

ПОЖАРОВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТЬ/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2023. Т. 32. № 3. С. 31–40
 POZHAROVZRYVOBEZOPASNOST/FIRE AND EXPLOSION SAFETY. 2023; 32(3):31-40

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/RESEARCH PAPER

УДК 614.841; 536.468

<https://doi.org/10.22227/0869-7493.2023.32.03.31-40>

Исследования характеристик пожарной опасности паркетов исторических объектов с массовым пребыванием людей

Татьяна Юрьевна Еремина¹, Ольга Владимировна Сушкова²✉

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

² Государственный Эрмитаж, г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Чтобы выяснить, насколько существенно влияют исторические паркеты на безопасную эвакуацию людей на объектах культурного наследия, требуется выполнить математическое моделирование распространения опасных факторов пожара (ОФП) с исходными параметрами существующей горючей нагрузки.

Цель. Рассмотреть экспериментально полученные характеристики пожарной опасности исторической древесины в сравнении с требуемыми показателями для напольных покрытий на путях эвакуации и в залах музеев. Сравнить полученные значения коэффициента дымообразования и низшей теплоты сгорания с имеющимися показателями в справочной литературе.

Материалы и методы. Для исследования характеристик пожарной опасности исторических покрытий полов в качестве образцов были отобраны плашки существующих паркетов сроком эксплуатации около 160 лет в залах Зимнего дворца Государственного Эрмитажа. Экспериментальные определения показателей проводились на соответствующих испытательных установках стандартными методами.

Результаты и их обсуждение. Анализ результатов исследования демонстрирует несоответствие характеристик пожарной опасности исторической древесины установленным законодательно требованиям к покрытию полов в зальных помещениях по показателям дымообразующей способности и воспламеняемости, в коридорах, холмах фойе – по дымообразующей способности.

Полученные опытным путем значения дымообразующей способности отличаются от справочных, используемых при расчете динамики нарастания ОФП для зданий музеев и выставок, более высокими показателями. Также имеют отличия от значений, указанных в справочной литературе, полученные в ходе исследования показатели низшей теплоты сгорания.

Выводы. Оценка сопоставленных результатов проведенного исследования с имеющимися показателями в справочной литературе позволяет утверждать о необходимости проведения научных экспериментов для определения характеристик пожарной опасности древесины исторических объектов с целью формирования справочной базы данных характеристик пожарной опасности материалов, примененных в музеях, расположенных во дворцах – объектах культурного наследия. Использование уточненных справочных данных позволит повысить точность расчетов индивидуального пожарного риска на исторических объектах.

Ключевые слова: объекты культурного наследия; термодеструкция; горючая нагрузка; коэффициент дымообразования; низшая теплота сгорания; опасные факторы пожара

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проект «Теоретическое и экспериментальное проектирование новых композиционных материалов для обеспечения безопасности при эксплуатации зданий и сооружений в условиях техногенных и биогенных угроз» № FSWG-2020-0007)

Для цитирования: Еремина Т.Ю., Сушкова О.В. Исследования характеристик пожарной опасности паркетов исторических объектов с массовым пребыванием людей // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2023. Т. 32. № 3. С. 31–40. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.03.31-40

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

Research of fire hazard characteristics of parquet floor in historical public buildings

Tatyana Yu. Eremina¹, Olga V. Sushkova²✉

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation

² The State Hermitage Museum, Saint Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. To find out the influence of historical parquet floor on the safe evacuation of people in cultural heritage objects, it is necessary to carry out a mathematical modelling of fire hazard propagation with the initial parameters of the existing combustible load.

The purpose of the article is to consider the experimentally derived fire hazard characteristics of historical wood compared to the required values for flooring on evacuation routes and in museum halls. To compare the values of the smoke-developed index and the net heat of combustion with those available in the reference literature.

Materials and methods. To study the fire hazard characteristics of historical floor coverings, the dies of existing parquet floor with a service life of about 160 years in the halls of the Winter Palace at the State Hermitage Museum were selected as specimens. Experimental determinations of the indicators were carried out on the appropriate test equipment using standard methods.

Results and discussion. Analysis of the results of the research shows that the fire hazard characteristics of historical wood do not meet the legally established requirements for floor coverings in halls in terms of their smoke-forming capacity and flammability, and in corridors and foyer halls in terms of their smoke-forming capacity. The smoke-forming capacity values obtained experimentally differ from the reference values used to calculate the dynamics of the build-up of the DFF in the buildings of museums and exhibitions. In addition, the values of the net heat of combustion obtained in the study differ from those given in the reference literature.

