

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОРОДЫ ДРЕВЕСИНЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОГНЕЗАЩИТНОЙ
ОБРАБОТКИ ПРОМЫШЛЕННЫМИ АНТИПИРЕНАМИ**

И.А. Скрипко, А.Л. Никифоров, С.Н. Ульева, И.А. Легкова, М.Ю. Колобов

Илья Андреевич Скрипко, Александр Леонидович Никифоров*,
Светлана Николаевна Ульева, Ирина Анатольевна Легкова
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
г. Иваново, Россия, 153040, Ивановская область, г. Иваново, пр. Строителей, д. 33.
E-mail: ilya.scripko@bk.ru, anikiforoff@list.ru*; jivotjagina@mail.ru; legkovai@mail.ru
Михаил Юрьевич Колобов
Ивановский государственный химико-технологический университет,
г. Иваново, Россия, 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметьевский, д. 7.
E-mail: mikhaikolobov@rambler.ru

Данная статья посвящена экспериментальной оценке эффективности двух промышленных огнезащитных составов (RAUM-PROFIE и СЕНЕЖ). Исследование проводилось на древесине восьми пород: сосна, ель, лиственница, пихта, дуб, бук, берёза, осина. Оценка результатов показала, что привес образцов после пропитки и изменение кислородного индекса существенно зависят от плотности и содержания экстрактивных веществ в древесине. Наибольший прирост кислородного индекса зафиксирован для пихты и осины, наименьший – для лиственницы и дуба. Установлено, что эффективность огнезащитной обработки не является универсальной и должна учитывать особенности структуры строения древесины, химические и физико-химические особенности породы.

Ключевые слова: древесина, порода, огнезащита, антипирены, кислородный индекс, привес, пожарная опасность

**ASSESSMENT OF THE EFFECT OF WOOD TYPE ON THE EFFECTIVENESS
OF FIRE-PROOF TREATMENT WITH INDUSTRIAL PYROPHENES**

I.A. Skripko, A.L. Nikiforov, S.N. Uleva, I.A. Legkova, M.Yu. Kolobov

Ilya Andreevich Skripko, Alexander Leonidovich Nikiforov*,
Svetlana Nikolaevna Uleva, Irina Anatolyevna Legkova
Ivanovo Fire and Rescue Academy of the SFS of Emercom of Russia,
Ivanovo, Russia, 153040, Ivanovo region, Ivanovo, Stroiteley Ave., 33.
E-mail: ilya.scripko@bk.ru; anikiforoff@list.ru*; jivotjagina@mail.ru; legkovai@mail.ru
Mikhail Yurievich Kolobov
Ivanovo State University of Chemical Technology,
Ivanovo, Russia, 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetyevsky Ave., 7.
E-mail: mikhaikolobov@rambler.ru

This article is devoted to the experimental evaluation of the effectiveness of two industrial fire-retardant compositions (RAUM-PROFIE and SENEZH). The study was conducted on eight types of wood: pine, spruce, larch, fir, oak, beech, birch, and aspen. The evaluation of the results showed that the weight gain of the samples after impregnation and the change in the oxygen index significantly depend on the density and extractive content of the wood. The highest increase in the oxygen index was observed for fir and aspen, while the lowest was observed for larch and oak. It has been established that the effectiveness of fire protection treatment is not universal and

must consider the specific structure of the wood, as well as its chemical and physical-chemical properties.

Keywords: wood, species, fire protection, flame retardants, oxygen index, weight gain, fire hazard

Для цитирования:

Скрипко И.А., Никифоров А.Л., Ульева С.Н., Легкова И.А., Колобов М.Ю. Оценка влияния породы древесины на эффективность огнезащитной обработки промышленными антипиренами. *Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение*. 2026. № 2. С. 129-135. DOI: 10.6060/snt.20268602.16

For citation:

Scripko I.A., Nikiforov A.L., Uleva S.N., Legkova I.A., Kolobov M.Yu. Assessment of the influence of wood type on the effectiveness of fire retardant treatment with industrial fire retardants. *Modern high technology. Regional application*. 2026. N 2. P. 129-135. DOI: 10.6060/snt.20268602.16

ВВЕДЕНИЕ

Древесина является одним из наиболее востребованных строительных материалов благодаря уникальному сочетанию прочности, технологичности и возобновляемости. Однако её органическая природа обуславливает высокую горючесть, что требует применения специальных мер защиты – огнезащитных составов (антипиренов).

