

УДК 66.018.4

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СПОСОБА ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ ОГНЕЗАЩИТНЫМ СОСТАВОМ НА СТОЙКОСТЬ К ОГНЕВОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ

Ж. Ф. ГЕССЕ, С. А. ШАБУНИН, Т. В. ФРОЛОВА

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru, sergeyshabunin@yandex.ru, frolovatanja@mail.ru

В работе проведена оценка влияния способа нанесения огнезащитного состава на стойкость древесины к огневому воздействию. В качестве критерия для сравнительной оценки пожарной опасности незащищенной и огнезащищенной древесины был выбран процент потери массы в результате огневого воздействия. Объектом исследования являлась древесина сосны, огнезащитным составом для ее пропитки служил 40 % раствор жидкого стекла в воде. Влияние способа пропитки древесины защитными средствами на снижение пожарной опасности в литературе ранее изучалось. Однако вопрос, по-прежнему, остается дискуссионным, что определяет актуальность и практическую значимость проведенных исследований.

Экспериментально получено, что отсутствует корреляция значений «прирост массы исследуемых образцов древесины после пропитки» – «способ нанесения огнезащитного состава» для брусков, отличающихся по геометрическим размерам. Вероятно, это связано с тем, что отношение глубины пропитки к толщине образцов не является постоянной величиной для брусков разных габаритов. Показано, что в условиях проведения эксперимента способ пропитки древесины сосны 40 % раствором жидкого стекла в воде не оказывает принципиального влияния на стойкость огнезащищенной древесины к огневому воздействию при нанесении огнезащитного средства двукратно кистью и способом «прогрев – холодная ванна». Наилучший огнезащитный эффект достигается в случае пропитки древесины используемым составом при комнатной температуре в течение 60 с.

Ключевые слова: древесина, огнезащитный состав, стойкость к огневому воздействию, пожарная опасность.

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE METHOD OF WOOD TREATMENT BY FIRE-PROTECTIVE COMPOSITION ON FIRE RESISTANCE

Zh. F. GESSE, S. A. SHABUNIN, T. V. FROLOVA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru, sergeyshabunin@yandex.ru, frolovatanja@mail.ru

The influence of the application method of fire retardant composition on the resistance of wood to fire was assessed. The weight loss during fire exposure was chosen as a criterion for comparative assessment of the fire hazard of unprotected and fire-protected wood. The object under study was a pine tree, the fire-retardant composition for impregnation of the wood was a 40 % solution of liquid glass in water. The effect of the method of wood impregnation by protective agents on reduction of fire hazard has been previously studied in the literature. However, the issue remains controversial. This fact determines the relevance and practical significance of the conducted research.

It was found that there is no correlation between «weight gain of the studied wood samples after impregnation» and «application method of flame retardant» for bars with different geometric dimensions. Probably, this is due to the fact that the relation of impregnation depth and thickness of the samples is not a constant value for bars of different sizes. For experimental conditions it was shown that the impregnation method of pine wood by 40 % solution of liquid glass in water does not change the resistance of fire-protected wood to fire exposure principally, if we compare such methods of impregnation as application of flame retardant twice by brush and the «warm-up – cold bath» method. The best result of fire protection is achieved in the case of impregnation of wood by used composition at room temperature during 60 s.

Key words: wood, fire retardant composition, fire resistance, fire hazard.

Вопросы снижения пожарной опасности древесины и материалов на ее основе в литературе обсуждались неоднократно, что связано с практической значимостью подобных исследований. В настоящее время установлены общие закономерности в поведении незащищенной древесины (и хвойных, и лиственных пород) в условиях повышенных температур и при горении, позволяющие судить о протекающих процессах. Очевидно, что многое будет определяться химическим составом древесины, усредненно который можно представить следующим образом: молекулы целлюлозы (43–56 %), лигнина (19–30 %) и других соединений (гемицеллюлоза, пектин, минеральные вещества, эфирные масла, алкалоиды и гликозиды) [1]. Из табл.1 следует, что индивидуальные вещества – компоненты древесины, имеющие органическую природу, – обладают пожароопасными свойствами, которые, по всей видимости, влияют на характер термического

разложения древесины и ее пожарную опасность.