Conclusions. An estimation of the results of the carried out research and the available indexes in the reference literature allows to assert necessity of carrying out of scientific experiments for definition of characteristics of fire hazard of wood of historical objects with the purpose of formation of the reference database of characteristics of fire hazard of materials, used in museums, located in palaces – objects of cultural heritage. The use of refined reference data will improve the accuracy of calculations of individual fire risk on historical objects.

Keywords: cultural heritage objects; thermal destruction; combustible load; smoke-developed index; net heat of combustion; fire hazards

Acknowledgements: the work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project: Theoretical and experimental design of new composite materials to ensure safety in the operation of buildings and structures in conditions of man-made and biogenic threats No. FSWG-2020-0007)

For citation: Eremina T.Yu., Sushkova O.V. Research of fire hazard characteristics of parquet floor in historical public buildings. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2023; 32(3):31-40. DOI: 10.22227/0869-7493.2023.32.03.31-40 (rus).

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

Введение

Согласно статистическим данным, приведенным в сборнике ВНИИПО [1], всего на объектах Министерства культуры РФ в 2021 г. зафиксировано 17 пожаров с прямым ущербом в 27 061 000 руб. Из них в зданиях класса функциональной пожарной опасности Ф2.2 — музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения — в закрытых помещениях произошло 18 пожаров, прямой материальный ущерб от которых составил около 9 млн руб. Местом возникновения пожаров в помещениях для культурно-досуговой деятельности населения и религиозных обрядов 22 раза становились такие строительные конструкции, как пол, настил, ферма, балка, прогон (табл. 29.2 [1]).

Для музеев, расположенных во дворцах и являющихся объектами культурного наследия, полы нередко являются произведениями искусства. Художественные наборные паркеты создавали такие известные архитекторы, как Ф. Растрелли, А. Ринальди, А.Н. Воронихин, А.И. Штакеншнейдер и т.д. Паркеты, имеющие историческую ценность, подлежат охране в соответствии с требованиями Федерального закона¹.

¹ Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации : Федеральный закон от 25.06.2002 № 73-ФЗ.

К музеям — объектам с массовым пребыванием людей, в целях обеспечения пожарной безопасности нормативно-правовым актом² установлены требования к покрытию полов на путях эвакуации для общих коридоров, холлов, фойе В2, Д3, Т2, РП2 и в зальных помещениях В2, Д2, Т2, РП1. Чтобы понять, насколько существенно влияет древесина исторических объектов на безопасную эвакуацию посетителей, необходимо знать показатели пожарной опасности, состаренной в естественных условиях эксплуатации древесины, влияющие на распространение опасных факторов пожара (далее — ОФП), в помещениях здания культурно-исторического наследия и на основе реальных данных провести моделирование развития пожара, с учетом выбора напольного покрытия как места возникновения пожара.

В качестве материалов для наборного художественного паркета дворцов использовалась древесина различных пород и мест произрастания. Научные исследования влияния разновидности древесины на характеристики воспламеняемости, распространения пламени, тепловыделения доказывают, что развитие процесса горения зависит

² Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ.

от породы и мест произрастания древесины [2–9]. Также на характеристики пожарной опасности древесины оказывают влияние физико-химические изменения, связанные с возрастом эксплуатации древесины [10–16].

Для проведения расчетов по определению величин пожарного риска в зданиях, согласно Методике³, за исходные данные свойств горючей нагрузки необходимо принимать данные экспериментальных исследований. Практика показывает, что, как правило, расчеты проводятся на основе данных, взятых из справочной литературы (например⁴, [17–19]), что также допускается. В настоящее время в справочных базах показателей типовой горючей нагрузки собраны усредненные параметры, характерные для помещений определенного класса функциональной пожарной опасности. При этом имеются различия в показателях, собранных в справочной литературе для однородных помещений (табл. 1).

Представленные в табл. 1 данные демонстрируют расхождения особенно очевидные по показателям дымообразующей способности, линейной скорости распространения пламени, удельного расхода кислорода, выделения газообразных продуктов.

Важным условием для безопасной эвакуации людей при пожаре является своевременность. Это значит, что полная эвакуация людей из здания должна произойти раньше наступления предельно допустимых значений ОФП (критической продолжительности пожара), когда безопасное нахождение людей в здании становится невозможным. Основными факторами, определяющими критическую продолжительность пожара, являются: снижение видимости в дыму, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения.

При расчете безопасной эвакуации, чтобы получить наиболее достоверные данные, необходимо знать пожароопасные свойства примененных материалов. Особенно это актуально для объектов с массовым пребыванием людей. Например, в Китае [20] была проанализирована возможность безопасной эвакуации в библиотеке колледжа на основе установленного максимального количества посетителей и величины пожарной нагрузки. Для упрощения расчетов в качестве пожарной нагрузки рассматривались только книги. Один из выводов, который делают авторы, — анализ безопасной эвакуации посетителей необходимо проводить более комплексно с учетом существующей пожарной нагрузки.

³ Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности : Приказ МЧС России от 30.06.2009 № 382

⁴ СИТИС СПН-1. Пожарная нагрузка. Справочник. Редакция 1 от 14.05.2014. ООО «СИТИС», 2014.

Таблица 1. Сравнительные показатели типовой горючей нагрузки
Table 1. Comparative indicators of typical fuel load

Показатели Indicators	Музеи, выставки Museums, exhibitions	
	Справочная литература Reference literature	
	[18]	[20]
Низшая теплота сгорания, МДж/кг Lowest heat of combustion, MJ/kg	14,000	13,800
Линейная скорость распространения пламени, м/с Linear speed of flame propagation, m/s	0,0163	0,0055
Удельная массовая скорость выгорания, кг/(м ² ·с) Specific mass burnout rate, kg/(m ² ·s)	0,01520	0,0145
Дымообразующая способность, Нп·м ² /кг Smoke generating capacity, Np·m ² /kg	53,00	270
Удельный расход кислорода, кг/кг Specific oxygen consumption, kg/kg	1,2180	1,0300
<i>Выделение газа, кг/кг / Gas release, kg/kg</i>		
CO ₂	1,42300	0,20300
CO	0,02300	0,0022
HCl	0,00010	0,01400

В работе [21] представлены результаты исследования пожарной нагрузки в 43 старых зданиях разного функционального назначения, расположенных в Ору-Прету (штат Минас-Жерайс, Бразилия). Было отмечено, что на рассматриваемых объектах древесина составляет значительную часть пожарной нагрузки. При сравнении полученных результатов с результатами, установленными бразильским стандартом NBR 14432, оказалось, что измеренные значения в 10 раз могут превышать стандартные значения. Необходимость исследования пожарной нагрузки исторических зданий и сбор данных для национальной базы отмечается в работе [22]. При изучении исторических храмов Индии [23] установлено, что площадь пола является основным параметром, влияющим на пожарную нагрузку в помещении, а древесина составляет значительную ее часть.

Различные виды древесины на объектах культурного наследия можно увидеть не только в художественных паркетах, но также в отделке стен и украшении потолков. В работе⁵ по изучению 83 исторических зданий Пекина установлено, что постоянной пожарной нагрузкой в основном является древесина, и это значительно отличается от пожарной нагрузки современных зданий. Ее величина в среднем составляет 2847,7 МДж/м².

В работах⁶ [24] рассматривались результаты экспериментального исследования газообразных продуктов термодеструкции образцов древесины в зависимости от возраста и вида. Полученный результат показал, что наряду с выделением диоксида углерода в определенный для каждого образца температурный промежуток происходит выделение уксусной кислоты, пары которой при пожаре могут увеличивать токсическое воздействие на человека во время его эвакуации.

Целью статьи является рассмотрение экспериментально полученных значений характеристик пожарной опасности по воспламеняемости, дымообразованию и токсичности продуктов горения исторической древесины дуба и древесины ясеня, состаренных в естественных условиях эксплуатации в сравнении с требуемыми показателями напольных покрытий на путях эвакуации для общих коридоров, холлов, фойе и в зальных помещениях для объектов класса функциональной пожарной опасности Ф2.2, а также сравнение полученных в ходе исследования значений коэффициента дымообразования и низшей теплоты сгорания с имеющимися показателями в справочной литературе.

Материалы и методы

Как известно, древесина являлась основным горючим материалом, использовавшимся в строительстве и отделке дворцовых интерьеров. Конструкция пола состояла из щита, выполненного из сбитых сосновых досок, на которые крепилась дубовая фанера. Щит укладывался на решетку из сухих прочных сосновых досок и к нему приkle-

⁵ Li J., Li X., Zhou B., Wang H. Research and statistical analysis of the fire load of 83 historic buildings in Beijing // International Journal of Architectural Heritage. 2018. DOI: 10.1080/15583058.2018.1550535. URL: <https://www.researchgate.net/publication/329490516>

⁶ Сушкина О.В. Экспериментальное определение пожароопасных свойств материалов, примененных на путях эвакуации в зданиях культурного наследия. Актуальные проблемы комплексной безопасности в строительстве, тенденции развития в современных условиях : сб. докладов Всеросс. науч.-практ. 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. URL: <https://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/>



Рис. 1. Конструкция исторического пола
Fig. 1. Construction of the historical floor

ивались паркетные плашки (рис. 1). За отличные эксплуатационные характеристики в производстве паркетов широко применялись древесина дуба и древесина ясеня.

