

К вопросу о свойствах пожарной опасности огнезащищенной древесины

© О.Н. Корольченко¹ ✉, С.Г. Цариченко¹, Н.И. Константинова²

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26)

² Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12)

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время во всем мире достаточно интенсивно развивается промышленное домостроение с применением конструкций из древесины, однако одним из факторов, сдерживающих широкое использование древесины в строительстве, остается ее высокая пожарная опасность. Целью настоящей работы является оптимизация условий применения огнезащищенной древесины в строительстве. Для этого, по мнению авторов, необходимо решить следующие задачи:

- провести сравнительный анализ огнезащитной эффективности ряда огнезащитных средств при нанесении их на различные породы древесины;
- определить влияние средств огнезащиты древесины на комплекс ее пожарно-технических характеристик.

Методы исследования. Огнезащитная эффективность образцов составов для древесины определялась согласно контрольному методу испытаний по ГОСТ Р 53292–2009 (п. 6.2). Для изучения степени снижения горючести древесины сосны, обработанной различными огнезащитными средствами, были проведены эксперименты с применением методики и средств измерения по ГОСТ 30244–94 (метод 2). Критические значения тепловых нагрузок для реализации воспламенения и распространения пламени по деревянным конструкциям, которые могут быть описаны величинами критической поверхностной плотности теплового потока, определялись по ГОСТ 30402–96 и ГОСТ Р 51032–97. Токсичность продуктов горения и дымообразующая способность образцов огнезащищенной древесины сосны оценивались стандартными методами и средствами измерений согласно ГОСТ 12.1.044–89 (п. 4.18 и 4.20).

Результаты исследований и их обсуждение. Исследовались водные огнебиозащитные составы, комплексное огнебиозащитное средство, терморасширяющееся покрытие, краска и лак, готовые к применению и имеющие согласно ГОСТ Р 53292–2009 I или II группу огнезащитной эффективности. Было определено, что все исследованные огнезащитные составы обеспечивают потерю массы менее 9 % при нанесении их на образцы древесины лиственницы и дуба с расходами, при которых они имели II группу огнезащитной эффективности на стандартных образцах древесины сосны.

Результаты экспериментов по оценке горючести, воспламеняемости и распространения пламени по поверхности, дымообразующей способности и токсичности продуктов горения указывают на наибольшую эффективность состава для глубокой пропитки в снижении пожароопасных характеристик древесины и возможность получения материала с показателями Г1, В1, РП1, Т2, Д2.

Выводы. Результаты проведенных исследований позволили оценить степень различий в значениях средней потери массы образцов различных пород древесины (ольхи, липы, сосны, лиственницы, дуба).

Комплексное изучение свойств пожарной опасности древесины, обработанной различными по химическому составу и механизму действия средствами огнезащиты, позволило выявить влияние различных огнезащитных средств для древесины сосны на комплекс параметров пожарной опасности, регламентирующих пожаробезопасное использование строительных материалов и конструкций в зданиях и сооружениях.

Ключевые слова: огнезащитные средства; огнезащитная эффективность; горючесть; воспламеняемость; распространение пламени

Для цитирования: Корольченко О.Н., Цариченко С.Г., Константинова Н.И. К вопросу о свойствах пожарной опасности огнезащищенной древесины // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2021. Т. 30. № 2. С. 23–34. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.23-34

✉ Корольченко Ольга Николаевна, e-mail: O.Korolchenko@ikbsmgsu.ru

Flammability properties of fire-retardant timber

© Olga N. Korolchenko¹ ✉, Sergey G. Tsarichenko¹, Nataliya I. Konstantinova²

¹ Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation)

² All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation)

ABSTRACT

Introduction. At present, the house-building industry, that produces timber structures, is in the process of sufficiently intensive development; however, high flammability of wood is the factor that restrains widespread use of timber in construction. The purpose of this work is to optimize the conditions of application of fire-retardant timber in the construction industry. The co-authors believe that the following problems are to be solved to attain this objective:

- a comparative analysis of the fireproofing efficiency of several fire-proofing agents applied to different species of wood;
- determination of the character of influence produced by fire proofing agents on fire retardant properties of wood.

Methods of research. The fire proofing efficiency of sample compositions designated for wood was measured in compliance with the benchmark testing method specified in GOST R 53292 (p. 6.2). Experiments were launched pursuant to the methodology and with the help of measurement instruments specified in GOST 30244–94 (Method 2) to study the extent of the pine-tree timber flammability suppression. Critical values of thermal loads that may trigger inflammation and flame propagation in timber structures, that can be described using values of the critical surface density of the heat flow, were determined pursuant to GOST 30402–96 and GOST R 51032–97. The toxicity of combustion products and the smoke generation ability of fire-retardant pine-tree samples was assessed using standard methods and measurement instruments pursuant to GOST 12.1.044–89 (paragraphs 4.18 and 4.20).

Research results and discussion. Biological flame retardants, integrated biological flame retardants that also ensure moisture protection, intumescent coatings, lacquers and varnishes that are ready for use and labelled as having group I and II fire-retardant efficiency pursuant to GOST R 53292, were studied in the course of this research project. The co-authors have identified that the mass loss by all fire-retardant compositions is below 9 %, if applied to samples of larch and oak-tree timber, same as if it were applied to standard samples of pine-tree timber.

The findings of the experiment conducted to assess the flammability, ignitability, flame propagation, smoke generation ability and toxicity of combustion products have proven the maximal efficiency of the composition designated for full-cell pressure impregnation of timber that ensures the properties of the material labelled as G1, V1, RP1, T2, D2.

Conclusions. Hence, the research results have enabled the co-authors to assess the discrepancy between average mass loss values demonstrated by the samples of different species of timber (alder, linden, pine-tree, larch, and oak-tree).

The comprehensive study of flammability properties of timber, treated by compositions that vary in their chemical composition and mode of action of the fire proofing agent, enabled the co-authors to identify the impact produced by versatile fire-proofing agents on different flammability properties of pine-tree timber with regard taken of the fire-safe use of construction materials and constructions of buildings and structures.

