2.4 а)) располагается 100 залов, часть которых относятся к входным зонам (вестибюли), общим коридорам и галереям (Кутузовский, Комендантский, Растреллиевская, Иорданская), зонам отдыха, музейным магазинам, входам на лестницы (Салтыковская, Октябрьская, Комендантская) – всего 23 зала, часть залов отдана под служебные помещения – 21 зал, в остальных залах располагаются выставки. Большие двухсветные залы используются под временные выставки, что составляет приблизительно 50% от общей площади залов 2-го этажа (Рисунок 2.4 б)). Остальная экспозиция относится к постоянным выставкам и почти не меняется. В связи с наличием двухсветных залов на 2-м этаже Зимнего дворца выставочные залы 3-го этажа расположены в южной и западной частях Зимнего дворца (рисунок 2.4 в)). Экспонаты в выставочных залах размещены на стенах, полу и в витринах из негорючих материалов (металл, стекло).

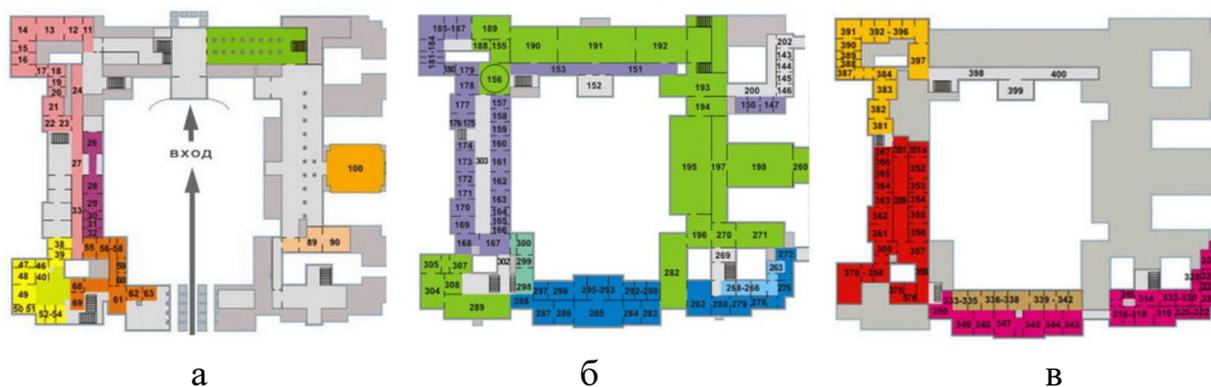


Рисунок 2.4 – Планировки выставочных залов Зимнего дворца:
а - 1-й этаж, б - 2-й этаж, в - 3-й этаж

2.1.4. Подходы к организации эвакуации

По официальным данным музея, наибольшее количество людей, посетивших Государственный Эрмитаж, в состав которого входит здание Зимнего дворца, достигло 4,5 млн человек в 2018 году, примерно 20% из них – иностранные граждане. Большинство людей обычно посещают музей самостоятельно с осмотром экспозиции, но организовано и экскурсионное обслуживание. В связи с тем, что статистика посетителей музея строится на количестве приобретенных билетов, достоверно определить численность находящихся в определенный момент в музее посетителей МГН, не представляется возможным.

Главный вход в музей расположен в северной части Зимнего дворца, поэтому количество единовременно находящихся во дворце людей в высокий сезон его посещения (май-август) может достигать до 3000 человек, а значит, вопрос своевременной и безопасной эвакуации посетителей является для музея очень актуальным.

Здание Зимнего дворца оборудовано адресно-аналоговой пожарной сигнализацией и системой оповещения и управления эвакуацией 4-го типа. Принимая во внимание большое количество посетителей, в числе которых иностранные граждане, речевое оповещение в музее осуществляется на русском,

французском и английском языках. Предусмотрено дублирование передачи извещения о пожаре от установки автоматической пожарной сигнализации в подразделение пожарной охраны ГУ МЧС России по Санкт-Петербургу в автоматическом режиме без участия персонала объекта. На путях эвакуации расположены телефоны для прямой связи с пожарным постом, смонтирована система видеонаблюдения.

Для эвакуации людей из здания используются существующие выходы и пути движения людей (поэтажные коридоры, лестничные клетки, выставочные залы), сформированные при строительстве здания и не подлежащие принципиальным изменениям из условий охраны объекта – как памятника архитектуры. Лестницы, по которым предусмотрена эвакуация, представлены в Таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Лестницы на путях эвакуации в Зимнем дворце

Лестницы / назначение	Параметры		
	Классификация лестницы / соединение с этажами	Выход наружу	Несоответствие нормативным требованиям
Иорданская / для посетителей	лестница 2-го типа / 1-2	отсутствует	Вестибюль не отделен от коридоров и смежных помещений противопожарными перегородками 1-го типа
Большая церковная / для посетителей	лестница 1-го типа / 1-3	отсутствует	На 1-м этаже не отделена ограждающими конструкциями
Канторская / служебная	лестница 1-го типа / подвал – 3	через коридор подвального этажа	При входе в подвал не оборудован тамбур-шлюз с подпором воздуха при пожаре
Кафешенская / служебная	лестница 1-го типа / 1-3	отсутствует	С криволинейными ступенями. Отсутствует естественное освещение на каждом этаже
Первобытная / служебная	лестница 1-го типа с лифтом / подвал-чердак	отсутствует	С криволинейными ступенями. Естественное освещение на каждом этаже площадью 0,5 м ² . При входе в подвал не оборудован тамбур-шлюз с подпором воздуха при пожаре
Детская / служебная	лестница в лестничной клетке типа Н2 / подвал – 3	отсутствует	Лестничные марши и площадки чугунные

Окончание таблицы 2.4

Лестницы / назначение	Параметры		
	Классификация лестницы / соединение с этажами	Выход наружу	Несоответствие нормативным требованиям
Комендантская / для посетителей	лестница 1-го типа / 1-3	с первого этажа через холл	Лестничная клетка на 1-м этаже не отделена ограждающими конструкциями
Телеграфная / служебная	лестница 1-го типа, подвал- чердак	отсутствует	При входе в подвал не оборудован тамбур-шлюз с подпором воздуха при пожаре. Отсутствует естественное освещение на каждом этаже. Отсутствует подпор воздуха при пожаре
Салтыковская / для посетителей	лестница 1-го типа / 1-3	отсутствует	Без особенностей
Октябрьская / для посетителей	лестница 1-го типа / 1-2	с первого этажа через холл	Открывание дверного полотна холла из здания наружу – не по направлению выхода из здания
Деревянная / для посетителей	лестница 2-го типа, 2-3	отсутствует	Отсутствует естественное освещение на каждом этаже

Из приведенного описания Зимнего дворца можно сделать заключение, что здание имеет исторически сложившиеся архитектурно-планировочные решения с большим количеством залов, расположенных последовательно по типу анфиладной планировки и примыкающих к ним протяженных галерей и коридоров, многочисленных лестниц как общего, так и служебного назначения. Входы в служебные помещения осуществляются из выставочных залов, но только помещения класса Ф5.1 и Ф5.2 выделены противопожарными преградами. Кабинеты сотрудников музея, учебные классы, музейные магазины, кафе и другие подобные помещения, отличные от класса Ф2.2, не везде отделены от выставочных залов ограждающими конструкциями с нормируемым пределом огнестойкости или противопожарными преградами с соответствующим заполнением в них проемов. Учитывая наличие в служебных помещениях большого количества горючего материала – мебели, оргтехники, книг, бумаги и т.п., а также наличие электрооборудования, которое может послужить источником зажигания, такие помещения при проведении расчетов пожарного риска и уровня обеспечения

пожарной безопасности необходимо рассматривать как места вероятного возникновения пожара.

Одновременное нахождение в здании большого количества посетителей относит его к объекту защиты с массовым пребыванием людей. Состав публики по критериям возраста, гражданства, мобильности разнообразен. Количество единовременно находящихся в здании людей МГН не фиксируется.

2.2. Исследование пожарной нагрузки на объекте

Основным фактором, определяющим количественные характеристики пожара, является величина пожарной нагрузки – общее количество теплоты, выделяющееся в окружающее пространство при сгорании всех воспламеняющихся материалов и предметов в конкретном здании или помещении. Пожарная нагрузка включает в себя сочетания горючих материалов, разных по природе, и делится на постоянную и временную. К постоянной относят горючие строительные конструкции, отделку интерьеров, к временной – наполнение помещений различными сменяемыми предметами из сгораемых материалов.

В зданиях культурно-исторического наследия с размещением в них экспонатов, выставки, по сроку их экспонирования, бывают постоянными и временными. Как правило, большую часть музейного пространства отдают под постоянную экспозицию. На постоянной экспозиции, с целью сохранения музейных предметов, их расстановка, развешивание, выставление на обозрение проводится один раз с описанием предметов и мест их расположения. В таких залах экспонаты – мебельные гарнитуры, картины, текстиль и т.д. по периоду размещения – являются стационарными (Рисунок 2.5). Таким образом, размещение экспонатов в помещениях здания культурно-исторического наследия Зимнего дворца Государственного Эрмитажа демонстрирует, что временная пожарная нагрузка в экспозиционных залах зданий исторического культурного наследия почти отсутствует.

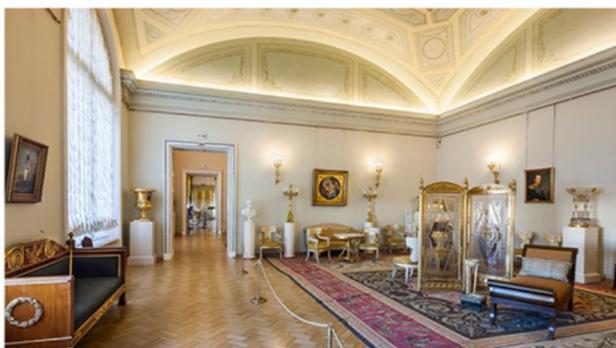


Рисунок 2.5 – Постоянная экспозиция выставочных залов

Параметры пожарной нагрузки необходимы для расчета времени блокирования путей эвакуации ОФП при определении расчетных величин пожарного индивидуального и социального риска в соответствии с Методикой [52]. Пожарная нагрузка, как правило, не является однородной и включает самые разные сочетания твердых горючих материалов, трудно сгораемых конструкций, легковоспламеняющихся жидкостей, газообразных веществ. Для объектов культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов значительную часть пожарной нагрузки составляют материалы органического происхождения: разные виды древесины, ткани из натуральных волокон, бумага, кожа – материалы, которые использовались в отделке интерьеров, а также сами экспонаты – картины, мебель, ковры и т.п.

Известно, что основным горючим материалом, используемым при строительстве и отделке объектов культурного наследия, была древесина. Разные породы дерева применяли как элементы несущих конструкций здания (стены, перекрытия, колонны), так и в отделке интерьеров (стен, потолков, полов). Как уже отмечалось, при наборе художественного паркета в залах Зимнего дворца использовалось до 16 пород дерева [75]. Рисунок из разнообразной цветной древесины приклеивался рыбьим клеем на щиты – фундамент паркета. Фундамент делался из сбитых сосновых досок толщиной 6,35 см с прикрепленной дубовой фанерой толщиной 1,25 см. Толщина цветного дерева была размерами от 0,5 до 2 см. Щит укладывался на решетку, состоявшую из сухих прочных сосновых брусьев. Древесина для паркета должна была быть не только сухой, но и зрелой.

Известные свойства высокой твердости и прочности древесины дуба и ясеня послужили основанием для широкого применения их в производстве паркетов, изготовления мебели, отделки интерьеров.

Как уже отмечалось в главе 1 настоящего исследования, пожароопасным свойствам древесины уделяется постоянное внимание. В справочной литературе [37,56;] приведены показатели пожароопасных свойств древесины разных пород (Таблица 2.5)¹.

В приводимых источниках [37,56;] сведены имеющиеся показатели пожароопасных свойств древесины только для пяти пород. И, как видно из представленной таблицы, показатели для однородной древесины могут иметь разные значения. При этом в рассматриваемой справочной литературе свойства пожарной опасности древесины в зависимости от ее возраста, места произрастания, условий эксплуатации и иных характеристик не приводятся.

Таблица 2.5 – Пожароопасные свойства различных пород древесины

Разновидность древесины	Температура самовоспламенения, °С	Температура тления, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени, г/м ³	Максимальное давление взрыва, кПа	Максимальная скорость нарастания давления, МПа/с	Примечание
Буковая, измельченная	490	300	60	810	5,6	-
Грушевая	500	320 [56] 315 [37]	100	930	18,5	-

¹ В тех случаях, когда имеются различия, в таблице приводятся оба показателя с указанием справочной литературы

Окончание таблицы 2.5

Разновидность древесины	Температура самовоспламенения, °С	Температура тления, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени, г/м ³	Максимальное давление взрыва, кПа	Максимальная скорость нарастания давления, МПа/с	Примечание
Дубовая	375 [96] 370 [37]	298 [56] 260 [37]	-	-	-	Температура воспламенения 230 °С. В измельченном состоянии склонна к тепловому самовозгоранию. Предохранять от действия источников нагрева с температурой более 100 °С.
Еловая	397 [56] 380 [37]	305 [56] 300 [37]	27	550	6,7	Температура воспламенения 240 °С. Температура самонагрева около 120 °С. В измельченном состоянии склонна к тепловому самовозгоранию. Предохранять от действия источников нагрева с температурой более 100 °С.
Сосновая	399 [56] 390 [37]	295 [56] 280 [37]	34	520	5,5	Температура воспламенения - 250 °С. В измельченном состоянии склонна к тепловому самовозгоранию. Коэффициент дымообразования - 717 м ³ /кг при 400 °С; токсичность продуктов горения 35,5 ± 2,7 г/м ³ при 400 °С. Предохранять от действия источника нагрева с температурой выше 80 °С.

Следует отметить, что большинство объектов – памятников культуры были построены более 100 лет назад. В частности, современный Зимний дворец был возведен в 1839 году после пожара 1837 года. Учитывая длительный срок эксплуатации таких объектов, большой интерес вызывают исследования показателей пожарной опасности примененной в зданиях древесины.

В соответствии с Методикой [52] свойства горючей нагрузки необходимо принимать по данным экспериментальных исследований или пользоваться

справочными данными. Относительно древесины в базе данных типовой горючей нагрузки [39] показатели определены для цехов деревообработки и сушки древесины, производства фанеры, штабеля древесины (хвойный и лиственный лес), стройматериалов хвойной древесины в штабеле, стройматериалов лиственной древесины в штабеле, клееных стройматериалов (фанеры). Сравнительные показатели представлены в Таблице 2.6.

Таблица 2.6 – справочные данные показателей типовой горючей нагрузки

Показатели типовой пожарной нагрузки	Применение древесины						
	Цех деревообработки	Цех сушки древесины	Производство фанеры	Штабель древесины (хвойный и лиственный лес)	Штабель стройматериалов хвойной древесины	Штабель стройматериалов лиственной древесины	Клееные стройматериалы (фанера)
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	13800,0	13800,0	16100,0	13800,0	13800,0	13800,0	18400,0
Линейная скорость распространения пламени, м/с	0,022	0,0375	0,0191	0,0585	0,0585	0,0585	0,167
Удельная скорость выгорания, кг/(м ² · с)	0,01450	0,01450	0,01170	0,01450	0,00630	0,01400	0,00890
Дымообразующая способность, Нп · м ² /кг	57,00	57,00	80,50	57,00	61,00	53,00	104,00
Потребление кислорода, кг/кг	-1,1500	-1,1500	-1,1770	-1,1500	-1,1500	-1,1500	-1,2050
Выделение газа, кг/кг							
СО ₂	1,57000	1,57000	1,05500	1,57000	1,57000	1,57000	0,54000
СО	0,02400	0,02400	0,07200	0,02400	0,02400	0,02400	0,12100
НСI	0	0	0	0	0	0	0

Как видно из Таблицы 2.6, количественные показатели параметров горючей нагрузки имеют различия в зависимости от назначения помещений, способа размещения и обращения древесины, а также от ее породы.

Как уже отмечалось, характеристики пожарной опасности горючей нагрузки на объектах культурного наследия с размещением экспонатов, сочетающей

разнообразные по своей природе материалы, разные виды, сроки и условия эксплуатации древесины – экспериментальным путем исследованы недостаточно полно [32].

С целью определения расчетных величин пожарного риска в зданиях музеев и фондохранилищах в Российской Федерации в качестве источника информации о показателях типовой горючей нагрузки наиболее часто используют справочную литературу [37;39;58]. В Таблице 2.7. для сравнения сведены данные показателей типовой горючей нагрузки, взятые из справочной литературы [39;58].

Как видно из представленных в Таблице 2.7 показателей, справочные данные типовой горючей нагрузки для однотипных групп помещений имеют различия. Особенно очевидны расхождения для музеев и выставок по показателям: дымообразующая способность, линейная скорость распространения пламени, удельный расход кислорода.

Таблица 2.7 – Сравнительные показатели типовой горючей нагрузки

Показатели	Наименование групп помещений расположения горючей нагрузки			
	Хранилища библиотек, архивы		Музеи, выставки	
	Справочная литература			
	[39]	[58]	[39]	[58]
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	14,500	14,500	14,000	13,800
Линейная скорость распространения пламени, м/с	0,0103	0,008	0,0163	0,0055
Удельная массовая скорость выгорания, кг/ (м ² с)	0,01100	0,01100	0,01520	0,0145
Дымообразующая способность, Нп · м ² /кг	49,50	49,50	53,00	270
Удельный расход кислорода, кг/кг	1,1540	1,1540	1,2180	1,0300
Выделение газа, кг/кг				
CO ₂	1,10870	1,10870	1,42300	0,20300
CO	0,09740	0,09740	0,02300	0,0022
HCl	0	0	0,00010	0,01400

В справочнике [73] собраны данные о пожарных нагрузках из разных отечественных и зарубежных источников, а также средние и расчетные значения плотностей переменных пожарных нагрузок, основанные на исследованиях, проводимых в 1967-1969 гг. Швейцарской Ассоциацией противопожарной

безопасности в промышленности и торговле (Brandverhütungsdienst für Industrie und Gewerbe).

Методика [52] не ограничивает применение справочных источников. Проблема наличия и достоверности исходных данных для проведения расчетов на объектах культурного наследия с размещенными в них экспонатами очевидна:

- отсутствует полная и достоверная информация о пожароопасных свойствах древесины, состаренной в условиях естественной эксплуатации при комнатной температуре;

- информация о пожароопасных свойствах горючей нагрузки исторических объектов необходима для расчета времени блокирования путей эвакуации ОФП;

- художественные паркетные Зимнего дворца насчитывают до 16 пород древесины;

- наиболее часто в качестве материала для изготовления паркетов на исторических объектах служила древесина дуба и ясеня;

- материалы из древесины составляют значительную часть (до 90%) горючей нагрузки на объектах культурно-исторического наследия.

2.3. Обоснование выбора расчетных методов для Зимнего дворца

Для выбора наиболее опасных ситуаций с целью расчета параметров, определяющих условия безопасной эвакуации людей, осуществляется сбор данных, которые включают:

- объемно-планировочные решения;
- теплофизические характеристики ограждающих конструкций и размещенного оборудования;
- вид, количество и размещение горючих веществ и материалов;
- количество и места вероятного размещения людей;
- наличие и состояние систем противопожарной защиты.

Требования к безопасной эвакуации людей при пожаре изложены в ст. 53 [94] – безопасная эвакуация людей из зданий и сооружений при пожаре считается обеспеченной, если необходимое время эвакуации при пожаре не превышает время от момента обнаружения пожара до завершения процесса эвакуации в безопасную зону. Способы определения необходимого и расчетного времени и условий беспрепятственной и своевременной эвакуации людей изложены в нормативных документах по пожарной безопасности [22,52,53].

Для музейных объектов вероятность эвакуации людей из зданий рассчитывают в соответствии с утвержденной Методикой [52] формулой:

$$P_3 = \begin{cases} 0,999 \cdot \frac{0,8 \cdot t_{\text{бл}} - t_p}{t_{\text{нз}}}, & \text{если } t_p < 0,8 \cdot t_{\text{бл}} < t_p + t_{\text{нз}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,999, & \text{если } t_p + t_{\text{нз}} \leq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} \leq 6 \text{ мин} \\ 0,000, & \text{если } t_p \geq 0,8 \cdot t_{\text{бл}} \text{ и } t_{\text{ск}} > 6 \text{ мин} \end{cases}, \quad (2.1)$$

где t_p – расчетное время эвакуации людей, мин;

$t_{\text{нз}}$ – время начала эвакуации (интервал времени от возникновения пожара до начала эвакуации людей), мин;

$t_{\text{бл}}$ – время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в результате распространения на них ОФП, имеющих предельно допустимые для людей значения (время блокирования путей эвакуации), мин;

$t_{\text{ск}}$ – время существования скоплений людей на участках пути (плотность людского потока на путях эвакуации превышает значение $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$).

Требование по организации безопасной (своевременной и беспрепятственной) эвакуации людей из здания установлены Федеральным законом [94] и стандартом безопасности [22].

Условие своевременной эвакуации сформулировано как:

$$t_{\text{эв}} < t_{\text{необ}} = t_{\text{бл}} \cdot 0,8, \quad (2.2)$$

где $t_{\text{эв}}$ – значение времени эвакуации последнего из людей в здании;

$t_{\text{необ}}$ – время достижения критических для людей значений ОФП на путях эвакуации.

Беспрепятственность обеспечивается отсутствием скопления людей с высокой плотностью продолжительностью более 360 с. Образование скоплений людей является основным признаком нарушения беспрепятственности движения. Условия безопасности проверяются расчетом.

Расчетное время эвакуации людей (t_p) из зданий и помещений определяется на основе моделирования движения людей до выхода наружу, в безопасную зону. В настоящее время в Российской Федерации применяются модели – упрощенно-аналитическая, имитационно-стохастическая и индивидуально-поточная.

Методики расчета для определения времени эвакуации изложены в нормативных документах [22,52]. Нормативные документы не указывают, какую модель необходимо выбрать для определения расчетного времени эвакуации. Способ определения расчетного времени эвакуации выбирается исходя из особенностей объемно-планировочных решений здания и находящихся в нем людей. Вероятность эвакуации людей из здания определяется путем сопоставления расчетного времени эвакуации людей и полученных расчетных данных о динамике распространения ОФП.

