

## Экспериментальное исследование пожароопасных характеристик материалов в помещениях зданий культурно-исторического наследия

Татьяна Юрьевна Еремина<sup>1</sup>, Ольга Владимировна Сушкова<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Государственный Эрмитаж, г. Санкт-Петербург, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В настоящее время многие объекты культурного наследия стали многофункциональными зданиями, в которых обеспечивается сохранение архитектурных и конструктивных решений, не всегда соответствующих требованиям действующих норм пожарной безопасности. На таких объектах с массовым пребыванием людей должна обеспечиваться безопасная эвакуация при пожаре. Для выявления характеристик пожарной опасности материалов, способных влиять на безопасную эвакуацию людей в помещениях зданий культурного наследия, необходимо проведение экспериментальных исследований.

**Цели и задачи.** Исследование термической деструкции исторических материалов, состаренных в естественных эксплуатационных условиях. Анализ данных по газообразным продуктам термодеструкции старинных материалов для определения их влияния на формирование опасных факторов пожара.

**Методы исследования.** С целью получения достоверных исходных данных, необходимых для моделирования динамики опасных факторов пожара (ОФП) при расчете времени блокирования путей эвакуации Зимнего дворца, были проведены экспериментальные исследования по определению показателей пожарной опасности древесины различных пород и возраста, используемой в исторических изделиях и конструкциях при эксплуатации здания.

Определение пожароопасных свойств образцов древесины проводилось при поддержке испытательной лаборатории НИЦ «ПБ» ИКБС НИУ МГСУ. Исследования методами термического анализа, совмещенными с ИК-спектроскопией, проводились при поддержке лаборатории ФГБУ «СЭУ ФПС ИПЛ» по г. Санкт-Петербургу.

**Результаты и их обсуждение.** Анализ результатов экспериментов материалов показал, что при термодеструкции исследуемых образцов, независимо от возраста и вида древесины, наряду с выделением диоксида углерода, в определенный для каждого образца температурный промежуток происходит выделение уксусной кислоты, влияющей на параметры пожароопасности материалов.

**Выводы.** Проведенные впервые в России исследования продуктов термодеструкции показали необходимость учета состава газообразных продуктов, выделяемых историческими материалами в результате термического разложения, при определении расчетных величин пожарного риска. Полученные уточненные исходные данные, необходимые для моделирования динамики опасных факторов пожара (ОФП) при расчете времени блокирования путей эвакуации Зимнего дворца, могут быть использованы и на ряде других культурно-исторических объектов для обеспечения пожаробезопасности.

**Ключевые слова:** объекты культурного наследия; массовое пребывание людей; термодеструкция; горючесть; опасные факторы пожара

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект #FSWG-2020-0007).*

**Для цитирования:** Еремина Т.Ю., Сушкова О.В. Экспериментальное исследование пожароопасных характеристик материалов в помещениях зданий культурно-исторического наследия // Пожаровзрывобезопасность/ Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 6. С. 24–38. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.06.24-38

✉ Сушкова Ольга Владимировна, e-mail: sushkova.ov@hermitage.ru

## An experimental study on flammability characteristics of materials on the premises of buildings of cultural and historical heritage

Tatyana Yu. Eremina<sup>1</sup>, Olga V. Sushkova<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> The State Hermitage Museum, Saint Petersburg, Russian Federation

## ABSTRACT

**Introduction.** Many cultural heritage sites have been converted into multifunctional buildings, which preserve original architectural and structural solutions but fail to comply with effective fire safety standards in many instances. In the event of fire, safe evacuation must be organized from the facilities, that may accommodate a large number of people at a time. Experimental studies are needed to identify the flammability characteristics of materials that can affect safe evacuation from cultural heritage premises.

**Goals and objectives.** The co-authors suggest a study on the thermal destruction of historical materials, that have been aging in natural operating conditions. The analysis of gaseous products, emitted in the process of thermal destruction, is performed to identify the influence of ancient materials on formation of hazardous fire factors.

**Research methods.** Experimental studies were carried out to determine the fire hazard indicators for various types of wood, used in the operation of the building, to obtain the reliable initial data, necessary to simulate the dynamics of hazardous fire factors (OFF) when calculating the time to the blocking of escape routes from the Winter Palace.

Flammability properties of wood samples was identified with the support of the testing laboratory of the PB Research Centre at IKBS NRU MGSU. The studies, conducted using thermal analysis methods combined with IR spectroscopy, were carried out with the support from the laboratory of the Federal State Budgetary Institution "SEU FPS IPL" in St. Petersburg.

**Results and discussion.** The analysis of the results of experiments on materials, has proven that during the thermal destruction of the test samples, regardless of the age and type of wood, acetic acid is released within a certain temperature interval for each sample along with the release of carbon dioxide, and it affects the parameters of fire hazard characteristics of materials.

**Conclusions.** For the first time in Russia, products of thermal destruction of historical materials have been investigated. The data presented in the article illustrate the need for a further study on gaseous products emitted by historical materials during thermal decomposition. The data obtained by the co-authors can be used to determine the calculated values of the fire risk.

**Keywords:** items of cultural heritage; mass presence of a large number of people; thermal destruction; flammability; fire hazards

*This work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project # FSWG-2020-0007).*

**For citation:** Eremina T.Yu., Sushkova O.V. An experimental study on flammability characteristics of materials on the premises of buildings of cultural and historical heritage. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(6):24-38. DOI: 10.22227/0869-7493.2021.30.06.24-38 (rus).

✉ Olga Vladimirovna Sushkova, e-mail: sushkova.ov@hermitage.ru

## Введение

С целью обеспечения пожарной безопасности выставочных залов, музеев и фондохранилищ в Российской Федерации и их экспонатов определяются задачи, связанные с экспериментальным исследованием пожароопасных характеристик материалов в помещениях здания культурно-исторического наследия.

Результатом экспериментальных исследований является оценка термодеструкции образцов. Для достижения данной цели необходимо:

- провести анализ нормативных требований пожарной безопасности к объектам культурного наследия;
- изучить данные по пожарам в выставочных залах, музеях и фондохранилищах в России за период последних 20 лет;
- выбрать методы термического анализа;
- произвести отбор образцов материалов и исследовать их пожароопасные характеристики.

Для обеспечения пожарной безопасности выставочных залов, музеев и фондохранилищ в РФ и их экспонатов необходимо проанализировать проблемные вопросы [1, 2], а также вопросы, связанные с экспериментальным исследованием пожароопас-

ных характеристик материалов в помещениях здания культурно-исторического наследия.