Keywords: fire-proofing agents; fire-proofing efficiency; ignitability; flammability; flame propagation

For citation: Korolchenko O.N., Tsarichenko S.G., Konstantinova N.I. Flammability properties of fire-retardant timber. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2021; 30(2):23-34. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.23-34 (rus).

✉ Olga Nikolaevna Korolchenko, e-mail: O.Korolchenko@ikbsmgsu.ru

Введение

Деревянные строительные конструкции и материалы находят все большее применение из-за ряда присущих им преимуществ: высокой удельной прочности, малой теплопроводности, долговечности, достаточно развитой сырьевой базы, простоты в обработке. Строительные конструкции и облицовочные материалы изготавливают обычно из древесины хвойных пород: сосны, ели, лиственницы, пихты, кедра, которые характеризуются прямолинейностью структуры и лучшими, чем у лиственных пород, механическими свойствами, а также стойкостью против гниения благодаря смолистости.

В настоящее время во всем мире достаточно интенсивно развивается промышленное домостроение с применением конструкций из древесины; совершенствуются технологические разработки поточной сборки элементов малоквартирных домов; широко используются деревянные конструкции и материа-

лы в зданиях и сооружениях в качестве различного вида настилов, покрытий кровли, стоек, ферм, арок и рам, а также отделки и облицовки внутренних и внешних поверхностей стен, потолков, полов.

В то же время одним из факторов, сдерживающих широкое использование древесины в строительстве, остается ее высокая пожарная опасность. В связи с этим исследования, связанные с огнезащитой древесины и поведением материалов и конструкций из огнезащитной древесины на начальной стадии пожара, остаются весьма актуальными. Научный интерес представляют также вопросы изучения огнезащитной эффективности огнезащитных составов применительно к различным породам древесины.

Нормативно-техническая база, регламентирующая применение огнезащитной древесины в строительстве, включает в себя ряд документов, содержащих требования по эффективности ее огнезащиты для конструкций и свойствам пожарной

опасности облицовочных материалов для помещений зданий и сооружений. Основными из них являются Федеральный закон № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г.¹ (далее — ФЗ № 123), СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты»², СП 17.13330.2017 «Кровли» (актуализированная редакция СНиП II-26-76)³, СП 64.13330.2017 «Деревянные конструкции» (актуализированная редакция СНиП II-25-80)⁴, СП 352.1325800.2017 «Здания жилые многоквартирные с деревянным каркасом. Правила проектирования и строительства»⁵ и др.

Однако информация об огнезащитной эффективности огнезащитных составов для древесины согласно сертификатам подтверждения соответствия указывается только применительно к древесине сосны. Это обусловлено тем, что экспериментальная оценка огнезащитной эффективности составов для древесины и материалов на ее основе согласно действующим нормативным требованиям проводится на образцах древесины сосны, в то время как объектом огнезащиты могут являться строительные конструктивные элементы, выполненные из любых других пород древесины, как хвойных, так и лиственных.

В связи с этим правомерным представляется вопрос, в какой степени результаты испытаний по оценке эффективности различного рода огнезащитных средств для древесины сосны согласно ГОСТ Р 53292–2009⁶ будут справедливы и для

других пород древесины (например, лиственницы, дуба, ольхи, липы и пр.), которые достаточно широко применяются в строительстве и в силу своей пожароопасности требуют огнезащиты.

Для решения конкретных практических задач по огнезащите деревянных конструкций, облицовочных и отделочных материалов из древесины необходима полная информация по комплексу показателей пожарной опасности огнезащищенных древесных материалов. Исследования эффективности огнезащиты древесины и огнестойкости деревянных конструкций, обработанных различными огнезащитными составами, остаются весьма актуальными [1–7]. Одним из направлений является поиск новых путей решения задач, связанных с повышением уровня пожарной безопасности древесины и материалов на ее основе [8, 9].

Для этого ведется разработка высокоэффективных огнезащитных составов, включающих также функции био- и влагозащиты, технологий их нанесения, а также изучение особенностей процессов термоокислительной деструкции древесины в присутствии замедлителей горения различного типа [10–15]. Частично рассматриваются вопросы огнезащитной эффективности составов при поверхностной обработке различных пород древесины [16, 17].

Целью настоящей работы является оптимизация условий применения огнезащитной древесины в строительстве. Для этого, по мнению авторов, необходимо решить следующие задачи:

- провести сравнительный анализ огнезащитной эффективности ряда огнезащитных средств при нанесении их на различные породы древесины;
- определить влияние средств огнезащиты древесины на комплекс ее пожарно-технических характеристик.

Методы исследования

Научный и практический интерес в настоящей работе представлял сравнительный анализ огнезащитной эффективности различных по механизму действия средств при нанесении их на различные породы древесины, применяемые в настоящее время на объектах строительства, для обеспечения их пожарной безопасности, а также определение характеристик пожарной опасности древесины, обработанной этими огнезащитными средствами.

Огнезащитная эффективность образцов составов для древесины определялась с использованием контрольного метода испытаний по ГОСТ Р 53292–2009 (п. 6.2).

Для изучения степени снижения горючести древесины сосны, обработанной различными огнезащитными средствами, были проведены экспе-

¹ 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.

² Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты : (СП 2.13130.2020) : утвержден и введен в действие приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) от 12 марта 2020 г. № 151.

³ Кровли (актуализированная редакция СНиП II-26-76) : (СП 17.13330.2017) : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 31 мая 2017 г. № 827/пр и введен в действие с 1 декабря 2017 г.

⁴ Деревянные конструкции (актуализированная редакция СНиП II-25-80) : (СП 64.13330.2017) : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 февраля 2017 г. № 129/пр и введен в действие с 28 августа 2017 г.

⁵ Здания жилые многоквартирные с деревянным каркасом. Правила проектирования и строительства : (СП 352.1325800.2017) : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России) от 13 декабря 2017 г. № 1660/пр и введен в действие с 14 июня 2018 г.

⁶ ГОСТ Р 53292–2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 68-ст.

рименты с применением методики и средств измерения по ГОСТ 30244–94⁷ (метод 2).