Время блокирования путей эвакуации ($t_{\text{бл}}$) определяется путем расчета времени достижения ОФП на эвакуационных путях предельно допустимых значений на высоте 1,7 м от пола:

$$t_{\text{бл}} = \min \left\{ t_{\text{кр}}^{\text{п.в.}}, t_{\text{кр}}^{\text{T}}, t_{\text{кр}}^{\text{т.г.}}, t_{\text{кр}}^{\text{O}_2}, t_{\text{кр}}^{\text{т.п.}} \right\}, \quad (2.3)$$

где $t_{\text{кр}}^{\text{п.в.}}$ - по повышенной температуре – 70 °С;

$t_{\text{кр}}^{\text{T}}$ - по тепловому потоку – 1400 Вт/м²;

$t_{\text{кр}}^{\text{т.г.}}$ - по потере видимости – 20 м (если линейный размер помещения меньше 20 м, предельно допустимое расстояние следует принимать равным наибольшему горизонтальному линейному размеру);

$t_{кр}^{O_2}$ - по пониженному содержанию кислорода – 0,226 кг/м³;

$t_{кр}^{т.п.}$ - по каждому из токсичных газообразных продуктов горения (CO₂ – 0,11 кг/м³; CO – 16x10⁻³ кг/м³; HCl – 23x10⁻⁶ кг/м³).

В настоящее время в Российской Федерации для расчета времени блокирования путей эвакуации используют три основных метода моделирования ОФП – интегральный, зонный (зональный) и полевой [52].

В исследовании моделирование сценариев пожаров и эвакуации людей осуществлялось с помощью, специализированной отечественной компьютерной программы «СИГМА ПБ» [34,41,117], которая включена в реестр отечественного ПО Минкомсвязи РФ (Приказ от 21.06.2017 № 382, Приложение 1, № 67). Встроенный в программе модуль 3D-визуализации расчетов позволяет в разных частях здания наблюдать процесс эвакуации и распространения полей опасных факторов пожара, а также поле плотности людского потока.

Расчетные области моделирования развития пожаров и эвакуации людей охватывают весь исследуемый объект. При моделировании развития пожара в зависимости от расположения очага пожара в расчетную область включались помещения с очагом пожара, коридоры, фойе, пространства лестниц в объеме, позволяющим оценить динамику распространения ОФП на промежутке до 15-20 минут от начала модельного пожара. Для моделирования эвакуации в расчетную область включались все помещения, доступные для посетителей музея.

Исходя из уникальности планировки здания Зимнего дворца, включающей в себя анфиладное расположение залов, большое количество лестниц и протяженных галерей, моделирование развития пожара для определения времени блокирования эвакуационных путей и выходов ОФП в проектных сценариях выполнялось гидродинамическим (полевым) методом [52]. Полевая модель рассчитывает движение неоднородных газовых потоков с различными термодинамическими характеристиками, конвективный, радиационный теплообмен и процессы теплопроводности, движение частиц дыма в потоке газа. Метод считается наиболее универсальным и информативным. Для компьютерного моделирования развития пожара в программу вводятся данные геометрических и конструктивных

характеристик объекта, показатели пожарной опасности горючей нагрузки, температура окружающей среды и другие параметры, влияющие на динамику пожара. В компьютерной программе «СИГМА ПБ» строится ВМ-модель здания. Трехмерная область моделирования делится на большое количество контрольных зон [41]. Для каждой зоны с помощью численных методов решается система уравнений в частных производных, выражающих принципы локального сохранения массы, импульса, энергии и масс компонентов [52]: уравнение неразрывности, уравнение сохранения количества движения (Навье-Стокса), уравнение сохранения энергии. Во всей трехмерной расчетной области искомыми являются поля плотности, давления, температуры, скорости, концентраций газов, оптической плотности дыма. На основе этих данных определяются времена блокирования ОФП путей эвакуации.

Изучение потока людей в музее показало, что посещение Зимнего дворца осуществляется как в организованных экскурсионных группах по строго определенным маршрутам, так и самостоятельно, при этом количество одновременно находящихся посетителей в высокий сезон посещения достигает 3000 человек [29]. В связи с особенностями музея, выраженными в разнородном контингенте по группам мобильности, необходимости задавать пути движения для моделирования эвакуации выбрана модель индивидуально-поточного типа (Приложение 3 к Методике [52]).

Математическая модель индивидуально-поточного движения людей из здания рассматривает движение каждого человека в отдельности. Время эвакуации определяется по последнему эвакуировавшемуся. Для моделирования разрабатывается схема эвакуационных путей в здании. Методика расчета времени эвакуации с использованием математической модели индивидуально-поточного движения людей из здания приводится в Приложении 3 [52]. В компьютерной программе [41] можно моделировать следующие явления, свойственные поточному движению: слияние, переформирование (растекание, уплотнение), неодновременность слияния потоков, образование и рассасывание скоплений, обтекание поворотов, движение в помещениях с развитой внутренней

планировкой, противотоки и пересекающиеся потоки. Размеры и формы проекции людей, скорости свободного движения могут задаваться индивидуально в зависимости от цели моделирования. Движение людей рассматривается в евклидовом пространстве на плоскости. Расчетная область ограничивается внешними стенами здания и выходами наружу; в помещениях – стенами, контурами мебели. Скорость движения людей принимается в зависимости от группы мобильности.

2.4. Выбор сценариев для расчета

На сегодняшний день российским законодательством предусмотрена возможность выбора между выполнением существующих нормативных требований в области пожарной безопасности в полном объеме и возможностью использования гибкого нормирования путем применения иных проектных решений, подтвержденных расчетами пожарного риска. Требуемое значение индивидуального пожарного риска определено законом [94] и не должно превышать одной миллионной в год при размещении отдельного человека в наиболее удаленной от выхода из здания точке. Порядок определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках устанавливается приказом МЧС России. Для объектов, спроектированных и построенных до введения в силу технического регламента [94], основным документом, регламентирующим выполнение требований пожарной безопасности, является ГОСТ 12.1.004-91 [22], устанавливающий требуемый уровень обеспечения пожарной безопасности не менее 0,999999 предотвращения воздействия ОФП в год в расчете на каждого человека.

Расчеты уровня обеспечения пожарной безопасности людей и пожарного риска включают три основных этапа:

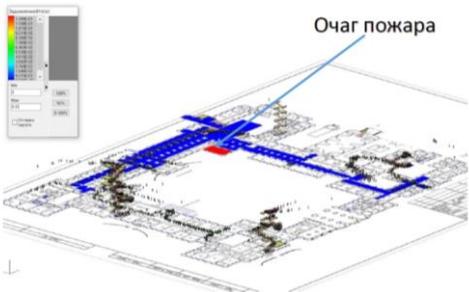
- 1) определение расчетного времени эвакуации людей в безопасную зону;

2) расчет времени блокирования путей эвакуации (динамики распространения ОФП);

3) определение уровня обеспечения пожарной безопасности людей или пожарного риска.

Для расчета вероятности успешной эвакуации людей необходимо выбирать помещение, где развитие аварийной ситуации с очагом пожара будет наиболее критично для людей. На основании проведенного анализа пожарной опасности объекта (характеристики здания приведены в разделе 2.1 настоящей работы), в ходе которого были рассмотрены возможные версии пожара, выбраны аварийные ситуации, при которых ожидаются наихудшие последствия для находящихся в здании людей. Такими местами могут стать помещения, расположенные на 1-м этаже у эвакуационных лестниц и выходов в восточной и западной частях здания. Для целей дальнейшего исследования в западной части Зимнего дворца рассмотрены два сценария развития пожара (Таблица 2.8)

Таблица 2.8 – Сценарии проектных пожаров в Зимнем дворце

Сценарий проектного пожара	Место проектного пожара
<p>Сценарий 1. Помещение кафе. Площадь помещения 105,0 м², высота 4,5 м. Происходит задымление помещения кафе, выход дыма в залы 1-го этажа, блокирование Иорданской, Комендантской лестниц и выходов из восточной части Зимнего дворца (главного входа, выхода во двор и выхода на Дворцовую площадь).</p>	 <p>Очаг пожара</p>
<p>Сценарий 2. Помещение выставочного зала № 35. Площадь помещения 78,4 м², высота помещения 5 м. Задымление помещения выставочного зала, выход дыма в соседние залы 1-го этажа, блокирование Большой Церковной, Салтыковской и Октябрьской лестниц и выходов из западной части Зимнего дворца (главного входа, выхода во двор и выхода на Дворцовую площадь).</p>	 <p>Очаг пожара</p>

Окончание таблицы 2.8

<p>Сценарий 3. Помещение выставочного зала № 36. Площадь помещения 65,2 м², высота помещения 5 м. Задымление помещения выставочного зала, выход дыма в соседние залы 1-го этажа, блокирование Большой Церковной, Салтыковской и Октябрьской лестниц и выходов из западной части Зимнего дворца (главного входа, выхода во двор и выхода на Дворцовую площадь).</p>	
---	--

Согласно планам эвакуации, в здании Зимнего дворца для посетителей предусмотрены 6 выходов непосредственно наружу, отвечающих требованиям пожарной безопасности, и возможность перейти в другое здание (Малый Эрмитаж) по одному переходу на 1-м этаже и трем переходам на 2-м этаже (Рисунок 2.6.). В обычном режиме работы музея выходы 5 и 6 закрыты. Выход 3 использует персонал. Также для сотрудников имеются выходы из служебных помещений на улицу.

Расчеты уровня обеспечения пожарной безопасности людей и пожарного риска не учитывают требования по защите и спасению материальных ценностей. Для объектов культурного наследия с размещенными старинными экспонатами важной задачей является сохранение музейных предметов [87]. При массовой эвакуации на таких объектах, к сожалению, может произойти кража, поэтому по требованию службы музейной безопасности необходимо предусматривать места для проведения досмотровых процедур во избежание хищения предметов из музейной коллекции. В связи с чем, наряду с решением задач по созданию условий безопасной и своевременной эвакуацией, для музейных объектов важными являются решения по определению безопасных зон, где допустимо проводить проверку посетителей.

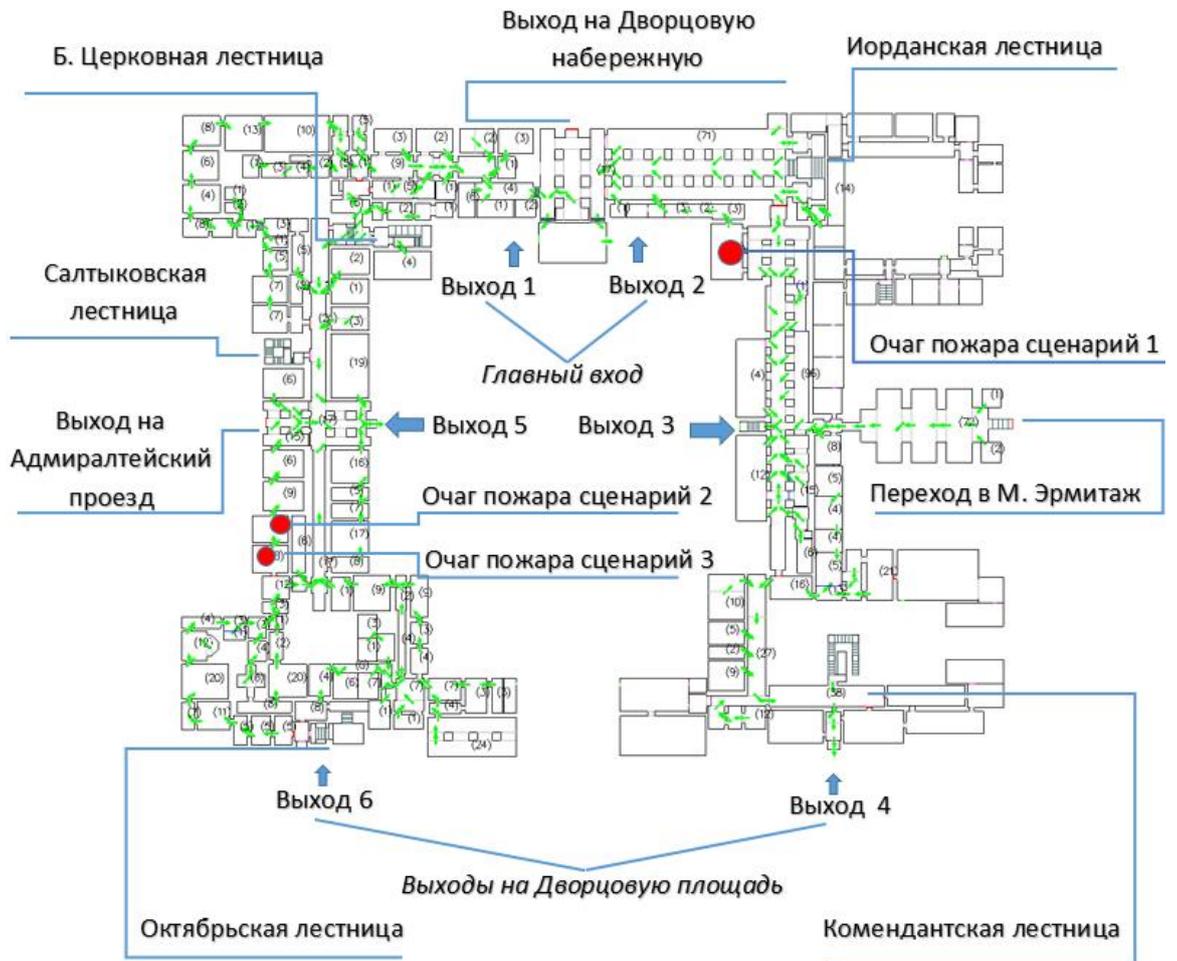


Рисунок 2.6 – Эвакуационные лестницы и выходы на плане первого этажа Зимнего дворца

Планировка Зимнего Дворца позволяет проводить досмотр посетителей до выхода за периметр объекта в безопасной зоне - внутреннем дворе. Поэтому в расчетах, при определении маршрутов эвакуации посетителей для Зимнего дворца, выходы на Дворцовую набережную и Адмиралтейский проезд исключались (Рисунок 2.6).

В рассматриваемых сценариях принято равномерное распределение людей по этажам здания. С учетом присутствия в музее людей разных групп мобильности в расчетах эвакуации приняты следующие значения (Таблица 2.9).

Время начала эвакуации с участков принималось с учетом алгоритма срабатывания СОУЭ на объекте. Время скопления ($t_{ск}$) людей на участках пути эвакуации не превышало 6 минут.

Таблица 2.9 – Расчетные значения для групп мобильности М1-М3

Группа мобильности	Процентное соотношение присутствия, %	Скорость свободного движения, м/с	Площадь горизонтальной проекции, м ²
М1	70,1	1,66	0,1
М2	1,2	0,50	0,2
М3	28,7	1,16	0,3

В расчетную область моделирования развития пожара включалась часть здания, непосредственно связанная с очагом пожара и ограниченная конструкциями, препятствующими распространению ОФП. С учетом требований п.7 [52], в расчетах не учитывалось разрушение оконных проемов и расход тепла на прогрев ограждающих конструкций, тем самым увеличивая скорости нагрева газовой среды, теплопереноса и блокирования путей эвакуации.

Температура воздуха внутри здания в начальный момент времени – 20 °С. Датчики, регистрирующие динамику распространения ОФП, располагались на высоте 1,7 м от уровня пола напротив эвакуационных выходов. Длительность моделирования развития пожара для всех сценариев принята более 800 секунд, что гарантированно превышает общее время эвакуации из здания в 1,2 раза.

Пожароопасные свойства горючей нагрузки приняты согласно справочной литературе [58] для музеев и выставок (Таблица 2.7).

Анализировалась ситуация задымления помещений, блокирование ближайших эвакуационных выходов, задымление коридоров, блокирование лестниц, ведущих на верхние этажи здания. Полученные результаты обрабатывались, и был сделан вывод о характере распространения ОФП в Зимнем дворце в условиях проектных пожаров. Расчет времени критической продолжительности пожара ($t_{кр}$) проводился по условию достижения каждым из ОФП предельно допустимых значений. Проведенное моделирование развития пожаров показало, что минимальное время достижения предельно допустимых значений ОФП ($t_{кр}$) определяется параметром «задымление».

Результаты моделирования развития пожаров и расчетов времени безопасной эвакуации по всем сценариям сведены в Таблицу 2.10.

Таблица 2.10 – Сводная таблица результатов расчетов

№ проектного сценария пожара	Количество эвакуированных, чел.	Время блокирования ОФП (окончания расчета) ($t_{бл}$), с	Время начала эвакуации ($t_{нэ}$), с	Время эвакуации, (t_p), с	Время окончания эвакуации, ($t_{эв} = t_p + t_{нэ}$), с	$t_{бл} \cdot 0,8$, с	Выполнение условия: $t_{эв} \leq t_{бл} \cdot 0,8$
Выход №1							
1	157	1194	66,25	303,25	369,5	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$369,5 \leq 955,2$
2	778	1194	65,25	751,25	816,5	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$816,5 \leq 955,2$
3	777	1194	65,5	752	817,5	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$817,5 \leq 955,2$
Выход №2							
1	158	1194	65,5	409	474,5	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$474,5 \leq 955,2$
2	778	1194	66	302	368	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$368 \leq 955,2$
3	777	1194	66,25	302	368,25	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$368,25 \leq 955,2$
Выход №3							
1	230	330	60,5	111,25	171,75	$330 \cdot 0,8 = 264$	$171,75 \leq 264$
2	770	1194	65,75	685,5	751,25	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$751,25 \leq 955,2$
3	770	1194	65,75	686,75	752,5	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$752,5 \leq 955,2$
Выход №4							
1	790	570	60,75	363,75	424,5	$570 \cdot 0,8 = 456$	$424,5 \leq 456$
2	710	1194	79	452,75	531,75	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$531,75 \leq 955,2$
3	710	1194	79,5	453,5	533	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$533 \leq 955,2$
Выход №5							
1	1770	380	60	196,2	256,2	$380 \cdot 0,8 = 304$	$256,2 \leq 304$
2	нет	762	Эвакуация исключена			$762 \cdot 0,8 = 609,6$	Эвакуация исключена
3	нет	630				$630 \cdot 0,8 = 504$	
Выход №6							
1	560	1194	86,25	353,5	439,75	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$439,75 \leq 955,2$
2	965	1194	60	351,75	411,75	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$411,75 \leq 955,2$
3	965	1194	60	351,75	411,75	$1194 \cdot 0,8 = 955,2$	$411,75 \leq 955,2$

Из представленных в таблице результатов расчетов очевидно, что безопасная эвакуация обеспечивается, т.к. выполняются следующие условия:

$$0,8 \cdot t_{бл} \geq (t_p + t_{нэ}) \text{ и } t_{ск} = 0 \text{ мин } (t_{ск} \leq 6 \text{ мин}) . \quad (2.4)$$

Определение расчетных величин пожарного риска для персонала и посетителей проводилось в соответствии с Методикой [52] по формуле:

$$Q_v = Q_p (1 - K_{ап}) P_{пр} (1 - P_э) (1 - K_{п.э}), \quad (2.5)$$

где $Q_{\text{п}}$ - частота возникновения пожара в здании в течение года. Для рассматриваемого здания $Q_{\text{п}} = 0,0138$ (Приложение № 1 [52]);

$K_{\text{ап}}$ - коэффициент, учитывающий соответствие нормативным документам установок автоматического пожаротушения. Учитывая отсутствие системы автоматического пожаротушения в Зимнем дворце, в соответствии с [52], значение параметра $K_{\text{ап}}$ принимается равным нулю;

$P_{\text{пр}}$ – вероятность присутствия людей в здании, определяемая соотношением:

$$P_{\text{пр}} = t_{\text{функц}} / 24, \quad (2.6)$$

где $t_{\text{функц}}$ – время нахождения людей в здании в часах. За вероятность присутствия людей в здании принимается время функционирования объекта - промежуток времени от прихода персонала на работу - 9.00 до закрытия музея – 20.00; значение параметра $P_{\text{пр}} = 0,458$;

$P_{\text{э}}$ - вероятность эвакуации равная 0,999, так как выполняется условие (2.4);

$K_{\text{п.з}}$ - коэффициент, учитывающий соответствие системы противопожарной защиты, направленной на обеспечение безопасной эвакуации людей при пожаре, в соответствии с разделом IV [52] вычисляется формулой (2.7)

$$K_{\text{п.з}} = 1 - (1 - K_{\text{обн}} K_{\text{СОУЭ}}) (1 - K_{\text{обн}} K_{\text{ПДЗ}}), \quad (2.7)$$

где $K_{\text{обн}}$ - коэффициент, учитывающий систему пожарной сигнализации;

$K_{\text{СОУЭ}}$ - коэффициент, учитывающий систему оповещения людей о пожаре и управления эвакуацией людей;

$K_{\text{ПДЗ}}$ - коэффициент, учитывающий систему противодымной защиты.

Значения принятых коэффициентов представлены в Таблице 2.11.

Значения расчетных величин индивидуального пожарного риска для каждого сценария сведены в Таблицу 2.12.

Таблица 2.11 – Значения коэффициентов, принятых в формуле (2.7)

№ проектного сценария пожара	$K_{обн}$	$K_{соуэ}$	$K_{пдз}^2$	$K_{п.з}$
1	0,8	0,8	0,8	0,8704
2	0,8	0,8	0,8	0,8704
3	0,8	0,8	0,8	0,8704
4	0,8	0,8	0,8	0,8704

Таблица 2.12 - Расчетная величина индивидуального пожарного риска

Проектный сценарий пожара	Расчетная величина пожарного риска
Помещение кафе.	8,19 E-7
Помещение выставочного зала № 35	8,19 E-7
Помещение выставочного зала № 36	8,19 E-7

На основании проведенного исследования и выполненных расчетов по разным сценариям проектных пожаров в Зимнем дворце можно сделать объективный вывод об обеспечении безопасной эвакуации людей при принятых объемно-планировочных решениях – организация эвакуации людей в полной мере соответствует требованиям, оценка воздействия опасных факторов пожара на человека, находящегося в здании не превышает допустимого значения 10^{-6} в год.