Так, например, к объектам культурного наследия (памятникам истории и культуры) народов Российской Федерации Федеральный закон № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации»<sup>1</sup> относит объекты недвижимого имущества (включая объекты археологического наследия) и иные объекты с исторически связанными с ними 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 законом № 73-ФЗ регламентиру-

<sup>1</sup> Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон № 123-ФЗ от 22 июля 2008 г. : принят Государственной Думой 4 июля 2008 г. ; одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г.

ются сохранение, использование и государственная охрана объектов культурного наследия.

Однако общие требования пожарной безопасности к объектам защиты установлены только Федеральным законом «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» № 123-ФЗ<sup>2</sup>.

В соответствии с Федеральным законом № 123-ФЗ, к зданиям культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов относятся объекты с различным классом функциональной пожарной опасности:

- 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 № 123-ФЗ, за исключением объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народов Российской Федерации религиозного назначения, требования пожарной безопасности к которым устанавливаются соответствующим нормативным документом по пожарной безопасности [3].

Однако в ряде случаев положения этих федеральных законов и нормативные правовые акты, издаваемые на основе и во исполнение этих законов, на рассматриваемых объектах защиты не согласуются между собой.

Если говорить конкретно, объекты культурного наследия ранней постройки объективно не могут соответствовать современным требованиям пожарной безопасности. Поэтому на практике не всегда представляется возможным обеспечить соблюдение нормативных требований в части соответствия примененных строительных материалов [2, 4–8].

Как правило, здания культурно-исторического наследия с размещением в них старинных экспонатов относятся к объектам с массовым пребыванием людей [9]. Пожарная безопасность в зданиях и сооружениях, согласно нормативной документации Российской Федерации, основывается на соблюдении условия возможности безопасной эвакуации людей из зданий до момента блокирования путей эвакуации опасными факторами пожара. Распространение опасных факторов пожара приводит

к блокированию путей эвакуации по причине снижения видимости в дыму, а также достижения критических значений концентрации токсичных продуктов термического разложения. В связи с этим актуальным является экспериментальное исследование пожароопасных характеристик материалов в помещениях здания культурно-исторического наследия [10–11].

При этом подобные объекты являются достаточно пожароопасными и предусматривают массовое пребывание людей [12–14]. Для примера рассмотрим наиболее характерные пожары, которые произошли в России в выставочных залах, музеях и фондохранилищах на протяжении последних 20 лет (табл. 1) и послужили причиной массового уничтожения исторических ценностей, а также значительного материального ущерба.

Представленные в табл. 1 данные свидетельствуют о том, что даже самые незначительные возгорания (пожары) могут привести не только к значительному материальному ущербу имущества музеев, но и к травмированию и гибели людей.

## Материалы и методы

Необходимо подчеркнуть, что многие объекты — памятники культуры были построены более 100 лет назад. Одним из традиционных строительных материалов того времени служило дерево, в связи с этим для проведения исследований были отобраны образцы древесины различных пород и возраста.

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

Реставрация наборного паркета предусматривает воссоздание поврежденных участков. Замена не пригодных к эксплуатации деталей художественного паркета производится соответствующими оригиналу заготовками, с точным повторением породы дерева, примененного в первоначальном художественном решении паркета. Влажность используемой древесины соответствует влажности древесины существующего паркетного пола (рис. 1).

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

Исторический пол монтировался после пожара в середине XIX в. (1840–х гг.). 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,

<sup>2</sup> Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон № 123-ФЗ от 22 июля 2008 г. : принят Государственной Думой 4 июля 2008 г. ; одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 г.

**Таблица 1.** Пожары в музеях, выставочных залах, фондохранилищах  
**Table 1.** Fires in museums, exhibition halls, storage facilities

Дата Date	Объект An object	Краткое описание Facility summary
14.03.2004	<b>Манеж, г. Москва</b> Здание построено в 1817 г. С 1957 г. Манеж использовался для проведения выставок, концертов и других публичных мероприятий <b>Manezh, Moscow</b> Since 1957, it has been used as an exhibition and concert hall, as well as a venue for public events	Пожар произошел вследствие короткого замыкания. Полностью сгорели 92 картины современных и театральных художников. После пожара от здания остались только стены A short circuit caused fire. 92 paintings by contemporary and theatrical artists were completely burned down. After the fire, only building walls were left
19.02.2004	<b>Библиотека им. Александра Блока, г. Санкт-Петербург</b> Библиотека располагается в здании, построенном для Голландской церкви. Памятник архитектуры XIX в. регионального значения <b>The Alexander Blok library, St. Petersburg</b> The library is located in the structure built for the Dutch Church. It is a 19th century architectural monument of regional importance	Очаг возник в помещении картотеки. Пожаром было уничтожено 2,5 тыс. м <sup>2</sup> . Горели все этажи трехэтажного дома и помещения на чердаке. Из здания было эвакуировано 86 чел. The fire seat was in a file cabinet. The fire destroyed 2,500 m <sup>2</sup> . All the floors of a 3-storey building and premises in the attic were on fire. 86 persons were evacuated from the building
20.04.2004	<b>Политехнический музей, г. Москва</b> Музей был учрежден в 1872 г. по указу Александра II. Здание, построенное в стиле классицизма, охраняется государством <b>Polytechnic Museum, Moscow</b> The museum was founded in 1872 by order of Alexander II. The building, built in the classicism style, is protected by the state	Пожар произошел вследствие короткого замыкания. Горели отдел на втором этаже, перегородки второго и третьего этажей четырехэтажного здания. Из здания было эвакуировано 1600 чел., один человек пострадал A short circuit caused the fire. A department on the 2nd floor, partitions of the second and third floors of a four-story building were on fire. 1,600 persons were evacuated from the building; one person was injured
24.04.2004	<b>Дом-музей композитора Петра Ильича Чайковского, г. Клин, Московская область</b> Музей был открыт в 1894 г. в доме, в котором великий композитор провел последние годы <b>House-Museum of composer Pyotr Ilyich Tchaikovsky. Klin, Moscow region</b> The museum was opened in 1894 in the house where the great composer spent his last years	Причиной пожара послужило проведение пожароопасных работ при реставрации наружной стены деревянного здания. В результате проводимой эвакуации экспонатов значительно пострадали предметы из музейной коллекции The fire was caused by fire hazardous works during the restoration of an external wall of a wooden building. As a result of the evacuation of exhibits, articles from the museum collection were significantly damaged
22.06.2016	<b>Музейно-выставочный центр, г. Железногорск Красноярского края</b> Строительство здания в стиле советского классицизма закончилось в 1955 г., здание входит в архитектурный ансамбль зданий на ул. Свердлова <b>Museum and Exhibition Centre, Zheleznogorsk, Krasnoyarsk Territory</b> The construction of the building was completed in 1955. It was built in the Soviet classicism and is part of the architectural ensemble of buildings in Sverdlova Street	Пожаром был уничтожен второй этаж здания. Спасением картин занимались пожарные и сотрудники музея. Экспонаты выносили на улицу The fire destroyed the second floor of the building. Firefighters and the museum staff were involved in saving the paintings. Exhibits were taken out into the street
25.06.2020	<b>Литературный музей им. М. Горького, Нижний Новгород</b> Здание построено в 1882 г. в стиле эклектики. Является объектом культурного наследия регионального значения <b>M. Gorky Literary Museum. Nizhny Novgorod</b> The building was built in 1882 in the eclectic style. It is the item of cultural heritage of regional significance	Причиной пожара стало проведение строительных работ на объекте в период его реконструкции. Пожар продолжался 4,5 ч. Здание очень сильно пострадало The fire was caused by construction work at the facility during its reconstruction. The fire lasted 4.5 hours. The building was badly damaged