Экспериментальные исследования по определению критической поверхностной плотности теплового потока (КППТП), при которой происходит воспламенение, для рассматриваемых в рамках настоящей работы различных видов огнезащитной древесины сосны проводились с использованием метода испытаний и средств измерений в соответствии с ГОСТ 30402–96⁸. Образец огнезащитной древесины размером 165×165×15 мм подвергался воздействию лучистого теплового потока с поверхностной плотностью от 5 до 50 кВт/м². За КППТП принималось ее минимальное значение, при котором отмечалось наличие пламенного горения.

Изучение устойчивости образцов огнезащитной древесины сосны к распространению пламени по горизонтальной поверхности проводилось с использованием метода и средств измерений согласно ГОСТ Р 51032–97⁹. Устойчивость к распространению пламени оценивалась по величине КППТП, которую устанавливают по длине распространения пламени по образцу в результате воздействия теплового потока на его поверхность. Для исследований использовались образцы размером 1100×250×15 мм без подложки, предусмотренной стандартом.

Токсичность продуктов горения и дымообразующая способность образцов огнезащитной древесины сосны оценивались стандартными методами и средствами измерений согласно ГОСТ 12.1.044–89¹⁰ (п. 4.18 и 4.20).

Результаты исследований и их обсуждение

Для проведения указанных исследований был использован ряд достаточно широко известных, различных по химической природе и механизму действия огнезащитных средств (пропитки, лаки, покрытия и краски), обработка которыми осуществляется методами нанесения на поверхность древе-

сины и ее глубокой пропитки. В качестве объектов исследований огнезащитной эффективности средств были выбраны образцы древесины разных пород — сосны, лиственницы, дуба, липы и ольхи.

Представительный выбор огнезащитных средств для древесины проводился с учетом химического состава, содержания компонентов, механизма действия антипиренов и способа их нанесения [18].

Исследовались водные огнебиозащитные составы, комплексное огнебиовлагозащитное средство, терморасширяющееся покрытие, краска и лак, готовые к применению и имеющие согласно ГОСТ Р 53292–2009 I или II группу огнезащитной эффективности.

На производство и применение огнезащитных средств разработана техническая документация, имеется подтверждение соответствия требованиям пожарной безопасности в виде обязательной сертификации согласно ФЗ № 123 или ТР ЕАЭС 043/2017 (О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности)¹¹, а также соответствие государственным санитарно-эпидемиологическим правилам и нормативам СанПиН 2.1.2.729–99 (Полимерные и полимерсодержащие строительные материалы, изделия и конструкции. Гигиенические требования безопасности)¹².

Характеристики огнезащитных средств для древесины и группы их огнезащитной эффективности представлены в табл. 1.

Для огнезащитных средств 1–6 использовался способ нанесения на образцы древесины кистью, а для образца 7 — автоклавный способ глубокой пропитки, с соблюдением расхода и технологии согласно имеющейся технической документации.

Материалы статьи не носят рекламный характер, поэтому наименования составов не указываются, а их основные компоненты представлены в соответствии с информацией, имеющейся в разработанной на них технической документации и доступной для просмотра.

Как следует из данных табл. 1, отличающиеся по составу и способу нанесения на древесину сосны огнезащитные средства имеют I или II группу огнезащитной эффективности при различных расходах.

Для получения сравнительных данных по огнезащитной эффективности составов применительно к различным породам древесины были проведены

⁷ГОСТ 30244–94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть : принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации и техническому нормированию в строительстве (МНТКС) 10 ноября 1993 г.

⁸ГОСТ 30402–96. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость : принят Межгосударственной научно-технической комиссией по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС) 15 мая 1996 г.

⁹ГОСТ Р 51032–97. Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени : принят и введен в действие постановлением Минстроя России от 27 декабря 1996 г. № 18-93.

¹⁰ГОСТ 12.1.044–89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы определения : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 12 декабря 1989 г. № 3683.

¹¹Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017) : принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 23 июня 2017 г. № 40.

¹²Полимерные и полимерсодержащие строительные материалы, изделия и конструкции. Гигиенические требования безопасности: (СанПиН 2.1.2.729–99) : утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27 января 1999 г. № 3.

Таблица 1. Характеристики огнезащитных средств для древесины и группы их огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53292**Table 1.** Characteristics of fire-proofing agents designated for timber and groups of their fire-proofing efficiency according to GOST R 53292

Номер состава Composition No.	Вид и основные компоненты состава Types and principal ingredients of compositions	Расход, г/м ² Flow rate, g/m ²	Группа огнезащитной эффективности состава Fire-proofing efficiency group
1	Огнезащитный антисептический состав на основе фосфорных кислот и карбамида с различными модифицирующими добавками Fire-retarding composition that contains phosphoric acid, carbamide and various modifying additives	300	II
2	Огнезащитный антисептический состав на основе фосфорных кислот и карбамида с различными модифицирующими добавками Fire-retarding composition that contains phosphoric acid, carbamide and various modifying additives	350	I
3	Огнезащитный состав на основе неорганических соединений-антипиренов и биологически активных веществ-антисептиков Fire-retarding composition that contains inorganic compounds, or fire-retarding chemicals and biologically active substances, or preservatives	450	II
4	Лак огнезащитный на основе полимерного материала и раствора акрилового сополимера Fire-retarding lacquer that contains a polymer and a solution of acrylic copolymer	350	I
5	Огнезащитная краска на основе водной дисперсии поливинилацетата и водной дисперсии карбамидоформальдегидного форконденсата Fire-retarding varnish that contains water dispersion of polyvinyl acetate and water dispersion of condensed carbamide-formaldehyde	350	I
6	Покрывание вспучивающееся огнезащитное на основе эпоксидного олигомера, водно-дисперсных акриловых сополимеров, кремний-органических смол и каучуков Intumescent coating that contains epoxide oligomer, water dispersions of acrylic copolymers, silicon-organic resins and caoutchoucs	700	I
7	Комплексное огнезащитное и биоцидное средство на основе фосфоразотсодержащих водорастворимых соединений, комплексных биоцидов и специальных биопластификаторов Integrated fire-proofing and biocidal agent that contains water-soluble compounds of phosphorus and nitrogen, integrated biocides, and biological plasticizers	380	I

экспериментальные исследования, результаты которых представлены в табл. 2.