При поднесении источника зажигания к древесине ее поверхностный слой нагревается, вследствие чего имеющаяся влага испаряется. При достижении определенной температуры в процессе нагрева происходит термическая деструкция компонентов древесины, сопровождающаяся выделением различных веществ. Так, при температуре ниже 250 °С продуктами разложения являются вода, оксид углерода (IV) и незначительное количество горючих газов [3]. При температуре 250–260 °С в больших количествах начинает образовываться оксид углерода (II), метан. Горючие газообразные вещества воспламеняются при контакте с источником зажигания и, как следствие, древесина начинает самостоятельно гореть. Некоторые показатели пожарной опасности хвойных и лиственных пород древесины приведены в табл. 2.

Таблица 1. Справочные данные о пожароопасных свойствах основных компонентов древесины [2]

Пожароопасное свойство	Компонент древесины	
	Целлюлоза	Лигнин
Состояние	Горючий порошок	
Температура самовоспламенения аэрозвеси, °С	405	450
Нижний концентрационный предел распространения пламени, г/м ³	45	40
Минимальная энергия зажигания, мДж	25	20
МВСК, % об.	7	17

Таблица 2. Показатели пожарной опасности различных видов древесины [4-7]

Порода древесины	Древесина	Теплота сгорания, кДж/кг	Температура, °С	
			воспламенения	самовоспламенения
Лиственная	Береза	19640	290	336
	Осина	19640	294	338
	Дуб	18221-19874	230	370
Хвойная	Ель	20305	240	380
	Сосна	18731-20853	250	390
	Лиственница	18610	296	340

Значения теплоты сгорания древесины, полученные разными авторами, отличаются, однако определяют возможность ее применения в качестве топлива. Древесина является одновременно широко используемым и вместе с тем горючим материалом. Решение возникающей проблемы заключается в огнезащите древесины.

Ранее нами уже проводились исследования по изучению влияния способа пропитки древесины сосны огнезащитным составом на ее пожарную опасность [8]. Мерой оценки был

выбран показатель кислородного индекса, который согласно ранее действующему¹ и ныне действующему² нормативным документам отражает количество кислорода, необходимое

¹ ГОСТ 12.1.044-89 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения

² ГОСТ 12.1.044-2018 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения

для самостоятельного свечеобразного горения материала. К сожалению, данный показатель не позволяет в полной степени оценить влияние огнезащитных составов и способов пропитки на пожарную опасность древесины. Причина заключается в том, что кислородный индекс является скорее относительной, а не абсолютной величиной и показывает пожарную опасность веществ и материалов в сравнении. Кроме того, он не отражает способность огнезащитной и незащитной древесины сопротивляться воспламенению и дальнейшему горению при непосредственном огневом воздействии.

Одна из методик, позволяющих оценить огнезащитную эффективность средства, нанесенного на древесину, приведена в³. В ее рамках оценивается потеря массы (%) древесины, пропитанной защитным составом, после огневого воздействия в условиях специальных испытаний. В зависимости от полученных значений потери массы огнезащитному средству присваивается группа огнезащитной эффективности для конкретного способа его нанесения.

Целью настоящей работы являлась оценка влияния способа нанесения огнезащитного состава на стойкость древесины к огневому воздействию. В литературе влияние способа пропитки древесины защитными средствами на снижение пожарной опасности ранее изучалось [9-12], однако вопрос, по-прежнему, остается дискуссионным, что определяет значимость проведенных исследований. Нами в качестве критерия для сравнительной оценки пожарной опасности незащитной и огнезащитной древесины был выбран процент потери массы в результате огневого воздействия. Это связано с теоретическими представлениями о том, что чем меньше процент потери массы образцов древесины, тем больше ее сопротивляемость возгоранию и тем меньшее количество теплоты выделится в окружающую среду, что в свою очередь, будет способствовать замедлению распространения горения.

Объектом исследования, как и в работе [8], нами была выбрана древесина сосны – материал, который активно используют в отделке и в строительстве. В работе использовались образцы с влажностью 8–12 %. Огнезащитным составом для пропитки древесины сосны служил 40 % раствор натриевого жидкого стекла в воде. Выбор данной концентрации обоснован нами в работе [13]. Предлагаемый к использованию водорастворимый огнезащитный состав ориентирован на применение для древесины

внутри помещений, что связано с возможностью вымывания его с поверхности атмосферными осадками при эксплуатации огнезащитной древесины на открытом воздухе. Достоинствами огнезащитного состава являются его экологичность, сохранение натурального цвета и фактуры древесины.

