

УДК 614.841.45

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СМЕСЕЙ АНТИПИРЕНОВ ДЛЯ ОГНЕЗАЩИТЫ ДРЕВЕСИНЫ

Колесова Виктория Юрьевна¹, Мельников Никита Олегович^{1,2}, Монахов Антон Андреевич¹, Головина Екатерина Валерьевна³

¹ Российский химико-технологический университет (РХТУ) им. Д. И. Менделеева, г. Москва, Российская Федерация

² Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) им. В. А. Кучеренко, г. Москва, Российская Федерация

³ Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается проблема снижения пожарной опасности древесины. Применяемые сегодня огнезащитные средства базируются в большинстве своем на известных и давно применяемых антипиренах с варьируемым соотношением. При этом механизмы их действия и кинетические параметры термического разложения пропитанной древесины полностью не изучены, особенно при применении смесевых антипиренов. Методами термического анализа исследовано влияние смеси антипиренов диаммонийфосфата и карбамида на термическое разложение пропитанной древесины в зависимости от содержания химических веществ определены кинетические параметры и огнезащитная эффективность по ГОСТ 30028.3–2022. Исследован механизм совместного действия антипиренов. Получены зависимости энергии активации основной стадии термического разложения пропитанной древесины. Установлено, что энергия активации возрастает с увеличением общего поглощения исследуемых антипиренов. Показано, что огнезащитная эффективность при определенном соотношении одних и тех же антипиренов может взаимно усиливаться. Показана возможность снижения сырьевой себестоимости средств огнезащиты древесины с сохранением высокой эффективности.

Ключевые слова: антипирен, огнезащитная эффективность, огнезащита древесины, термический анализ, кинетические параметры термического разложения

Для цитирования: Оценка эффективности смесей антипиренов для огнезащиты древесины / В. Ю. Колесова [и др.] // Техносферная безопасность. 2025. № 1 (46). С. 52–66.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF FLAME RETARDANT MIXTURES FOR WOOD FIRE PROTECTION

Viktoriya Y. Kolesova¹, Nikita O. Melnikov^{1,2}, Anton A. Monakhov¹, Ekaterina V. Golovina³

¹ Russian Chemical-Technological University named after D. I. Mendeleev, Moscow, Russian Federation

² Research Institute of Building Constructions named after V. A. Koucherenko, Moscow, Russian Federation

³ Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Ekaterinburg, Russian Federation

Abstract. The article discusses the problem of reducing the fire hazard of wood. The flame retardants used today are mostly based on well-known and long-used flame retardants with

a variable ratio. At the same time, the mechanisms of their action and the kinetic parameters of thermal decomposition of impregnated wood have not been fully studied, especially when using blended flame retardants. The effect of a mixture of flame retardants diammonium phosphate and carbamide on the thermal decomposition of impregnated wood, depending on the content of chemicals, was investigated by thermal analysis methods, kinetic parameters and fire-retardant effectiveness were determined according to GOST 30028.3-2022. The mechanism of joint action of flame retardants is investigated. The dependences of the activation energy of the main stage of thermal decomposition of impregnated wood are obtained. It was found that the activation energy increases with an increase in the total absorption of the flame retardants studied. It has been shown that the flame-retardant effectiveness can be mutually enhanced with a certain ratio of the same flame retardants. The possibility of reducing the raw material cost of wood fire protection products while maintaining high efficiency is shown.

Keywords: flame retardant, fire-retardant efficiency, fire protection of wood, thermal analysis, kinetic parameters

For Citation: Evaluation of the effectiveness of flame retardant mixtures for wood fire protection / V. Yu. Kolesova et al. // Technospheric safety. 2025. № 1 (46). pp. 52–66.

Введение

Задачи огнезащиты материалов и конструкций из древесины появились в глубокой древности и остаются нерешенными и по сей день. Это вызвано сохраняющимися большими объемами применения древесины в качестве как конструктивного, так и отделочного материала. Кроме того, в настоящее время появляются новые виды древесных материалов, набирающих большую популярность в строительстве, такие как брус многослойный клееный из шпона (далее — LVL), древесина перекрестноклееная (далее — CLT), брус многослойный клееный и др., и огнезащита их требует дополнительных исследований и разработки новых технических решений.