Как следует из полученных результатов экспериментальных исследований (см. табл. 2), все огнезащитные средства, имеющие при определенном расходе I или II группу огнезащитной эффективности на древесине сосны, сохраняют при таком же расходе ту же группу огнезащитной эффективности на образцах древесины ольхи и липы. Причем существенных различий в результатах оценки средней потери массы огнезащищенными образцами указанных пород древесины не наблюдается. Так, например, огнезащитный антисептический состав 2, имеющий I группу огнезащитной эффективности

на образцах древесины сосны при расходе 350 г/м², сохраняет при том же расходе такую же группу огнезащитной эффективности на образцах древесины липы и ольхи. При этом средняя потеря массы последних составляет соответственно 8,1 и 8,5 % (для сравнения: у древесины сосны 8,8 %).

Более существенные различия в эффективности огнезащиты составов 1–7 наблюдаются на образцах древесины лиственницы и дуба. Все без исключения огнезащитные средства при тех же расходах, что и на древесине сосны, обеспечивали потерю массы образцов древесины лиственницы и дуба в пределах 3...8 %. Так, состав 1 при расходе 300 г/м² имеет II группу огнезащитной эффективности на образцах

Таблица 2. Средние потери массы образцов различных пород огнезащитной древесины по результатам испытаний по ГОСТ Р 53292 (п. 6.2)

Table 2. Average mass loss broken down by samples of different species of fire-retardant timber according to the test results pursuant to GOST R 53292 (p. 6.2)

Номер состава Composition No.	Расход, г/м ² (группа огнезащитной эффективности) Flow rate, g/m ² (fire-proofing efficiency)	Потеря массы, %, древесины (плотностью, кг/м ³) Mass loss, %, timber (density, kg/m ³)				
		липы linden (530)	ольхи alder (490)	сосны pine-tree (520)	лиственницы larch (660)	дуба oak-tree (690)
1	300 (II)	17,1	18,1	17,6	7,6	6,5
2	350 (I)	8,1	8,5	8,8	4,8	4,3
3	450 (II)	12,9	14,1	13,9	5,9	5,7
4	350 (I)	7,8	8,7	8,9	3,9	3,7
5	350 (I)	7,9	8,5	8,7	3,7	3,5
6	700 (I)	7,7	7,9	8,1	3,5	3,0
7	380 (I)	5,2	5,3	5,4	3,2	3,0

Примечания:

1. Средняя потеря массы образцов различных пород древесины определялась по результатам расчета потери массы в трех опытах.
2. Среднее значение плотности древесины рассчитывалось до проведения ее огнезащитной обработки и округлено до целого числа.

Notes:

1. Average mass loss demonstrated by samples of different species of timber was identified according to the calculation results of the mass loss identified in the course of three experiments.
2. Average value of timber density was identified before its treatment by the fire-proofing agent, and the resulting figure was expressed in round numbers.

древесины сосны при средней потере массы 17,7 %, в то время как при том же расходе средняя потеря массы древесины лиственницы составляет 7,5 %, а древесины дуба — 6,5 %.

Полученные данные могут быть обусловлены отличием плотности образцов древесины лиственницы и дуба от плотности образцов древесины липы, ольхи и сосны. Это согласуется с данными, полученными авторами работы [19], в которой установлены макрокинетические параметры пиролиза и термоокислительного разложения древесины разных пород и плотности при беспламенном горении и показана существенная разница в термическом поведении карбонизованных остатков в условиях нагрева по стандартному режиму пожара.

Можно также с высокой вероятностью предположить, что огнезащитные составы при их нанесении на различные породы древесины, близкие по плотности к древесине сосны, используемой в качестве стандартной при оценке группы огнезащитной эффективности по ГОСТ Р 53292–2009, будут иметь такую же огнезащитную эффективность, что и на древесине сосны. Проведенные исследования также показали, что все исследованные огне-

защитные средства обеспечивают потерю массы менее 9 % при нанесении их на образцы древесины лиственницы и дуба с расходами, при которых они имели II группу огнезащитной эффективности на стандартных образцах древесины сосны.

В практическом плане представленные результаты могут иметь важное значение при разработке соответствующих рекомендаций по огнезащите различных пород древесины для обеспечения пожарной безопасности конкретных объектов строительства.

Одной из важнейших характеристик пожарной опасности строительных материалов является горючесть, т.е. способность материалов поддерживать и распространять горение. При изучении степени снижения горючести древесины сосны, обработанной различными огнезащитными средствами, определялись такие параметры, как время самостоятельного горения $\tau_{с.г.}$, потеря массы Δm , степень повреждения образца по длине ΔL и максимальная температура отходящих газов T_{\max} .

Тепловые нагрузки на деревянные конструкции могут быть обусловлены также воздействием на них радиационного (лучистого) теплового потока и по-

следующим их прогревом, который определяется теплофизическими свойствами древесины. Таким образом, критические значения тепловых нагрузок для реализации воспламенения и распространения пламени по деревянным конструкциям могут быть описаны величинами КППТП.

Результаты комплексных экспериментальных исследований параметров пожарной опасности огнезащищенной различными средствами древесины сосны приведены в сводной табл. 3.

По результатам исследований установлено, что исходный образец древесины сосны имеет группу горючести Г4, т.е. относится к сильногорючим материалам со следующими параметрами (по ГОСТ 30244–94): $T_{\max} = 900 \dots 1000$ °С, $\Delta m = 90 \dots 95$ %, $\tau_{с.г.} > 600$ с, $\Delta L = 100$ %.

Результаты экспериментов также показали (см. табл. 2), что практически у всех огнезащитных средств для древесины огнезащитный эффект проявляется в сокращении тепловыделения, времени самостоятельного горения и потери массы (по сравнению с образцами исходной древесины): $T_{\max} = 130 \dots 376$ °С, $\Delta m = 3 \dots 52$ %, $\tau_{с.г.} = 0 \dots 565$ с.