Для проводимого исследования показателей пожарной опасности древесины с исторических объектов в качестве образцов были отобраны элементы существующего паркета в залах Зимнего дворца Государственного Эрмитажа, которым присвоены номера: паркетные плашки из древесины дуба — образец № 1 и древесины ясеня — образец № 2 (рис. 2). Согласно архивным сведениям музея, возраст эксплуатации пола и паркета составляет около 160 лет. Условия эксплуатации — в закрытом отапливаемом помещении, декоративно-отделочное покрытие паркета отсутствует.

Исследуемые образцы предварительно высушивались до получения постоянного веса. Экспериментальные определения характеристик пожарной опасности проводились на соответствующих испытательных установках стандартными методами: коэффициент дымообразования и показа-

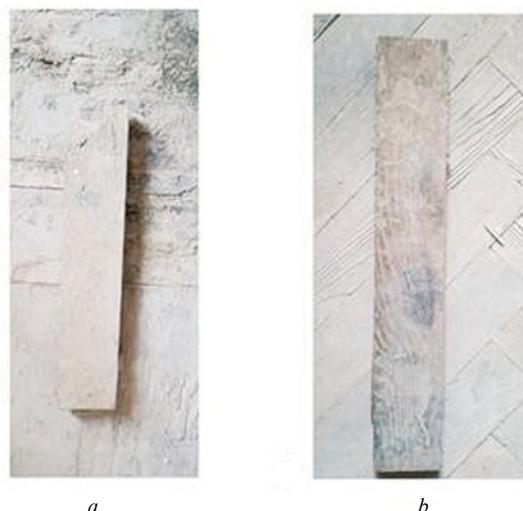


Рис. 2. Образцы для исследования: а — древесина дуба (образец № 1); б — древесина ясеня (образец № 2)
Fig. 2. Specimens for research: а — oak wood (specimen No. 1); б — ash wood (specimen No. 2)

тель токсичности продуктов горения согласно п. 4.18 и 4.20 ГОСТ 12.1.044–89⁷ соответственно; параметры воспламеняемости в соответствии с ГОСТ 30402–96⁸; теплота сгорания определялась по ГОСТ 33106–2014⁹. Для проведения испытаний по определению показателей дымообразующей способности и токсичности продуктов горения были подготовлены образцы состаренной древесины дуба и ясения размерами 40 × 40 × 10 мм. Для определения группы воспламеняемости испытывались образцы размером 165 × 165 мм фактической толщины: 10 мм древесины дуба и 19 мм древесины ясения.

Определение свойств пожарной опасности образцов древесины проводилось на базе оборудования испытательных лабораторий ФГАОУ ВО «СПбПУ» и НИЦ «ПБ» ИКБС НИУ МГСУ.

Результаты и их обсуждение

Исследование коэффициента дымообразования проводилось в режимах пламенного горения и тления с использованием газовой горелки с длиной пламени 10–15 мм. В каждом режиме подвергалось испытанию по пять образцов. 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 табл. 2 и 3.

Анализ результатов экспериментального наблюдения показал, что полученные коэффициенты дымообразования в режиме тления (более 500 м²/кг) указывают на высокую дымообразующую способность (Д3).

Режимом испытаний для определения показателя токсичности продуктов горения был принят режим термоокислительного разложения (TOP) при плотности теплового потока, в зависимости от испытываемого образца, от 18,0 кВт/м² (400 °C) до 32,5 кВт/м² (550 °C). Результаты экспериментального определения показателя токсичности продуктов горения образцов древесины представлены в табл. 4.

⁷ 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 № 3683.

⁸ ГОСТ 30402–96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость : введ. в действ. Постановлением Министра РФ от 24.06.1996 № 18-40.

⁹ ГОСТ 33106–2014 (EN 14918:2009). Межгосударственный стандарт. Биотопливо твердое. Определение теплоты сгорания.

Таблица 2. Результаты экспериментального определения показателя дымообразующей способности древесины дуба (образец № 1)

Table 2. Results of experimental determination of the smoke-forming capacity of oak wood (specimen No. 1)

Режим испытания Test mode	Номер образца Number Specimen	Начальная масса образца, г Specimen initial mass, g	Светопропускание Light transmission		Коэффициент дымообразования, м ² /кг Smoke-developed index, m ² /kg
			Начальное, % Initial, %	Конечное, % Final, %	
Тление Decay	1	2,68	100	5	733
	2	2,79	100	4	741
	3	2,72	100	4	760
	4	2,90	100	4	736
	5	2,42	100	6	774

Среднее значение в режиме тления $D_{m\ cp} = 749$ м²/кг
The average value in the smoldering mode $D_{m\ cf} = 749$ m²/kg

Горение Combustion	1	6,83	100	51	63
	2	6,61	100	49	69
	3	10,47	100	35	65
	4	7,64	100	47	64
	5	6,96	100	50	64

Среднее значение в режиме горения $D_{m\ cp} = 65$ м²/кг
The average value in combustion mode $D_{m\ cf} = 65$ m²/kg

Анализ результатов экспериментального исследования демонстрирует, что все исследуемые образцы по показателю токсичности продуктов горения классифицируются как умеренно опасные (T2).