В настоящее время на рынке представлено множество промышленных составов, которые производители позиционируют как универсальные и пригодные для обработки любых пород древесины. Вместе с тем анализ научно-технической литературы показывает, что подавляющее большинство экспериментальных исследований выполняется на древесине сосны, а данные о поведении других пород (особенно лиственных и высокосмолистых хвойных) практически отсутствуют [1-8].

Между тем, различия в анатомическом строении и физико-химическом составе могут существенно влиять на технические и эксплуатационные характеристики древесины, а следовательно, и на эффективность огнезащиты.

Древесина – сложный материал, который отличается анатомическим строением, физико-химическими свойствами и влияет на характеристики в зависимости от типа породы. Так хвойные породы (сосна, ель, лиственница) имеют сравнительно простое строение. Лиственные породы обладают более сложным строением. Строение древесины и основные структурные элементы в поперечном разрезе представлены на рис. 1.

По химическому составу древесина состоит преимущественно из органических веществ (около 99%), в состав которых входят углерод, водород, кислород и немного азота. Минеральные вещества – зола, в которую входят кальций, ка-

лий, натрий, магний и другие элементы, содержится в незначительном количестве около 1%. Основные органические компоненты: целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин, экстрактивные вещества (танины, смолы, масла, пигменты). Целлюлозы (природный линейный полисахарид с высокой степенью полимеризации) в древесине хвойных и лиственных пород содержится примерно одинаково 35-50% сухой массы древесины. Целлюлоза определяет механическую прочность древесины и её способность к горению, в условиях воздействия высоких температур распадается с образованием жидких и газообразных продуктов [9].

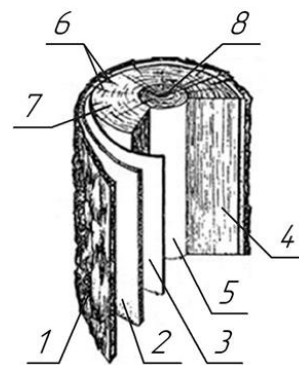


Рис. 1. Поперечный разрез и строение древесного ствола:

1 – кора, пробковый слой; 2 – кора, лубяной слой;
3 – камбий; 4 – заболонь; 5 – ядро; 6 – сердцевинные лучи;
7 – годовые кольца; 8 – сердцевина

Fig. 1. Cross-section and structure of a tree trunk:

1 – bark, cork layer; 2 – bark, bast layer; 3 – cambium;
4 – sapwood; 5 – heartwood; 6 – medullary rays;
7 – annual rings; 8 – pith

Содержание лигнина (природного гетерогенного полимера ароматического ряда) хвойных породах 23-50%, что, как правило, выше, чем в лиственных 18-26%, следует отметить, что лигнин придает жесткость древесине и устойчивость к механическим повреждениям, а также снижает проницаемость воды в клеточные стенки древеси-

ны, те придает гидрофобность. Лигнин обладает повышенной способностью к карбонизации и выходу нелетучего коксового остатка при термическом разложении [10].

Гемицеллюлоза (разветвленный гетерополисахарид как компонент древесины с низкой степенью полимеризации) напротив в лиственных породах выше в 1,5 раза, чем в хвойных. Породы древесины с повышенным содержанием гемицеллюлоз более склонны к лёгкому воспламенению. Это связано с тем, что гемицеллюлозы являются менее термостабильными по сравнению с целлюлозой и лигнином, и их разложение начинается при относительно низких температурах. Эффективная энергия активации разложения гемицеллюлоз при пиролизе снижается до 90,9–95,8 кДж/моль, что ускоряет процесс термического разложения. Разложение гемицеллюлоз происходит при относительно невысоких температурах – в диапазоне 225–325°C, что увеличивает вероятность воспламениться от источника зажигания [9].