Несмотря на огромный выбор различных средств огнезащиты, представленных сегодня к применению, все они базируются на давно известных классических антипиренах. Исследованию механизмов их дей-

ствия, огнезащитной эффективности, а также термическому анализу обработанной древесины и огнестойкости строительных конструкций посвящено много научных трудов [1–6], но при этом еще остаются неизученными многие аспекты. Например, сохраняются противоречия между мнениями исследователей, основанными на роли физических факторов в огнезащите, и данными по эффективности антипиренов, полученными экспериментально.

Наиболее актуальными задачами сегодня является повышение эффективности, снижение расходов (поглощений) и себестоимости средств огнезащиты древесины. Поэтому научно-обоснованный подход к разработке рецептур и изысканию новых антипиренов является обязательным для достижения требуемого результата. Зачастую повысить эффективность огнезащитных средств позволяет оптимизация рецептуры и правильная комбинация выбранных антипиренов. Например, известно, что

борная кислота и бура обладают слабыми огнезащитными свойствами и что они нетехнологичны для применения, но при их совместном использовании наблюдается ярко выраженный синергетический эффект, т. е. взаимное усиление свойств, что нашло отражение в создании, широком применении на практике и стандартизации огнебиозащитного препарата ББ-11 [7].

Ранее в работах [8, 9] методами дифференциально-термического анализа (далее — ДТА) и огнезащитной эффективности изучены зависимости разложения древесины, пропитанной антипиренами, а именно диаммонийфосфатом, полифосфатом аммония, карбамидом и карбонатом калия, нашедшими наибольшее применение на практике при производстве водных пропиточных защитных средств, а также определены кинетические параметры основной стадии интенсивного терморазложения.

Настоящая работа посвящена изучению огнезащитной эффективности и анализу термоокислительного разложения (далее — термическое разложение) древесины, пропитанной смесью антипиренов диаммонийфосфата и карбамида при различных соотношениях и поглощениях.

Материалы и методы

Объектами исследования являются следующие антипирены и их смеси:

- диаммонийфосфат $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ по ГОСТ 8515–75 [10];
- карбамид $\text{H}_2\text{N-CO-NH}_2$ по ГОСТ 2081–2010 [11];
- диаммонийфосфат и карбамид в соотношении 1:1;
- диаммонийфосфат и карбамид в соотношении 1:2;

- диаммонийфосфат и карбамид в соотношении 2:1.

Исследования проводились на образцах воздушно-сухой древесины заболони сосны с влажностью 6–8 % и средней плотностью 450 кг/м^3 размером $15 \times 15 \times 6 \text{ мм}$ (последний размер — по длине волокон). Растворы антипиренов заданной концентрации готовили разведением в воде соответствующего количества веществ. Пропитку образцов осуществляли по методу «вакуум-атмосферное давление» при условиях, позволяющих проводить сквозную пропитку [12]. Таким образом, после окончательной сушки антипирены были равномерно распределены по всему объему древесины.

Огнезащитная эффективность антипиренов, а именно зависимость потери массы при огневом испытании от общего поглощения, обеспечивалась в соответствии с ГОСТ 30028.3–2022 [12]. Общее поглощение — это масса сухих веществ антипиренов, введенных в древесину при пропитке, отнесенная к ее объему.

Для исследования термического разложения образцов древесины использовался ДТА, проводимый на дериватографе Q-1500 d системы F. Paulik, J. Paulik, L. Erdey.

Условия проведения эксперимента:

- нагрев — $1\,000 \text{ }^\circ\text{C}$;
- скорость нагрева — $10 \text{ }^\circ\text{C/мин}$;
- атмосфера — воздух;
- навеска (измельченная древесина) — 100 мг ;
- тигли — платина;
- образец сравнения — Al_2O_3 .