Для установления группы воспламеняемости опыты повторяли при различных величинах поверхностной плотности теплового потока и определяли критическую (наименьшую) поверхностную плотность теплового потока (КППТП), при которой наблюдалось воспламенение и устойчивое пламенное горение образца. Результаты экспериментального определения группы воспламеняемости образцов древесины представлены в табл. 5 и 6.

Экспериментальное исследование группы воспламеняемости древесины свидетельствует, что представленные для проведения испытаний образцы относятся к группе легковоспламеняющихся материалов (В3).

Таблица 3. Результаты экспериментального определения показателя дымообразующей способности древесины ясеня (образец № 2)

Table 3. Results of experimental determination of the smoke-forming capacity of ash wood (specimen No. 2)

Режим испытания Test mode	Номер образца Number Specimen	Начальная масса образца, г Specimen initial mass, g	Свето-пропускание Light transmission		Коэффициент дымо-образования, м ² /кг Smoke-developed index, m ² /kg
			Начальное, % Initial, %	Конечное, % Final, %	
Тление Decay	1	2,74	100	7	618
	2	2,71	100	7	637
	3	2,41	100	11	592
	4	2,90	100	6	619
	5	2,24	100	11	628

Среднее значение в режиме тления $D_{m\ cp} = 619 \text{ м}^2/\text{кг}$
The average value in the smoldering mode $D_{m\ cf} = 619 \text{ м}^2/\text{kg}$

Горение Combustion	1	8,45	100	39	71
	2	8,35	100	40	71
	3	7,28	100	41	79
	4	9,12	100	38	69
	5	8,52	100	39	72

Среднее значение в режиме горения $D_{m\ cp} = 72 \text{ м}^2/\text{кг}$
The average value in combustion mode $D_{m\ cf} = 72 \text{ м}^2/\text{kg}$

Таблица 4. Результаты экспериментального определения показателя токсичности продуктов горения (класс опасности — умеренно опасные)

Table 4. Results of experimental determination of the toxicity index of combustion products (class dangers — moderately dangerous)

Номер образца Number Specimen	Номер экземпляра образца Number Specimen copy	Температура испытания, °C Test temperature, °C	Потеря массы, г Weight loss, g	Массовая доля летучих веществ, % Mass fraction of volatile substances, %	Уровень выделения CO (gCO), мг/г CO release level (gCO), mg/g	Показатель токсичности H _{Cl50} , г/м ³ Toxicity indicator H _{Cl50} , g/m ³
1	1	400	8,72	88	52,9	92,6
	2	400	6,20	95	59,9	
	3	400	7,64	96	57,6	
2	1	500	7,23	98	80,9	67,7
	2	500	7,91	97	77,4	
	3	500	8,03	99	74,5	

Таблица 5. Результаты экспериментального определения группы воспламеняемости образцов древесины дуба (образец № 1)

Table 5. Results of experimental determination of the flammability group of oak wood specimens (specimen No. 1)

Номер опыта Number Specimen	Поверхностная плотность теплового потока, кВт/м ² Surface density of the heat flux, kW/m ²	Время от момента начала теплового воздействия на образец до возникновения устойчивого пламенного горения, с The time from the moment of the beginning of the thermal effect on the sample to the occurrence of stable flame combustion, s
1	25	95
2	15	454
3	5	Устойчивого пламенного горения не наблюдалось Steady flame combustion was not observed
4	10	Устойчивого пламенного горения не наблюдалось Steady flame combustion was not observed
5	15	291
6	10	Устойчивого пламенного горения не наблюдалось Steady flame combustion was not observed
7	10	Устойчивого пламенного горения не наблюдалось Steady flame combustion was not observed
8	10	Устойчивого пламенного горения не наблюдалось Steady flame combustion was not observed
9	15	845
10	15	799

Измерение высшей теплоты сгорания выполнялось при сжигании образцов в калориметрической бомбе, заполненной кислородом при давлении 10–15 атм. Результаты измерений представлены в табл. 7.

Высшая теплота сгорания отличается от низшей на величину теплоты конденсации водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания.

В результате экспериментального исследования и проведенных расчетов определена низшая теплота сгорания для образцов древесины дуба — 16,5 МДж/кг и ясеня — 16,0 МДж/кг.