Среди экстрактивных веществ в древесине хвойной породы преобладает содержание смол, содержание которых в лиственных породах минимально. Помимо этого, на химический состав древесины влияет географический район произрастания, на состав оказывает влияние климат и химический состав почвы. Так состав тропических пород древесины более разнообразен по качественному и количественному составу экстрактивных веществ по сравнению с древесиной из широт с умеренным климатом. Состав экстрактивных веществ меняется так же в зависимости от возраста дерева, его высоты и диаметра. Экстрактивные вещества могут влиять на характеристики горения древесины, в том числе на низшую теплоту полного сгорания. Однако стоит отметить, что массовая доля экстрактивных веществ в древесине обычно не превышает 3–4% [10].

В свою очередь, от химического состава и структуры древесины зависят прочность, теплопроводность и стойкость к воздействию влаги, а эти эксплуатационные характеристики находятся в прямой зависимости с эффективностью применяемого огнезащитного состава [11–14]. Следовательно, при выборе огнезащитного состава важно учитывать, что эффективность огнезащиты зависит не только от состава антипиренов, но и от породы древесины, условий эксплуатации, влажности и других факторов.

Цель исследования заключалась в оценке влияния наиболее распространенных огнезащитных составов на поведение образцов древесины различных пород при термическом воздействии.

Актуальность темы заключается в определении наиболее эффективных огнезащитных составов применительно к конкретным породам древесины с целью оптимизации затрат и достижения наилучшего результата снижения пожарной опасности строительных конструкций, выполненных из древесины и ее производных.

Практическая значимость данной работы заключается в выработке рекомендаций, позволяющих обоснованно подбирать огнезащитные составы для строительных материалов из древесины различных пород, а также материалов на ее основе.

МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Исследование проводилось на образцах древесины лиственных и хвойных пород. Были подготовлены образцы восьми пород: сосна, ель, лиственница, пихта, дуб, бук, берёза, осина. Характеристики пород (средняя плотность, содержание экстрактивных веществ) приведены в табл. 1.

Из высушенной древесины изготавливались образцы сечением 8×3 мм и длиной 70 мм.

В качестве огнезащитных составов использовались разные по механизму действия огнезащитные составы известных производителей: пропиточный огнебиозащитный состав на основе неорганических антипиренов «СЕНЕЖ» и огнезащитный состав RAUM-PROFIE.

Для непосредственной обработки образцов древесины пропиточные огнезащитные составы RAUM-PROFIE и СЕНЕЖ готовились в соответствии с инструкциями производителей. Образцы погружались в растворы на 600 с при комнатной температуре, затем высушивались в течение 48 ч. Для каждого варианта определялся привес (среднее из 10 параллельных опытов).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

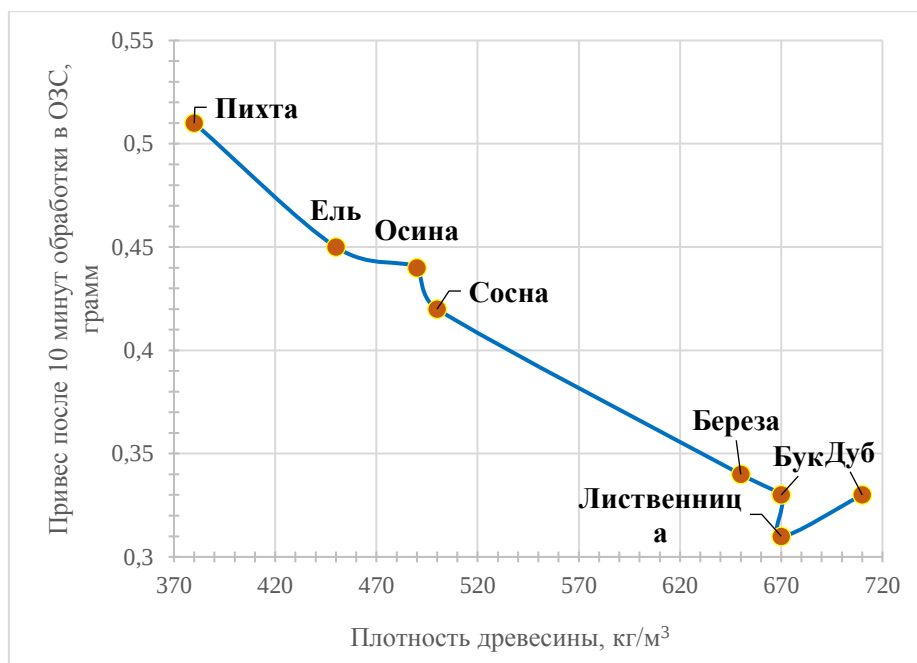
Количество впитанного огнезащитного состава оценивалось по привесу образцов после обработки и напрямую зависит от способности древесины к капиллярному впитыванию. Результаты представлены на рис. 2.