Водный раствор жидкого стекла готовили весовым способом при комнатной температуре с использованием жидкого стекла «Текс (Универсал)»⁴. Пропитку образцов древесины сосны огнезащитным составом осуществляли в соответствии с документом⁵. Подробнее методика подготовки исследуемых образцов, описание процесса их сушки приведены в [8].

Было подготовлено для исследования четыре вида образцов:

а) незащитная древесина (образец № 1);

б) огнезащитная древесина:

– образец № 2: защитное средство на поверхность древесины сосны наносили путем погружения образцов в подготовленный состав при комнатной температуре. Продолжительность выдержки древесины в растворе составляла 60 с;

– образец № 3: нанесение защитного средства на поверхность древесины осуществляли два раза кистью без просушки образцов между обработками с интервалом не более 10 мин;

– образец № 4: образец выдерживали 30 с в горячем растворе огнезащитного состава (при температуре 90–95 °С), а затем 30 с в холодном (при температуре 20–40 °С). Общая продолжительность выдержки древесины в растворе составляла 60 с.

Исследуемые образцы имели следующие геометрические размеры: 75 мм × 50 мм × 20 мм. Масса образцов до пропитки огнезащитным составом находилась в интервале 23,36÷27,51 г. Визуально древесина сосны после пропитки водным раствором жидкого стекла незначительно изменила свой цвет, что связано с образованием на поверхности образцов защитного слоя силиката натрия. Именно он предотвращает доступ кислорода, необходимого для горения древесины, к ее поверхности при огневом воздействии.

Расчетные данные по приросту массы исследуемых образцов древесины сосны в результате пропитки водным раствором жидкого стекла представлены в табл. 3. Приведенные значения Δm^* получены путем усреднения не менее 5 сходящихся результатов.

³ ГОСТ Р 53292-2009 Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний

⁴ ГОСТ 13078-81 Стекло натриевое жидкое. Технические условия

⁵ ГОСТ 20022.6-93 «Защита древесины. Способы пропитки»

Увеличение значений Δm^* наблюдается в ряду образец № 2 < образец № 3 < образец № 4. Следует отметить, что пропитка древесины сосны огнезащитным составом при двукратном нанесении средства кистью дает результаты, сопоставимые с нанесением по способу «прогрев – холодная ванна». Однако, для образцов сосны меньших размеров наблюдается иная тенденция [8]. Отсутствие для обоих случаев единой корреляции Δm^* – способ пропитки можно объяснить тем, что при пропитке образцов древесины сосны размером 70 мм × 9 мм × 3 мм (для определения кислородного индекса) глубина пропитки сопоставима с толщиной образцов [14–16]. По этой причине отношение объема древесины, в порах которой может находиться огнезащитный состав, к общему объему образца не является постоянной величиной для брусков различных геометрических размеров. Как следствие, прирост массы древесины сосны (%) для отличающихся по размеру образцов не будет подчиняться общим закономерностям при одинаковых способах пропитки.

Таблица 3. Прирост массы исследуемых образцов древесины сосны после пропитки 40 % раствором жидкого стекла

Образец сосны	Δm^* , %
№ 1	–
№ 2	3,6
№ 3	4,1
№ 4	4,2

Увеличить глубину проникновения компонентов огнезащитного состава в древесину можно, изменяя температуру или давление при осуществлении процесса пропитки. Так, известно [17], что огнезащитная пропитка древесины может быть как поверхностной, так и глубокой. В любом случае пропитка огнезащитными составами позволяет создать в верхних слоях древесины защитную оболочку, противостоящую огневому воздействию. Глубина проникновения огнезащитного средства имеет особое значение при эксплуатации древесины в условиях, когда возможно появление механических повреждений ее поверхности. Анализ получен-

ных значений прироста массы исследуемых образцов древесины сосны после пропитки 40 % раствором жидкого стекла теоретически может косвенно указывать на глубину проникновения состава и качество огнезащиты.

Оценку стойкости образцов древесины к огневому воздействию проводили по следующей методике. Образец располагали строго вертикально над пропан-бутановой горелкой. Расстояние между нижним краем образца древесины до горелки составляло 20 мм. Непосредственно перед проведением испытания расход газа регулировали таким образом, чтобы высота пламени горелки составляла 100–120 мм и не изменялась в течение 30 с. После этого горелку подводили под нижний край образца.