Таблица 6. Результаты экспериментального определения группы воспламеняемости образцов древесины ясеня (образец № 2)

Table 6. Results of experimental determination of the flammability group of ash wood specimens (specimen No. 2)

Номер опыта Number Specimen	Поверхностная плотность теплового потока, кВт/м ² Surface density of the heat flux, kW/m ²	Время от момента начала теплового воздействия на образец до возникновения устойчивого пламенного горения, с The time from the moment of the beginning of the thermal effect on the sample to the occurrence of stable flame combustion, s
1	15	302
2	10	Устойчивого пламенного горения не наблюдалось Steady flame combustion was not observed
3	15	683
4	10	Устойчивого пламенного горения не наблюдалось Steady flame combustion was not observed
5	10	Устойчивого пламенного горения не наблюдалось Steady flame combustion was not observed
6	10	Устойчивого пламенного горения не наблюдалось Steady flame combustion was not observed
7	15	228
8	15	269

Таблица 7. Результаты измерений высшей теплоты сгорания образцов древесины дуба и древесины ясеня

Table 7. Results of measurements of the highest heat of combustion of oak and ash wood specimens

Номер опыта Experiment Number	Дуб Oak wood		Ясень Ash wood	
	Масса, г Weight, g	Теплота сгорания, МДж/кг Heat of combustion, MJ/kg	Масса, г Weight, g	Теплота сгорания, МДж/кг Heat of combustion, MJ/kg
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 Average value		18,4		17,9

Выходы

Анализ полученных результатов экспериментального исследования пожароопасных характеристик исторических паркетов из древесины дуба и ясеня со сроком старения 160 лет демонстрирует, что показатели дымообразующей способности и вос-

Таблица 8. Сравнительные показатели пожарной опасности исторических паркетов из древесины дуба и древесины ясеня с требованиями Федерального закона № 123-ФЗ

Table 8. Comparative fire hazard indicators of historical oak and ash wood parquet floors with the requirements of Federal Law No. 123-FZ

Материал Material	Требование не более The requirement is no more than	Практические (экспериментальные) Practical (experimental)
<i>Дымообразующая способность</i> <i>Smoke generating capacity</i>		
Дуб Oak wood	Для общих коридоров Д3 For common corridors D3	Д3 / D3
Ясень Ash wood	В зальных помещениях Д2 In the halls D2	Д3 / D3
<i>Токсичность продуктов горения</i> <i>Toxicity of combustion products</i>		
Дуб Oak wood	Для общих коридоров Т2 For common corridors T2	T2
Ясень Ash wood	В зальных помещениях Т2 In the halls T2	T2
<i>Группа воспламеняемости</i> <i>Flammability group</i>		
Дуб Oak wood	Для общих коридоров В2 For common corridors B2	B3
Ясень Ash wood	В зальных помещениях В2 In the halls B2	B3

пламеняемости не соответствуют установленным требованиям к напольным покрытиям в зальных помещениях для объектов класса функциональной пожарной опасности Ф2.2. в табл. 29 Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Превышен относительно установленного табличей 28 № 123-ФЗ и показатель воспламеняемости для коридоров, холлов, фойе на путях эвакуации. Сравнение показателей представлено в табл. 8.

Полученные опытным путем значения дымообразующей способности отличаются от справочных [18, 19], используемых для получения исходных данных при расчете динамики нарастания ОФП для зданий музеев и выставок. Числовой показатель коэффициента дымообразования в базе данных (табл. 1) значительно ниже. В табл. 9 приведены сравнительные значения результатов экспериментального исследования со справочными данными.

Также имеют отличия от значений, указанных в справочной литературе [18, 19], полученные в ходе исследования показатели низшей теплоты сгорания (табл. 10).

Результат проведенного исследования подтверждает, что моделирование динамики ОФП для объектов культурного наследия, выполненных

Таблица 9. Сравнительный показатель дымообразующей способности

Table 9. Comparative indicator of smoke-forming capacity

Источник Source		Коэффициент дымо- образования, Нп·м ² /кг Smoke-developed index, Np·m ² /kg
Справочная литература Reference literature	[18]	53
	[19]	270
Исследование Experiment	Образец № 1 Specimen No. 1	749
	Образец № 2 Specimen No. 2	619

на исходных данных, взятых из справочной литературы, может иметь значительные погрешности в определении времени блокирования путей эвакуации. Поэтому проведение научных экспериментов для определения характеристик пожарной опасности древесины с исторических объектов и внесение полученных показателей в базы справочной литературы является важным направлением.