Однако следует учесть, что расчеты проводились на основе параметров типовой горючей нагрузки, взятой из справочной литературы [58]. Учитывая особенности объекта, являющегося объектом культурного наследия, охраняемого государством, уникальность хранящихся в нем экспонатов, при расчетах уровня обеспечения пожарной безопасности людей и индивидуального пожарного риска целесообразнее использовать оценку данных, полученную для пожарной нагрузки, представленной реальными веществами и материалами.

Выводы по главе 2

1. В отделке интерьеров на путях эвакуации в зданиях культурного наследия присутствуют материалы, имеющие показатели горючести, не

² Значение параметра принимается на основании разработанных для Зимнего дворца специальных технических условий.

соответствующие требованиям 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

2. Материалы из древесины составляют значительную часть (до 90%) горючей нагрузки в зданиях культурно-исторического наследия. Художественные паркетные Зимнего дворца насчитывают до 16 пород древесины. Но полная и достоверная информация о пожароопасных свойствах древесины, состаренной в условиях естественной эксплуатации (например, исторического паркета), отсутствует.

3. Расчет времени блокирования путей эвакуации ОФП основан на справочных данных типовой горючей нагрузки. Для точного расчета времени блокирования путей эвакуации ОФП необходима информация о параметрах термического разложения сохраняемых конструкций исторических объектов, составляющих пожарную нагрузку.

4. Для объектов культурного наследия, класса функциональной пожарной опасности Ф2.2, необходимо предусматривать решения по определению безопасных зон, где допустимо проводить досмотровые процедуры в случае экстренной эвакуации посетителей при пожаре.

Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРНОЙ НАГРУЗКИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЗИМНЕГО ДВОРЦА

Законодательно установлено, что безопасная эвакуация людей из здания определяется путем оценки индивидуального пожарного риска, где должно выполняться условие, при котором люди успевают покинуть здание или перейти в безопасную зону до наступления критических значений на эвакуационных путях и выходах одного из опасных факторов пожара: теплового излучения, снижения видимости в дыму, повышения температуры окружающей среды, концентрации токсичных продуктов термического разложения, снижения концентрации кислорода.

При разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности учитывают результаты оценки пожарной опасности строительных материалов, примененных на объекте защиты, а именно характеристики горючести, тепловыделение, способность к воспламенению и распространению пламени по поверхности, дымообразованию и токсичность продуктов горения.

Для повышения точности прогноза пожарной опасности Зимнего дворца, были проведены экспериментальные исследования по определению показателей пожарной опасности разных пород древесины, примененных при эксплуатации здания [30-32,86].

Определение свойств пожарной опасности образцов древесины проводилось на базе оборудования испытательных лабораторий ФГАОУ ВО «СПбПУ» и НИЦ «ЛБ» ИКБС НИУ МГСУ. Исследования методом совмещенного синхронного термического анализа и ИК-Фурье спектроскопии проводились при поддержке лаборатории ФГБУ «СЭУ ФПС ИПЛ» по Санкт-Петербургу.

3.1. Методы экспериментальных исследований

3.1.1. Метод определения газообразных продуктов при термодеструкции

Физико-химические характеристики исследуемых образцов определялись с применением совмещенного термического анализатора (STA 6000) и ИК-Фурье спектрометра (Spectrum Two) (Приложение А.1) [30, 86]. Для изучения фазовых превращений анализатор STA 6000 одновременно выполняет термогравиметрический (ТГА) анализ с дифференциальным термическим (ДТА) или дифференциальной сканирующей калориметрией (ДСК). Анализ состава газообразных продуктов, выделяющихся при термическом воздействии на образец в окислительной среде (воздух) проводился с применением ИК-спектрометра. При нагревании образца в ТГ-анализаторе из него выделяются легколетучие вещества, а также продукты горения. Попадая в ИК-ячейку эти газы идентифицируются. Совмещение позволяет более детально интерпретировать процессы, происходящие с образцом в ТГ-анализаторе в определенный момент времени путем анализа веществ по функциональным группам в ИК-спектроскопии. Подключение ТГ-ИК осуществляется с помощью интерфейса для переноса выделяющихся газов TL8000.

3.1.2. Метод определения группы трудногорючих и горючих веществ и материалов

Способность веществ и материалов к развитию горения (распространению пламени, тления) относит их к горючим, трудногорючим и негорючим. Горючесть твердых веществ и материалов можно определить, проведя специальные испытания [31]. Для горючих материалов характерен такой параметр, как тепловыделение – тепловая энергия, выделенная при сгорании.

Экспериментальное определение горючести проводится с использованием универсальной установки для определения группы трудногорючих и горючих веществ, материалов и огнезащитных свойств покрытий и пропиточных составов для обработки древесины (Приложение А.2) в соответствии с ГОСТом [21]. До испытания каждый образец подготавливается и взвешивается. В камере прибора создается температура, способствующая горению (200 ± 5 °С). Внесенный образец испытывается до достижения максимальной температуры отходящих газообразных продуктов горения. Фиксируются время достижения максимальной температуры, случаи воспламенения и их продолжительность, масса остывшего образца.

Максимальное приращение температуры (Δt_{\max}) вычисляется по формуле:

$$\Delta t_{\max} = t_{\max} - t_0, \quad (3.1)$$

где t_{\max} – максимальная температура газообразных продуктов горения исследуемого материала, °С;

t_0 – начальная температура испытания, равная 200 °С.

Потеря массы образца (Δm) в процентах вычисляется по формуле:

$$\Delta m = \frac{m_n - m_k}{m_n} \cdot 100, \quad (3.2)$$

где m_n – масса образца до испытания, г;

m_k – масса образца после испытания, г.

Отнесение материалов к горючим или трудногорючим зависит от полученных значений:

- трудногорючие – $\Delta t_{\max} < 60$ °С и $\Delta m < 60$ %;
- горючие – $\Delta t_{\max} \geq 60$ °С или $\Delta m < 60$ %.

Горючие материалы подразделяют в зависимости от времени достижения t_{\max} :

- на трудновоспламеняемые – $t > 4$ мин;
- средней воспламеняемости – $0,5 \leq t \leq 4$ мин;
- легковоспламеняемые – $t < 0,5$ мин.

3.1.3. Метод определения группы горючести

Группа горючести – показатель, на основе которого определяют класс пожарной опасности материала. Главным показателем при определении группы горючести конкретного материала является время горения. Подверженность строительных материалов горению обозначается символами Г1, Г2, Г3 и Г4. Экспериментальное определение группы горючести проводится в соответствии с ГОСТ [23] (метод II) на специальной установке (Приложение А.3). Сущность метода заключается в воздействии на образец материала пламенем газовой горелки в течение 10 мин и регистрации параметров, характеризующих его пожарную опасность.

Для испытаний берут 12 образцов размером 1000x190 мм, толщиной до 70 мм. При изготовлении образцов экспонируемая поверхность не должна подвергаться обработке. При испытании образцы располагают вертикально, складывая по 4 в виде короба. Взвешенные образцы прикрепляют к рамке держателя, вставляют в камеру сжигания, закрепляют и закрывают дверцу. Включают вентилятор и зажигают газовую горелку. В течение 10 мин фиксируют температуру дымовых газов с помощью термопар и время самостоятельного горения образца.

3.1.4. Метод определения коэффициента дымообразования

При горении или термическом разложении вещества и материалы выделяют дым. В зависимости от оптической плотности дыма, образующегося при пламенном горении или тлении, вещества и материалы относят к группам с высокой, умеренной и малой дымообразующей способностью. Способность к дымообразованию оценивают по коэффициенту, определяемому экспериментально в дымовой камере.

Определение коэффициента дымообразования проводят на испытательной установке (Приложение А.4) для определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов в соответствии с ГОСТом [21]. В основе метода лежит свойство ослабления оптического излучения при прохождении через дым. Оптическая плотность дыма в испытательной камере контролируется по величине фототока фотодиода. Перед испытанием фиксируется среднее значение фототока фотодиода, которое принимается за начальное значение светопропускания. Каждый подготовленный образец испытывается в режимах тления и горения. Испытание продолжается до достижения минимального значения фототока фотодиода (конечное светопропускание). По результатам вычисляется коэффициент дымообразования D_m , м²/кг по формуле:

$$D_m = \frac{V}{(L \cdot m)} \cdot \ln \frac{T_0}{T_{min}}, \quad (3.3)$$

где V – вместимость камеры измерений, м³;

L – длина пути луча света в задымленной среде, м;

m – начальная масса образца, кг;

\ln – оптическая плотность дыма, Нп;

T_0, T_{min} – соответственно значения начального и конечного светопропускания, %.

Полученное значение коэффициента дымообразования позволяет классифицировать материал по дымообразующей способности:

– с малой дымообразующей способностью – коэффициент дымообразования до 50 м² кг⁻¹ включительно;

– с умеренной дымообразующей способностью – коэффициент дымообразования от 50 до 500 м²·кг⁻¹ включительно;

– с высокой дымообразующей способностью – коэффициент дымообразования свыше 500 м² кг⁻¹.

3.1.5. Метод определения показателей токсичности продуктов горения

При пожарах вещества и материалы подвержены термоокислительной деструкции, в результате которой происходит выделение значительного количества разных летучих веществ с образованием токсичных газов, оказывающих поражающее действие на человека. Из них наиболее опасные – оксид углерода (CO), циановодород (HCN), хлороводород (HCl). Высокое содержание диоксида углерода (CO₂) может оказывать влияние на увеличение эффекта токсичности продуктов горения. Выделение токсичных газов напрямую зависит от состава горящего материала, поэтому в продуктах горения могут также присутствовать диоксид серы (SO₂), оксиды азота (N_xO_y), фтороводород (HF), акролеин (H₂C=CH-CHO), бромоводород (HBr) и другие. Этот эффект также усиливается при уменьшении концентрации кислорода.

Определение показателя токсичности продуктов горения проводится на испытательной установке (Приложение А.5) для определения токсичности продуктов горения полимерных материалов методом, изложенным в ГОСТе [21]. Подготовленные образцы помещаются в камеру сгорания, оснащенную радиационной панелью, и подвергаются воздействию тепловых потоков разной плотности. Выбирается режим, способствующий выделению более токсичных смесей летучих веществ, – термоокислительного разложения или пламенного горения. В ходе испытаний контролируются значения концентраций CO, CO₂ и O₂, температура в предкамере, в которую помещены подопытные животные, устанавливается зависимость летального эффекта газообразных продуктов горения от массы материала, отнесенной к единице объема экспозиционной камеры. Полученный ряд значений зависимости используют для расчета показателя токсичности N_{CL50} в г·м⁻³, согласно которому материалы относят к классам опасности: чрезвычайно опасные, высокоопасные, умеренно опасные и малоопасные.

3.1.6. Метод определения параметров воспламеняемости

Воспламенение – начало пламенного горения вещества под действием источника зажигания. Характеризуется устойчивым горением после удаления источника зажигания. Воспламенение возможно при выполнении обязательных условий: для самостоятельного горения с поверхности жидких (твердых) веществ выделяется достаточное количество горючих газов; в смеси содержание окислителя превышает минимальное взрывоопасное содержание кислорода; температура источника зажигания, величина энергии и время взаимодействия с горючим материалом выше минимальных значений для данной смеси газа и (или) пара с воздухом. Воспламенение от медленной реакции окисления быстро переходит к резкому взаимодействию между горючим веществом и окислителем, приводящему к неизбежному распространению пламени со скоростью, характерной для данного вещества, с дальнейшим ее уменьшением или увеличением под воздействием внешних факторов.

Определение параметров воспламеняемости проводится на испытательной установке (Приложение А.6) для определения воспламеняемости строительных материалов методом, изложенным в ГОСТе [24]. Параметры воспламеняемости (критическая поверхностная плотность теплового потока (КППТП) и время воспламенения) определяются при заданных стандартом уровнях воздействия на поверхность образца лучистого теплового потока и пламени от источника зажигания. Опыты повторяются при разных величинах поверхностной плотности теплового потока (ППТП) и определяется КППТП, при которой наблюдается воспламенение и устойчивое пламенное горение образца. У каждого испытанного образца фиксируют время воспламенения. В зависимости от полученной величины КППТП определяется группа воспламеняемости образца в соответствии с п. 5.1. ГОСТа [24].

3.1.7. Метод определения низшей теплоты сгорания

Низшая теплота сгорания – количественный показатель выделенного тепла при полном сгорании единицы массы горючего материала без учета расхода тепла на испарение влаги. Показатель необходим при расчетах категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений, математического моделирования распространения ОФП. Для твердых и жидких материалов при известном элементарном составе низшую теплоту сгорания можно определить расчетным методом по эмпирической формуле Д.И. Менделеева:

$$Q_H = 339,3C + 1256H - 109(O - S) - 25,14(9H + W), \quad (3.4)$$

где, Q_H - низшая теплота сгорания, кДж/кг

C, H, O, S и W - содержание углерода, водорода, кислорода, серы и влаги в горючем веществе соответственно, %.

Экспериментально показатель определяется методом калориметрии с использованием специальной установки (Приложение А.7) и дальнейшими расчетами, изложенными в ГОСТе [25].

Сущность метода заключается в определении высшей теплоты сгорания, полученной путем сжигания в калориметрической бомбе навески топлива массой m_T в адиабатическом режиме в среде сжатого кислорода и расчете теплового эффекта. Теплота, выделяющаяся при горении топлива, поглощается водой. Зная массу воды m_B , по изменению ее температуры Δt вычисляют теплоту сгорания из уравнения теплового баланса по формуле:

$$Q \cdot m_T = m_B \cdot C_p \cdot \Delta t, \quad (3.5)$$

где Q – теплотворная способность топлива, кДж/кг;

C_p – изобарная теплоемкость воды при средней температуре, кДж/(кг·°С).

Высшая теплота сгорания отличается от низшей на величину теплоты конденсации водяных паров ($Q_{квп}$), содержащихся в продуктах сгорания.

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = Q_{\text{в}}^{\text{р}} - Q_{\text{квп}}, \quad (3.6)$$

где $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ – низшая теплота сгорания,

$Q_{\text{в}}^{\text{р}}$ – высшая теплота сгорания.

С учетом скрытой теплоты конденсации водяных паров (примерно равной 2500 кДж/кг) и расхода водяных паров ($W^{\text{р}} + 9H^{\text{р}}$), образовавшихся в результате испарения влаги и горения водорода, входящего в состав высокомолекулярных органических соединений, соотношение между низшей и высшей теплотой сгорания имеет следующее выражение:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = Q_{\text{в}}^{\text{р}} - 2500(W^{\text{р}} + 9H^{\text{р}})/100 \text{ кДж/кг}, \quad (3.7)$$

где $H^{\text{р}}$ и $W^{\text{р}}$ – содержание водорода и водяных паров, %;

9 – коэффициент, показывающий, что при сгорании 1 кг водорода в соединении с кислородом образуется 9 кг воды.

3.2. Экспериментальные исследования

3.2.1. Описание образцов

Для проведения исследований были подготовлены образцы разных пород древесины [30- 32,86].

1. Фрагменты заготовок из мастерской Государственного Эрмитажа, применяемых в реставрации деревянных изделий (мебели, дверей, оконных рам и т.п.) и в том числе художественных паркетов [30].

Реставрация наборного паркета предусматривает воссоздание поврежденных участков. Замена непригодных к эксплуатации деталей художественного паркета производится соответствующими оригиналу заготовками, в точном повторении породы дерева, примененного в первоначальном художественном решении паркета. Влажность используемой древесины соответствует влажности древесины

существующего паркетного пола (Рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Реставрация художественного паркета в Зимнем дворце

2. Элементы существующего исторического пола (паркетные плашки, фрагменты паркетного щита) из залов Зимнего дворца № 35 и № 36 [30].

Исторический пол монтировался после пожара в середине 19 века (1840-х годах). Паркетные плашки выполнены из древесины дуба (зал № 35) и ясеня (зал № 36). Защитно-декоративное покрытие утрачено полностью. Древесина паркета истерта в значительной степени. Имеются множественные глубокие механические повреждения: царапины, сколы, выбоины. Часть плашек фрагментирована трещинами (Рисунок 3.2).



а

б

Рисунок 3.2 – Исторический паркет: а - дубовый паркет; б - паркет из ясеня

Конструкция полов состоит из лаг и паркетных щитов из древесины сосны, на которые укладывался паркет (Рисунок 3.3). Крепление плашек к щиту

осуществлялось при помощи гвоздей и клея на основе веществ животного происхождения (отходов рыб и костей животных).



Рисунок 3.3 – Конструкция пола

Исследуемым образцам были присвоены номера (Таблица 3.1) [30,86]. Образцы №№ 1-9 испытывались в лаборатории ФГБУ «СЭУ ФПС ИПЛ» по Санкт-Петербургу. Образцы №№ 7, 9-11 испытывались в лаборатории НИЦ «ПБ» ИКБС НИУ МГСУ. Образцы №№ 7 и 9 испытывались в лаборатории ФГАОУ ВО «СПбПУ».

Таблица 3.1 – Исследуемые образцы древесины

Описание образца	Проводимое исследование	Фотофиксация
Образец № 1. Фрагмент заготовки для реставрации, выполненный из древесины дуба. Срок заготовки ок. 70 лет. Условия хранения – в закрытом отапливаемом помещении. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок светло-коричневого цвета, толщиной 20 мм.	Термоаналитические характеристики и состав газообразных продуктов, выделяемых при термодеструкции.	
Образец № 2. Фрагмент заготовки для реставрации, выполненный из современной древесины клена. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок светло-коричневого цвета, толщиной 20 мм.	Термоаналитические характеристики и состав газообразных продуктов, выделяемых при термодеструкции.	

Продолжение таблицы 3.1

Описание образца	Проводимое исследование	Фотофиксация
<p>Образец № 3. Фрагмент заготовки для реставрации, выполненный из современной древесины грецкого ореха. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок коричневого цвета, толщиной 20 мм.</p>	<p>Термоаналитические характеристики и состав газообразных продуктов, выделяемых при термодеструкции.</p>	
<p>Образец № 4. Фрагмент заготовки для реставрации, выполненный из современной древесины березы. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок светло-желтого цвета, толщиной 20 мм.</p>	<p>Термоаналитические характеристики и состав газообразных продуктов, выделяемых при термодеструкции.</p>	
<p>Образец № 5. Фрагмент заготовки для реставрации, выполненный из современной древесины сосны. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок желтого цвета, толщиной 20 мм.</p>	<p>Термоаналитические характеристики и состав газообразных продуктов, выделяемых при термодеструкции.</p>	
<p>Образец № 6. Фрагмент заготовки для реставрации, выполненный из современной древесины лиственницы. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок бежевого цвета, толщиной 20 мм.</p>	<p>Термоаналитические характеристики и состав газообразных продуктов, выделяемых при термодеструкции.</p>	
<p>Образец № 7. Элемент паркета пола, плашка из древесины дуба. Срок эксплуатации ок. 160 лет. Условия эксплуатации – в закрытом отапливаемом помещении. Защитно-декоративное покрытие отсутствует. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок темно-коричневого цвета, толщиной 10 мм.</p>	<p>Термоаналитические характеристики и состав газообразных продуктов, выделяемых при термодеструкции; определение группы трудногорючих и горючих веществ и материалов, коэффициента дымообразования, показателей токсичности продуктов горения, параметров воспламеняемости, низшей теплоты сгорания.</p>	

Окончание таблицы 3.1

Описание образца	Проводимое исследование	Фотофиксация
<p>Образец № 8. Элемент паркета пола, плашка из древесины дуба. Срок эксплуатации ок. 160 лет. Условия эксплуатации – в закрытом отапливаемом помещении. Защитно-декоративное покрытие отсутствует.</p> <p>По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок светло-коричневого цвета, толщиной 10 мм.</p>	<p>Термоаналитические характеристики и состав газообразных продуктов, выделяемых при термодеструкции.</p>	
<p>Образец № 9. Элемент паркета пола, плашка из древесины ясеня. Срок эксплуатации ок. 160 лет. Условия эксплуатации – в закрытом отапливаемом помещении. Защитно-декоративное покрытие отсутствует.</p> <p>По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок светло-бежевого цвета, толщиной 19 мм.</p>	<p>Термоаналитические характеристики и состав газообразных продуктов, выделяемых при термодеструкции; определение группы и горючих веществ и материалов, коэффициента дымообразования, показателей токсичности продуктов горения, параметров воспламеняемости, нижней теплоты сгорания.</p>	
<p>Образец № 10. Фрагмент паркетного щита, выполненный из древесины сосны. Срок эксплуатации 160 лет. Условия эксплуатации – в закрытом отапливаемом помещении. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок светло-коричневого цвета, толщиной от 39 до 45 мм.</p>	<p>Определение группы трудногорючих и горючих веществ и материалов коэффициента дымообразования, показателей токсичности продуктов горения, параметров воспламеняемости.</p>	
<p>Образец № 11. Фрагмент паркетного щита, выполненный из древесины сосны с сохранившимся историческим клеем на основе веществ животного происхождения. Срок эксплуатации 160 лет. Условия эксплуатации – в закрытом отапливаемом помещении. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок темно-коричневого цвета, толщиной от 35 до 45 мм.</p>	<p>Определение группы горючих веществ и материалов коэффициента дымообразования, показателей токсичности продуктов горения, параметров воспламеняемости.</p>	

3.2.2. Исследования процессов термодеструкции

Экспериментальные исследования с использованием термоанализатора позволяют в одном эксперименте при разных термодинамических переходах одновременно проводить измерения калориметрических величин и температуры с регистрацией изменения массы образца. Встроенный контроллер газовых потоков позволяет проанализировать выделяющиеся в процессе термодеструкции фрагмента образца газообразные продукты. Для испытаний использовались фрагменты прямоугольной формы малого размера (2,5x5 мм) исследуемых образцов. Исследования проводились в окислительной атмосфере (воздух) при следующих условиях: скорость нагрева 10 °С/мин от 30 до 500 °С, скорость расхода газа 60 мл/мин, масса образца 6,196-8,566 мг, тигель Al_2O_3 цилиндрической формы объемом 180 мл, относительная влажность 42-43%. Результаты исследований по образцам сведены в Таблицу 3.2 [30,86].