Наибольший привес зафиксирован для осины и ели, что объясняется их низкой плотностью и рыхлой структурой. Наименьший привес – у лиственницы и дуба. В случае лиственницы это связано с высокой смолистостью, создающей гидрофобный барьер, а у дуба – с высокой плотностью и наличием дубильных веществ. Состав СЕНЕЖ даёт несколько больший привес по сравнению с RAUM-PROFIE, что может быть обусловлено разницей в вязкости и концентрации.

Таблица 1.

Физико-химическая характеристика исследуемых пород древесины
Table 1. Physicochemical characteristics of the studied wood species

№	Порода	Группа	Средняя плотность, кг/м ³	Содержание экстрактивных веществ (смолы, терпены и др.), %	Особенности микроструктуры, значимые для пропитки
1	Ель	Хвойные	450	5–10	Умеренная смолистость, мелкие смоляные ходы, трахеидная структура
2	Сосна	Хвойные	500	4–8	Хорошо развитые смоляные ходы, трахеиды с окаймлёнными порами
3	Лиственница	Хвойные	670	15–25	Очень высокая смолистость, мелкие смоляные ходы, ядровая древесина трудно пропитывается
4	Пихта	Хвойные	380	1–2 (эфирные масла, смолы отсутствуют)	Смоляные ходы отсутствуют, структура однородная
5	Берёза	Лиственные	650	2–3	Заболонная порода, без ядра, сосуды мелкие, равномерные
6	Осина	Лиственные	490	1–2	Мягкая, лёгкая древесина, сосуды очень мелкие, структура рыхлая
7	Дуб	Лиственные	710	6–11 (дубильные вещества)	Крупные сосуды в ранней древесине, хорошая капиллярная проводимость
8	Бук	Лиственные	670	2–5	Очень высокая плотность, сосуды мелкие, равномерные, древесина однородная, смол нет

Рис. 2. Привес образцов после обработки
Fig. 2. Weight gain of samples after processing

Показатель кислородного индекса (КИ) определялся на установке «Oxygen Index Module» по ГОСТ 12.1.044-89 [15]. Обработка результатов выполнялась согласно методике стандарта. Кислородный индекс исходной и обработанной древесины определён для всех пород (табл. 2).

Изменение показателя кислородного индекса (Δ КИ), рассчитанное как разность КИ после обработки и исходного значения, наглядно демонстрирует эффективность огнезащиты для каждой породы (рис. 3).

Наибольший прирост КИ (Δ КИ > 30%)

наблюдается для пихты, осины и ели при использовании RAUM-PROFIE. Для этих пород характерны низкая плотность и минимальное содержание гидрофобных веществ, что способствует глубокой пропитке. Наименьший прирост отмечен для лиственницы (Δ КИ = 3,9% для RAUM-PROFIE и 2,0% для СЕНЕЖ) и дуба (Δ КИ = 7,1% и 5,0% соответственно). Состав RAUM-PROFIE показал более высокую эффективность на всех породах по сравнению с СЕНЕЖ, однако разница в приросте между породами для RAUM-PROFIE оказалась более контрастной.

Таблица 2.