Как следует из полученных экспериментальных данных, обработка огнезащитными составами 1, 3 и 4 не приводит к изменению группы горючести древесины. Образцы древесины, обработанные средствами 2, 5 и 6, переходят в группу горючести ГЗ, т.е. нормальногорючих материалов. Комплексное огнебиозащитное средство 7

обеспечивает получение древесины группы горючести Г1.

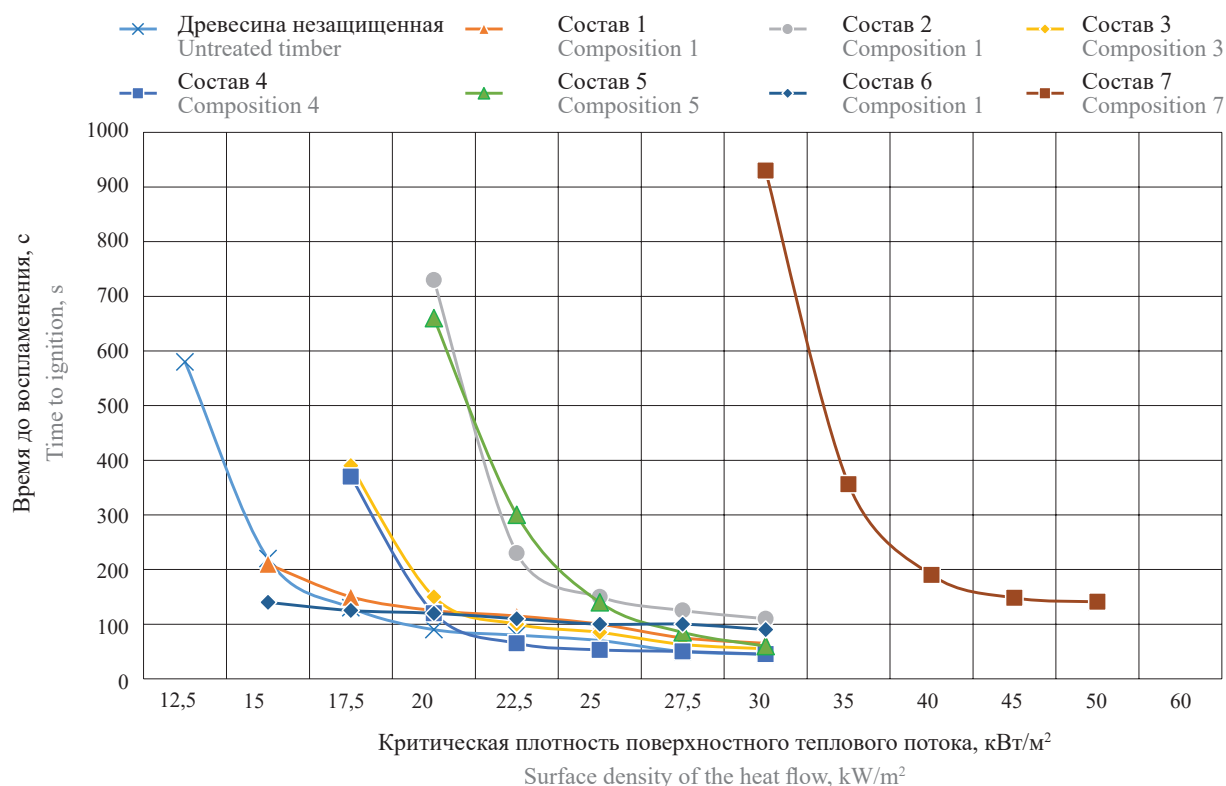
Наблюдения за изменением состояния поверхности образцов в процессе воздействия на них внешнего теплового потока показали, что заметные термические превращения начинаются уже при поверхностной плотности тепловых потоков 15 кВт/м². Дальнейшее увеличение их плотности сопровождается более интенсивным обугливанием поверхности, образованием трещин в поверхностном слое и воспламенением выделяющихся газообразных продуктов термического разложения.

На рисунке представлена зависимость времени до воспламенения от КППТП для образцов древесины, обработанных различными огнезащитными средствами.

В соответствии с принятой классификацией строительных материалов по воспламеняемости (согласно ГОСТ 30402–96) исследованные составы, за исключением образца 7, не изменяют группу воспламеняемости огнезащищенной древесины по сравнению с исходной, которая относится к группе ВЗ — легковоспламеняемых материалов. Эффект от их огнезащиты проявляется в некотором увеличении плотности падающего теплового потока, при котором происходит воспламенение, и времени индукции до воспламенения огнезащищенной древесины по сравнению с исходной. При этом наибольший эффект от огнезащиты проявляется при плотности тепловых потоков 15...20 кВт/м². При дальнейшем

Таблица 3. Результаты оценки параметров пожарной опасности огнезащищенной различными средствами древесины сосны
Table 3. Assessment of flammability properties of fire-protected pine-tree timber treated by various compositions

Номер состава Composition No.	Горючесть Combustibility				Воспламеняемость Ignitability		Распространение пламени Flame propagation		
	T_{\max} , °С	ΔL , %	Δm , %	$\tau_{с.г.}$, с $\tau_{ав.г.}$, с	КППТП, кВт/м ² Critical surface density of the heat flow, kW/m ²	$\tau_{воспл.}$, с $\tau_{ign.}$, с	КППТП, кВт/м ² Critical surface density of the heat flow, kW/m ²	L , см L , cm	$\tau_{с.г.}$, с $\tau_{ав.г.}$, с
1	353	100	49	1810	15	210	9,0	32	122
2	314	82	34	290	20	730	9,9	65	0
3	376	100	52	315	17,5	390	9,9	70	15
4	313	100	34	565	17,5	370	9,9	347	314
5	275	81	48	115	20	660	>11	35	174
6	279	76	33	260	15	140	9,8	310	7
7	130	52	3	0	35	356	>11	0	0



Зависимость времени до воспламенения от критической плотности поверхностного теплового потока для исходного образца и образцов древесины, обработанных различными составами

Dependence of time to ignition on critical density of the surface heat flow of the benchmark sample and samples treated by different compositions

ее увеличении период времени до воспламенения исходной и огнезащитной древесины различается незначительно.