Таблица 3.2 – 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		

Изучение термоокислительного разложения исследуемых образцов в рассматриваемом температурном диапазоне от 30 °С до 500 °С в атмосфере воздуха выявило разную термическую стабильность современной и состаренной древесины (Таблица 3.2). Начало разложения материала характеризуется температурой начала потери массы. Состаренная древесина отличается более низкой начальной температурой деструкции, которая возникает в области 243,71-248,19 °С, у современной древесины температура начала деструкции колеблется в пределах 260-269 °С. Температурный диапазон максимально интенсивной потери массы древесины со сроком эксплуатации составляет 278-434,81 °С. Для современной древесины температурный диапазон значительно меньше и находится в пределах 330,36-332 °С. Максимальная скорость потери массы у образцов древесины со сроком старения находится в пределах от 0,439 до 0,817 мг/мин. Конкретно у образцов древесины со сроком старения 160 лет составляет: у дуба – 0,677 мг/мин, у ясеня – 0,576 мг/мин. Максимальная скорость потери массы у образцов современной древесины выше и составляет от 0,947 до 1,390 мг/мин.

Исследование показало [30,86], что интенсивная потеря массы древесины у образцов, имеющих срок старения, происходит неоднократно. У образца 1 (ок. 70 лет) – три стадии (Рисунок 3.4), у образцов 7, 8 и 9 (ок.160 лет) – две стадии.

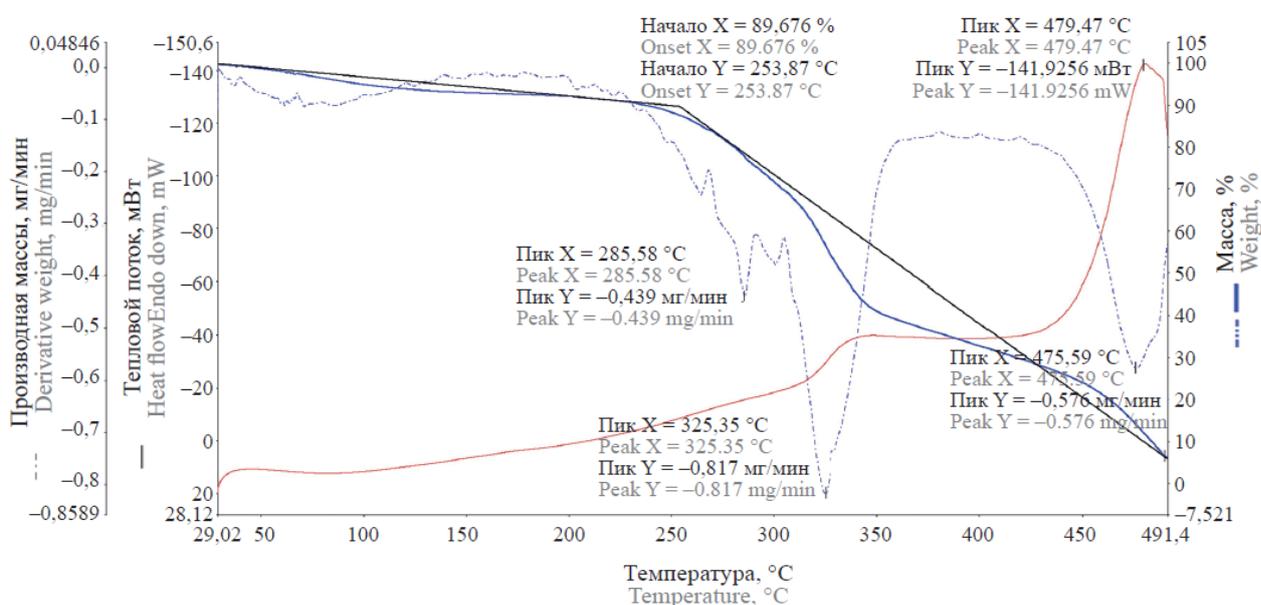


Рисунок 3.4 – Вид термоаналитических кривых образца 1 (дуб, ок. 70 лет)

Сравнительный анализ полученных результатов динамики разложения древесины показывает, что температурные показатели начала разложения состаренной в естественных условиях эксплуатации древесины снижаются по сравнению с современной древесиной, но сам процесс термодеструкции проходит значительно медленнее. В связи с таким фактом можно предположить, что древесина, эксплуатируемая 160 лет во внутренних интерьерах здания, более устойчива к температурным воздействиям по сравнению с современной.

Полученный результат необходимо учитывать при проведении моделирования развития пожара на объектах культурного наследия с целью получения достоверных данных о времени достижения критических для человека значений ОФП.

Анализируя ИК-спектры газообразных продуктов, выделяющихся при нагреве древесины у образцов 2, 4, 5, 7, 8, 9, выявлено присутствие муравьиной кислоты (полосы поглощения: 3581-, 3555-, 2959-, 2926-, 1791-, 1754-, 1233-, 1119-, 1084-, 640- и 618 см^{-1}) – это соответственно клен (в температурном диапазоне 234,91-251,35 °С), береза (242,69-256,22 °С), сосна (253,28-309,37 °С), дуб темный (244,60-296,81 °С), дуб светлый (231,07-291,98 °С), ясень (234,60-300,54 °С). У образца 5 (сосна) в температурном интервале 199,44-236,84 °С происходит выделение олеиновой кислоты.

В процессе изучения ИК-спектров становится очевидным, что однородная древесина (дуб) в зависимости от срока ее эксплуатации имеет разный температурный диапазон выделения уксусной кислоты (Таблица 3.2). У древесины дуба со сроком эксплуатации около 70 лет (образец 1) температурный диапазон выделения уксусной кислоты (243,8-349,32 °С) шире, чем у древесины дуба со сроком эксплуатации 160 лет: образцы 7 (247,50-335,50 °С) и 8 (243,64-335,50 °С). Цвет древесины дуба (темный и светлый) на температурный диапазон выделения уксусной кислоты не влияет.

Анализ вида ИК-спектра образцов паркетных плашек со сроком эксплуатации 160 лет – дуба (образец 7) и ясеня (образец 9) демонстрирует выраженные полосы поглощения 3598-, 3580-, 3569-, 2998-, 2962-, 1798-, 1777-,

1398-, 1276-, 1176-, 1074, 1001-, 858-, 655 cm^{-1} , характерные для присутствия в газовой фазе уксусной кислоты (Рисунки 3.5 - 3.8). При пожаре эти пары будут увеличивать его ядовитые свойства.

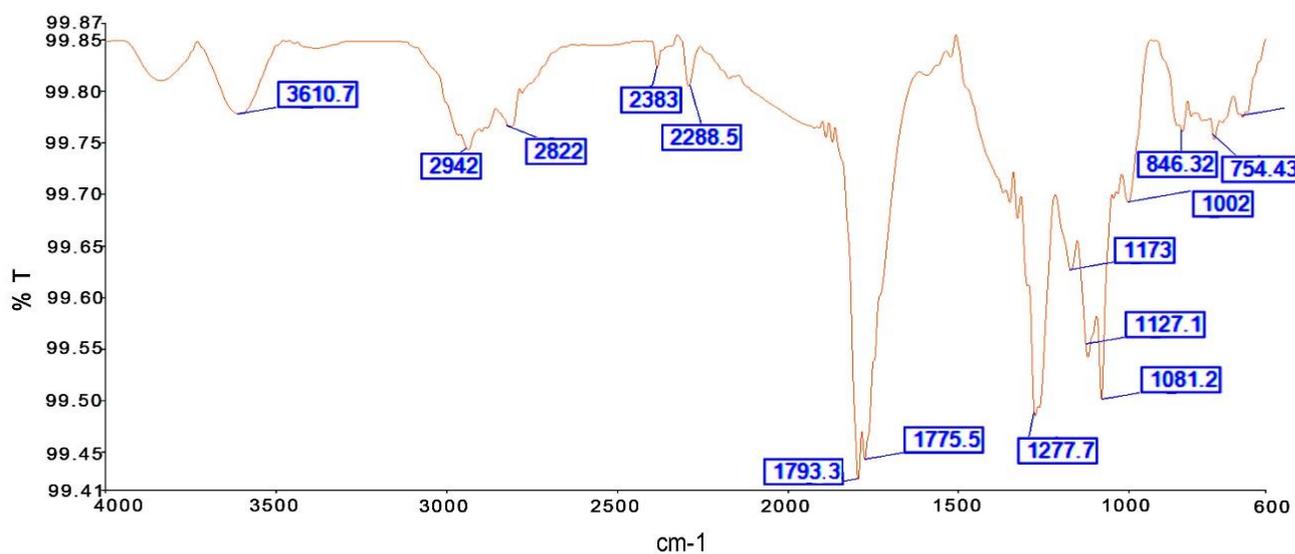


Рисунок 3.5 – Вид ИК-спектра образца 7 (дуб) при температуре 247,50 °C

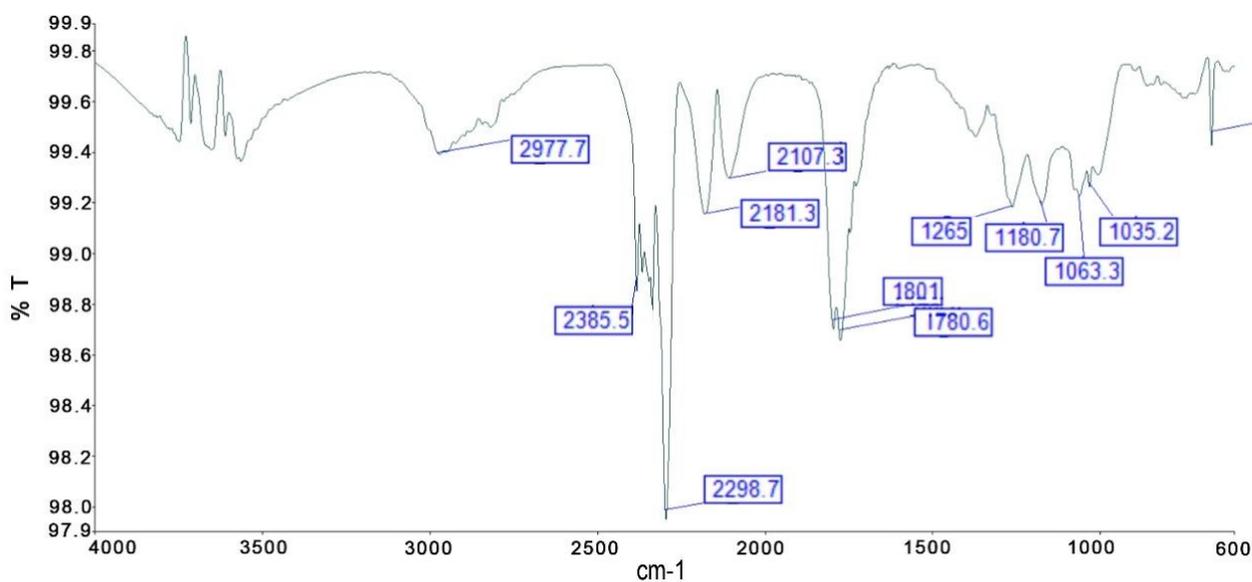


Рисунок 3.6 – Вид ИК-спектра образца 7 (дуб) при температуре 335,50 °C

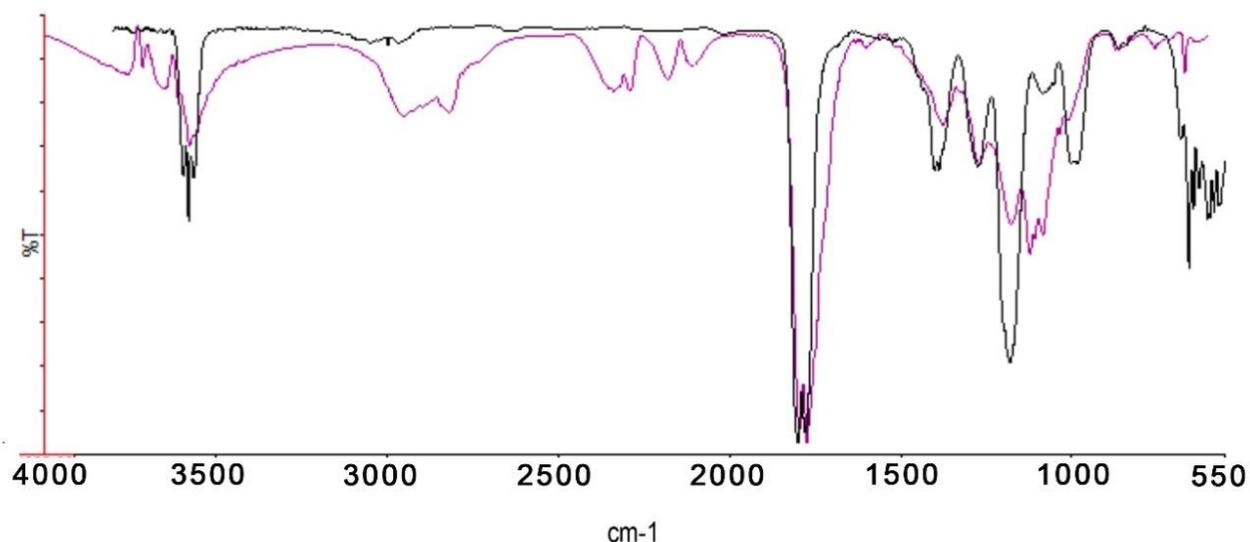


Рисунок 3.7 – Вид ИК-спектра образца 7 (дуб) – фиолетовый в сравнении с ИК-спектром уксусной кислоты – черный

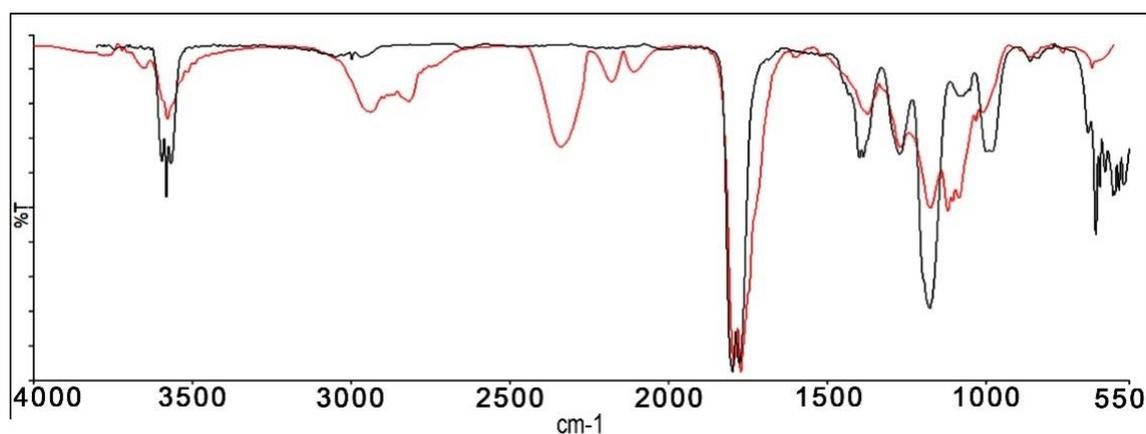


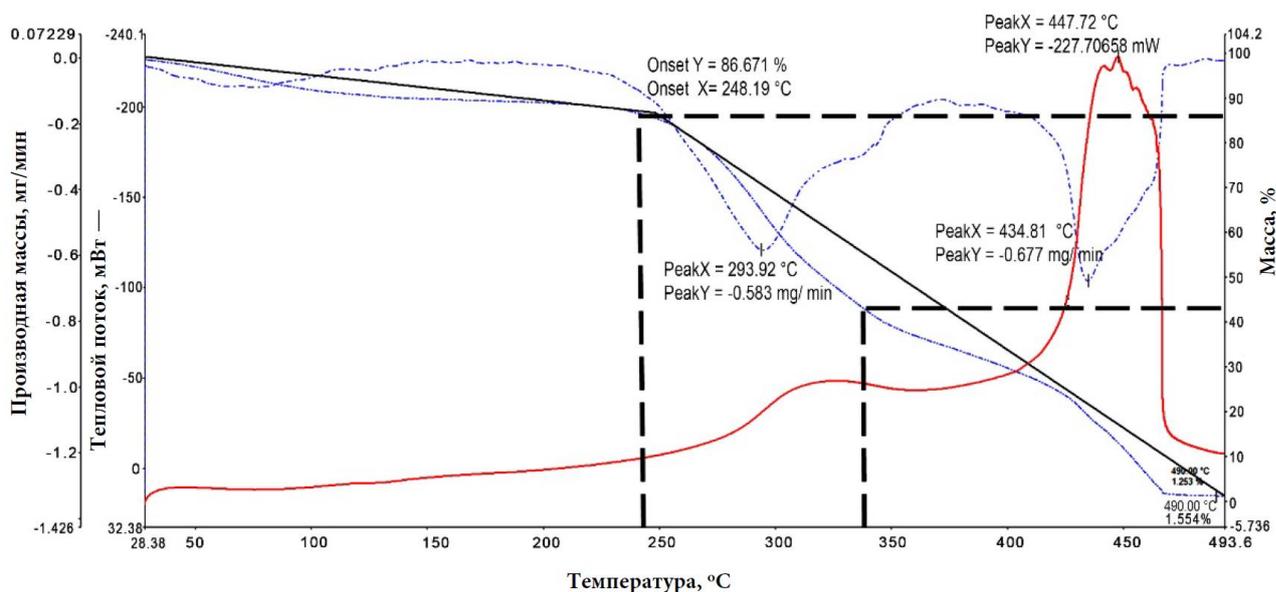
Рисунок 3.8 – Вид ИК-спектра образца 9 (ясень) при температуре 302,48 °С – красный в сравнении с ИК-спектром уксусной кислоты – черный

На графиках ТГ кривых образцов древесины дуба и ясеня видно, что газовая фаза с выделением уксусной кислоты у древесины дуба началась при потере массы образца 14% и закончилась при 44%, у ясеня – 11% и 62% соответственно (Рисунок 3.9).

Из проведенного исследования [30,86] газообразных продуктов термодеструкции установлено, что любая древесина, вне зависимости от вида и периода ее эксплуатации, в разных температурных диапазонах имеет выраженные полосы поглощения, характерные для присутствия в газовой фазе уксусной кислоты (Таблица 3.2), диоксида углерода и оксида углерода.

Уксусная кислота относится к вредным химическим веществам 3-го класса опасности.³ Предельно допустимая концентрация в воздухе для человека составляет 5 мг/м³.

а



б

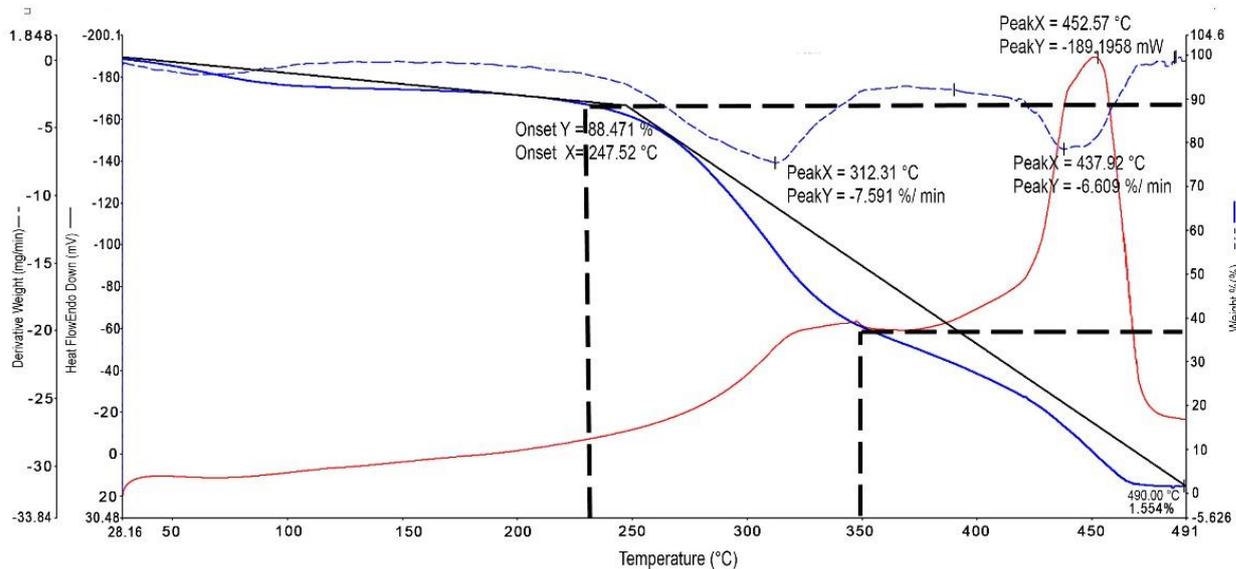


Рисунок 3.9 – Потеря массы образцов древесины с выделением уксусной кислоты: а - дуба, б - ясеня

³ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 N 2

3.2.3. Исследование горючести

Для определения горючести было подготовлено по 3 экземпляра каждого образца размером 150×60 мм, толщиной от 8 до 10 мм. Перед испытаниями образцы выдерживались в вентилируемом сушильном шкафу при температуре 60 ± 5 °С не менее 20 ч, затем охлаждались до температуры окружающей среды (без изъятия из шкафа), после чего определялась масса образцов.

Перед проведением испытаний каждого из образцов контролировалась неизменность температуры газообразных продуктов горения, составляющая 200 ± 5 °С в течение 3 минут. Полученные в результате экспериментального исследования показатели подставлялись в формулы (3.1) и (3.2), вычислялись значения максимального приращения температуры и потери массы. На основании [21] испытанные образцы по значению максимального приращения температуры Δt_{\max} и потере массы Δm относятся к материалам горючим ($\Delta t_{\max} \geq 60$ °С или $\Delta m \geq 60\%$), по времени достижения Δt_{\max} к материалам средней воспламеняемости ($0,5 \leq \tau \leq 4$ мин) [30,31].