Таблица 10. Сравнительные значения низшей теплоты сгорания

Table 10. Comparative values of net heat of combustion

Источник Source		Низшая теплота сгора- ния, МДж/кг Net heat of combustion, MJ/kg
Справочная литература Reference literature	[18]	14,0
	[19]	13,8
Исследование Experiment	Образец № 1 Specimen No. 1	16,5
	Образец № 2 Specimen No. 2	16,0

Расчет пожарного риска, выполненный на реальных исходных данных, позволит более точно провести математическое моделирование распространения ОФП на путях эвакуации и установить допустимое количество единовременного нахождения людей в здании, обеспечив им безопасные условия эвакуации в случае возникновения пожара.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2021 году : стат. сб. Балашиха : П 46 ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2022. 114 с.
2. 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>
3. Сивенков А.Б. Влияние физико-химических характеристик древесины на ее пожарную опасность и эффективность огнезащиты : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2015. 289 с.
4. Inari G.N., Petrisans 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
5. Bahuls-Ciscar J., Abel M.-L., Watts J.F. Characterisation of cellulose and hardwood organosolv lignin reference materials by XPS // Surface Science Spectra. 2016. Vol. 23. Issue 1. Pp. 1–8. DOI: 10.1116/1.4943099
6. 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
7. Kraniotis D., Nore K., Brückner C., Nyrud 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. Issue 2. Pp. 203–209. DOI: 10.1007/s10086-015-1528-1
8. Лоскутов С.Р., Шапченкова 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
9. Lowden L., Hull T. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction // Fire Science Reviews. 2013. Vol. 2. Issue 4. Pp. 1–19. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4
10. Сивенков А.Б. Влияние возраста деревянных конструкций зданий на значения показателей их пожарной опасности // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 3. С. 66–67.
11. Сивенков А.Б., Барботько С.Л., Круглов Е.Ю., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. и др. Характеристики тепловыделения при горении древесины // Новые материалы и технологии глубокой переработки сырья — основа инновационного развития экономики России : мат. междунар. науч.-практ. конф. М. : ВИАМ, 2012. С. 86–88.
12. Тарасов Н.И. Система оценки влияния эксплуатационных и теплофизических факторов на пожароопасные характеристики древесных материалов : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. 171 с.
13. Анохин Е.А., Полищук Е.Ю., Сивенков А.Б. Пожарная опасность ограждающих деревянных конструкций с длительным сроком эксплуатации // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 10. С. 30–40. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.30-40

14. Альменбаев М.М. Пожарная опасность объектов культуры с материалами и конструкциями из древесины и лакокрасочными покрытиями : дис. ... канд. техн. наук. М., 2015. 200 с.
15. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Влияние естественного старения на физико-химические и пожароопасные свойства древесины // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. Вып. 9 (158). С. 206–217. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22540241>
16. Шутов Ф.А., Круглов Е.Ю., Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Влияние теплоизоляции из полимерного пенокомпозита «Репосом» на огнестойкость ограждающих деревянных каркасных конструкций // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2016. Т. 25. № 1. С. 28–37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.28-37
17. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник : в 2 ч. 2-е изд., перераб. и доп. Ч. I. М. : Пожнаука, 2004. 713 с.
18. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении : учебное пособие. М. : Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.
19. Методика определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности : утв. приказом МЧС России от 14.11.2022 № 1140.
20. Chixiang M., Baotie S., Shimei S., Hui L. Analysis of performance-based fire safety evacuation in a college library // Procedia Engineering. 2012. Vol. 43. Pp. 399–406. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.069
21. Claret A.M., Andrade A.T. Fire load survey of historic buildings // Journal of Fire Protection Engineering. 2007. Vol. 17. Issue 2. Pp. 103–112. DOI: 10.1177/1042391506064912
22. Thauvoye C., Zhao B., Klein J., Fontana M. Fire load survey and statistical analysis // Fire Safety Science. 2008. Vol. 9. Pp. 991–1002. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.9-991
23. Suresh N. Fire Loads in heritage buildings // HARANA — Bhavan's International Journal of Business. 2015. Vol. 9. Issue 1. Pp. 17–21. URL: <https://informaticsjournals.com/index.php/dbijb/article/view/16086>
24. Еремина Т.Ю., Сушкива 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