Наиболее заметный эффект от огнезащиты проявляется в повышении устойчивости древесины к воспламенению у образцов № 2, 5 и 7. Эти наблюдения, согласующиеся с современными представлениями о процессах воспламенения конденсированных материалов, позволяют определить направления повышения эффективности огнезащитных средств: разработку комплексных пропиточных составов [16] или введение в их рецептуры определенного вида интумесцентных добавок [20].

Результаты определения группы распространения пламени для образцов огнезащитной древесины, представленные в табл. 3, свидетельствуют о том, что в результате обработки древесины (в данной работе составами № 5 и 7) можно получать материалы группы РП 1, т.е. не распространяющие пламя по поверхности.

Особое внимание следует уделить данным по оценке показателей пожарной опасности древесины сосны, обработанной методом глубокой пропитки комплексным средством (состав 7). Результаты экспериментов по оценке горючести, воспламеняемости и распространения пламени по поверхности указывают на наибольшую эффективность состава 7

в снижении пожароопасных характеристик и возможность получения материала с показателями Г1, В1, РП1. Причем в отличие от поверхностной обработки исследованными средствами метод глубокой пропитки составом 7 позволяет получить древесину, которая не только имеет параметры пожарной опасности, соответствующие требованиям ее пожаробезопасного применения в отделке помещений зданий и сооружений, но и обладает значительно более высокой устойчивостью к воздействию теплового потока. Полученные результаты согласуются с данными работы [21].

Были проведены исследования влияния средств огнезащиты на дымообразующую способность и токсичность продуктов горения огнезащитной древесины сосны. Эти показатели особенно важно учитывать при оценке времени безопасной эвакуации людей при возникновении пожара в здании.

Результаты изучения влияния обработки древесины сосны огнезащитными составами на показатель токсичности продуктов горения (H_{C150}) свидетельствуют о том, что огнезащитная древесина (как и исходная) относится к материалам группы Т3, т.е. к высокоопасным ($H_{C150} = 24 \dots 35$). Исключение составляет древесина, обработанная огнезащитным терморасширяющимся покрытием (состав 6) с $H_{C150} = 46$, и образец древесины с глубокой пропит-

кой комплексным средством (состав 7) с $H_{Cl50} = 43$, что переводит ее в группу Т2, т.е. умеренноопасных материалов.

Вспучивающиеся огнезащитные материалы определенного состава обнаруживают эффективность в снижении параметров обугливания элементов деревянных конструкций в 1,5–2 раза в условиях стандартного температурного режима пожара благодаря образованию теплоизолирующего вспененного слоя, который не только обеспечивает сопротивляемость к воздействию огня, но и затрудняет выход летучих продуктов термического разложения [22, 23].

В ходе экспериментальных работ по оценке дымообразующей способности огнезащищенной древесины было установлено, что для всех исследованных образцов материала значения коэффициентов дымообразования в режиме тления оказались примерно на порядок выше, чем в режиме пламенного горения. Поэтому основная серия экспериментов проводилась при горении образцов огнезащищенной древесины в режиме тления.

Исследования, проведенные с древесиной сосны, имеющей коэффициент дымообразования $D_m = 700 \text{ м}^2/\text{кг}$, у образцов древесины, обработанных составами 1, 3–5, D_m находится в пределах $650 \dots 505 \text{ м}^2/\text{кг}$; составом 2 — $470 \text{ м}^2/\text{кг}$, составом 6 — $340 \text{ м}^2/\text{кг}$, а составом 7 — $145 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Обнаруженная тенденция к снижению дымообразования при горении древесины, обработанной огнезащитными составами, свидетельствует о том, что степень этого влияния для разных составов отличается. При этом возможно получение древесных материалов с умеренной дымообразующей способностью (группа Д2).

Полученные результаты согласуются с данными работ [24, 25] по снижению дымообразующей способности древесины при пожаре. В них рассмотрено влияние различных неорганических и органических кислот фосфора, а также некоторых кремнийорганических соединений на дымообразующую способность древесины и сделан вывод, что оно обусловлено изменениями в пористой структуре угля, изменением

соотношения карбоксильных и гидроксильных групп, а также содержанием элементов фосфора и кремния в поверхностном карбонизованном слое.

Выводы

Результаты проведенных исследований позволили оценить степень различий в значениях средней потери массы образцов различных пород древесины (ольхи, липы, сосны, лиственницы, дуба), обработанных разными видами огнезащитных средств, и определить, что все исследованные огнезащитные составы обеспечивают потерю массы менее 9 % при нанесении их на образцы древесины лиственницы и дуба с расходами, при которых они имели II группу огнезащитной эффективности на стандартных образцах древесины сосны.

В ходе экспериментальных исследований была также выполнена оценка степени соответствия группы огнезащитной эффективности различных средств огнезащиты древесины, определяемой по методике ГОСТ Р 53292–2009, и ряда показателей пожарной опасности огнезащищенной древесины. В результате этой оценки корреляции между ними установлено не было. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке и применении огнезащитных композиций для обработки материалов и конструкций из древесины.

Комплексное изучение свойств пожарной опасности древесины сосны, обработанной различными по химическому составу и механизму действия средствами огнезащиты, позволило выявить влияние различных огнезащитных средств на комплекс параметров пожарной опасности древесины (горючесть, воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, дымообразующую способность и токсичность продуктов горения), регламентирующих пожаробезопасное использование строительных материалов и конструкций из древесины в зданиях и сооружениях и, таким образом, установить степень ее соответствия существующим нормативным показателям, регламентирующим ее пожаробезопасное применение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богданова В.В., Кобец О.И., Кирлица В.П. Механизм и синергическое действие азот-фосфорсодержащих антипиренов при огнезащите и тушении древесины и торфа // Химическая физика. 2016. Т. 35. № 4. С. 57–63. DOI: 10.7868/S0207401X16040038
2. Lowden L.A., Hull T.R. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction // Fire Science Reviews. 2013. Vol. 2. No. 1. P. 4. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4
3. Максименко С.А., Кривцов Ю.В., Максименко Н.А., Мельников Н.О., Константинова Н.И. Пожарная опасность новых видов лесоматериалов // Пожарная безопасность. 2013. № 2. С. 74–77.
4. Богданова В.В., Радкевич Л.В. Экономичные огнезащитные составы для деревянных строительных конструкций // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 1 (150). С. 201–205. URL: <http://old.izv-tn.ti.sfedu.ru/?p=6227>