Анализ результатов экспериментального исследования показывает, что все исследуемые образцы классифицируются как горючие материалы средней воспламеняемости (Таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Результаты экспериментального определения горючести образцов древесины

№ образца	Максимальное приращение температуры, °С	Время достижения максимальной температуры, с	Потеря массы образца, %	Отнесение образцов к горючим или трудногорючим
7	569	131	89	Горючий, средней воспламеняемости
9	463	100	50	Горючий, средней воспламеняемости
10	416	128	42	Горючий, средней воспламеняемости
11	456	76	18	Горючий, средней воспламеняемости

3.2.4. Исследование для определения группы горючести

Для определения группы горючести было подготовлено на каждое испытание по 4 экземпляра от каждого образца [31]. Для каждого вида древесины проведено по три испытания. Определялись показатели: температура дымовых газов, продолжительность самостоятельного горения, длина повреждения образца, масса образца до и после испытания. Результаты исследования показали, что все испытываемые образцы относятся к сильногорючим материалам (Г4) с показателями: температура дымовых газов 616 - 700 °С, степень повреждения по длине более 85 %, продолжительность самостоятельного горения более 300 с, степень повреждения по массе 50-89% [31].

3.2.5. Исследование для определения коэффициента дымообразования

Для соблюдения условия возможности безопасной эвакуации людей из зданий до момента блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара необходимо оценить распространение ОФП. Снижение видимости в дыму приводит к блокированию путей эвакуации.

Были проведены экспериментальные исследования по определению коэффициента дымообразования разных пород древесины, примененных при эксплуатации здания [31,32].

По результатам каждого опыта вычислен коэффициент дымообразования по формуле (3.3). К проведению испытаний были подготовлены по 15 экземпляров каждого образца размером 40×40 мм, толщиной от 8 до 10 мм. Образцы перед испытаниями выдерживались при температуре 20 ± 2 °С в течение 48 ч, затем определялась начальная масса образцов. Испытания проводились в режимах «тление» и «горение» с использованием газовой горелки с длиной пламени 10-15 мм. В каждом режиме подвергалось испытанию пять образцов. Образец помещался

в камеру сгорания, оснащенную радиационной панелью. Вместимость камеры измерений (V) 0,512 м³. Включался вентилятор для перемешивания воздуха в испытательной камере. Длина пути луча света в задымленной среде (L) 0,788 м, начальное значение светопропускания 100%. Для каждого режима испытания определялся коэффициент дымообразования D_m как среднее арифметическое по результатам пяти испытаний.

Результаты экспериментального определения показателя дымообразующей способности экземпляров образцов древесины представлены в Таблице 3.4. Анализ результатов экспериментального наблюдения показал, что все исследуемые образцы относятся к классу материалов с высокой дымообразующей способностью.

Таблица 3.4 – Результаты экспериментального определения показателя дымообразующей способности

№ образца	Среднее значение коэффициента дымообразования экземпляров образца, м ² /кг		Классификация образца по дымообразующей способности
	Режим тления	Режим горения	
7	749	65	высокая дымообразующая способность (ДЗ)
9	619	72	высокая дымообразующая способность (ДЗ)
10	871	98	высокая дымообразующая способность (ДЗ)
11	884	261	высокая дымообразующая способность (ДЗ)

3.2.6. Исследование для определения показателя токсичности продуктов горения

Возможность обеспечения безопасной эвакуации людей из зданий до момента блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара оценивается с помощью динамики распространения ОФП. Достижение критических значений

концентрации токсичных продуктов термического разложения приводит к невозможности использования путей эвакуации.

Для проведения испытаний были подготовлены по 3 экземпляра каждого образца размером 40×40 мм, толщиной от 8 до 10 мм. Образцы кондиционировались в лабораторных условиях в течение 48 ч, затем определялась масса образцов. Режимом испытаний был принят режим термоокислительного разложения (ТОР) при плотности теплового потока, в зависимости от испытываемого образца, от 18,0 кВт/м² (400 °С) до 32,5 кВт/м² (550 °С). В ходе испытаний клетка с животными (лабораторными мышами массой 20 ± 2 г) помещалась в предкамеру и осуществлялась затравка животных в течение 30 мин. После испытаний в течение 14 суток проводилось наблюдение за группами животных, и для каждой группы определялась летальность (отношение числа летальных исходов к числу подопытных животных). По итогам эксперимента определялся показатель токсичности (отношение массы материала к единице объема замкнутого пространства, в котором образующиеся при горении (тлении) материала газообразные продукты вызывают гибель 50% подопытных животных). На основании полученного значения показателя токсичности, в соответствии с требованиями п. 2.16.2 ГОСТ [21] испытанный образец отнесен к соответствующему классу опасности материалов.

Результаты экспериментального определения показателя токсичности продуктов горения образцов древесины представлены в Таблице 3.5. Анализ результатов экспериментального исследования показал, что все исследуемые образцы по показателю токсичности продуктов горения классифицируются как умеренно опасные [31,32].

Таблица 3.5 – Результаты экспериментального определения показателя токсичности продуктов горения

№ образца	№ экземпляра образца	Температура испытания, °С	Потеря массы, г	Массовая доля летучих веществ, %	Уровень выделения СО (gCO), мг/г	Показатель токсичности HCL ₅₀ , г/м ³	Класс опасности
7	1	400	8,72	88	52,9	92,6	умеренно опасные (Т2)
	2	400	6,20	95	59,9		
	3	400	7,64	96	57,6		
9	1	500	7,23	98	80,9	67,7	умеренно опасные (Т2)
	2	500	7,91	97	77,4		
	3	500	8,03	99	74,5		
10	1	500	8,27	92	103,4	48,1	умеренно опасные (Т2)
	2	500	7,72	94	113,9		
	3	500	7,94	94	110,0		
11	1	550	7,15	98	103,1	49,7	умеренно опасные (Т2)
	2	550	5,93	98	105,6		
	3	550	6,76	97	108,3		

3.2.7. Исследование для определения группы воспламеняемости

Анализ процесса воспламенения, его развития и последствий позволяет предусматривать соответствующие технические решения, направленные на повышение температуры воспламенения, на снижение скорости распространения пламени и в итоге – к снижению пожаровзрывоопасности объектов.

Для проведения испытаний было подготовлено по 15 экземпляров каждого образца размером 165×165×10 мм. Перед испытаниями образцы кондиционировались до достижения постоянной массы при температуре 23 ± 2 °С и относительной влажности $50 \pm 5\%$. Постоянство массы было установлено после двух последовательных взвешиваний с интервалом в 24 ч, при которых отличие в массе взвешиваемых образцов составило не более 0,1% от исходной массы образцов. Каждый подготовленный образец перед испытанием оборачивался

листом алюминиевой фольги толщиной 0,2 мм, с вырезанным в центре отверстием диаметром 140 мм. Центр отверстия в фольге совмещался с центром экспонируемой поверхности образца. Образец помещался на асбестоцементную плиту размером 165×165×10 мм. Способ крепления образцов к асбестоцементной плите – механический (прижатие) без использования крепежа или клеевого состава. С помощью радиационной панели образец подвергался воздействию лучистого теплового потока. Периодически к поверхности образца подводилось пламя подвижной газовой горелки. Для определения критической (наименьшей) поверхностной плотности теплового потока (КППТП) опыты проводили при разных величинах поверхностной плотности теплового потока с разницей в 5 кВт/м². Результаты экспериментального определения группы воспламеняемости образцов древесины представлены в Таблице 3.6. Анализ результатов экспериментального исследования показал [31,32], что представленные для проведения испытаний образцы относятся к группе легковоспламеняемых материалов, за исключением образца 11, отнесенного к группе умеренно воспламеняемых. Можно предположить, что сохранившийся на экземплярах образца 11 исторический клей, созданный на основе веществ животного происхождения, выступает в роли защиты древесины от теплового воздействия.

Таблица 3.6 – Результаты экспериментального определения группы воспламеняемости

№ образца	Величина КППТП	Группа воспламеняемости
7	15 кВт/м ²	легковоспламеняемые (В3)
9	15 кВт/м ²	легковоспламеняемые (В3)
10	15 кВт/м ²	легковоспламеняемые (В3)
11	20 кВт/м ²	Умеренно воспламеняемые (В2)

3.2.8. Исследование теплоты сгорания

Измерение высшей теплоты сгорания выполняется при сжигании образцов в калориметрической бомбе, заполненной кислородом при давлении 10-15 атм.

Бомба помещается в калориметр, заполненный водой, температура которой непрерывно измеряется. Теплота сгорания материала вычисляется по измеренному увеличению температуры воды с учетом массы и теплоемкостей воды и калориметра для данной массы образца. До выполнения опытов образцы древесины дуба (№ 7) и ясеня (№ 9) находились в комнатных условиях в течение длительного времени. При этом наблюдалось незначительное изменение массы образцов (не более 0,3%) из-за изменения влажности. Результаты измерений представлены в Таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты измерений высшей теплоты сгорания образцов дуба и ясеня

№ опыта	Дуб		Ясень	
	Масса, г	Теплота сгорания, МДж/кг	Масса, г	Теплота сгорания, МДж/кг
1	0,9421	18,5	1,2511	17,9
2	0,8179	18,4	0,9558	17,7
3	1,1083	18,2	1,2633	18,1
Среднее значение		18,4	17,9	

На основании экспериментального исследования значение низшей теплоты сгорания у образцов древесины дуба составило 16,5 МДж/кг, у ясеня – 16,0 МДж/кг.

Полученные данные позволили определить пожарную нагрузку исторических паркетов из ясеня и дуба для выставочных залов Зимнего дворца по формуле [38,76]:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{\text{ни}}^p, \quad (3.8)$$

где G_i – количество i -го материала пожарной нагрузки, кг;

$Q_{\text{ни}}^p$ – низшая теплота сгорания i -го материала пожарной нагрузки, МДж/кг.

Плотность древесины дуба и древесины ясеня при заданной влажности составляет 700 кг/м³ [78]. Площадь размещения горючей нагрузки принимается равной площади выставочных залов № 35 – 78,4 м² (для дуба) и № 36 – 65,2 м² (для

ясеня). Толщина паркетных плашек – 2 см. Масса паркета вычисляется выражением:

$$m = \rho V, \quad (3.9)$$

где ρ – плотность древесины;

V – объём паркетного покрытия.

При заданных параметрах масса паркета в зале № 35 - 1097,6 кг, в зале № 36 – 912,8 кг.

Подставляя данные в формулу (3.8) получаем пожарную нагрузку древесины дуба в выставочном зале № 35 – 18110,4 МДж и древесины ясеня в выставочном зале № 36 – 14604,8 МДж.

Количество выделенной теплоты при пожаре, отнесенное к площади размещения горючих материалов определяется как удельная пожарная нагрузка и выражается формулой:

$$q = Q/S, \quad (3.10)$$

где S – площадь размещения горючей нагрузки.

Подставляя полученные значения в формулу (3.10), вычисляем удельную пожарную нагрузку паркетных полов для выставочных залов № 35 – 231 МДж/м² и № 36 – 224 МДж/м².

Выводы по главе 3

1. Проведены комплексные исследования по определению пожароопасных свойств (горючесть, воспламеняемость, дымообразующая способность, токсичность, теплота сгорания) исторической древесины.

Результат исследования термоокислительного разложения показал, что образцы состаренной древесины отличаются более низкой начальной

температурой деструкции и меньшей скоростью потери массы по сравнению с современными образцами древесины.

Результат исследования газообразных продуктов термодеструкции демонстрирует, что выделение уксусной кислоты присутствует у всех образцов в разных температурных диапазонах. Температурный диапазон (243,8-349,32) выделения уксусной кислоты у древесины дуба со сроком эксплуатации около 70 лет больше, чем у темной древесины дуба (247,50-335,50) и светлой древесины дуба (243,64-335,50) со сроком эксплуатации 160 лет.

2. Пожарно-технические характеристики исторической древесины со сроком эксплуатации 160 лет:

- показатели горючести – Г4 (сильногорючие);
- показатели воспламеняемости исторической древесины сосны с остатками клея животного происхождения относятся к умеренно воспламеняемым – В2. Историческая древесина сосны с таким же сроком эксплуатации, но без остатков клея имеет показатель воспламеняемости, относящий ее к группе В3 – легковоспламеняемые;
- полученные коэффициенты дымообразования (более 500 м²/кг) указывают на высокую дымообразующую способность (Д3).

3. Определен показатель низшей теплоты сгорания исторической древесины дуба и ясеня, состаренных в естественных условиях эксплуатации, – 16,5 Мдж/кг и 16,0 Мдж/кг соответственно.

4. Проведен расчет удельной пожарной нагрузки паркетов из древесины дубы и ясеня в выставочных залах. В выставочном зале № 35 она составила 231 МДж/м², в выставочном зале № 36 – 224 МДж/м².

Глава 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

4.1. Сопоставление и сравнение результатов исследований

Как отмечалось в настоящей работе выше, на объектах исторической постройки в качестве строительного и отделочного материала применялась древесина разных пород. За хорошие показатели прочности и твердости древесину ясеня и дуба часто использовали в тех областях строительной сферы, где особенно важна высокая стабильность доски: производство мебели, лестниц, паркета, отделка стен. Для целей проводимой работы наиболее интересно рассмотреть результаты исследования образцов древесины, примененной в музее и состаренной в естественных условиях эксплуатации – это образец 7 из древесины дуба и образец 9 из древесины ясеня.

В ходе обработки результатов исследований, проведенных в рамках настоящей работы, были установлены и сопоставлены с имеющимися в литературе данными характеристики пожарной опасности рассматриваемых образцов исторической древесины (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Результаты исследования

Материал	Теоретические (по справочным данным)	Практические (экспериментальные)
Определение газообразных продуктов при термодеструкции		
Дуб	Показатель отсутствует	Температурный диапазон присутствия: уксусной кислоты 247,50-335,50 °С; муравьиной кислоты 244,60-296,81 °С
Ясень		Температурный диапазон присутствия: уксусной кислоты 232,48-349,03 °С; муравьиной кислоты 234,60-300,54 °С
Отнесение к группе трудногорючих и горючих веществ и материалов		
Дуб	Горючие	Горючие
Ясень		Горючие

Окончание таблицы 4.1

Материал	Теоретические (по справочным данным)		Практические (экспериментальные)
Коэффициент дымообразования, тление/горение, м ² /кг			
Дуб	Высокая дымообразующая способность (Д3)		749/65 - высокая дымообразующая способность (Д3)
Ясень			619/72 - высокая дымообразующая способность (Д3)
Показатель токсичности продуктов горения (H _{CL50} , г/м ³ /)			
Дуб	Высокоопасный (Т3) [5]		92,6 – умеренноопасный (Т2)
Ясень			67,7 - умеренноопасный (Т2)
Величина КППТП /Группа воспламеняемости			
Дуб	Показатель отсутствует		15 кВт/м ² /В3
Ясень	15 кВт/м ² /В3 [49]		15 кВт/м ² /В3
Параметры термодеструкции (СТА). 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
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			
Вид древесины	Среднее значение	Расчетное значение	Экспериментальное значение
Дуб	300 [73]	600 [73]	231
Ясень			224

Сопоставление данных в таблице 4.1. демонстрирует недостаточную детализацию в справочной литературе параметров пожарной опасности древесины в зависимости от вида и возраста ее эксплуатации и различия с полученными экспериментальными данными имеющихся показателей, влияющих на развитие пожара.

В проводимых в главе 2 настоящей работы моделирований динамики ОФП использовались параметры типовой горючей нагрузки, взятые из справочной литературы [58]. Результат проведенного исследования пожароопасных свойств исторической древесины, примененной на путях эвакуации объектов культурного наследия, показал отличие в значениях показателя дымообразующей способности горючей нагрузки (Таблица 4.2), используемого для расчетов времени блокирования ОФП эвакуационных путей и выходов.

Таблица 4.2 – Сравнительный показатель дымообразующей способности

Источник		Коэффициент дымообразования	Классификация [102]
Справочная литература	[39]	53	Д2
	[58]	270	Д2
Исследование		Более 500	Д3

Способность материалов выделять дым при термическом разложении влияет на потерю видимости при пожаре, а значит и на выполнение условий безопасной эвакуации людей. При прогнозировании динамики ОФП коэффициент дымообразования является важнейшим параметром горючей нагрузки.

4.2. Сопоставление результатов моделирования развития пожаров и эвакуации

На основании проведенного исследования и полученных характеристик пожарной опасности исторической древесины дуба и ясеня проведены новые расчеты динамики ОФП в выставочных залах № 35 и № 36, сценарии пожаров 4 и 5 соответственно. Полученные значения были сопоставлены с результатами расчетов, выполненных на исходных данных справочной литературы (сценарии пожаров 2 и 3).

Параметры пожарной опасности горючей нагрузки принимались по данным экспериментальных исследований и справочной литературы. Учитывая значительное отличие коэффициента дымообразования, полученного экспериментальным методом, от справочных значений, для целей проводимого исследования было принято решение взять наихудший показатель – в режиме тления: зал № 35 (дуб) – 749 м²/кг, зал № 36 (ясень) – 619 м²/кг. (Таблица 4.3).

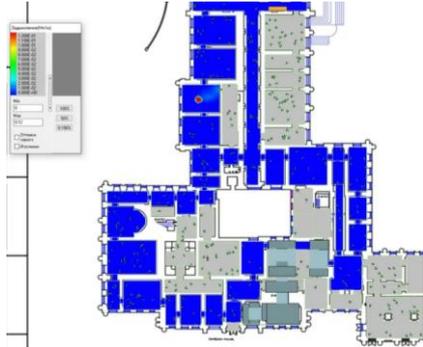
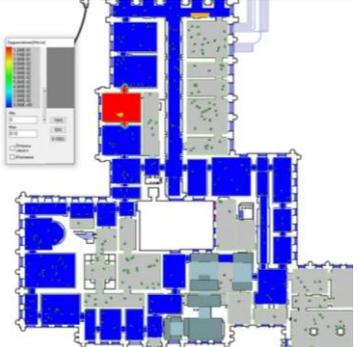
Таблица 4.3 – Параметры горючей нагрузки

Наименование	Древесина		Примечание
	Дуб (зал № 35)	Ясень (зал № 36)	
Линейная скорость распространения пламени, м/с	0,005		Справочные данные[58]
Удельная скорость выгорания, кг/(м ² с)	0,0145		Справочные данные [58]
Дымообразующая способность, Нп · м ² /кг	749	619	Экспериментальные данные
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	16,5	16,0	Экспериментальные данные
Потребление кислорода, кг/кг	1,15	1,15	Справочные данные [58]
Выделение газа, кг/кг			
CO ₂	0,203		Справочные данные [58]
CO	0,0022		Экспериментальные данные

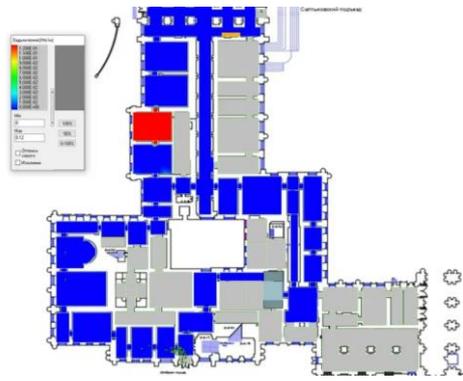
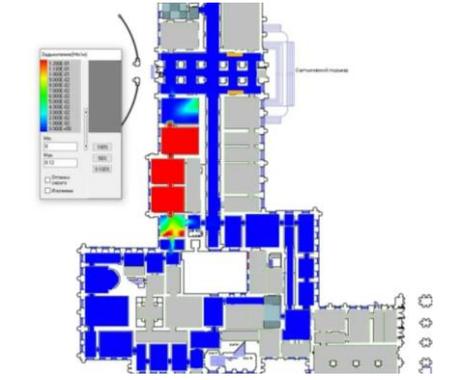
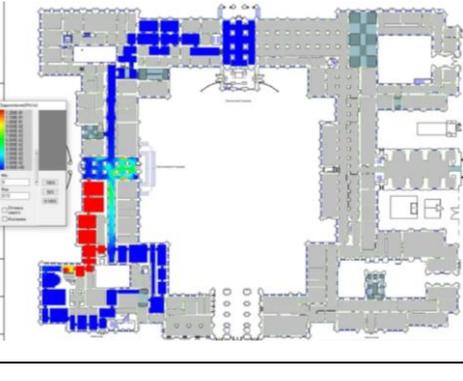
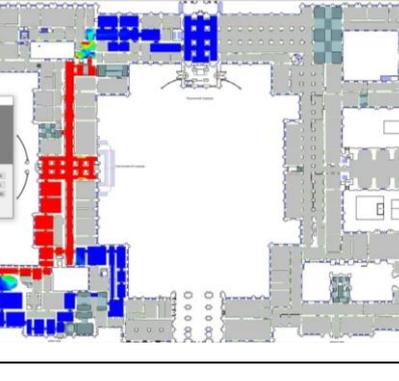
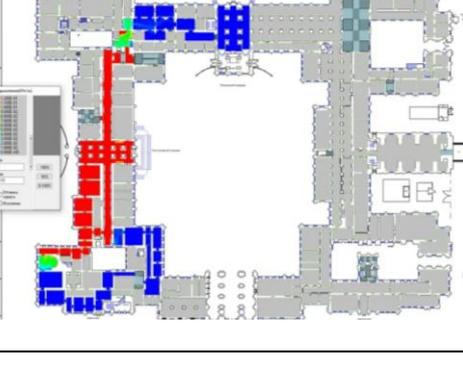
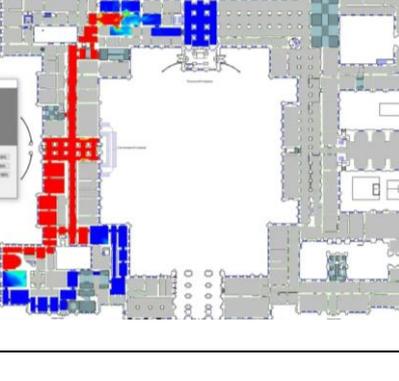
Длительность моделирования развития пожара для всех сценариев принята более 800 секунд.

В качестве полей распространения ОФП в Таблице 4.4 представлены в сравнении скриншоты потери видимости на уровне 1,7 м от уровня пола этажа, как для фактора, имеющего минимальное время достижения предельных концентраций в различные моменты времени.