**Рис. 1.** Реставрация художественного паркета в Зимнем дворце

**Fig. 1.** Restoration of the artistic parquet in the Winter Palace

выбоины. Часть плашек фрагментирована трещинами (рис. 2).

Конструкция полов состоит из лаг и паркетных щитов из древесины сосны, на которые укладывался паркет (рис. 3). Крепление плашек к щиту осуществлялось при помощи гвоздей и клея на основе веществ животного происхождения (отходов рыб и костей животных).

С целью получения достоверных исходных данных, необходимых для моделирования динамики опасных факторов пожара (ОФП) при расчете времени блокирования путей эвакуации здания Зимнего дворца, были проведены экспериментальные исследования по определению показателей пожарной опасности различных пород древесины, примененных при эксплуатации здания, с использованием нескольких методов исследования.

### Метод определения газообразных продуктов при термодеструкции

Термоаналитические характеристики и состав газообразных продуктов, выделяющихся при термическом воздействии на образец в атмосфере воздуха, определялись с применением совмещенного синхронного термического анализатора (STA 449 F3 Jupiter) с ИК-Фурье спектрометром. При нагревании образца в ТГ-анализаторе из него выделяются летучие вещества, а также продукты горения. Эти газы затем попадают в ИК-ячейку и идентифицируются на ИК-спектрометре. Благодаря тому, что в ИК-спектроскопии возможен анализ веществ по функциональным группам, такое совмещение позволяет более детально интерпретировать процессы, происходящие с образцом в ТГ-анализаторе в определенный момент времени. Подключение ТГ-ИК



*a*



*b*

**Рис. 2.** Исторический паркет: *a* — дубовый паркет; *b* — паркет из ясеня

**Fig. 2.** Historic parquet: *a* — oak parquet; *b* — ash parquet



Рис. 3. Конструкция пола

Fig. 3. Floor construction

осуществляется с помощью интерфейса для переноса выделяющихся газов TL8000.

### Метод определения горючести

Экспериментальное определение горючести древесины проводилось с использованием универсальной установки для определения группы трудногорючих и горючих веществ, материалов и огнезащитных свойств покрытий и пропиточных составов для обработки древесины в соответствии с ГОСТ 12.1.044-89<sup>3</sup>.

Определение пожароопасных свойств образцов древесины проводилось при поддержке испытательной лаборатории НИЦ «ПБ» ИКБС НИУ МГСУ. Исследования методами термического анализа, совмещенными с ИК-спектроскопией, проводились при поддержке лаборатории ФГБУ «СЭУ ФПС ИПЛ» по г. Санкт-Петербургу.

### Обсуждение результатов

Учитывая, что древесина активно применялась и применяется в строительстве, интерес к ее термическим характеристикам не пропадает [15–32]. Экспериментальные исследования с помощью различных методов показали, что исходные данные древесины — порода и место произрастания — оказывают влияние на пожароопасные характеристики (воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, тепловыделение, дымообразующую способность, токсичность продуктов горения), а также на показатель низшей теплоты полного сгорания древесины и ее компонентов [18–24]. Рядом исследователей из-



учались зависимости показателей пожарной опасности древесины от ее эксплуатационного возраста [25, 26]. Выявлено, что характеристики пожарной опасности варьируются в зависимости от продолжительности старения древесины, это связано с изменениями ее химического состава и плотности. В исследовании [27] автором было установлено, что у естественно и продолжительно состаренной древесины повышается сопротивляемость воспламенению и снижается критический тепловой поток для воспламенения, а также наблюдается снижение максимальной массовой скорости выгорания общего тепловыделения в начальный период до интенсивного окисления поверхностного угольного слоя. Время до возгорания, скорость тепловыделения и время огнестойкости древесины также рассматривались в работах [28, 29].

Следует отметить, что исследований, в которых экспериментально оцениваются характеристики пожарной опасности исторических материалов, применяемых на действующих объектах культурного наследия и состаренных в естественных условиях, до настоящего времени не проводилось. В настоящей работе изучение состава газообразных продуктов термодеструкции образцов древесины в зависимости от возраста и вида древесины проводилось с использованием синхронного термического анализа, совмещенного с ИК-Фурье-спектроскопией, исследования горючести — на стандартном оборудовании в соответствии методикой ГОСТ 12.1.044-89 (п. 4.3). Описание образцов материалов и методы экспериментальных исследований представлены в табл. 2.

### Исследование газообразных продуктов термодеструкции

Экспериментальные исследования с использованием термоанализатора позволяют проводить

<sup>3</sup> ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84). Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения: утвержден постановлением Госстандарта СССР от 12 декабря 1989 г. № 3683.