Продолжительность огневого воздействия составляла 5 минут, затем горелку отводили. Повторное взвешивание образца древесины, подвергнутого испытанию, проводили после его полного остывания.

Общий вид установки приведен на рисунке. Полученные данные по исследованию стойкости древесины к огневому воздействию обобщены в табл. 4. Приведенные значения Δm получены путем усреднения не менее 5 сходящихся результатов.

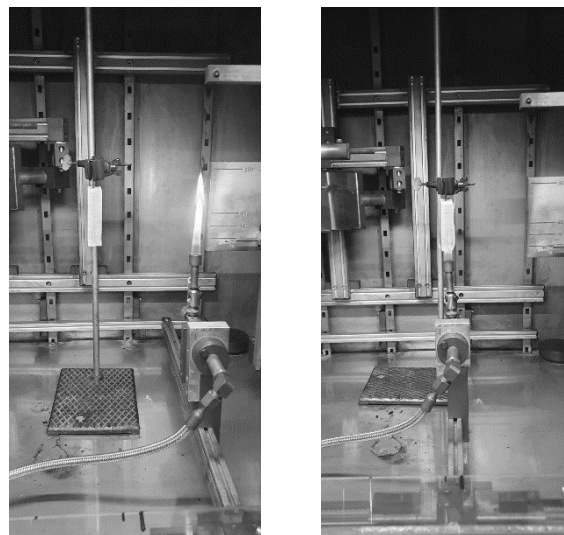


Рисунок. Установка по определению стойкости древесины к огневому воздействию

Таблица 4. Потеря массы исследуемых образцов древесины сосны после пропитки 40 % раствором жидкого стекла в результате огневого воздействия

Образец сосны	Δm , г	Δm , %
№ 1	5,7	22,8
№ 2	3,9	15,3
№ 3	4,0	16,1
№ 4	4,3	16,3

Механизм огнезащитного действия составов на основе жидкого стекла заключается в том, что при нагревании выше 100 °С жидкое стекло переходит в пиропластическое состояние [18], при этом появляются пленки, полупроницаемые для паров воды. При испарении воды в процессе нагрева защитный слой увеличивается в объеме и затрудняет доступ кислорода воздуха к защищаемой поверхности. Есть также литературные данные об образовании твердой пены при нагревании жидкого стекла до температур 150–500 °С [19]. В условиях проведения эксперимента температура горения газовой смеси пропан-бутан, используемой в горелке, превышает значения температурного интервала, в котором начинается изменение структуры жидкого стекла.

Большее значение потери массы образцов является результатом более глубокого термического разложения древесины в условиях огневого воздействия. Из представленных в табл. 4 результатов следует, что наибольшую огнезащищенность древесины сосны можно получить погружением образцов в огнезащитное средство в условиях комнатной температуры при продолжительности воздействия 60 с. Использование других способов пропитки, таких как двукратное нанесение огнезащитного состава кистью с интервалом не более 10 мин и «прогрев – холодная ванна» общей длительностью 60 с, приводят к практически одинаковым результатам.

Обобщая данные табл. 3 и 4, можно сделать вывод, что в случае пропитки образцов древесины по способу «прогрев – холодная ванна» верхними слоями древесины сосны поглощается большее количество жидкого стекла, которое выполняет огнезащитную функцию. Следовательно, в случае огневого воздействия для данных образцов древесины следовало бы ожидать наименьшую потерю массы, однако наблюдается противоположный результат. Это можно объяснить тем, что в случае пропитки образцов сначала горячим, а затем холодным огнезащитным раствором происходит более глубокое и равномерное распределение молекул жидкого стекла в порах древесины и межволоконном пространстве. При пропитке древесины путем погружения в раствор комнатной температуры, по всей видимости, основное количество жидкого стекла будет находиться именно в поверхностном слое. Поэтому в условиях нашего испытания в месте контакта огнезащищенной древесины и источника зажигания наблюдается более высокая локальная концентрация жидкого стекла, чем в случае пропитки способом «прогрев – холодная ванна», приводящей к менее интенсивному вспучиванию защитного слоя на по-

верхности древесины при огневом воздействии.

Учитывая ранее описанный механизм огнезащитного действия жидкого стекла и прирост массы образцов древесины после пропитки, ожидаемым было бы получение самого высокого значения потери массы для образца огнезащищенной древесины № 2, ввиду образования защитного слоя из меньшего количества по массе жидкого стекла. Однако, такое предположение не оправдалось. По всей видимости, стойкость древесины к огневому воздействию зависит не от массы удерживаемого огнезащитного средства, а от его распределения в верхних слоях древесины.