Таблица 4.4 – Скриншоты визуализации задымления (оптической плотности, Нп/м) в сценариях 4 и 6 для выставочного зала № 36

Время от начала пожара, с	Количество людей в здании	Визуализация динамики ОФП	
		сценарий 3	сценарий 5
60	4000		

Окончание таблицы 4.4

Время от начала пожара, с	Количество людей в здании	Визуализация динамики ОФП	
		сценарий 3	сценарий 5
150	2460		
300	910		
534	79		
750	2		

Цвет меняется от безопасного синего на опасный красный. Из представленных в Таблице 4.4 скриншотов очевидно, что задымление эвакуационных путей и выходов в проектном сценарии пожара 3 происходит медленнее в сравнении с проектным сценарием 5. Расчеты, выполненные на исходных экспериментальных данных, имеют отличия по времени достижения критических для человека значений ОФП от расчетов на основе данных справочной литературы.

Сравнения расчетных показателей по значениям, полученным для ближайших эвакуационных путей и выходов, которые блокируются ОФП в первые минуты пожара, сведены в Таблицы 4.5 и 4.6. Время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей представлено с учетом коэффициента безопасности 0,8.

Таблица 4.5 – Сравнение результатов расчетного времени сценариев пожаров № 2 и № 4 в выставочном зале № 35

Эвакуационные пути и выходы	Время окончания эвакуации, $(t_{эв} = t_p + t_{нэ}), с$	Время блокирования ОФП $(t_{бл} \cdot 0,8), с$		
		Сценарий 2	Сценарий 4	
Выставочные залы	24	117	558,56	542,4
	27	147,5	657,6	609,6
	28	92,75	672	614,4
	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
	40	107,75	753,6	676,8
	46	121,5	820,8	758,4
Галерея драгоценностей	91,25	628,8	576	
Б. Церковная лестница 1-й этаж	68	643,2	624	
Школьный гардероб	245	772,8	748,8	
Выход №1	816,5	955,2	955,2	
Выход №2	368	955,2	955,2	
Выход №5	Эвакуация исключена	609,6	566,4	
Выход №6	411,75	955,2	955,2	

Таблица 4.6 – Сравнение результатов расчетного времени сценариев пожаров № 3 и № 5 в выставочном зале № 36

Эвакуационные пути и выходы		Время окончания эвакуации, $(t_{эв} = t_p + t_{нэ}), c$	Время блокирования ОФП $(t_{бл} \cdot 0,8), c$	
			Сценарий 3	Сценарий 5
Выставочные залы	24	116,5	508,8	360
	27	147	532,8	379,2
	28	92,75	532,8	379,2
	33	86,25	504	264
	34	76,75	278,4	153,6
	35	68	187,2	86,4
	37	66,25	187,2	72
	38	76	240	120
	40	107,5	369,6	220,8
	46	121,25	408	264
	47	140,25	504	321,6
Галерея драгоценностей		91	321,6	192
Б. Церковная лестница 1-й этаж		68,25	552	393,6
Коридор к Б. Ц. лестнице		75,25	580,8	412,8
Фойе школьного гардероба		291	873,6	681,6
Выход №1		817,5	955,2	873,6
Выход №2		368,25	955,2	873,6
Выход №5		Эвакуация исключена	504	873,6
Выход №6		411,75	955,2	873,6

Приведенные в таблицах значения демонстрируют, что расчетное время блокирования путей эвакуации ОФП, полученное на экспериментальных данных свойств горючей нагрузки, меньше расчетного времени на исходных данных справочной литературы. При этом условия безопасной эвакуации выполняются даже при наименьших значениях времени блокирования ОФП эвакуационных выходов в сценарии 4 для зала № 34, где $139,2 > 68$ (Таблица 4.5) и в сценарии 5 для зала № 37, где $72 > 66,25$ (Таблица 4.6).

Полученные в ходе новых расчетов значения времени блокирования ОФП эвакуационных путей и выходов доказывают, что в случае пожара люди эвакуируются раньше, чем ОФП достигают критических для человека значений и

не происходит скоплений с критической плотностью более 6 минут. Значит условия ст. 53 [2] безопасной и своевременной эвакуации выполняются.

Определение расчетных величин пожарного риска для персонала и посетителей для сценариев 4 и 5 проводилось в соответствии с Методикой [52] по формуле (2.5). Учитывая отсутствие системы автоматического пожаротушения в Зимнем дворце, в соответствии с [52], значение параметра $K_{ап}$ принимается равным нулю. Принятые коэффициенты и полученные расчетные значения величины индивидуального пожарного риска для сценариев проектных пожаров 4 и 5 представлены в Таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Описание коэффициентов и полученные значения

Проектный сценарий пожара	$Q_{п}$	$K_{ап}$	$P_{пр}$	$P_{э}$	$K_{п.з}$	$Q_{в}$
Помещение выставочного зала № 35 (сценарий 5)	0,0138	0	0,458	0,999	0,874	8,19E-7
Помещение выставочного зала № 36 (сценарий 6)	0,0138	0	0,458	0,999	0,874	8,19E-7

По результатам расчетов величина пожарного риска не превышает допустимых значений, установленных Федеральным законом [94] при принятых исходных данных на основе экспериментальных исследований, а значит пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной.

Исходные данные оказывают качественное и количественное влияние на результат расчета при математическом моделировании пожаров. От достоверных исходных данных, принятых при компьютерном моделировании, зависит эффективность и обоснованность разрабатываемых противопожарных мероприятий. В зависимости от времени достижения критических для человека значений ОФП рассчитывается допустимая численность одновременного нахождения людей на объекте. К объектам защиты с массовым пребыванием людей, к которым относятся здания культурно-исторического наследия с размещенными экспонатами, нормативным документом [54] установлено

требование о недопустимости превышать расчетное количество единовременного пребывания людей исходя из условий безопасной эвакуации.

4.3. Обоснование учебной эвакуации

В случае пожара грамотная и организованная эвакуация людей – одно из важных условий их спасения. Объекты культурного наследия для эвакуации используют существующие пути движения и выходы, которые не всегда соответствуют требованиям, предъявляемым к параметрам эвакуационных путей и выходов, при этом не подлежат принципиальным изменениям по условиям охраны объекта. Требования к сохранению объекта культурного наследия, установленные законом [51], позволяют применять нормативные документы по пожарной безопасности только в случаях, не противоречащих интересам сохранения объекта. При решении вопросов эвакуации на таких объектах необходимо учитывать: наличие зауженных и заниженных эвакуационных путей и выходов, увеличение количества ступеней в одном лестничном марше, отсутствие безопасных зон, превышение расстояний по путям эвакуации до ближайшего выхода [29].

Согласно нормативным требованиям [79] при наименьшей плотности людского потока для здания класса конструктивной пожарной опасности С0 расстояние из помещений, расположенных между лестничными клетками или наружными выходами, не должно превышать 60 м, из помещений с выходами в тупиковый коридор или холл – 30 м. В рассматриваемом в настоящем исследовании Зимнем дворце, класса конструктивной пожарной опасности С0, расстояния из удаленных от выходов помещений значительно превышают указанные требования (Таблица 4.8, Рисунок 4.1) [29].

Таблица 4.8 – Расстояние от удаленных помещений до ближайших эвакуационных выходов или до ближайших эвакуационных лестниц

Этажи	Расстояния до ближайших эвакуационных выходов, м		
	А	В	С
1-й	выход № 2 – 137 выход № 5 – 130	выход № 2 – 69; выход № 3 – 93	выход № 5 – 76 выход № 6 – 98
2-й	лестница № 3 – 90 лестница № 4 – 94	лестница № 1 – 113 лестница № 2 – 87	лестница № 5 – 66
3-й	лестница № 6 – 70 лестница № 4 – 90	лестница № 3 – 101	отсутствует

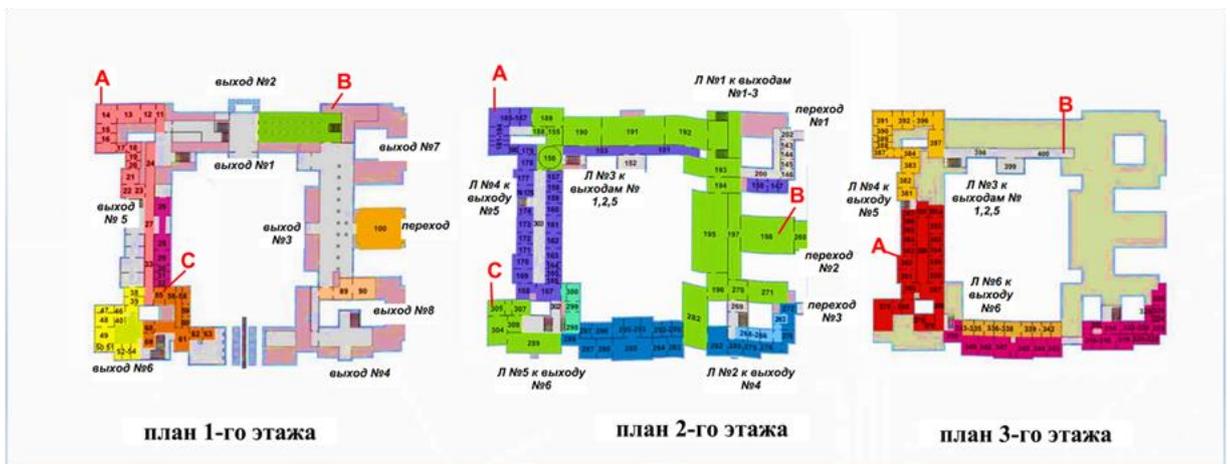


Рисунок 4.1 – Планы этажей Зимнего дворца с эвакуационными выходами

Объекты культурного наследия с размещенными в них экспонатами – это, как правило, здания с массовым пребыванием людей. Безопасная и своевременная эвакуация на таких объектах осложняется характерными особенностями [29]:

- присутствие разных групп людей (социальных, возрастных), в том числе детей разного возраста, иностранных граждан, а также категорий маломобильных граждан, испытывающих затруднения при самостоятельном передвижении (Рисунок 4.2);

- периоды, в которые существенно увеличивается количество людей на объекте (дни школьных каникул, государственных праздников, проведения временных выставок и т.п.).

Время эвакуации для зданий с зальными помещениями с расчетным числом посадочных мест определяется в зависимости от объема зального помещения [79].

Для зданий класса пожарной опасности С0 при объеме зала менее 60 тыс. м³ время эвакуации не должно превышать 6 минут.



Рисунок 4.2 – Посещение музея разными категориями граждан:
а – маломобильные посетители; б – школьники; в – иностранные граждане

Расчет необходимого времени эвакуации для зала более 60 тыс. м³ определяют формулой:

$$t_{\text{нбЗала}} = 0,115 \cdot \sqrt[3]{W}, \quad (4.1)$$

где W – объем зала.

Необходимое время эвакуации непосредственно наружу из зданий с залом указанного объема не должно превышать 10 минут.

Руководством [113] предлагается применять поэтапную эвакуацию. При этом для объектов культурного наследия рекомендуется руководствоваться принципами:

- до окончательного принятия решения о проведении эвакуации посетителей не беспокоить;
- эвакуация должна начаться в тот момент, когда становится очевидной ее неизбежность;
- эвакуация должна быть проведена максимально быстро и эффективно.

Рекомендуется проанализировать возможных посетителей здания и скопления людей в разных частях здания [29]. Эти данные могут существенно различаться для исторических объектов, которые часто используются для

проведения различных мероприятий (концертов, лекций, конференций).

Предлагаются возможные варианты проведения эвакуации:

- одновременная эвакуация (общее оповещение) для исторических зданий небольшого и среднего размера;
- управляемая эвакуация (оповещение персонала) для зданий с большим количеством посетителей, не знакомых с планировками. Эвакуацией управляет персонал в соответствии с предварительно разработанным и регулярно апробируемым планом;
- поэтапная эвакуация (поэтапное оповещение) для больших и сложных исторических зданий. Позволяет уменьшить скопление людей на путях эвакуации и предотвратить панику.

Данное руководство анализирует необходимость организации реальной эвакуации в случае пожара [29]. При подготовке учебной эвакуации учитывается наиболее опасная ситуация, предусматривающая привлечение всех посетителей и сотрудников.

С целью разработки предложений по обеспечению безопасности посетителей Государственного Эрмитажа на случай возникновения пожара в 1983 году ВНИИПО МВД СССР проводились натурные исследования динамики движения посетителей в разные периоды работы музея. Для этого расставлялись контролеры-счетчики в наиболее посещаемых залах музея – «узловых точках», а также на входе и выходе из музея. Совокупность полученных значений числа посетителей $N_{10ij}(t)$, проходящих через i -й контрольный пост в j -м направлении за последовательные 10-минутные интервалы времени Δt , составила исходный материал для анализа динамики движения посетителей. Результаты проанализированы и отражены в диссертации Никонова С.А. [50]. При этом эвакуация посетителей не проводилась.

С целью изучения процесса эвакуации при пожаре на историческом объекте с размещенными экспонатами и анализа полученных результатов для разработки комплекса мер, позволяющих успешно решать задачи, направленные на защиту людей при пожаре, в здании Зимнего дворца Государственного Эрмитажа была

проведена учебная эвакуация персонала и посетителей. До вступления в силу с 01.01.2021 постановления Правительства [54] на объектах защиты с массовым пребыванием людей практические тренировки по эвакуации проводились только с лицами, осуществляющими свою деятельность на объекте защиты. Поэтому отличительной особенностью данной эвакуации было то, что она впервые проводилась в реальных условиях работы музея [29]. К эвакуации были привлечены работники музея, сотрудники сторонних организаций, расположенных в здании Зимнего дворца, сотрудники противопожарной службы МЧС, сотрудники Росгвардии и посетители музея. Важными задачами проводимой учебной эвакуации были определение реального времени выхода посетителей из здания Зимнего дворца и получение данных об их реакции на сообщение о пожаре.

Проведению учебной эвакуации предшествовало изучение плотности людских потоков в разные временные периоды [29]. Источником информации служили статистические данные по количеству проданных билетов, а также изучались графики проходов посетителей через турникеты главного входа (выходы №№ 1 и 2) и входа с Дворцовой площади (выход № 4) (рисунок 4.2). Наиболее насыщенный посетителями сезон – весенне-летний.

Чтобы определить период с наибольшим количеством единовременно находящихся в музее посетителей, сведения собирались в течение месяца насыщенного посетителями сезона [29]. Полученные данные позволили определить временной период с наибольшим количеством посетителей в музее (Рисунок 4.3). На графике представлено количество людей в музее, прошедших билетный контроль как в составе организованных групп, так и самостоятельно.

Из представленного графика становится очевидным, что количество посетителей увеличивается к 11-12 часам, это объясняется тем, что музей до 10:30 работает только с организованными в группы посетителями по экскурсионным маршрутам, после этого времени вход в музей становится доступным для самостоятельных посещений [29].



Рисунок 4.3 – График заполнения Зимнего дворца посетителями по времени

По заведенным в музее правилам, организованные группы заходят в музей только через Главный вход и Комендантский подъезд – выходы №№ 2 и 4 соответственно (Рисунок 2.6). В Таблице 4.9 представлены сведения о ежедневном посещении музея организованными группами в зависимости от сезона.

Таблица 4.9 – Посещение музея в составе организованных групп (с гидом)

Время посещения музея	Количество групп, посещающих музей в период						Общее количество групп в музее/ количество людей, чел.
	Сентябрь-апрель		Май-август		Праздничные дни		
	Выход № 2	Выход № 4	Выход № 2	Выход № 4	Выход № 2	Выход № 4	
10:40	-	2	-	-	-	-	2/50
10:45	5	-	5	5	5	5	25/625
10:50	-	2	-	-	-	-	2/50
11:00	5	-	5	-	10	-	20/500
11:10	-	2	-	-	-	-	2/50
11:15	5	-	5	5	5	5	25/625
11:20	-	2	-	-	-	-	2/50
11:30	5	2	5	-	5	-	17/425
11:40	-	2	-	-	-	-	2/50
11:45	5	-	5	5	5	5	25/625
11:50	-	2	-	-	-	-	2/50
12:00	5	2	5	-	10	-	22/550
12:10	-	2	-	-	-	-	2/50

Окончание таблицы 4.9

Время посещения музея	Количество групп, посещающих музей в период						Общее количество групп в музее/ количество людей, чел.
	Сентябрь-апрель		Май-август		Праздничные дни		
	Выход № 2	Выход № 4	Выход № 2	Выход № 4	Выход № 2	Выход № 4	
12:15	5	-	5	5	5	5	25/625
12:20	-	2	-	-	-	-	2/50
12:30	5	2	5	-	5	-	17/425
12:40	-	2	-	-	-	-	2/50
12:45	5	-	5	5	5	5	25/625
12:50	-	2	-	-	-	-	2/50
13:00	5	2	5	-	10	-	22/550
13:10	-	2	-	-	-	-	2/50
13:15	5	-	5	5	5	5	25/625
13:20	-	2	-	-	-	-	2/50
13:30	5	2	5	-	5	-	17/425
13:40	-	2	-	-	-	-	2/50
13:45	5	-	5	5	5	5	25/625
13:50	-	2	-	-	-	-	2/50
14:00	5	2	5	-	10	-	22/550
14:10	-	2	-	-	-	-	2/50
14:15	5	-	5	5	5	5	25/625
14:20	-	2	-	-	-	-	2/50
14:30	5	2	5	-	5	-	17/425
14:40	-	2	-	-	-	-	2/50
14:45	5	-	5	5	5	5	25/625
14:50	-	2	-	-	-	-	2/50
15:00	5	2	5	-	10	-	22/550
15:10	-	2	-	-	-	-	2/50
15:15	5	-	5	5	5	5	25/625
15:20	-	2	-	-	-	-	2/50
15:30	5	2	5	-	5	-	17/425
15:40	-	2	-	-	-	-	2/50
15:45	5	-	5	5	5	5	25/625
15:50	-	2	-	-	-	-	2/50
16:00	5	2	5	-	10	-	22/550
16:10	-	2	-	-	-	-	2/50
16:15	5	-	5	5	5	5	25/625

В отдельную группу выделены периоды продолжительных выходных дней, когда количество экскурсионных групп в музее увеличивается. Объединяющим фактором для этой категории посетителей является то, что в здании со сложной и

незнакомой для экскурсантов планировкой процесс их эвакуации будет проходить организованно в нужном направлении, так как группу будет направлять гид, знакомый с пространственными особенностями музея. Для музея количество людей в группе определено 25 человек. Продолжительность обзорной экскурсии в среднем составляет 1 час 40 минут [29].

Исходя из приведенных в Таблице 4.9 данных с учетом продолжительности экскурсионного обслуживания, можно определить, что количество единовременно находящихся в Зимнем дворце экскурсантов в организованных группах в часы наибольшего количества посетителей составляет в среднем около 1500 человек.

Анализ численности посетителей в разные периоды показал, что более достоверные сведения по необходимой эвакуации людей возможно получить в период с 11 до 12 часов. Принимая во внимание, что юридических оснований для проведения учебной эвакуации у объекта на тот момент не имелось, было принято решение организовать эвакуацию людей в бесплатный для посетителей музея день в 11 часов [29].

К моменту срабатывания системы оповещения в Зимнем дворце находились 1800 посетителей, прошедших билетный контроль. Учитывая наличие среди посетителей иностранных граждан, речевое оповещение в музее проводится на русском, английском и французском языках. К проведению учебной эвакуации привлекались статисты, которые были расставлены у эвакуационных выходов для фиксации количества эвакуированных людей и времени эвакуации [29]. Из соображений безопасности и сохранности экспонатов смотрители в выставочных залах оставались на своих местах. С ними предварительно проводился инструктаж по действиям в случае пожара. В их задачу входило направлять людей к эвакуационному выходу. По путям эвакуации в музее размещены видеокамеры, с помощью которых проводилось наблюдение за поведением посетителей.

При помощи видеокамер удалось получить данные о реагировании людей на срабатывание системы оповещения о пожаре, проследить эмоциональную и поведенческую реакцию разных категорий посетителей. Было установлено, что не все посетители восприняли речевое оповещение о необходимости покинуть

здание. Музейным зрителям и сотрудникам МЧС, в соответствии с разработанными инструкциями, пришлось дополнительно указывать таким посетителям на необходимость пройти к эвакуационному выходу (Рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Скриншот видеосъемки. Сотрудники просят посетителей покинуть здание

Видеосъемка позволила убедиться в том, что основная часть посетителей и сотрудников музея спокойно и правильно отреагировала на речевое оповещение и без паники направилась к эвакуационному выходу (Рисунок 4.5).

Стоит обратить внимание на то, что эвакуация посетителей проводилась в хорошо освещенных помещениях, в условиях отсутствия ОФП и других обстоятельств, которые могут неблагоприятно повлиять на человека. В этих условиях посетители музея не проявляли панических настроений [29].



11:00:21

11:01:10

11:02:19

а

б

в

Рисунок 4.5 – Видеосъемка. Процесс эвакуации сотрудников и посетителей:
а – эвакуация сотрудников, б, в – эвакуация посетителей

Учитывая сложность планировки здания, наличие различных проходов и галерей, основная трудность, с которой столкнулись посетители, – пройти коротким путем к ближайшему выходу. Следует учитывать, что в условиях реального пожара такие факторы, как воздействия ОФП, темное время суток, неоднозначная планировка, наличие на путях эвакуации сложных участков (лестниц с количеством ступеней в одном марше более 16), могут вызывать панические реакции и влиять на время эвакуации. Неоднородность состава людей в такой ситуации тоже приводит к снижению скорости потока [29].

Общее количество эвакуированных посетителей из здания Зимнего дворца составило 1410 человек. Остальные посетители в количестве 390 человек к моменту срабатывания системы оповещения уже перешли для осмотра экспозиций в другое здание музея. Люди, испытывающие затруднения при самостоятельном передвижении, относящиеся к МГН, в период проведения учебной эвакуации на объекте камерами видеонаблюдения не зафиксированы. Сведения, собранные статистами на эвакуационных выходах, представлены в Таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Количество посетителей и время эвакуации

№ эвакуационного выхода	1	2	3	4	5	6
Время эвакуации, с	360	241	370	397	183	150
Количество эвакуированных, чел.	580	325	124	223	40	118

Сведенные в таблицу данные позволяют сделать вывод, что большая часть людей воспользовалась эвакуационными выходами №№ 1 и 2, расположенными в той части Зимнего дворца, где находится Главный вход в музей. Видеосъемка (Рисунок 4.6) показала скопление людей в вестибюле у выходов.