Таблица 2. Описание образцов материалов и экспериментальных исследований

Table 2. Researched samples of materials

Описание образца Sample description	Проводимое исследование Research in progress
<p>Образец № 1 Фрагмент заготовки для реставрации, выполненный из древесины дуба. Срок заготовки около 70 лет. Условия хранения — в закрытом отапливаемом помещении. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок светло-коричневого цвета, толщиной 20 мм</p> <p>Sample No. 1 Fragment of a blank for restoration made of oak wood. It is approx. 70 years old. Storage conditions: in a closed heated room. In terms of appearance, the sample is a light brown wooden block, 20 mm thick</p>	<p>Синхронный термический анализ, совмещенный с ИК-Фурье спектроскопией. Synchronous thermal analysis combined with FTIR spectroscopy</p>
<p>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</p> <p>Sample No. 2 Fragment of a blank for restoration made of maple wood. The blank is made of modern wood. In terms of appearance, the sample is a light brown wooden block, 20 mm thick</p>	<p>Синхронный термический анализ, совмещенный с ИК-Фурье спектроскопией Synchronous thermal analysis combined with FTIR spectroscopy</p>
<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>Sample No. 3 Fragment of a blank for restoration made of walnut wood. The blank is made of modern wood. In terms of appearance, the sample is a brown wooden block, 20 mm thick</p>	<p>Синхронный термический анализ, совмещенный с ИК-Фурье спектроскопией Synchronous thermal analysis combined with FTIR spectroscopy</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>Sample No. 4 Fragment of a blank for restoration made of birch wood. The blank is made of modern wood. In terms of appearance, the sample is a light yellow wooden block, 20 mm thick</p>	<p>Синхронный термический анализ, совмещенный с ИК-Фурье спектроскопией Synchronous thermal analysis combined with FTIR spectroscopy</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>Sample No. 5 Fragment of a blank for restoration made of pine wood. The blank is made of modern wood. In terms of appearance, the sample is a yellow wooden block, 20 mm thick</p>	<p>Синхронный термический анализ, совмещенный с ИК-Фурье спектроскопией Synchronous thermal analysis combined with FTIR spectroscopy</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>Sample No. 6 Fragment of a blank for restoration made of larch wood. The blank is made of modern wood. In terms of appearance, the sample is a beige wooden block, 20 mm thick</p>	<p>Синхронный термический анализ, совмещенный с ИК-Фурье спектроскопией Synchronous thermal analysis combined with FTIR spectroscopy</p>

Описание образца Sample description	Проводимое исследование Research in progress
<p><b>Образец № 7</b> Элемент паркета пола, плашка из древесины дуба. Срок эксплуатации около 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>Sample No. 7 A parquet floor element made of an oak wood strip. Its service life is approx. 160 years old. It was used in a closed heated room. It has no protective and decorative coating. In terms of appearance, the sample is a dark brown wooden block, 10 mm thick</p>	<p>Синхронный термический анализ, совмещенный с ИК-Фурье спектроскопией; определение группы трудногорючих и горючих веществ и материалов</p> <p>Synchronous thermal analysis combined with FTIR spectroscopy; detection of a group of low-combustible and combustible substances and materials</p>
<p><b>Образец № 8</b> Элемент паркета пола, плашка из древесины дуба. Срок эксплуатации около 160 лет. Условия эксплуатации — в закрытом отапливаемом помещении. Защитно-декоративное покрытие отсутствует. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок светло-коричневого цвета, толщиной 10 мм</p> <p>Sample No. 8 A parquet floor element, an oak wood strip. Its service life is approx. 160 years old. It was used in a closed heated room. There is no protective and decorative coating. In terms of appearance, the sample is a light brown wooden block, 10 mm thick</p>	<p>Синхронный термический анализ, совмещенный с ИК-Фурье спектроскопией</p> <p>Synchronous thermal analysis combined with FTIR spectroscopy</p>
<p><b>Образец № 9</b> Элемент паркета пола, плашка из древесины ясеня. Срок эксплуатации около 160 лет. Условия эксплуатации — в закрытом отапливаемом помещении. Защитно-декоративное покрытие отсутствует. По внешнему виду образец представляет собой деревянный брусок светло-бежевого цвета, толщиной 19 мм</p> <p>Sample No. 9 A parquet floor element, an ash wood block. The service life is about 160 years. It was used in a closed heated room. There is no protective and decorative coating. In terms of appearance, the sample is a light beige wooden block, 19 mm thick</p>	<p>Синхронный термический анализ, совмещенный с ИК-Фурье спектроскопией; определение группы трудногорючих и горючих веществ и материалов</p> <p>Synchronous thermal analysis combined with FTIR spectroscopy; detection of a group of low-combustible and combustible substances and materials</p>
<p><b>Образец № 10</b> 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>Sample No. 10 A fragment of a parquet board made of pine wood. The service life is 160 years. It was used in a closed heated room. In terms of appearance, the sample is a light brown wooden block with the thickness of 39 to 45 mm</p>	<p>Определение группы трудногорючих и горючих веществ и материалов</p> <p>Detection of a group of low-combustible and combustible substances and materials</p>
<p><b>Образец № 11</b> 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>Sample No. 11 A fragment of a parquet board made of pine wood with historical glue of animal origin. The service life is 160 years. It was used in a closed heated room. In terms of appearance, the sample is a dark brown wooden block with the thickness of 35 to 45 mm</p>	<p>Определение группы трудногорючих и горючих веществ и материалов</p> <p>Detection of a group of low-combustible and combustible substances and materials</p>



одновременно (в одном эксперименте и одном образце) измерения калориметрических величин при различных термодинамических переходах, измерять температуру этих переходов и регистрировать при этом изменения массы образца. Встроенный контроллер газовых потоков позволяет проанализировать выделяющиеся в процессе термодеструкции фрагмента образца газообразные продукты. Для проводимых испытаний использовались фрагменты малого размера (2,5 × 5 мм) исследуемых исторических образцов.

Результаты экспериментальных исследований образцов материалов представлены в табл. 3.

Изучение полученных термоаналитических кривых исследуемых образцов в рассматриваемом температурном диапазоне от 30 до 500 °C в атмосфере воздуха показало, что интенсивная потеря массы древесины у образцов, имеющих срок старения, происходит неоднократно. У образца № 1 (около 70 лет) — три стадии (рис. 4), у образцов № 7, 8 и 9 (около 160 лет) — две стадии (см. табл. 3).

Анализ газообразных продуктов термодеструкции показал, что независимо от возраста и вида древесины, наряду с выделением диоксида углерода, в определенный для каждого образца температурный промежуток происходит выделение уксусной

кислоты (см. табл. 3). При пожаре эти пары могут увеличивать токсическое воздействие на человека во время его эвакуации.