Кислородный индекс образцов древесины до и после обработки
Table 2. Oxygen index of wood samples before and after treatment

КИ	Сосна			Берёза		
	Без ОЗС	RAUM-PROFIE	СЕНЕЖ	Без ОЗС	RAUM-PROFIE	СЕНЕЖ
	22,9	45,5	34,4	23,5	36	34,4
	Ель			Дуб		
	Без ОЗС	RAUM-PROFIE	СЕНЕЖ	Без ОЗС	RAUM-PROFIE	СЕНЕЖ
	19,3	46,3	36,7	24,1	31,2	29,1
	Лиственница			Осина		
	Без ОЗС	RAUM-PROFIE	СЕНЕЖ	Без ОЗС	RAUM-PROFIE	СЕНЕЖ
	26,6	30,5	28,6	22,3	53	36,6

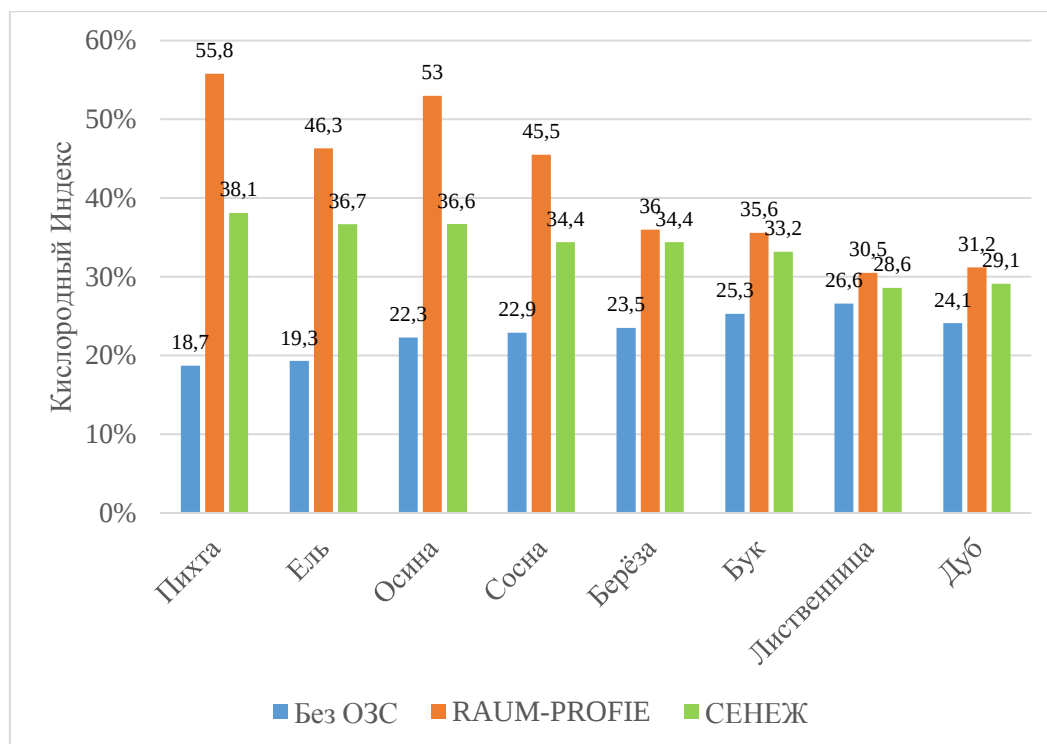


Рис. 3. Изменение показателя кислородного индекса после обработки огнезащитными составами
Fig. 3. Change in the oxygen index after treatment with fire retardants

Выявлена обратная корреляция между плотностью древесины и эффективностью обработки (коэффициент корреляции $R = -0,89$ для RAUM-PROFIE, $R = -0,76$ для СЕНЕЖ). Особо следует отметить поведение лиственницы: несмотря на её хвойную природу, из-за высокого содержания смол пропитка затруднена, что подтверждается как низким привесом, так и минимальным приростом КИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обзор проведённых исследований показал, что эффективность огнезащитной обработки древесины промышленными антипиренами существенно зависит от породы. Основными факторами, определяющими эту зависимость, являются плотность и содержание экстрактивных веществ (смол, дубильных веществ). Наибольший прирост кислородного индекса после обработки достигнут для пород с низкой плотностью и минимальным