Расчет кинетических параметров, характеризующих процесс терморазложения, проводился на основе данных ДТА. Для этого использовалась линеаризация температурной зависимости по закону Аррениуса:

$$\frac{d\alpha}{d\tau} = k e^{-\frac{E_a}{RT}} f(\alpha), \quad (1)$$

где α — степень превращения;

T — температура, К;

k — предэкспоненциальный множитель;

E_a — энергия активации;

R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль*К);

$f(\alpha)$ — функция, определяющая механизм разложения.

В качестве функции $f(\alpha)$ использовалось уравнение химической реакции первого порядка:

$$f(\alpha) = 1 - \alpha. \quad (2)$$

Уравнение (1) при реакции первого порядка в логарифмическом виде представляется как:

$$\ln \frac{(d\alpha/d\tau)}{(1 - \alpha)} = \ln k - \frac{E_a}{RT}. \quad (3)$$

Расчет проводился по данным кривых TG и DTG в зависимости от температуры T . Степень превращения α в i -й точке вычислялась по формуле (4), а значения скорости превращения приравнивались к отклонениям кривой DTG от базовой линии анализируемого пика:

$$\alpha_i = \frac{\Delta m_i}{\Delta m}. \quad (4)$$

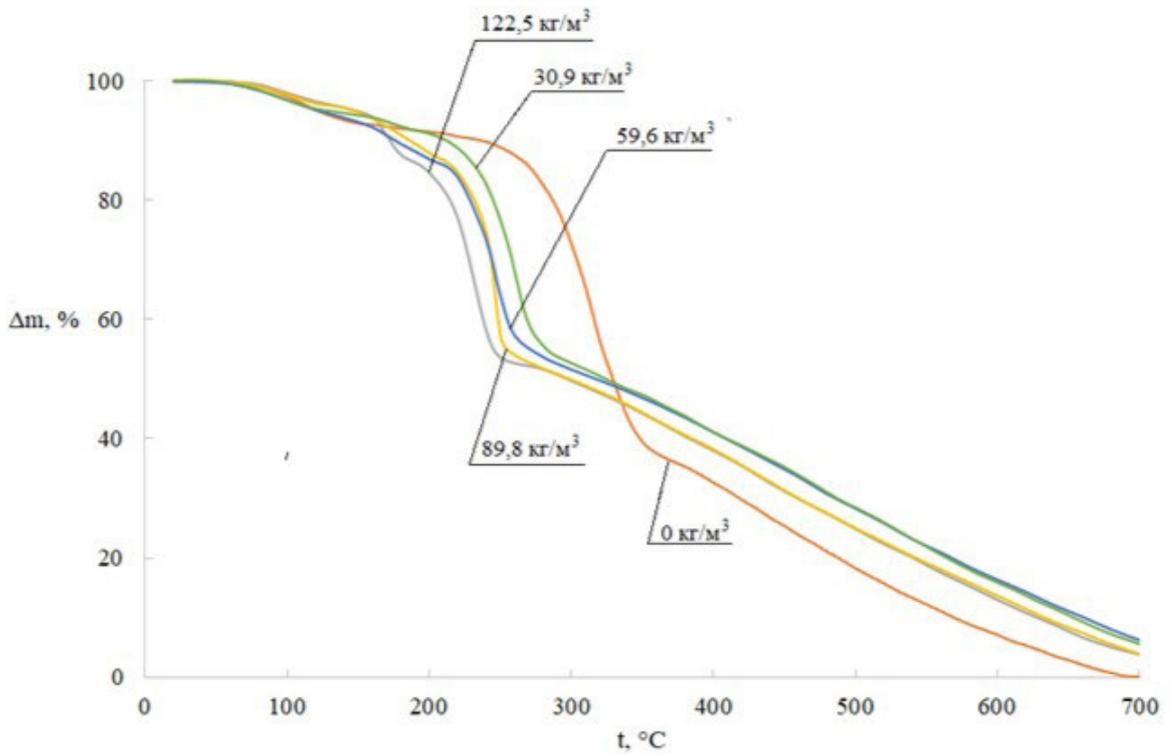
Результаты и их обсуждение

Методом ДТА получены термоаналитические кривые как исходной древесины, так и образцов, пропитанных смесями исследуемых антипиренов с различными общими поглощениями.