### Исследования для классифицирования группы горючести

Для классифицирования группы горючести было подготовлено по три образца состаренной в естественных условиях древесины размером 150 × 60 мм и толщиной от 8 до 10 мм. Перед испытаниями образцы выдерживались в вентилируемом сушильном шкафу при температуре (60 ± 5) °C не менее 20 ч, затем охлаждались до температуры окружающей среды (без изъятия из шкафа), после чего определялась масса образцов. Перед испытанием внутренняя поверхность реакционной камеры покрывалась двумя слоями алюминиевой фольги толщиной 0,2 мм. Образец закрепляли в держателе и при помощи шаблона проверяли положение образца относительно его вертикальной оси. Способ крепления образцов — самостоятельный (без использования металлической сетки/стеклоткани). Перед проведением испытаний каждого из образцов контролировалась неизменность температуры газообразных продуктов горения, составляющая

**Таблица 3.** Результаты исследований совмещенным методом термоанализа

**Table 3.** Research results obtained using the combined method of thermal analysis

Номер образца Sample number	Начальная температура деструкции, t °C Initial temperature of destruction, t °C	Температура интенсивной потери массы, t °C Temperature of intense weight loss, t °C	Скорость потери массы, мг/мин Weight loss rate, mg/min	Температура выделения CO <sub>2</sub> с CH <sub>3</sub> COOH, t °C Temperature CO <sub>2</sub> emissions with CH <sub>3</sub> COOH, t °C	Процент остаточной массы при температуре, %/t °C Residual Weight Percentage at temperature, %/t °C
1	248,19	285	0,439	284	6,520/490
		325,35	0,817		
		475,59	0,576		
2	260,35	330,36	1,029	До / Up to 339,38	5,226/448
3	265	331	1	До / Up to 324	0,328/473
4	269,28	332	1,383	До / Up to 339,38	0,352/483
5	271	330,36	1,390	До / Up to 324	0,010/471
6	292	292,48	0,7	263	0,321/520
7	248,19	293,92	0,583	До / Up to 296,81	1,253/490
		434,81	0,677		
8	243,71	278	0,786	До / Up to 306,49	4,616/490
		422,62	0,709		
9	247,52	312	7,591	До / Up to 302,48	1,554/490
		437,92	6,609м		

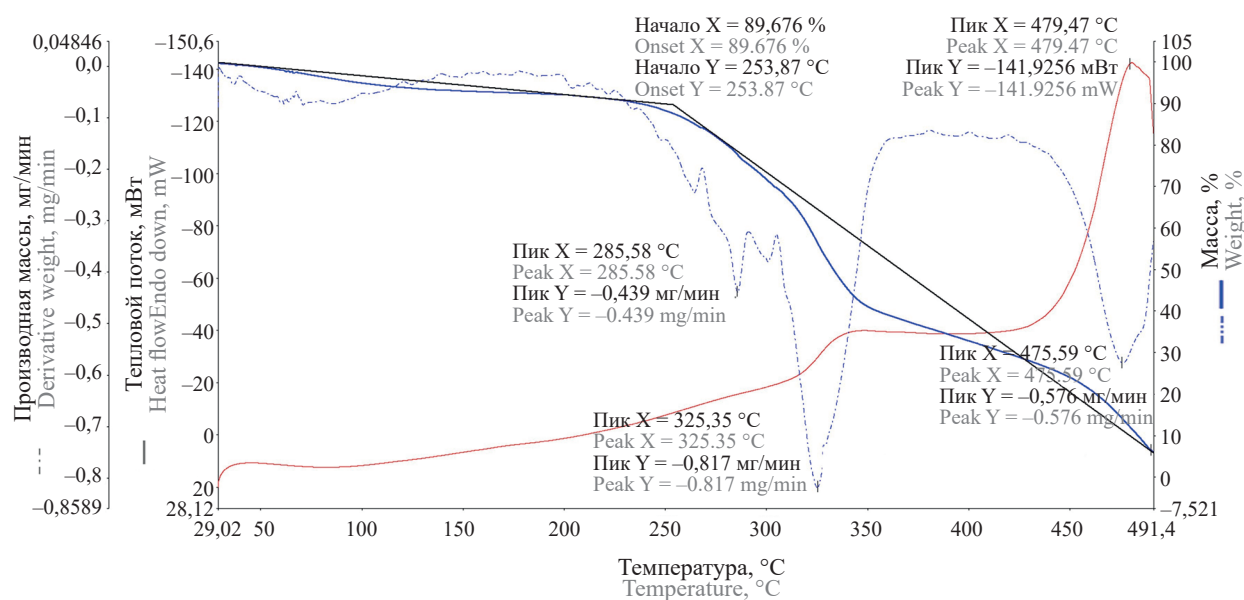


Рис. 4. Вид термоаналитических кривых образца № 1 (дуб) в атмосфере воздуха

Fig. 4. Thermoanalytical curves of sample 1 (oak) in the air

200 ± 5 °C в течение 3 мин. Результат исследования позволил классифицировать образцы по горючести и воспламеняемости.

Результаты экспериментального определения группы трудногорючих и горючих твердых веществ и материалов представлены в табл. 4.

Анализ результатов экспериментального исследования показал, что все образцы древесины классифицируются как горючие материалы средней воспламеняемости и могут представлять опасность распространения пламени по помещению. Разница в полученных значениях максимальной температу-

Таблица 4. Результаты экспериментального определения горючести образцов древесины.

Table 4. The results of experimental determination of combustibility of wood samples

Номер образца Sample No.	Номер экземпляра образца Sample instance No.	Максимальное приращение температуры, °C Maximum temperature increment, °C	Время достижения максимальной температуры, с Time to maximum temperature, s	Потеря массы образца, % Sample weight loss, %	Отнесение образцов к горючим или трудногорючим Classification of samples as combustible or low-combustible
Образец № 7 Sample 7	1	592	105	86	Горючие, средней воспламеняемости Combustible material, medium flammability
	2	583	103	93	
	3	533	186	87	
Образец № 9 Sample 9	1	436	100	55	Горючие, средней воспламеняемости Combustible material, medium flammability
	2	484	104	39	
	3	469	97	55	
Образец № 10 Sample 10	1	388	122	44	Горючие, средней воспламеняемости Combustible material, medium flammability
	2	440	149	47	
	3	420	113	34	
Образец № 11 Sample 11	1	460	69	15	Горючие, средней воспламеняемости Combustible material, medium flammability
	2	445	79	18	
	3	465	80	22	

ры, времени ее достижения и потери массы может быть связана с различиями свойств породы и возраста древесины.