Таким образом, в работе проведена оценка влияния способа нанесения огнезащитного состава на стойкость древесины к огневому воздействию и, как следствие, на ее пожарную опасность. Экспериментально подтверждено, что использование огнезащитного средства (жидкое стекло – 40 %, вода – 60 %) приводит к снижению пожарной опасности древесины сосны, что согласуется с результатами, полученными нами ранее, исходя из анализа значений кислородного индекса огнезащищенной древесины [8]. Сравнение значений Δm , % позволяет заключить, что пропитка древесины сосны путем ее нагрева с последующим охлаждением для заполнения образовавшихся при расширении пор не приводит к предполагаемому результату. Ожидалось, что использование такого способа пропитки приведет к заметному снижению пожарной опасности образцов древесины сосны, поскольку для данного способа наблюдается максимальный прирост массы огнезащитного состава.

В созданных условиях способ пропитки древесины сосны 40 % раствором жидкого стекла в воде не оказывает принципиального влияния на стойкость огнезащищенной древесины к огневому воздействию при нанесении огнезащитного средства двукратно кистью и способом «прогрев – холодная ванна». Наилучший огнезащитный эффект достигается в случае пропитки древесины используемым составом при комнатной температуре в течение 60 с. Предположение, что более продолжительная по времени пропитка древесины сосны раствором жидкого стекла может привести к большему насыщению верхних и глубоких слоев древесины, что в конечном итоге улучшит огнезащитный эффект при таком способе нанесения защитного состава, требует валидации.

Полученные результаты показывают возможность применения 40 % раствора жидкого стекла в воде в качестве огнезащитного средства для древесины. Результаты работы, с одной стороны, могут быть полезны с прак-

тической точки зрения при принятии решения о способе пропитки древесины мягких пород, таких как сосна, а с другой, инициируют очередной этап исследований, связанных с изучением взаимосвязи пожарной опасности огне-

защищенной древесины и времени ее выдержки в огнезащитном составе при комнатной температуре или при использовании комбинации горячий раствор – холодный раствор.

Список литературы

1. Корольченко А. Я., Трушкин Д. В. Пожарная опасность строительных материалов. М.: Пожнаука, 2005. 232 с.
2. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. М.: Асс. «Пожнаука», 2004. Ч. 2. 774 с.
3. Демидов П. Г., Шандыба В. А., Щеголов П. П. Горение и свойства горючих веществ. М.: Химия, 1981. 272 с.
4. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. М.: Асс. «Пожнаука», 2004. Ч. 1. 713 с.
5. Исследование пожарной опасности древесины различных пород методами термического анализа / О. В. Беззапонная, М. А. Красильникова, А. М. Евсенкова [и др.] // Техносферная безопасность. 2021. № 3 (32). С. 43–50.
6. Боровиков А. М., Уголев Б. Н. Справочник по древесине. М.: Лесная промышленность, 1989. 296 с.
7. Тепловыделение при горении древесины / Б. Б. Серков, А. Б. Сивенков, Д. Т. Буй [и др.] // Лесной вестник. 2003. № 5. С. 74–79.
8. Влияние способа пропитки древесины водным раствором жидкого стекла на снижение ее пожарной опасности / Ж. Ф. Гессе, С. А. Шабунин, Т. В. Фролова [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 4 (53). С. 13–21.
9. Медведева Т. И., Агафонцев М. В., Касымов Д. П. Исследование влияния типа огнезащиты и способа её нанесения на пожарную опасность древесины // Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии: материалы XXII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н. Н. Яненко. Томск: Национальный исследовательский Томский государственный университет, 2021. С. 77–79.
10. Корольченко О. Н. Зависимость пожарно-технических характеристик огнезащитной древесины от способа ее обработки // Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности: материалы V Международной научно-практической конференции. СПб.: Автономная некоммерческая организация дополнительного профессионального образования «Санкт-Петербургский институт природопользования, промышленной безопасности и охраны окружающей среды», 2022. С. 53–59.
11. Патент 2479422 Российская Федерация МПК В 27 К 3/08, В 27 К 3/52, В 27 К 3/26, В 82 Y 99/00. Полимеризационно-пропиточный раствор для модифицирования древесины / М. И. Романенко, И. И. Романенко, Г. И. Шаронов [и др.]; опубл. 20.04.2013, Бюл. № 11.
12. Дашко И. В., Дашко Л. В. Анализ патентов на изобретения, связанных с огнезащитными составами для обработки древесины // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 1 (57). С. 39–49.
13. Гессе Ж. Ф., Петров А. В. Влияние концентрации жидкого стекла в огнезащитной пропитке на воспламеняемость древесины // Пожарная и аварийная безопасность. 2018. № 4 (11). С. 8–16.
14. Федосенко И. Г. Оценка качества определения глубины проникновения в древесину защитных средств // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2015. № 2 (175). С. 142–145.
15. Ломакин А. Д. Глубокая пропитка древесины средствами защиты от биоразрушения и возгорания // Строительные материалы. 2012. № 6. С. 72–74.
16. Исследование эффективности огнезащитных систем при глубокой пропитке древесины / Д. М. Нигматуллина, Е. Ю. Полищук, А. Б. Сивенков [и др.] // Проблемы техносферной безопасности: материалы VI-ой Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. М.: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России. 2017. № 6. С. 82–85.
17. Корольченко А. Я., Петрова Е. А. Современные средства огнезащиты древесины // Российский химический журнал. 2003. Вып. 47 (4). С. 49–54.
18. Особенности получения щелочно-силикатных теплоизоляционных материалов / С. Н. Леонович, Г. Л. Щукин, А. Л. Беланович [и др.] // Наука и техника. 2012. № 6. С. 45–50.
19. Лотов В. А., Кутугин В. А. Формирование пористой структуры пеносиликатов на основе жидкостекольных композиций // Стекло и керамика. 2008. № 1. С. 6–10.