содержанием гидрофобных компонентов (пихта, осина, ель). Высокоплотные породы (дуб, бук) и высокосмолистые (лиственница) требуют либо увеличения расхода состава, либо применения специальных режимов обработки.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о необходимости дифференцированного подхода к выбору огнезащитного состава и режимов пропитки в зависимости от породы древесины. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию концентраций и технологических параметров обработки для конкретных пород, а также на разработку составов, адаптированных к древесине с высокой смолистостью.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Кулаков В.С., Крашенинникова Н.Н., Сахаров А.М., Сахаров П.А. Эффективность и механизм действия двух огнезащитных систем для древесины. *Пожаровзрывобезопасность*. 2007. Том 16. № 5. С. 23-30.
2. Покровская Е.Н., Кобелев А.А. Комплексная оценка пожароопасных свойств, а также био- и водостойкости древесины в присутствии огнезащитных систем на основе фосфор- и кремнийорганических соединений. *Вестник МГСУ*. 2010. № 1. С. 275-282.
3. Покровская Е.Н., Портнов Ф.А. Огнебиозащитный состав для древесины с эффективными дымогасящими компонентами. *Вестник МГСУ*. 2015. № 10. С. 106-114.
4. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение древесины и ее пожароопасные свойства: монография. Москва: Академия ГПС МЧС России. 2010. 262 с.
5. Нигматуллина Д.М., Сивенков А.Б., Полищук Е.Ю., Стенина Е.И., Балакин В.М. Физико-механические и пожароопасные свойства древесины с глубокой пропиткой огнебиозащитными составами. *Пожаровзрывобезопасность*. 2017. Т. 26. № 6. С. 43-51.
6. Нигматуллина Д.М., Сивенков А.Б., Полищук Е.Ю., Стенина Е.И., Балакин В.М. Пожарная опасность деревянных конструкций с глубокой пропиткой огнебиозащитными составами. *Технологии техносферной безопасности*. 2017. Т. 73. № 3. С. 64-71.
7. Румянцев И.А., Янова Я.В., Ульева С.Н., Шабунин С.А., Никифоров А.Л. Сравнительная характеристика поведения образцов древесины, обработанной огнезащитными составами разного типа действия. Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 375-летию пожарной охраны России. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2024. С. 167-171.
8. Красильникова М.А., Баёв А.А., Тухбатулин М. Н., Шкуро А.Е., Артемов А.В. Исследование эффективности комплексных огнезащитных пропиточных составов для древесины. *Системы. Методы. Технологии*. 2025. №

REFERENCES

1. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B., Kulakov V.S., Krashenninikova N.N., Sakharov A.M., Sakharov P.A. Efficiency and mechanism of action of two fire protection systems for wood. *Fire and Explosion Safety*. 2007. Vol. 16. № 5. P. 23-30.
2. Pokrovskaya E.N., Kobelev A.A. Comprehensive assessment of fire hazardous properties, as well as bio- and water resistance of wood in the presence of fire protection systems based on organophosphorus and organosilicon compounds. *Bulletin of MSCU*. 2010. № 1. P. 275-282.
3. Pokrovskaya E.N., Portnov F.A. Fire-bioprotective composition for wood with effective smoke-extinguishing components. *Bulletin of MSCU*. 2015. № 10. P. 106-114.
4. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Combustion of wood and its fire hazardous properties: monograph. Moscow: Academy of SFS of EMERCOM of Russia. 2010. 262 p.
5. Nigmatullina D.M., Sivenkov A.B., Polischuk E.Yu., Stenina E.I., Balakin V.M. Physical, mechanical and fire hazardous properties of wood deeply impregnated with fire-bioprotective compounds. *Fire and explosion safety*. 2017. Vol. 26. № 6. P. 43-51.
6. Nigmatullina D.M., Sivenkov A.B., Polischuk E.Yu., Stenina E.I., Balakin V.M. Fire hazard of wooden structures deeply impregnated with fire-bioprotective compounds. *Technosphere safety technologies*. 2017. Vol. 73. № 3. P. 64-71.
7. Rumyantsev I.A., Yanova Ya.V., Ulieva S.N., Shabunin S.A., Nikiforov A.L. Comparative characteristics of the behavior of wood samples treated with fire retardants of different types of action. Fire and emergency safety. Collection of materials of the XIX International scientific and practical conference dedicated to the 375th anniversary of the fire service of Russia. Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the SFS of EMERCOM of Russia. 2024. P. 167-171.
8. Krasilnikova M.A., Bayev A.A., Tukhbatulin M.N., Shkuro A.E., Artemov A.V. Study of the efficiency of complex fire-retardant impregnating compositions for wood. *Systems. Methods. Technologies*. 2025. № 2(66). P. 115-122.