В настоящее время для расчета блокирования путей эвакуации ОФП используются усредненные параметры пожарной нагрузки, указанные в различных справочниках и технической литературе. Проведенные экспериментальные исследования характеристик пожарной опасности исторических материалов древесины из здания Зимнего дворца показали, что значения показателей могут отличаться от значений показателей пожарной опасности традиционных материалов в имеющихся информационных пособиях. Принимая во внимание то, что в России и во всем мире большинство объектов культурного наследия являются объектами массового пребывания людей, изучение влияния свойств исторической древесины на ее пожароопасные свойства представляется важным направлением. В дальнейшем результаты исследований могут быть внесены в справочники и использованы при расчете блокирования путей эвакуации ОФП на исторических объектах.

## Выводы

Проведенные экспериментальные исследования пожароопасности древесины, применяемой на культурно-историческом объекте — здании Зимнего дворца, показали следующее.

Результаты исследования совмещенными методами синхронного термического анализа с ИК-Фурье-спектроскопией исторических материалов выявили, что при термодеструкции исследуемых образцов независимо от возраста и вида древесины, наряду с выделением диоксида углерода, в определенный для каждого образца температурный промежуток происходит выделение уксусной кислоты.

Экспериментальная оценка горючести образцов древесины показала, что все образцы состаренной древесины классифицируются как горючие материалы средней воспламеняемости.

Полученные данные могут быть использованы для уточненного расчета динамики развития пожара в помещениях исторических зданий для обеспечения безопасной эвакуации людей.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Устинова В.Г., Какаулин С.П. Анализ пожарной безопасности на объектах культурного наследия города Иркутска // Техносферная безопасность в XXI веке : сб. науч. тр. магист., асп. и мол. уч. г. Иркутск, 27–28 ноября 2017 г. Иркутск, 2017. С. 177–183.
2. Мишечкина А.В. Обеспечение норм пожарной безопасности музейно-выставочных объектов на примере МБУК «Сургутский краеведческий музей» // Актуальные научные исследования в современном мире. 2021. № 1-1 (69). С. 206–211. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44846752>
3. Присадков В.И., Мусликова С.В., Ушаков Д.В., Абашкин А.А. Обеспечение пожарной безопасности объектов культурного наследия // Ройтмановские чтения : сб. мат. VIII науч.-практ. конф., г. Москва, 5 марта 2020 г. / под ред. Б.Б. Серкова. М., 2020. С. 91–94. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42880357>
4. Магомедов В.Б., Фомин А.В. Нормативно-техническое регулирование пожарной безопасности объектов культурного наследия Саратовской области // Перспективы развития науки в современном мире : сб. науч. ст. по мат. IV Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2020. С. 16–29. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44255988>
5. Востокова О.В. Модели и методы оценки пожарно-охранной системы безопасности учреждений культуры: на примере федерального государственного учреждения культуры «Русский музей» : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2011. С. 143–153.
6. Богданов А.В. Интегрированная система пожарно-охранной безопасности крупного музейного комплекса (на примере Государственного Эрмитажа) : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2004. 177 с.
7. Еремина Т.Ю., Тихонова Н.В. Пожарная безопасность исторических зданий // Пожарная безопасность. 2017. № 2. С. 99–107. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29328079>
8. Устинова В.Г., Какаулин С.П. Анализ пожарной безопасности на объектах культурного наследия города Иркутска // Техносферная безопасность в XXI веке : сб. науч. тр. магист., асп. и докторантов. Иркутск, 2017. С. 177–183.
9. Присадков В.И., Мусликова С.В., Ушаков Д.В., Абашкин А.А. Вопросы приспособления объектов культурного наследия для современного использования // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. XXXII Междунар. науч.-практ. конф. г. Балашиха, 5–6 ноября 2020 г. Балашиха, 2020. С. 596–599.



10. *Поспелова А.В.* Особенности внедрения комплексной системы пожарной безопасности на объектах культуры // Пожарная и аварийная безопасность : сб. мат. XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году культуры безопасности. 2018. С. 203–206.
11. *Копылов С.Н., Казаков А.В., Бухтояров Д.В., Смирнов Н.В.* Выбор огнетушащего вещества для автоматического пожаротушения в запасниках культурных ценностей и музеях. Часть 1. Тонкораспыленная вода // Пожарная безопасность. 2017. № 3. С. 50–53. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30014172>
12. *Присадков В.И., Абашкин А.А., Зуева А.С., Мусликова С.В., Ушаков Д.В., Присадков К.В.* Особенности обеспечения пожарной безопасности исторических зданий с многоуровневыми антресолями // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 4 (37). С. 135–142. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44332449>
13. *Присадков В.И., Ушаков Д.В., Абашкин А.А., Мусликова С.В., Присадков К.В.* Возможности гармонизации требований федеральных законов от 25.06.2002 № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» и от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (на примере объектов религиозного назначения) // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С. 99–109. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43956600>
14. *Виноградова О.Н., Михайлов И.П.* Пожары, повлиявшие на архитектурный облик городов // Проблемы обеспечения безопасности (Безопасность-2021) : мат. III Междунар. науч.-практ. конф. В 2-х томах. Уфа, 2021. С. 109–113. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46222606>
15. *White R.H.* Analytical methods for determining fire resistance of timber members // SFPE handbook of fire protection engineering. Springer, 2016. Pp. 1979–2011. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0\_55
16. *Zelinka S.L., Hasburgh L.E., Bourne K.J., Tucholski D.R., Ouellette J.P., Kochkin V. et al.* Compartment fire testing of a two-story mass timber building // Energy Technology. 2018. Vol. 5. Pp. 1179–1185.
17. *Hill C.A.* Thermal modification of wood // Wood modification: chemical, thermal and other processes. Hill C.A. (ed.) Wiley, West Sussex, UK, 2007. Pp. 99–126.
18. *Shafizadeh F., Chin P.P.* Thermal deterioration of wood // Wood Technol: Chem Aspects. 1977. Vol. 43. Pp. 57–8.1
19. *Nzokou P., Pascal Kamdem D.* X-ray photoelectron spectroscopy study of red oak- (*Quercus rubra*), black cherry- (*Prunus serotina*) and red pine- (*Pinus resinosa*) extracted wood surfaces // Surface and Interface Analysis. 2005. Vol. 37. Pp. 689–694. DOI: 10.1002/sia.2064
20. *Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б.* Горение и пожарная опасность древесины // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2012. Т. 21. № 1. С. 19–32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17326710>
21. *Inari G.N., Petrissans M., Lambert J., Ehrhardt J., Gérardin P.* XPS characterization of wood chemical composition after heat-treatment // Surface and Interface Analysis. 2006. Vol. 38. Issue 10. Pp. 1336–1342. DOI: 10.1002/sia.2455
22. *Bañuls-Ciscar J., Abel M.-L., Watts J.F.* Characterisation of cellulose and hardwood organosolv lignin reference materials by XPS // Surface and Interface Analysis. 2016. 23. Pp. 1–8. DOI: 10.1116/1.4943099
23. *Hua X., Kaliaguine S., Kokta B., Adnot A.* Surface analysis of explosion pulps by ESCA Part 2. Oxygen (1s) and sulfur (2p) spectra // Wood Science and Technology. 1993. Vol. 28. Pp. 449–459.
24. *Xu Q., Chen L., Harries K.A., Zhang F., Liu Q., Feng J.* Combustion and charring properties of five common constructional wood species from cone calorimeter tests // Construction and Building Materials. 2015. Vol. 96. Pp. 416–427. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.062
25. *Kraniotis D., Nore K., Brückner C., Nyruud A.Q.* Thermography measurements and latent heat documentation of Norwegian spruce (*Picea abies*) exposed to dynamic indoor climate // Journal of Wood Science. 2016. Vol. 62. Pp. 203–209. DOI: 10.1007/s10086-015-1528-1
26. *Лоскутов С.Р., Шапченко О.А., Анискина А.А.* Термический анализ древесины основных лесообразующих пород средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2015. № 6. С. 17–30. DOI: 10.15372/SJFS20150602