References

1. Korol'chenko A. Ya., Trushkin D. V. *Pozharnaya opasnost' stroitel'nykh materialov* [Fire hazard of building materials]. Moscow: Pozhnauka, 2005. 232 p.
2. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya* [Fire and explosion hazards of substances and materials and their extinguishing agents]. Moscow: Ass. «Pozhnauka», 2004. Part 2. 774 p.
3. Demidov P. G., Shandyba V. A., Shcheglov P. P. *Gorenie i svoystva goryuchih veshchestv* [Combustion and properties of combustible substances]. Moscow: Himiya, 1981. 272 p.
4. Korol'chenko A. Ya., Korol'chenko D. A. *Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ih tusheniya* [Fire and explosion hazards of substances and materials and their extinguishing agents]. Moscow: Ass. «Pozhnauka», 2004. Part 1. 713 p.
5. Issledovanie pozharnoy opasnosti drevesiny razlichnykh porod metodami termicheskogo analiza [Study of fire hazard of different types of wood by thermal analysis methods] / O. V. Bezzaponnaya, M. A. Krasil'nikova, A. M. Evsenkova [et al.]. *Tekhnosfernaya bezopasnost'*, 2021, vol. 3 (32), pp. 43–50.
6. Borovikov A. M., Ugolev B. N. *Spravochnik po drevesine* [Wood guide]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1989. 296 p.
7. *Teplovydelenie pri gorenii drevesiny* [Heat release during wood combustion] / B. B. Serkov, A. B. Sivenkov, D. T. Buj [et al.]. *Lesnoj vestnik*, 2003, issue 5, pp. 74–79.
8. Vliyanie sposoba propitki drevesiny vodnym rastvorom zhidkogo stekla na snizhenie ee pozharnoy opasnosti [Influence of the wood impregnation method by aqueous solution of liquid glass on reduction its fire danger] / Zh. F. Gesse, S. A. Shabunin, T. V. Frolova [et al.]. *Sovremennye problemy grazhdanskoj zashchity*, 2024, vol. 4 (53), pp. 13–21.
9. Medvedeva T. I., Agafoncev M. V., Kasymov D. P. Issledovanie vliyaniya tipa ognezashchity i sposoba eyo naneseniya na pozharnuyu opasnost' drevesiny [Study of the influence of the type of fire protection and the method of its application on the fire hazard of wood]. *Sopryazhennye zadachi mekhaniki reagiruyushchih sred, informatiki i ekologii: materialy XXII Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N. N. Yanenko*. Tomsk: Natsional'nyy issledovatel'skiy Tomskiy gosudarstvennyy universitet, 2021. Pp. 77–79.
10. Korol'chenko O. N. Zavisimost' pozharno-tekhnicheskikh harakteristik ognezashchishchennoj drevesiny ot sposoba ee obrabotki [Dependence of fire-technical characteristics of fire-protected wood from the method of its processing]. *Teoreticheskie i prikladnye voprosy kompleksnoj bezopasnosti: materialy V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. SPb.: Avtonomnaya nekommercheskaya organizatsiya dopolnitel'nogo pro-fessional'nogo obrazovaniya «Sankt-Peterburgskiy institut prirodopol'zovaniya, promyshlennoy bezopasnosti i okhrany okruzhayushchey sredy», 2022. Pp. 53–59.
11. Polimerizacionno-propitochnyj rastvor dlya modifizirovaniya drevesiny [Polymerization and impregnation solution for wood modification] / M. I. Romanenko, I. I. Romanenko, G. I. Sharonov [et al.]. Patent 2479422 Rossiyskaya Federatsiya MPK B 27 K 3/08, B 27 K 3/52, B 27 K 3/26, B 82 Y 99/00.; opubl. 20.04.2013, Byul. № 11.