REFERENCES

1. Fires and fire safety in 2021: statistical collection. Balashikha, P 46 FSBI VNIPO EMERCOM of Russia, 2022; 114. (rus).
2. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Combustion and fire safety of wooden materials. *Pozharovzryvobezopasnost/ Fire and Explosion Safety*. 2012; 21(1):19-32. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17326710> (rus).
3. Sivenkov A.B. *Influence of physico-chemical characteristics of wood on its fire hazard and fire protection efficiency : dissertation of the Doctor of Technical Sciences*. Moscow, 2015; 289. (rus).
4. Inari G.N., Petrisans 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
5. Bañuls-Ciscar J., Abel M.-L., Watts J.F. Characterisation of cellulose and hardwood organosolv lignin reference materials by XPS. *Surface Science Spectra*. 2016; 23(1):1-8. DOI: 10.1116/1.4943099
6. 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
7. Kraniotis D., Nore K., Brückner C., Nyrud A.Q. Thermography measurements and latent heat documentation of Norwegian spruce (*picea abies*) exposed to dynamic indoor climate. *Journal of Wood Science*. 2016; 62(2):203-209. DOI: 10.1007/s10086-015-1528-1
8. Loskutov S.R., Shapchenkova O.A., Aniskina A.A. Thermal analysis of wood of the main tree species of central Siberia. *Siberian Journal of Forest Science*. 2015; 6:17-30. DOI: 10.15372/SJFS20150602 (rus).
9. Lowden L., Hull T. Flammability behavior of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire Science Reviews*. 2013; 2(4):1-19. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4
10. Sivenkov A.B. Influence of age of buildings wooden structures on characteristics of their fire hazard. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo/Industrial and Civil Engineering*. 2012; 3:66-67. (rus).
11. Aseeva R.M., Barbotko S.L., Kruglov E.Yu., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Characteristics of heat release during combustion wood. *New materials and technologies of deep processing of raw materials — the basis of innovative development of the Russian economy : materials of the international scientific and practical conference*. Moscow, VIAM, 2012; 86-88. (rus).
12. Tarasov N.I. *System for assessing the impact of operational and thermophysical factors on the fire-hazardous characteristics of wood materials : dissertation of the Candidate of Technical Sciences*. Saint Petersburg, 2013; 171. (rus).

13. Anokhin E.A., Polishchuk E.Yu., Sivenkov A.B. Fire danger protecting wooden structures long term operation. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(10):30-40. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.10.30-40 (rus).
14. Almenbayev M.M. *Fire danger of cultural objects with materials and structures made of wood and paint coatings : dissertation of the Candidate of Technical Sciences*. Moscow, 2015; 200. (rus).
15. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Natural ageing effect on physicochemical and flammable properties of the wood. *News of the SFU. Technical sciences*. 2014; 9(158):206-217. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22540241> (rus).
16. Shutov F.A., Kruglov E.Yu., Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Influence of polymeric foam composite “penocom” on fire resistance of wood frame separating constructions. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2016; 25(1):28-37. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.01.28-37 (rus).
17. Korolchenko A.Ya., Korolchenko D.A. *Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them. Reference book : in 2 parts. 2nd ed., reprint. and additional. Part I*. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004; 713. (rus).
18. Koshmarov Yu.A. *Forecasting of fire hazards in the room : textbook*. Moscow, Academy of GPS of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2000; 118. (rus).
19. Methods for determining the calculated values of fire risk in buildings, structures and fire compartments of various classes of functional fire hazard : Approved by the Order of the Ministry of Emergency Situations of Russia No. 1140 dated November 14, 2022. (rus).
20. Chixiang M., Baotie S., Shimei S., Hui L. Analysis of performance-based fire safety evacuation in a college library. *Procedia Engineering*. 2012; 43:399-406. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.08.069
21. Claret A.M., Andrade A.T. Fire load survey of historic buildings. *Journal of Fire Protection Engineering*. 2007; 17(2):103-112. DOI: 10.1177/1042391506064912
22. Thauvoye C., Zhao B., Klein J., Fontana M. Fire load survey and statistical analysis. *Fire Safety Science*. 2008; 9:991-1002. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.9-991
23. Suresh N. Fire loads in heritage. *HARANA — Bhavan's International Journal of Business*. 2015; 9(1):17-21. URL: <https://informaticsjournals.com/index.php/dbijb/article/view/16086>
24. Eremina T.Yu., Sushkova O.V. Experimental study of fire-hazardous characteristics of materials in 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).

Поступила 15.11.2022, после доработки 07.12.2022;
принята к публикации 18.04.2023

Received November 15, 2022; Received in revised form December 7, 2022;
Accepted April 18, 2023

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; Scopus AuthorID: 56893573700; 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; Scopus AuthorID: 57942111900; 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; Scopus AuthorID: 56893573700; 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; Scopus AuthorID: 57942111900; ORCID: 0000-0001-6549-1638; e-mail: sushkova.ov@hermitage.ru

Contribution of the authors:

Tatyana Yu. Eremina — scientific guidance; research concept; editing and revision of the text; formulation of final conclusions.

Olga V. Sushkova — research planning; sample preparation; generalization of research results; writing the source text; final conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interest.