5. *White R.H.* Fire resistance of wood members with directly applied protection // Wood design focus. Summer 2009. Pp. 13–19. URL: <http://www.awc.org/pdf/codes-standards/publications/archives/wdf/WDF-2009-FireResistance-White-0910.pdf>
6. *Minailov D., Eremina T., Korolchenko D.* New method of quality control for fire protective coatings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 471. No. 11. P. 112016. DOI: 10.1088/1757-899X/471/11/112016
7. *Korolchenko D., Pizhurin A.* Simulating operational control of production in lumber house building businesses // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 117. P. 00084. DOI: 10.1051/mateconf/201711700084
8. *Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B.* Fire behavior and fire protection in timber buildings // Springer Series in Wood Science. Netherlands, Dordrecht: Springer, 2014. 280 p. DOI: 10.1007/978-94-007-7460-5
9. *Özdemir F., Tutus A.* Effects of fire retardants on the combustion behavior of high-density fiberboard // BioResources. 2013. Vol. 8. No. 2. Pp. 1665–1674. DOI: 10.15376/biores.8.2.1665-1674
10. *Van der Veen I., De Boer J.* Phosphorus flame retardants: Properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis // Chemosphere. 2012. Vol. 88. No. 10. Pp. 1119–1153. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.03.067
11. *Khelfa A., Bensakhria A., Weber J.V.* Investigations into the pyrolytic behaviour of birch wood and its main components: primary degradation mechanisms, additivity and metallic salt effects // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2013. Vol. 101. Pp. 111–121. DOI: 10.1016/j.jaap.2013.02.004
12. *Тычино Н.А.* Огнебиозащита древесины и экология // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2012. Т. 21. № 1. С. 44–46. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17326713>
13. *Арцыбашева О.В., Визгалова Г.И., Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б.* Анализ способов и средств огнезащиты для снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости деревянных конструкций // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2014. № 3. С. 13–20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22454382>
14. *Boruszewski P., Borysiuk P., Jaskółowski W., Fajkowska K., Mamiński M., Jencyk-Tolloczko I.* Characteristics of selected fireproof properties of particleboard made from particles impregnated with salt agent // Annals of Warsaw university of Life Science — SGGW, Forestry and Wood Technology. 2011. No. 73. Pp. 142–146.
15. *Yorur H., Kurt S., Yumrutas I.* The effect of aging on various physical and mechanical properties of scotch pine wood used in construction of historical Safranbolu houses // Drvna Industrija. 2014. Vol. 65. No. 3. Pp. 191–196. DOI: 10.5552/drind.2014.1328
16. *Сивенков А.Б.* Влияние физико-химических характеристик древесины на ее пожарную опасность и эффективность огнезащиты : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2015. 289 с.
17. *Бороздин С.А., Гитцович Г.А., Ветров В.В., Морозов С.С.* Эффективность огнезащитных составов при нанесении их на различные породы древесины // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С. 70–76. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43956596>
18. *Корольченко А.Я., Корольченко О.Н.* Средства огнезащиты : справочник. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во «Пожнаука», 2009. 560 с.
19. *Круглов Е.Ю., Асеева Р.М.* Беспламенное горение древесины: параметры макрокинетики пиролиза и термоокислительного разложения // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2020. Т. 29. № 1. С. 43–54. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.01.43-54
20. *Зыбина О.А.* Теоретические принципы и технология огнезащитных вспучивающихся материалов : дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2015. 260 с.
21. *Низматилина Д.М.* Снижение пожарной опасности деревянных конструкций способом их глубокой пропитки огнебиозащитными составами : дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 201 с.
22. *Еремина Т.Ю., Николаева Е.А.* Разработка огнезащитного лака для повышения пожарной безопасности деревянных клееных конструкций // XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России : в 2-х ч. Часть 2. Горение и проблемы тушения пожаров : тезисы докладов. М. : ВНИИПО, 2017. С. 272–275. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29942808>
23. *Karpovič Z., Šukys R., Gudelis R.* Toxicity research of smouldering and flaming pine timber treated with fire retardant solutions // Journal of Civil Engineering and Management. 2012. Vol. 18. No. 4. Pp. 600–608. DOI: 10.3846/13923730.2012.709195
24. *Покровская Е.Н., Портнов Ф.А.* Снижение дымообразующей способности при химическом модифицировании древесины // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке

и образовании : сб. мат. Междунар. науч. конф. / отв. ред. Т.И. Квитка, И.П. Молчанова. М., 2015. С. 259–263.

25. Корольченко О.Н. Влияние средств огнезащиты на пожарную опасность древесины : дис. ... канд. техн. наук. М., 2010. 221 с.