12. Dashko I. V., Dashko L. V. Analiz patentov na izobreteniya, svyazannyh s ognezashchitnymi sostavami dlya obrabotki drevesiny [Analysis of invention patents related to fire retardants for wood treatment]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2021, vol. 1 (57), pp. 39–49.
13. Gesse Zh. F., Petrov A. V. Vliyanie koncentracii zhidkogo stekla v ognezashchitnoj propitke na vosplamenyaemost' drevesiny [The influence of liquid glass concentration in fire-retardant impregnation on the flammability of wood]. *Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'*, 2018, vol. 4 (11), pp. 8–16.
14. Fedosenko I. G. Ocenka kachestva opredeleniya glubiny proniknoveniya v drevesinu zashchitnykh sredstv [Evaluation of the quality of determination of the depth of penetration of protective agents into wood]. *Trudy BGTU. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*, 2015, vol. 2 (175), pp. 142–145.
15. Lomakin A. D. Glubokaya propitka drevesiny sredstvami zashchity ot biorazrusheniya i vozgoraniya [Deep impregnation of wood by means of protection against destruction and fire]. *Stroitel'nye materialy*, 2012, issue 6, pp. 72–74.
16. Issledovanie effektivnosti ognezashchitnykh sistem pri glubokoj propitke drevesiny [Study of the effectiveness of fire retardant systems during deep impregnation of wood] / D. M. Nigmatullina, E. Yu. Polishchuk, A. B. Sivenkov [et al.]. *Problemy tekhnosfernoj bezopasnosti: materialy VI-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskaya konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov*. Moscow: Akademiya Gosudarstvennoy protivopozharnoy sluzhby MCHS Rossii, 2017. Issue 6. Pp. 82–85.
17. Korol'chenko A. Ya., Petrova E. A. *Sovremennye sredstva ognezashchity drevesiny*

[Modern means of fire protection of wood]. *Rossiyskiy himicheskij zhurnal*, 2003, vol. 47 (4), pp. 49–54.

18. Osobennosti polucheniya shchelochno-silikatnykh teploizolyacionnykh materialov [Features of obtaining of alkali-silicate thermal insulation materials] / S. N. Leonovich,

G. L. Shchukin, A. L. Belanovich [et al.]. *Nauka i tekhnika*, 2012, issue 6, pp. 45–50.

19. Lotov V. A., Kutugin V. A. Formirovanie poristoy struktury penosilikatov na osnove zhidkostekol'nykh kompozitsiy [Formation of a porous structure of foam silicates based on liquid glass compositions]. *Steklo i keramika*, 2008, issue 1, pp. 6–10.

Гессе Женни Фердинандовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

Gesse Zhenni Ferdinandovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of chemical sciences, senior lecturer

E-mail: zhenni.gesse@mail.ru

Шабунин Сергей Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук

E-mail: sergeyshabunin@yandex.ru

Shabunin Sergey Aleksandrovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

Candidate of Chemical Sciences

E-mail: sergeyshabunin@yandex.ru

Фролова Татьяна Владиславовна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново

кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры

E-mail: frolovatanja@mail.ru

Frolova Tatiana Vladislavovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

candidate of Chemical Sciences, senior lecturer

E-mail: frolovatanja@mail.ru