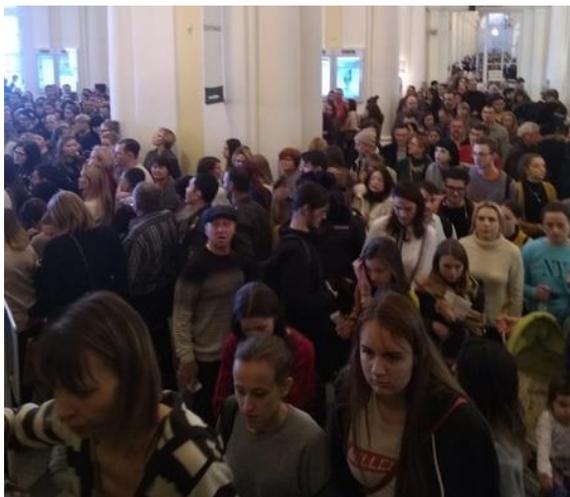


Рисунок 4.6 – Скриншот видеосъемки эвакуации посетителей через Главный вход Зимнего дворца

Процентное соотношение количества эвакуируемых через эвакуационные выходы представлено диаграммой (Рисунок 4.7).

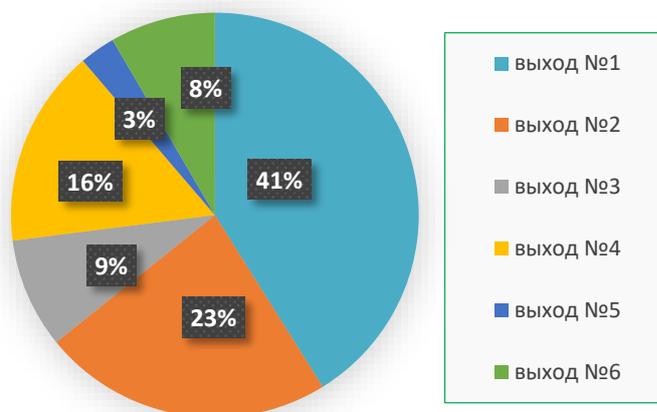


Рисунок 4.7 – Процентное соотношение количества эвакуировавшихся посетителей через эвакуационные выходы

В ходе анализа распределения количества эвакуированных посетителей по эвакуационным выходам становится очевидно, что соотношение количества людей, воспользовавшихся главным входом и остальными выходами, составляет 64% и 36% соответственно. Частично такое соотношение можно объяснить тем, что часть вошедших в здание посетителей не успела уйти в залы музея. При этом полученные с помощью камер видеонаблюдения данные позволяют

предположить, что посетителю, не знакомому с планировкой здания, для вынужденного выхода быстрее и понятнее воспользоваться тем входом, через который он зашел в здание. Это означает, что большая часть посетителей, эвакуированных через выходы №№ 1 и 2, вернулась к месту входа в музей. Неравномерная загруженность эвакуационных выходов приводит к увеличению плотности и, соответственно, времени выхода посетителей из музея. В случае реального пожара такая ситуация может привести к увечью или даже гибели людей в результате движения людского потока. Распределение людей по эвакуационным выходам на объектах защиты с массовым пребыванием необходимо продумывать заблаговременно и отрабатывать действия сотрудников на тренировках по эвакуации [118]. Особое внимание этому вопросу необходимо уделять на объектах культурного наследия, где пути эвакуации не соответствуют требованиям нормативных документов по пожарной безопасности и имеют сложную пространственную архитектуру.

Изучение затраченного на эвакуацию времени показало (Таблица 4.10), что наименьшее его значение (150 с) – у закрытого в обычные дни работы музея выхода № 6. К этому выходу посетителей привели гиды экскурсионных групп, знакомые с планировкой Зимнего дворца. Самое большое значение времени эвакуации у выхода № 4 составляет 397 с (Таблица 4.10). Это можно объяснить тем, что часть не организованных в группы посетителей к началу эвакуации уже прошли какой-то маршрут по выставочным залам. Им понадобилось больше времени, чтобы сориентироваться по знакам СОУЭ, указывающим направление движения, и пройти к ближайшему эвакуационному выходу.

Проведение учебной эвакуации позволило проверить соответствие реального времени эвакуации расчетным значениям, полученным на основе справочных и экспериментальных исходных данных в проектных сценариях пожаров. Время от начала пожара до блокирования эвакуационных путей в Таблице 4.11 представлено с учетом коэффициента безопасности 0,8.

Таблица 4.11 – 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, чел.	Время эвакуации, с	Количество эвакуированных, чел.
Выход №1						
1	[58]	955,2	369,5	157	360	580
2		955,2	816,5	778		
3		955,2	817,5	777		
4	Результаты исследования	955,2	816,5	777		
5		873,6	817,5	777		
Выход №2						
1	[58]	955,2	474,5	158	241	325
2		955,2	368	778		
3		955,2	368,25	777		
4	Результаты исследования	955,2	368	778		
5		873,6	368,25	778		
Выход №3						
1	[58]	264	171,75	230	370	124
2		955,2	751,25	770		
3		955,2	752,5	770		
4	Результаты исследования	955,2	751,25	770		
5		955,2	752,5	770		
Выход №4						
1	[58]	456	424,5	790	397	223
2		955,2	531,75	710		
3		955,2	533	710		
4	Результаты исследования	955,2	531,75	710		
5		955,2	533	710		
Выход №5						
1	[58]	304	256,2	1770	183	40
2		609,6	Эвакуация посетителей через выход в сценариях не рассматривалась			
3		504				
4	Результаты исследования	566,4				
5		873,6				
Выход №6						
1	[58]	955,2	439,75	560	150	118
2		955,2	411,75	965		
3		955,2	411,75	965		
4	Результаты исследования	955,2	411,75	965		
5		873,6	411,75	965		

Анализ Таблицы 4.11 показывает, что эмпирическое время эвакуации посетителей через выход №3 (370 с) превышает расчетное время блокирования ОФП этого выхода (264 с) и расчетное время эвакуации (171,5 с) в сценарии 1. При этом количество эвакуированных составило 124 человека, а расчетное количество – 230 человек. Прогнозирование динамики ОФП сценария 1 выполнялось на исходных данных справочной литературы [58].

Расчеты пожаров на экспериментальных исходных данных в сценариях 4 и 5 демонстрируют, что наступление предельно допустимых значений ОФП превышает эмпирическое время эвакуация людей (таблица 4.11) 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, подлежащих защите с учетом требований Российского законодательства, условия безопасной эвакуации выполняются.

Анализ проведенного исследования процесса эвакуации позволил сформулировать предложения по решению задач направленных на защиту 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 (СИЗОД), 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.

Порядок применения СИЗОД, а также места их размещения отразить в инструкциях о мерах пожарной безопасности.

3. Криволинейные лестницы на путях эвакуации оборудовать фотолюминесцентной эвакуационной системой (ФЭС).

4. На путях эвакуации в местах перепада высот менее 45 см предусмотреть устройство пандусов из негорючих материалов с уклоном в соответствии с действующими нормативными документами по пожарной безопасности. Края пандусов обозначить сигнальными знаками.

5. С учетом специфики здания (исторически принятых объёмно-планировочных и конструктивных решений) 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.

4.4. Предложения по актуализации законов, постановлений, приказов по обеспечению пожарной безопасности

Деятельность по сохранению объектов культурного наследия неразрывно связана с созданием условий по недопущению их утраты по причине пожара. С целью обеспечения пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещенными в них экспонатами по результатам проведенного исследования сформулированы предложения для актуализации нормативно-технической документации.

1. Реализованные предложения, подтвержденные актами внедрения:

– в п. 9 Правил противопожарного режима [54] Российской Федерации 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 «Системы противопожарной защиты. Перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности», утвержденных приказом МЧС России от 20.07.2020 N 539 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. Подготовленные и направленные предложения по актуализации положений Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 № 123-ФЗ сведены в Таблицу 4.12.

Таблица 4.12 – Предложения по актуализации

Положение в НПА (с указанием структурного элемента)	Предложение	Цель актуализации
<p>Раздел III. Глава 19. Статья 83. Требования к системам автоматического пожаротушения и системам пожарной сигнализации</p> <p>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:</p> <p>- Ф2.1 - театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения с трибунами, библиотеки и другие учреждения с расчетным числом посадочных мест для посетителей в закрытых помещениях;</p> <p>- Ф2.2 - музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения в закрытых помещениях.</p>	<p>Сокращение времени прибытия подразделений пожарной охраны к месту пожара на объекте культурно-исторического наследия с размещенными в нем старинными экспонатами.</p>

Окончание таблицы 4.12

Положение в НПА (с указанием структурного элемента)	Предложение	Цель актуализации
<p>Раздел VI. Глава 30. Статья 134. Требования пожарной безопасности к применению строительных материалов в зданиях и сооружениях</p> <p>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 на таких объектах подтверждается расчетами и (или) испытаниями»</p>	<p>Предотвращение изменения облика интерьера, относящегося к предмету охраны объекта культурного наследия</p>
<p>В конце таблиц 28 и 29 № 123-ФЗ от 22.07.2008 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» 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>Обеспечение физической сохранности и сохранение историко-культурной ценности художественных наборных паркетов.</p>

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

Выводы по главе 4

1. Сопоставление и сравнение результатов исследований показало, что в результате старения имеет место:

- существенное увеличение дымообразующей способности древесины лиственных пород (дуба, ясеня);
- заметно возрастает низшая теплота сгорания;

- уменьшение показателей токсичности.

2. Установлены расхождения по результатам расчетов запаса времени на эвакуацию и времени блокирования (ASET и RSET) для варианта с табличными данными и варианта с экспериментально установленными данными по характеристикам пожарной нагрузки.

3. В рамках всего Зимнего дворца разработаны требования и проведена эвакуация посетителей и сотрудников музея в условиях возникновения пожарной опасности.

4. Сравнение фактических результатов эвакуации с расчетными данными установило для ряда эвакуационных выходов заметные расхождения.

5. На основании исследования процесса эвакуации сформулированы предложения по решению задач направленных на защиту людей при пожаре в Зимнем Дворце Государственного Эрмитажа.

6. Сформулированы предложения по актуализации законов, постановлений, приказов по обеспечению пожарной безопасности.

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 разработки темы:

Необходимость сохранения зданий культурно-исторического наследия и размещенных в них экспонатов - уникальных предметов истории и культуры, является важной задачей государства. Обеспечение безопасности пребывания людей в зданиях-памятниках имеет первостепенное значение. Для решения задач объектов охранного статуса научному сообществу 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альменбаев, М.М. Пожарная опасность объектов культуры с материалами и конструкциями из древесины и лакокрасочными покрытиями : диссертация ... кандидата технических наук : 05.26.03 / Альменбаев Миржан Маратович; [Место защиты: Акад. гос. противопожарной службы МЧС России]. – Москва, 2015. – 200 с.
2. Артамонов, В.С. Интегрированная система пожарной безопасности Государственного Эрмитажа / В.С. Артамонов, А.В. Богданов // Вестник Санкт-Петербургского института ГПС МЧС России. – 2004. – № 3 (6). – С. 61-65.
3. Асеева, Р.М. Горение полимерных материалов : монография / Р.М. Асеева, Г.Е. Заиков. – М. : Наука, 1981. – 280 с.
4. Асеева, Р.М. Горение древесины и ее пожароопасные свойства : монография / Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков. – М. : АГПС, 2010. – 262 с.
5. Асеева, Р.М. Горение и пожарная опасность древесины / Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 1. – С. 19-32.
6. Беляев, С.В. Эвакуация зданий массового назначения / Проф. С. В. Беляев. – М. : Изд-во Всес. акад. архитектуры, 1938 (тип. "Известия ЦИК СССР и ВЦИК"), – 70 с.
7. Богданов, А.В. Защита мастеров требует мастерства / А.В. Богданов // Безопасность, достоверность, информация. – 1996. – № 4. – С. 10-11.
8. Богданов, А.В. О перспективах использования новых приборов 3 рубежа охраны / А.В. Богданов // Сборник материалов VII международного форума «Технологии безопасности». – Москва, 2002. – С. 142.
9. Богданов, А.В. Интегрированная система пожарно-охранной безопасности крупного музейного комплекса : на примере Государственного Эрмитажа : диссертация ... кандидата технических наук : 05.26.03 / Богданов Алексей Валентинович. – Санкт-Петербург, 2004. – 177 с.

10. Богданов, А. Насущные проблемы обеспечения пожарной безопасности объектов культурного наследия / А. Богданов, О. Сушкова // Алгоритм безопасности. – 2014. – № 5. – С. 8-11.

11. Богданов, А.В. Руководство по созданию комплексной унифицированной системы обеспечения безопасности музейных учреждений, защиты и сохранности музейных предметов. Часть I. Основы разработки безопасности музейных учреждений / А.В. Богданов, Волхонский В.В., Сушкова О.В. [и др.] // - Санкт-Петербург: Инфо-да, 2014. -196 с.

12. Богданов, А.В. Руководство по созданию комплексной унифицированной системы обеспечения безопасности музейных учреждений, защиты и сохранности музейных предметов. Часть II. Основы разработки безопасности музейных учреждений / А.В. Богданов, Волхонский В.В., Сушкова О.В. [и др.] // - Санкт-Петербург: Инфо-да, 2014. 269 с.

13. 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.

14. Бородкин, А.Н. Защита памятников истории и культуры России от пожаров / А.Н. Бородкин, С.В. Мусликова, В.И. Присадков // XVI научно-практическая конференция «Крупные пожары: предупреждение и тушение». – М. : ВНИИПО, 2001. – С. 148.

15. Брушлинский, Н.Н. Анализ основных пожарных рисков в странах мира и в России / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, М.П. Григорьева // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 2. – С. 72-80. – doi: 10.18322/PVB.2017.26.02.72-80.

16. Булгаков, В.В. Оценка распространения пожара и эвакуации людей в зданиях и сооружениях методами математического моделирования / В.В. Булгаков, А.В. Булгаков, С.Н. Серегин [и др.] // Обеспечение пожарной безопасности общественных зданий. – Балашиха : ВНИИ противопожарной обороны МЧС России, 2016. – 23 с.

17. Быков, А.В. Противопожарное состояние объектов культурно-исторического наследия Санкт-Петербурга / А.В. Быков // Тезисы докл. науч.-практ. конф. «Обеспечение пожарной безопасности на объектах культурно-исторического наследия». – СПб., 2006. – С. 1-2.

18. Визнер, Е.Ф. История отопления и электроснабжения зданий Эрмитажа : как это было / Е. Визнер. – Санкт-Петербург : Арка, 2019. – 722 с.

19. Гилетич, А.Н. Применение международных стандартов BS 7974 и ISO/TS 16733 при оценке пожарного риска / А.Н. Гилетич, Т.Ю. Еремина, Н.В. Тихонова // Пожарная безопасность. – 2013. – № 2. – С. 113-124.

20. Глинка, В.М. Новые данные о пожаре Зимнего дворца 1837 г. / В.М. Глинка // Труды Государственного Эрмитажа. – Л. : Изд-во Государственного Эрмитажа, 1959. – Т. 3. – С. 217-235.

21. ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84). Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 12.12.1989 N 3683). – Москва : Изд-во стандартов, 1990. – 143 с.

22. ГОСТ 12.1.004-91. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования (утв. Постановлением Госстандарта СССР от 14.06.1991 N 875) (ред. от 01.10.1993). – Москва : ИПК Изд-во стандартов, 1996. – 88 с.

23. ГОСТ 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть (утв. Постановлением Минстроя РФ от 04.08.1995 N 18-79). – Москва : Изд-во стандартов, 1996. – 25 с.

24. ГОСТ 30402-96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость (введен в действие Постановлением Минстроя РФ от 24.06.1996 N 18-40). – Москва : Изд-во стандартов, 1996. – 33 с.

25. ГОСТ 33106-2014 (EN 14918:2009). Межгосударственный стандарт. Биотопливо твердое. Определение теплоты сгорания. – Москва : Стандартинформ, 2015. – 44 с.

26. Дауэнгауэр, С. Защита музеев от пожара [Электронный ресурс] / С. Дауэнгауэр // Технологии защиты. – 2013. – № 4. – Режим доступа: <http://www.tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=1000&uid2=1088&uid3=1098>.

27. Еремина, Т.Ю. Сравнение подходов к построению логических деревьев событий при определении расчетных величин пожарного риска на производственных объектах и в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности / Т.Ю. Еремина, М.А. Сухотина, Н.В. Тихонова // XXIV Международная научно-практическая конференция по проблемам пожарной безопасности, посвященная 75-летию создания института : тез. докл. Ч. 1. – М. : ВНИИПО, 2012. – С. 347-351.

28. Еремина, Т.Ю. Некоторые аспекты основ подготовки методических рекомендаций по организации учебной эвакуации детей различного возраста / Т.Ю. Еремина, А. Юг // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27, № 4. – С. 6-13.

29. Еремина, Т.Ю. Исследование особенностей процесса эвакуации для объектов культурного наследия / Т.Ю. Еремина, А.В. Богданов, О.В. Сушкова [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2019. – Т.28 № 1. – С. 54-66. – doi: 10.18322/PVB.2019.28.01.54-66.

30. Еремина, Т.Ю. Экспериментальное исследование пожароопасных характеристик материалов в помещениях зданий культурно-исторического наследия / Т.Ю. Еремина, О.В. Сушкова // Пожаровзрывобезопасность. – 2021. – Т. 30. № 6. – С. 24-38. – doi: 10.22227/0869-7493.2021.30.06.24-38.

31. 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/>.

32. 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.
33. Зимин, И.В. Трагедия 1837 года и возрождение Зимнего дворца / И.В. Зимин // Зимний дворец. Люди и стены. История императорской резиденции. 1762-1917. – М. : Центрполиграф, 2012. – 480 с.
34. Кирик, Е.С. Анализ данных натуральных экспериментов пешеходного движения в прямом коридоре и их применение для тестирования программ на примере ПО «Сигма ПБ» / Е.С. Кирик, Т.Б. Витова // Пожарная безопасность. – 2020. – № 1. – С. 51-62.
35. Консервация и реставрация памятников истории и культуры. Экспресс-информация // Проблемы безопасности музеев, музейных и библиотечных фондов. Вып. 1. – М. : Российская государственная библиотека, 1994. – С. 9.
36. Королев, Д.С. Применение комплекса мероприятий для обеспечения выполнения одного из условий соответствия объекта защиты требованиям пожарной безопасности / Д.С. Королев, С.Н. Волкова, Б.Х. Мижев // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2018. – Т. 1. – С. 431-433.
37. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник: в 2-х частях / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Асс. «Пожнаука», 2004. – Ч. I. – 713 с.
38. Корольченко, А.Я. Категорирование помещений и зданий по взрывопожарной и пожарной опасности / А.Я. Корольченко, Д.В. Загорский. – М. : Пожнаука, 2010. – 118 с.
39. Кошмаров, Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие / Ю.А. Кошмаров. – М. : Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.
40. Лазарев, А.А. Новый подход к контролю уровня противопожарной защиты музейных объектов / А.А. Лазарев, Б.Х. Мижев // Проблемы обеспечения

безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – Т. 1. – С. 380-382.

41. Литвинцев, К.Ю. Расчетно-аналитический комплекс «Сигма ПБ» по моделированию развития пожара и эвакуации / К.Ю. Литвинцев, Е.С. Кирик, А.А. Дектерев [и др.] // Пожарная безопасность. – 2016. – № 4. – С. 51-59.

42. Луков, А.В. Комплексная оценка зданий-памятников истории и культуры на рынке недвижимости / А.В. Луков, И.Л. Владимирова, В.В. Холщевников. – М. : Изд-во АСВ, 2006. – 341 с.

43. Макарова, Н.В. Пожарная безопасность в музее / Н.В. Макарова, Г.И. Сметанкина, О.В. Дорохова // Экономика и социум. – 2018. – № 12(55). – С. 1672-1674.

44. Макарова, Н.В. Пожарная безопасность в учреждениях культуры / Н.В. Макарова, Г.И. Сметанкина, О.В. Дорохова // Мирская наука. – 2018. – № 12 (21). – С. 286-288.

45. Милинский, А.И. Исследование процесса эвакуации зданий массового назначения : диссертация ... кандидата технических наук / А.И. Милинский. – МИСИ, 1951. – 177 с.

46. Мишечкина, А.В. Обеспечение норм пожарной безопасности музейно-выставочных объектов на примере МБУК «Сургутский краеведческий музей» / А.В. Мишечкина // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 1-1 (69). – С. 206-211.

47. Муслакова, С.В. Обеспечение пожарной безопасности объектов культуры / С.В. Муслакова, В.И. Присадков // Международная конференция «Сопряженные задачи механики и экологии». – Томск, 2000. – С. 159-160.

48. Муслакова, С.В. Совершенствование противопожарной защиты музейных объектов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.26.03 / Муслакова Светлана Витальевна. – Москва, 2002. – 212 с.

49. 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>

50. Никонов, С.А. Разработка рекомендаций по моделированию движения людских потоков в зданиях и организация оповещения при пожаре : диссертация ... кандидата технических наук : 05.26.01 / Никонов Сергей Александрович. – Москва, 1985. – 321 с.

51. Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации : федеральный закон РФ от 25.06.2002 № 73-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 2002. – № 26. – Ст. 2519.

52. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности : Приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382.

53. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах : Приказ МЧС РФ от 10.07.2009 N 404.

54. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации : Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 N 1479 // Собрание законодательства РФ. – 2020. – № 39. – Ст. 6056.

55. Подставка, С.А. Системы связи и оповещения при пожарах / С.А. Подставка, А.Ю. Даржания // Вестник НЦБЖД. – 2012. – № 1 – С. 121-124.

56. Пожароопасность веществ и материалов и средства их тушения : Справочное издание: в 2-х книгах. Кн. 1 / А.Н. Баратов, А.Я. Корольченко, Г.Н. Кравчук и др. – М. : Химия, 1990. – 496 с.

57. Покровская, Е.Н. Термическая устойчивость древесины различной длительности эксплуатации / Е.Н. Покровская, И.И. Пищик, Н.В. Смирнов [и др.] // Строительные материалы. – 2000. – № 9. – С. 34-35.