- 2(66). С. 115-122.
9. Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Горение и пожарная опасность древесины. *Пожаровзрывобезопасность*. 2012. Том 21. № 1. С. 19-32.
10. Вахтина Т.Н., Сусоева И.В., Аносова Е.Б., Капранов А.Б. Оценка термодеструкции лигноцеллюлозных наполнителей и композиционных материалов на их основе. *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. 2017. № 1(39). С. 188-197.
11. Федотов И.О., Сивенков А.Б., Нагановский Ю.К. Эффективность огнезащитных пропиточных составов для деревянных конструкций. *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2023. № 3. С. 67-78.
12. Скрипко И.А., Никифоров А.Л., Наконечный С.Н., Ульева С.Н. Зависимость эффективности обработок древесины от плотности разных пород древесины огнезащитными составами. *Современные проблемы гражданской защиты*. 2025. № 1(54). С. 154-158.
13. Панёв Н.М., Никифоров А.Л., Винокуров М.В. Оценка влияния состава огнезащитных обработок на показатель кислородного индекса древесины. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2017. № 3(51). С. 92-96.
14. Никифоров А.Л., Легкова И.А., Ульева С.Н., Колобов М.Ю. Пожарная опасность тепловых процессов, основанных на использовании волнового нагрева. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2026. № 1(85). С. 150-157. DOI: 10.6060/snt.20268501.00018.
15. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Стандартиформ, 2016. 16 с.
9. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Combustion and fire hazard of wood. *Fire and explosion safety*. 2012. Vol. 21. № 1. P. 19-32.
10. Vakhtina T.N., Susoeva I.V., Anosova E.B., Kapranov A.B. Assessment of thermal degradation of lignocellulosic fillers and composite materials based on them. *News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering*. 2017. № 1(39). P. 188-197.
11. Fedotov I.O., Sivenkov A.B., Naganovsky Yu.K. Efficiency of fire-retardant impregnating compounds for wooden structures. *Problems of risk management in the technosphere*. 2023. № 3. P. 67-78.
12. Skripko I.A., Nikiforov A.L., Nakonechny S.N., Ulieva S.N. Dependence of the efficiency of wood treatment on the density of different wood species with fire-retardant compounds. *Modern Problems of Civil Defense*. 2025. № 1(54). P. 154-158.
13. Panev N.M., Nikiforov A.L., Vinokurov M.V. Evaluation of the influence of the composition of fire-retardant treatments on the oxygen index of wood. *Modern high technologies. Regional application*. 2017. № 3(51). P. 92-96.
14. Nikiforov A.L., Legkova I.A., Uleva S.N., Kolobov M.Yu. Fire hazard of thermal processes based on the use of wave heating. *Modern high technologies. Regional application*. 2026. N 1(85). P. 150-157. DOI: 10.6060/snt.20268501.00018.
15. GOST 12.1.044-89. Fire and explosion hazard of substances and materials. Nomenclature of indicators and methods for their determination. Moscow: Standartinform, 2016. 16 p.

Поступила в редакцию 17.04.2026
Принята к опубликованию 18.05.2026

Received 17.04.2026
Accepted 18.05.2026