27. Тарасов Н.И. Система оценки влияния эксплуатационных и теплофизических факторов на пожароопасные характеристики древесных материалов : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. 171 с.
28. Сивенков А.Б., Тарасов Н.И., Алексеева Т.С. Влияние срока эксплуатации жилых и нежилых деревянных строений на пожароопасные свойства древесины // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2010. № 2. С. 27–35. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16342819>
29. Покровская Е.Н., Пищик И.И., Смирнов Н.В., Нагановский Ю.К. Термическая устойчивость древесины различной длительности эксплуатации // Строительные материалы. 2000. № 9. С. 34–35.
30. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Влияние естественного старения на физико-химические и пожароопасные свойства древесины // Известия ЮФУ. Технические науки. АГПС. 2014. № 9(158). С. 206–217. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22540241>
31. Delichatsios M.A., Panagiotou T.H., Kiley F. The use of time to ignition data for characterizing the thermal inertia and the minimum (critical) heat flux for ignition or pyrolysis // Combustion and Flame. 1991. Vol. 84. Issue 3–4. Pp. 323–332. DOI: 10.1016/0010-2180(91)90009-Z
32. Harada T. Time to ignition, heat release rate and fire endurance time of wood in cone calorimeter test // Fire Mater. 2001. Vol. 25. Issue 4. Pp. 161–167. DOI: 10.1002/fam.766

## REFERENCES

1. Ustinova V.G., Kakaulin S.P. Analysis of fire safety on the objects of cultural heritage of the city of Irkutsk. *Technosphere Safety in the XXI Century : collection of scientific works of undergraduates, graduate students and young scientists. Irkutsk, November 27–28, 2017.* Irkutsk, 2017; 177–183. (rus).
2. Mishechkina A.V. Ensuring fire safety standards for museum and exhibition facilities on the example of MBUK “Surgut museum of local lore”. *Actual scientific research in the modern world.* 2021; 1-1(69):206-211. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44846752> (rus).
3. Prisadkov V.I., Muslakova S.V., Ushakov D.V., Abashkin A.A. Ensuring fire safety of cultural heritage sites. *Roitman's Readings : Collection of materials of the VIII scientific-practical conference. Edited by B.B. Serkov.* Moscow, 2020; 91-94. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42880357> (rus).
4. Magomedov V.B., Fomin A.V. Normative and technical regulation of fire safety of objects of cultural heritage of the Saratov region. *Prospects for the Development of Science in the Modern World : Collection of scientific articles based on the materials of the IV International Scientific and Practical Conference.* Ufa, 2020; 16-29. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44255988> (rus).
5. Vostokova O.V. *Models and methods of assessing the fire and security system of safety of cultural institutions: on the example of the federal state cultural institution “Russian Museum” : dissertation ... candidate of technical sciences.* St. Petersburg, 2011; 143-153. (rus).
6. Bogdanov A.V. *Integrated fire and security system of a large museum complex (by the example of the State Hermitage : dissertation ... candidate of technical sciences.* St. Petersburg, 2004; 177. (rus).
7. Eremina T.Yu., Tikhonova N.V. Fire safety of historic buildings. *Fire safety.* 2017; 2:99-107. (rus).
8. Ustinova V.G., Kakaulin S.P. Analysis of fire safety at cultural heritage sites of the city of Irkutsk. *Technosphere safety in the XXI century : collection of scientific papers of undergraduates, graduate students and doctoral students.* Irkutsk, 2017; 177-183. (rus).
9. Prisadkov V.I., Muslakova S.V., Ushakov D.V., Abashkin A.A. Questions of adaptation of cultural heritage objects for modern use. *Actual Problems of Fire Safety : Materials of the XXXII International Scientific and Practical Conference. Balashikha, November 5–6, 2020.* Balashikha, 2020; 596-599. (rus).
10. Pospelova A.V. Features of the implementation of an integrated fire safety system at cultural facilities In the collection: Fire and emergency safety. *Collection of materials of the XIII International Scientific and Practical Conference dedicated to the Year of Safety Culture.* 2018; 203-206. (rus).
11. Kopylov S.N., Kazakov A.V., Bukhtoyarov D.V., Smirnov N.V. The choice of extinguishing agent for automatic fire suppression in the vaults of cultural values and museums. Part 1. Water mist. *Fire safety.* 2017; 3:50-53. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30014172> (rus).