REFERENCES

1. Bogdanova V.V., Kobets O.I., Kirlitsa V.P. Mechanism and synergistic action of nitrogen-phosphorus-containing fire retardants in fire protection and extinguishing of wood and peat. *Chemical Physics*. 2016; 35(4):57-63. DOI: 10.7868/S0207401X16040038 (rus).
2. Lowden L.A., Hull T.R. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire Science Reviews*. 2013; 2(1):4. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4
3. Maksimenko S.A., Krivtsov Ju.V., Maksimenko N.A., Melnikov N.O., Konstantinova N.I. Fire hazard of new types of the wood products. *Pozharnaya bezopasnost'/Fire Safety*. 2013; 2:74-77. (rus).
4. Bogdanova V.V., Radkevich L.V. The economical fireproof compositions for wooden building constructions. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2014; 1(150):201-205. URL: <http://old.izv-tn.tti.sfedu.ru/?p=6227> (rus).
5. White R.H. Fire resistance of wood members with directly applied protection. *Wood design focus*, Summer 2009; 13-19. URL: <http://www.awc.org/pdf/codes-standards/publications/archives/wdf/WDF-2009-FireResistance-White-0910.pdf>
6. Minailov D., Eremina T., Korolchenko D. New method of quality control for fire protective coatings. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019; 471(11):112016. DOI: 10.1088/1757-899X/471/11/112016
7. Korolchenko D., Pizhurin A. Simulating operational control of production in lumber house building businesses. *MATEC Web of Conferences*. 2017; 117:00084. DOI: 10.1051/mateconf/201711700084
8. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Fire behavior and fire protection in timber buildings. *Springer Series in Wood Science*. Netherlands, Dordrecht, Springer, 2014; 280. DOI: 10.1007/978-94-007-7460-5
9. Özdemir F., Tutus A. Effects of fire retardants on the combustion behavior of high-density fiberboard. *BioResources*. 2013; 8(2):1665-1674. DOI: 10.15376/biores.8.2.1665-1674
10. Van der Veen I., De Boer J. Phosphorus flame retardants: Properties, production, environmental occurrence, toxicity and analysis. *Chemosphere*. 2012; 88(10):1119-1153. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2012.03.067
11. Khelfa A., Bensakhria A., Weber J.V. Investigations into the pyrolytic behaviour of birch wood and its main components: primary degradation mechanisms, additivity and metallic salt effects. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2013; 101:111-121. DOI: 10.1016/j.jaap.2013.02.004
12. Tychino N.A. Fire- and bioprotection of wood and ecology. *Pozharovzryvbezopasnost'/ Fire and Explosion Safety*. 2012; 21(1):44-46. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17326713> (rus).
13. Artsybasheva O.V., Vizgalova G.I., Aseeva R.V., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Fire protection means and technique analysis to reduce fire hazards and increase fire resistance of wooden constructions. *Fire and emergencies: prevention, elimination*. 2014; 3:13-20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22454382> (rus).
14. Boruszewski P., Borysiuk P., Jaskółowski W., Fajkowska K., Mamiński M., Jencyk-Tołłoczko I. Characteristics of selected fireproof properties of particleboard made from particles impregnated with salt agent. *Annals of Warsaw university of Life Science — SGGW, Forestry and Wood Technology*. 2011; 73:142-146.
15. Yorur H., Kurt S., Yumrutas I. The effect of aging on various physical and mechanical properties of scotch pine wood used in construction of historical Safranbolu houses. *Drvna Industrija*. 2014; 65(3):191-196. DOI: 10.5552/drind.2014.1328
16. Sivenkov A.B. *Influence of physical and chemical characteristics of wood on its fire hazard and the effectiveness of fire protection : dissertation of a doctor of technical sciences*. Moscow, 2015; 289. (rus).
17. Borozdin S.A., Gittcovich G.A., Vetrov V.V., Morozov S.S. Efficiency of fire-protective compositions at application of them to various breeds of wood. *Modern Problems of Civil Protection*. 2020; 3(36):70-76. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43956596> (rus).
18. Korolchenko A.Ya., Korolchenko O.N. *Fire protection means. Reference book*. 2nd ed. Moscow, Pozhnauka Publ., 2009; 560. (rus).
19. Kruglov E.Yu., Aseeva R.M. Flameless burning of wood: parameters of macrokinetics of pyrolysis and thermo-oxidative decomposition. *Pozharovzryvbezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2020; 29(1):43-54. DOI: 10.18322/PVB.2020.29.01.43-54 (rus).

20. Zybyina O.A. *Theoretical principles and technology of fire retardant intumescent materials : dissertation of a doctor of technical sciences*. Saint Petersburg, 2015; 260. (rus).
21. Nigmatilina D.M. *Reducing the fire hazard of wooden structures by means of their deep impregnation with fire-retardant compositions : dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, 2017; 201. (rus).
22. Eremina T.Yu., Nikolaeva E.A. Development of fire retardant varnish to improve fire safety of glued wooden structures. *XXIX International scientific and practical conference dedicated to the 80th anniversary of the FGBU VNIPO EMERCOM of Russia : in 2 parts. Part 2. Combustion and problems of extinguishing fires : abstracts*. Moscow, VNIPO, 2017; 272-275. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29942808> (rus).
23. Karpovič Z., Šukys R., Gudelis R. Toxicity research of smouldering and flaming pine timber treated with fire retardant solutions. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2012; 18(4):600-608. DOI: 10.3846/13923730.2012.709195
24. Pokrovskaya E.N., Portnov F.A. Decrease in smoke-forming ability during chemical modification of wood. *Integration, partnership and innovation in building science and education : collection of materials of the International scientific conference*; T.I. Kvitka, I.P. Molchanov (ed.). Moscow, 2015; 259-263. (rus).
25. Korolchenko O.N. *The influence of fire protection means on the fire hazard of wood : dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, 2010; 221. (rus).

Поступила 25.02.2021, после доработки 16.03.2021; принята к публикации 25.03.2021
Received February 25, 2021; Received in revised form March 16, 2021; Accepted March 25, 2021

Информация об авторах

КОРОЛЬЧЕНКО Ольга Николаевна, руководитель Центра оценки соответствия продукции Института комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 1092980; ORCID: 0000-0003-2568-0834; e-mail: O.Korolchenko@ikbs-mgsu.ru

ЦАРИЧЕНКО Сергей Георгиевич, д-р техн. наук, профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), г. Москва, Российская Федерация; РИНЦ ID: 181475; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

КОНСТАНТИНОВА Наталия Ивановна, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Балашиха, Московская обл., Российская Федерация; Scopus Author ID: 57195464313; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

Information about the authors

Olga N. KOROLCHENKO, Head of the Product Conformity Assessment Center, Institute of Integrated Safety in Construction, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ID RISC: 1092980; ORCID: 0000-0003-2568-0834; e-mail: O.Korolchenko@ikbs-mgsu.ru

Sergey G. TSARICHENKO, Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of Integrated Safety in Civil Engineering, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russian Federation; ID RISC: 181475; ORCID: 0000-0002-9807-6841; e-mail: tsarichenko_s@mail.ru

Nataliya I. KONSTANTINOVA, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Moscow Region, Russian Federation; Scopus Author ID: 57195464313; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.ru