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

59. Поспелова, А.В. Особенности внедрения комплексной системы пожарной безопасности на объектах культуры / А.В. Поспелова // Пожарная и

аварийная безопасность: сб. материалов XIII Междунар. научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности, Иваново, 29–30 ноября 2018. – Иваново : Федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РФ», 2018. – С. 203-206.

60. Предтеченский, В.М. Проектирование зданий с учетом организации движения людских потоков : [Учеб. пособие для строит. спец. вузов] / В. М. Предтеченский, А. И. Милинский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1979. – 375 с.

61. Присадков, В.И. Требуемый уровень пожарной безопасности музеев — объектов культурного наследия / В.И. Присадков, Т.Ю. Еремина, О.В. Сушкова [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27, № 4. – С. 42-49. – doi: 10.18322/PVB.2018.27.04.42-49.

62. Присадков, В.И. Обзор международных нормативных документов, регламентирующих правила пожарной безопасности для объектов исторического и культурного наследия / В.И. Присадков, Т.Ю. Еремина, О.В. Сушкова [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27, № 5. – С. 7-16. – doi: 10.18322/PVB.2018.27.05.7-16.

63. Самошин, Д.А. Расчет времени эвакуации людей. Проблемы и перспективы / Д.А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – № 1. – С. 57-69.

64. Самошин, Д.А., Холщевников, В.В. Проблемы нормирования времени начала эвакуации / Д.А. Самошин, В.В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 5. С. 37-51. – doi: 10.18322/PVB.2016.25.05.37-51.

65. Самошин, Д.А. Методологические основы нормирования безопасной эвакуации людей из зданий при пожаре : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.26.03 / Самошин Дмитрий Александрович; [Место защиты: Акад. гос. противопожарной службы МЧС России]. – Москва, 2017. – 48 с.

66. Сивенков, А.Б. Тепловыделение при горении древесины / Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков [и др.] // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2003. – № 5 (30). – С. 74-79.

67. Сивенков, А.Б. Выделение дыма при термическом разложении и горении древесины / Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков [и др.] // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2004. – № 2 (30). – С. 99-103.

68. Сивенков, А.Б. Влияние срока эксплуатации жилых нежилых деревянных строений на пожароопасные свойства древесины / А.Б. Сивенков, Н.И. Тарасов, Т.С. Алексеева // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2010. – № 2. – С. 27-35.

69. Сивенков, А.Б. Влияние продолжительности эксплуатации древесины на ее пожарную опасность / А.Б. Сивенков, Н.И. Тарасов, Е.Ю. Круглов [и др.] // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. – 2011. – Т. 1, № 1. – С. 55-60.

70. Сивенков, А.Б. Влияние физико-химических характеристик древесины на ее пожарную опасность и эффективность огнезащиты : автореферат дис. ... доктора технических наук : 02.00.06 / Сивенков Андрей Борисович; [Место защиты: Ин-т хим. физики им. Н.Н. Семенова РАН]. – Москва, 2015. – 48 с.

71. Сивенков, А.Б. Физико-химические основы горения и пожарная опасность древесины (часть 1) [Электронный ресурс] / Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков // Технологии техносферной безопасности. – 2011. – № 6. – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2011-6>.

72. Сивенков, А.Б. Характеристики тепловыделения при горении древесины / Р.М. Асеева, С.Л. Барботько, Е.Ю. Круглов [и др.] // Материалы международной научно-практической конференции «Новые материалы и технологии глубокой переработки сырья – основа инновационного развития экономики России». – М. : ВИАМ, 2012. – С. 86-88.

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

74. Слюсарев, С.В. Параметры движения маломобильных детей для определения расчетного времени эвакуации из зданий с их массовым пребыванием / С.В. Слюсарев, Д.А. Самошин // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25, № 4. – С. 43–55. – doi: 10.18322/PVB.2016.25.04.43-55.

75. Соловьев, К.А. Русский художественный паркет / К.А. Соловьев. – М. : Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1953. – 223 с.

76. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности / М-во РФ по делам гражд. обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. – Москва : М-во РФ по делам гражд. обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2009. – 26 с.

77. СП 7.13130.2013. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Требования пожарной безопасности (утв. Приказ МЧС России от 21.02.2013 N 116) (ред. от 12.03.2020). – Москва : Проспект, 2016. – 43 с.

78. СП 64.13330.2017. Свод правил. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 (утв. Приказом Минстроя России от 27.02.2017 N 129/пр) (ред. от 23.12.2021). – Москва : Проспект, 2017. – 97 с.

79. СП 1.13130.2020. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (утв. Приказ МЧС России от 19.03.2020 N 194). – Москва : Проспект, 2020. – 65 с.

80. СП 484.1311500.2020. Свод правил. Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования (утв. Приказ МЧС России от 31.07.2020 N 582). – Москва : Проспект, 2020. – 28 с.

81. Ставнов, В.В. Новый подход к контролю уровня противопожарной защиты музейных объектов / В.В. Ставнов, В.И. Присадков, С.В. Мушлакова // XIII Научно-практическая конференция «Пожарная безопасность». – М. : ВНИИПО, 1995. – С. 286-288.

82. Сушкова, О. Эрмитаж: вопросы обеспечения пожарной безопасности / О. Сушкова, А. Богданов // Безопасность зданий и сооружений. – 2017. – № 1. – С. 218-221.
83. Сушкова, О. Наследию особые права / О. Сушкова // РУБЕЖ. – 2019. – № 1 (33). – С. 88-91.
84. Сушкова, О. «Эрмитаж» пожарной безопасности / О. Сушкова // РУБЕЖ. – 2019. – № 2 (33). – С. 96-1001.
85. Сушкова, О. Как устроена система обеспечения пожарной безопасности крупнейшего музея искусств России / О. Сушкова // РУБЕЖ. – 2019. – № 2 (34). – С. 39-43.
86. Сушкова, О.В. Экспериментальное определение пожароопасных свойств материалов, примененных на путях эвакуации в зданиях культурного наследия [Электронный ресурс] / О.В. Сушкова // Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях: сб. докладов Всероссийской научно-практической конф. (Москва, 10-11 ноября 2021) / Минобрнауки РФ, Национальный исследовательский Московский гос. ун-т, Институт гидроэнергетического стр-ва, кафедра комплексной безопасности в строительстве. – М. : Изд-во МИСИ – МГСУ, 2021. – Режим доступа: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>.
87. Сушкова О.В. Проблемные вопросы эвакуации музейных ценностей и коллекций при пожаре // Системы безопасности. -2021. – № 3 (15). - С.82-83
88. Сушкова, О. Эрмитаж: ориентир на надежность и долговечность / О. Сушкова // Безопасность зданий и сооружений. – 2021. – №2 (22). - С.38 – 40.
89. Сушкова О. Пожарная безопасность музеев и хранилищ. Методические разработки / О. Сушкова // Системы безопасности. -2022. - №2 (164). С.98-100.
90. Сушкова, О. Пожарная безопасность музеев и хранилищ. Методические разработки. Часть 2 / О. Сушкова // Системы безопасности. -2022. - №3 (165). С.122-123

91. Танклевский, Л.Т. О возможности оптимизации движения эвакуирующихся из многоэтажных зданий / Л.Т. Танклевский, С.П. Юн, А.А. Таранцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2005. – Т 14, № 1. – С. 53-55.

92. Таранцев, А.А. Определение расчётного времени эвакуации смешанного потока людей / А.А. Таранцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15, № 6. – С. 52-101.

93. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений : Федеральный закон РФ от 30.12.2009 N 384-ФЗ // Российская газета. – 2009. – 31 декабря.

94. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : федеральный закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ // Собрание законодательства РФ. – 2008. – № 30. – Ст. 3579.

95. Хазова, Н. К вопросу о нормативах по противопожарной защите современных объектов культуры / Н. Хазова // Алгоритм безопасности. – 2012. – № 4. – С. 46-48.

96. Хоанг, Т.Д. Выбор системы оповещения и управления эвакуацией при пожаре / Т.Д. Хоанг, А.Я. Корольченко // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22, № 1. – С. 69-75.

97. Холщевников, В.В. Людские потоки в зданиях, сооружениях и на территории их комплексов : диссертация ... доктора технических наук : 05.23.10 / Холщевников Валерий Васильевич. – Москва, 1983. – 486 с.

98. Холщевников, В.В. Эвакуация и поведение людей при пожарах / В.В. Холщевников, Д.А. Самошин. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2009. – 212 с.

99. Шариков, А.Ф. Особенности проектирования систем оповещения и управления эвакуацией для торгово-развлекательных комплексов / А.Ф. Шариков // Технологии техносферной безопасности. – 2009. – № 3. – С. 3.

100. Шархун, С.В. Средства оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре на основе сетевых технологий / С.В. Шархун // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 2. – С. 630-660.

101. Шевчук, А.П. Количественная оценка пожарного риска / А.П. Шевчук, В.И. Присадков // Юбилейный сборник трудов ВНИИПО МВД России. – М. : ВНИИПО, 1997. – С. 259-269.
102. Шидловский, Г.Л. Прогнозирования ЧС в культовых зданиях и сооружениях / Г.Л. Шидловский // VIII Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы прогнозирования ЧС». – СПб. : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2008.
103. Шидловский, Г.Л. Моделирование управления эвакуацией людей из культовых зданий при чрезвычайных ситуациях : на примере Православных храмов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.13.10 / Шидловский Григорий Леонидович; [Место защиты: С.-Петербур. гос. ун-т ГПС МЧС России]. – Санкт-Петербург, 2013. – 144 с.
104. Якуш, С.Е. Анализ пожарных рисков. Часть I: Подходы и методы / С.Е. Якуш, Р.К. Эсманский // Проблемы анализа риска. – 2009. – Т. 6. № 3. – С. 8-27.
105. An, Z. Chinese historic buildings fire safety and countermeasure / Z. An, B. Liu // Procedia Engineering. – 2013. – Vol. 52. – P. 23-26.
106. Bernardini, G. Conclusions and prospects / G. Bernardini // Fire safety of historical buildings. – Springer's advantages in applied sciences and technologies, 2017. – P. 105-109. – doi: 10.1007/978-3-319-55744-1_5.
107. Brunner, J. Safe evacuation for students with disabilities / J. Brunner, D. Lewis // Principal Leadership. – 2004. – Vol. 5, № 4. – P. 65-66.
108. Bryan, H. Creating an effective fire evacuation plan [Электронный ресурс] / H. Bryan // Articles Factory. – Режим доступа: <http://www.articlesfactory.com/articles/business/creating-an-effective-fire-evacuation-plan.html>.
109. Chixiang, M. Analysis of performance-based fire safety evacuation in a college library / M. Chixiang, S. Baotie, S. Shimei [et al.] // Procedia engineering. – 2012. – Vol. 43. – P. 399-406.

110. Claret, A.M. Fire load survey of historic buildings: a case study / A.M. Claret, A.T. Andrade // *Journal of fire protection engineering*. – 2007. – Vol. 17, № 2. – P. 103-112. – doi: 10.1177/1042391506064912.
111. Iringová, A. Solution of fire protection in historic buildings / A. Iringová, R. Idunk // *Civil and environmental engineering*. – 2016. – Vol. 12, № 2. – P. 84-93.
112. Huang, D. Recent progresses in research of fire protection on historic buildings / D. Huang, L. Li, H. Zhang [et al.] // *Journal of Applied Fire Science*. – 2009. – Vol. 19, № 1. – P. 63-81. – doi: 10.2190/AF.19.1.d
113. Fire protection in historical buildings and museums. Detection, alarming, evacuation, extinguishing. – Siemens Switzerland Ltd., Building Technology Division, 2015. – 48 p.
114. Heliövaara, S. Computational models for human behavior in fire evacuations / S. Heliövaara. – Helsinki : Helsinki University of Technology, 2007. – 85 p.
115. Hoffmann, N. Human touch / N. Hoffmann, P. Steenbakkens // *Fire Prevention Magazine and Fire Engineers Journal*. – 2005. – Vol. 65, № 253. – P. 18-19.
116. Kirik, E. Fundamental diagram as a model input – direct movement equation of pedestrian dynamics / E. Kirik, A. Malyshev // *Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012* / U. Weidmann [et al.] (eds.). – Springer International Publishing, Switzerland, 2014. – doi: 10.1007/978-3-319-02447-9_1.
117. Kirik, E. A conjunction of the discrete-continuous pedestrian dynamics model sigmaeva with fundamental diagrams / E. Kirik, T. Vitova, A. Malyshev [et al.] // *Parallel Processing and Applied Mathematics: 13th International Conference, PPAM 2019, Bialystok, Poland, September 8–11, 2019, Revised Selected Papers, Part II 13*. – Springer International Publishing, 2020. – P. 457-466.
118. Kirik E. Fire safety in museums: simulation of fire scenarios for the development of control evacuation schemes from the Hermitage Winter Palace / E. Kirik A., Bogdanov, O. Sushkova [et al.] // *Collection Buildings and Fire Safety / Buildings Journal*. - Vol. 12 (10), 1546. - doi: 10.3390/buildings12101546
119. National Park Service Museum Management Program [Электронный ресурс] // *NPS Museum Handbook, Part I, Chapter 9: Museum Fire Protection*. – 2019.

– Режим доступа: https://zbook.org/read/1049f3_museum-handbook-part-i-chapter-9-museum-fire-protection.html

120. Proulx, G. A stress model for people facing a fire / G. Proulx // *Journal of Environmental Psychology*. – 1993. – Vol. 13, № 2. – P. 137-147. – doi: 10.1016/s0272-4944(05)80146-x.

121. Suresh, N. Fire Loads in heritage buildings / N. Suresh // *DHARANA-Bhavan's International Journal of Business*. – 2015. – Vol. 9, № 1. – P. 17-21.

122. Thauvoye, C. Fire load survey and statistical analysis / C. Thauvoye, B. Zhao, J. Klein [et al.] // *Fire Safety Science*. – 2008. – Vol. 9. – P. 991-1002. – doi: 10.3801/IAFSS.FSS.9-991.

123. Thompson, P. Evacuation models are running out of time / P. Thompson, D. Nilsson, K. Boyce [et al.] // *Fire Safety Journal*. – 2015. – Vol. 78. – P. 251-261. – doi: 10.1016/j.firesaf.2015.09.004.

124. Thompson, P.A. A computer model for the evacuation of large building populations / P.A. Thompson, E.W. Marchant // *Fire Safety Journal*. – 1995. – Vol. 24, № 2. – P. 131-148. – doi: 10.1016/0379-7112(95)00019-p.

125. Tsui, F.S.C. Fire safety design for heritage buildings in Hong Kong / F.S.C. Tsui, W.K. Chow // *Fire Safety Science*. – 2007. – Vol. 7. – P. 102-102.

126. Yoon Thomas. Fire evacuation drill with a difference [Электронный ресурс] // *Articles Factory*. – Режим доступа: <http://www.articlesfactory.com/articles/technology/fire-evacuation-drill-with-a-difference.html>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

А.1 Экспериментальное оборудование для исследования методом термического анализа, совмещенным с ИК-спектроскопией



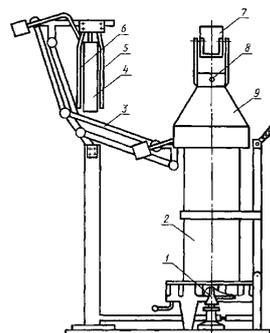
а)



б)

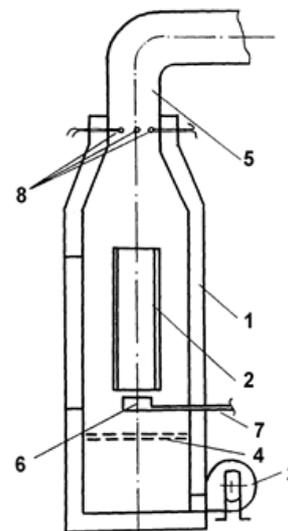
а) синхронный термический анализатор STA 6000; б) ИК-Фурье спектрометр

А.2 Универсальная установка для определения группы трудногорючих и горючих веществ, материалов и огнезащитных свойств покрытий и пропиточных составов для обработки древесины



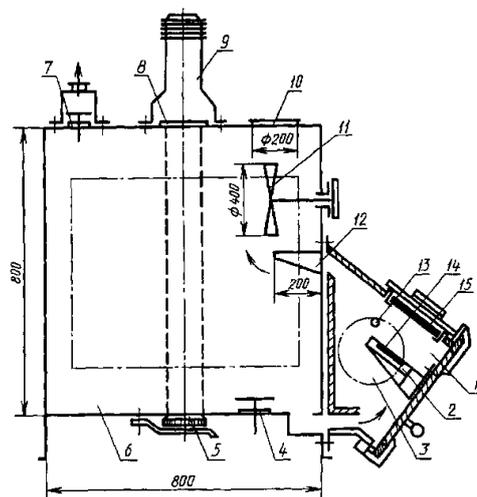
1 – горелка; 2 – реакционная камера; 3 – механизм ввода образца;
4 – образец; 5, 6 – держатели образца; 7 – зеркало; 8 – термоэлектрический преобразователь; 9 – зонд

А.3 Установка для определения группы горючести материалов



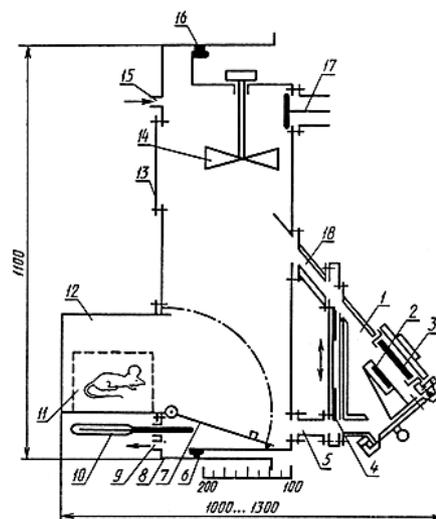
1 – камера сжигания; 2 – держатель образца; 3 – вентиляционная система;
4 - диафрагма; 5 – дымоход; 6 – газовая горелка; 7 – газопровод; 8 – термопары

А.4 Установка для определения коэффициента дымообразования



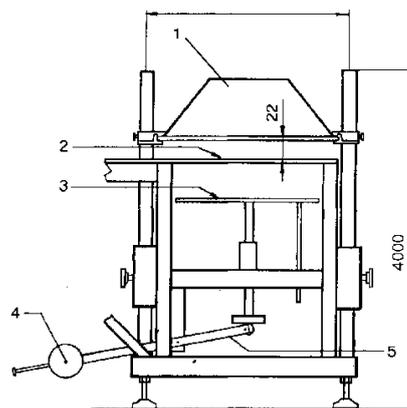
1 – камера сгорания; 2 – держатель образца; 3 – окно из кварцевого стекла; 4, 7 – клапаны продувки; 5 – приемник света; 6 – камера измерений; 8 – кварцевое стекло; 9 – источник света; 10 – предохранительная мембрана; 11 – вентилятор; 12 – направляющий козырек; 13 – запальная горелка; 14 – вкладыш; 15 – электронагревательная панель

А.5 Испытательная установка для определения токсичности продуктов горения полимерных материалов «ТПГ»



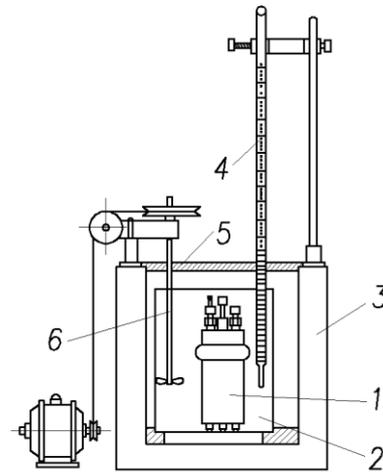
1 – камера сгорания; 2 – держатель образца; 3 – электронагревательный излучатель; 4 – заслонки; 5, 18 – переходные рукава; 6 – стационарная секция экспозиционной камеры; 7 – дверца предкамеры; 8 – подвижная секция экспозиционной камеры; 9, 15 – штуцеры; 10 – термометр; 11 – клетка для подопытных животных; 12 – предкамера; 13 – предохранительная мембрана; 14 – вентилятор; 16 – резиновая прокладка; 17 – клапан продувки

А.6 Установка для испытания материалов на воспламеняемость



1 – радиационная панель, 2 – защитная плита, 3 – подвижная платформа, 4 – противовес, 5 – рычаг, 6 – вытяжной зонт

А.7 Калориметрическая установка



1 – калориметрическая бомба, 2– калориметр, 3 – наружная оболочка, 4 – термометр, 5 – крышка, 6 – мешалка с приводом

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ

АКТ

внедрения результатов исследований, полученных при выполнении диссертационной работы на тему: «Обеспечение пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов» Сушковой Ольги Владимировны

Настоящий акт подтверждает внедрение результатов диссертационной работы Сушковой Ольги Владимировны при разработке следующих нормативных правовых актов и нормативных документов по пожарной безопасности:

1. Правила противопожарного режима в Российской Федерации, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации 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.

2. Свод 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», утвержденный 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.

Заместитель директора Департамента
надзорной деятельности и
профилактической работы МЧС России



А.А. Макеев



Невское отделение
 Санкт-Петербургского
 городского отделения
 Общероссийской общественной
 организации
**«Всероссийское добровольное
 пожарное общество»**
 193148, Санкт-Петербург,
 Елизарова пр-кт, дом № 34, лит. Л, оф.357
 тел/факс:456-71-33

АКТ

о внедрении результатов диссертации Сушковой О.В. «Обеспечение пожарной безопасности зданий культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов»

Настоящий акт составлен в том, что результаты диссертационной работы начальника Сектора пожарной безопасности Государственного Эрмитажа Сушковой О.В. использованы при разработки Специальных технических условий, по обеспечению пожарной безопасности при приспособлении зданий культурно-исторического наследия к современному использованию:

- Зимнего Дворца, расположенного по адресу: г. Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, д.38 лит. А;
- Малого Эрмитажа, расположенного по адресу: г. Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, д.36 лит. А;
- Большого Эрмитажа, расположенного по адресу: г. Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, д.34 лит. А;
- Дворца А.Д. Меншикова, расположенного по адресу: г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д.15 лит. А.

Председатель совета
 Невского отделения ВДПО



/Юдин Д.В./