12. Prisadkov V.I., Abashkin A.A., Zueva A.S., Muslakova S.V., Ushakov D.V., Prisadkov K.V. Fire safety features historic buildings with multi-level mezzanines. *Modern Problems of Civil Protection*. 2020; 4(37):135-142. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44332449> (rus).
13. Prisadkov V.I., Ushakov D.V., Abashkin A.A., Muslakova S.V., Prisadkov K.V. Opportunities for harmonization of federal law requirements from 25.06.2002 No. 73-fl "About objects of cultural heritage (historical and cultural monuments) of the peoples of the russian federation" and from 22.07.2008 No. 123-fl "Technical regulations on fire safety requirements" (on the example of religious objects). *Modern problems of civil protection*. 2020; 3(36):99-109. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43956600> (rus).
14. Vinogradova O.N., Mikhailov I.P. Fires that affected the architectural appearance of cities. *Problems (Security-2021) : Materials of the III International Scientific and Practical Conference*. In 2 vol. Ufa, 2021; 109-113. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46222606> (rus).
15. White R.H. Analytical methods for determining fire resistance of timber members. *SFPE handbook of fire protection engineering*. Springer, 2016; 1979-2011. DOI: 10.1007/978-1-4939-2565-0\_55
16. Zelinka S.L., Hasburgh L.E., Bourne K.J., Tucholski D.R., Ouellette J.P., Kochkin V. et al. Compartment fire testing of a two-story mass timber building. *Energy Technology*. 2018; 5:1179-1185.
17. Hill C.A. Thermal modification of wood. *Wood modification: chemical, thermal and other processes*. Hill C.A. (ed.). Wiley, West Sussex, UK, 2007; 99-126.
18. Shafizadeh F., Chin P.P. Thermal deterioration of wood. *Wood Technol: Chem Aspects*. 1977; 43:57-81.
19. Nzokou P., Pascal Kamdem D. X-ray photoelectron spectroscopy study of red oak- (*Quercus rubra*), black cherry- (*Prunus serotina*) and red pine- (*Pinus resinosa*) extracted wood surfaces. *Surface and Interface Analysis*. 2005; 37:689-694. DOI: 10.1002/sia.2064
20. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Combustion and fire safety of wooden materials. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2012; 21(1):19-32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17326710> (rus).
21. Inari G.N., Petrissans M., Lambert J., Ehrhardt J., Gérardin P. XPS characterization of wood chemical composition after heat-treatment. *Surface and Interface Analysis*. 2006; 38(10):1336-1342. DOI: 10.1002/sia.2455
22. Bañuls-Ciscar J., Abel M.L., Watts J.F. Characterization of cellulose and hardwood organosolv lignin reference materials by XPS. *Surface and Interface Analysis*. 2016; 23:1-8. DOI: 10.1116/1.4943099
23. Hua X., Kaliaguine S., Kokta B., Adnot A. Surface analysis of explosion pulps by ESCA Part 2. Oxygen (1s) and sulfur (2p) spectra. *Wood Sci Technol*. 1993; 28:449-459.
24. Xu Q., Chen L., Harries K.A., Zhang F., Liu Q., Feng J. Combustion and charring properties of five common constructional wood species from cone calorimeter tests. *Construction and Building Materials*. 2015; 96:416-427. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.08.062
25. Kraniotis D., Nore K., Brückner C., Nyrud A.Q. Thermography measurements and latent heat of documentation Norwegian spruce (*picea abies*) exposed to dynamic indoor climate. *Journal of Wood Science*. 2016; 62:203-209. DOI: 10.1007/s10086-015-1528-1
26. Loskutov S.R., Shapchenkova O.A., Aniskina A.A. Thermal analysis of wood of the main tree species of central Siberia. *Siberian Forestry Journal*. 2015; 6:17-30. DOI: 10.15372/SJFS20150602 (rus).
27. Tarasov N.I. *The system for assessing the impact of operational and thermal-physical factors on the fire hazard characteristics of wood materials : dissertation ... Candidate of technical sciences*. St. Petersburg, 2013; 171. (rus).
28. Sivenkov A.B., Tarasov N.I., Alekseeva T.S. Influence of operational age of inhabited and uninhabited wood buildings on fire-hazards properties of wood. *Fires and Emergencies: Prevention, Elimination*. 2010; 2:27-35. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16342819> (rus).
29. Pokrovskaya E.N., Pishchik I.I., Smirnov N.V., Naganovsky Yu.K. Thermal stability of wood with different duration of operation. *Building material*. 2000; 9:34-35. (rus).
30. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Natural ageing effect on physicochemical and flammable properties of the wood. *Izvestiya SFedU. Engineering sciences*. 2014; 9(158):206-217. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22540241> (rus).
31. Delichatsios M.A., Panagiotou T.H., Kiley F. The use of time to ignition data for characterizing the thermal inertia and the minimum (critical) heat flux for ignition or pyrolysis. *Combustion and Flame*. 1991; 84(3-4):323-332. DOI: 10.1016/0010-2180(91)90009-Z
32. Harada T. Time to ignition, heat release rate and fire endurance time of wood in cone calorimeter test. *Fire Mater*. 2001; 25(4):161-167. DOI: 10.1002/fam.766



Поступила 10.10.2021, после доработки 15.11.2021;  
принята к публикации 06.12.2021

Received October 10, 2021; Received in revised form November 15, 2021;  
Accepted December 6, 2021

### Информация об авторах

**ЕРЕМИНА Татьяна Юрьевна**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; РИНЦ ID: 274777; ORCID: 0000-0003-1427-606X; e-mail: main@stopfire.ru

**СУШКОВА Ольга Владимировна**, начальник сектора пожарной безопасности, Государственный Эрмитаж, Россия, 190000, г. Санкт-Петербург, Дворцовая наб., 34; РИНЦ ID: 1124053; ORCID: 0000-0001-6549-1638; e-mail: sushkova.ov@hermitage.ru

#### Вклад авторов:

*Еремина Т.Ю. — научное руководство, концепция исследования, редактирование и доработка текста, формулировка итоговых выводов.*

*Сушкова О.В. — планирование исследования, подготовка образцов, обобщение результатов исследования, написание исходного текста, итоговые выводы.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

### Information about the authors

**Tatyana Yu. EREMINA**, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor of Integrated Safety in Civil Engineering, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavskoe Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RISC: 274777; ORCID: 0000-0003-1427-606X; e-mail: main@stopfire.ru

**Olga V. SUSHKOVA**, Head of Fire Safety Sector, the State Hermitage Museum, Dvortsovaya emb., 34, Saint Petersburg, 190000, Russian Federation; ID RISC: 1124053; ORCID: 0000-0001-6549-1638; e-mail: sushkova.ov@hermitage.ru

#### Authors' contributions:

*Eremina T.Yu. — scientific leadership, research concept, editing and revision of the text, formulation of the final conclusions.*

*Sushkova O.V. — research planning, preparation of samples, generalization of research results, writing the source text, final conclusions.*

*The authors declare that they have no conflicts of interest.*