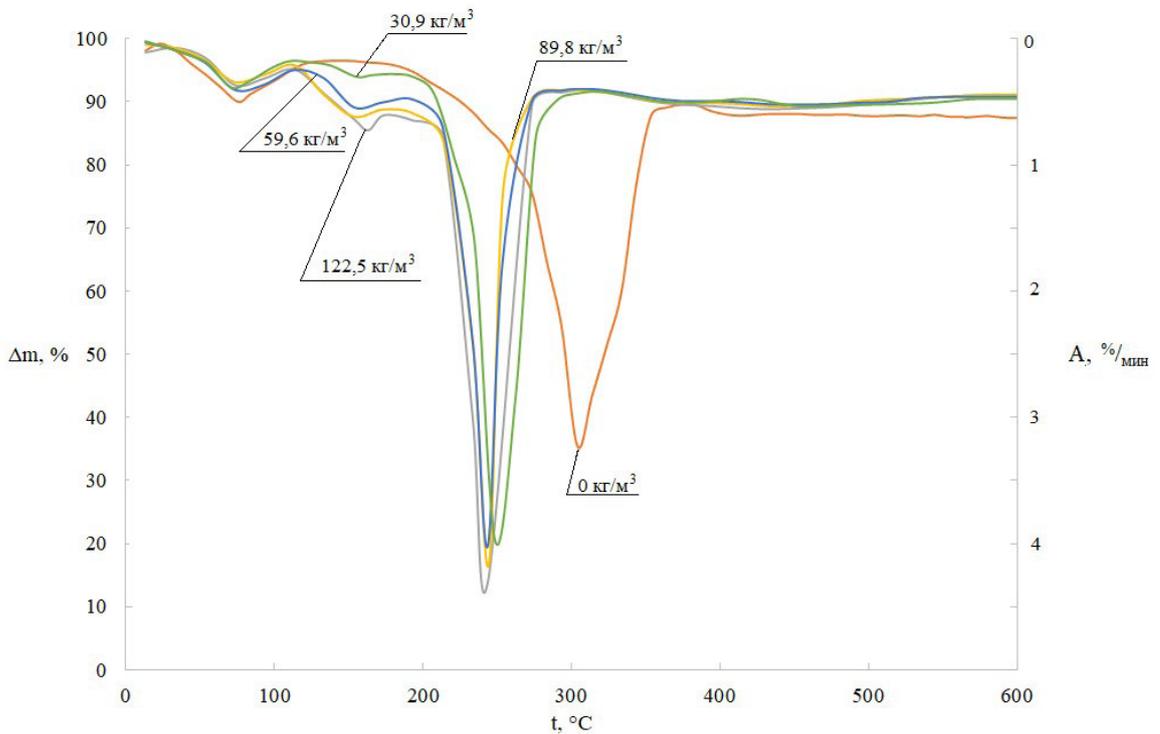
На рис. 1–3 представлены совмещенные полученные кривые TG (уменьшение массы от температуры) и DTG (скорость уменьшения массы от температуры) исходной древесины и образцов, пропитанных смесями диаммонийфосфата и карбамида в соотношениях 1:1, 1:2 и 2:1.

Разложение исходной древесины (на графиках обозначено «0 кг/м³») характеризуется тремя основными стадиями. На первом этапе при температуре до 120 °С происходит потеря приблизительно 10 % массы, связанная с выделением содержащейся влаги в образце. Далее в интервале 180–360 °С наблюдается основная стадия интенсивного термического разложения древесины с потерей массы около 60 %. На третьей стадии происходит догорание углистого остатка с полной потерей массы при 700 °С.

Для образцов, пропитанных антипиренами (на графиках обозначены соответству-



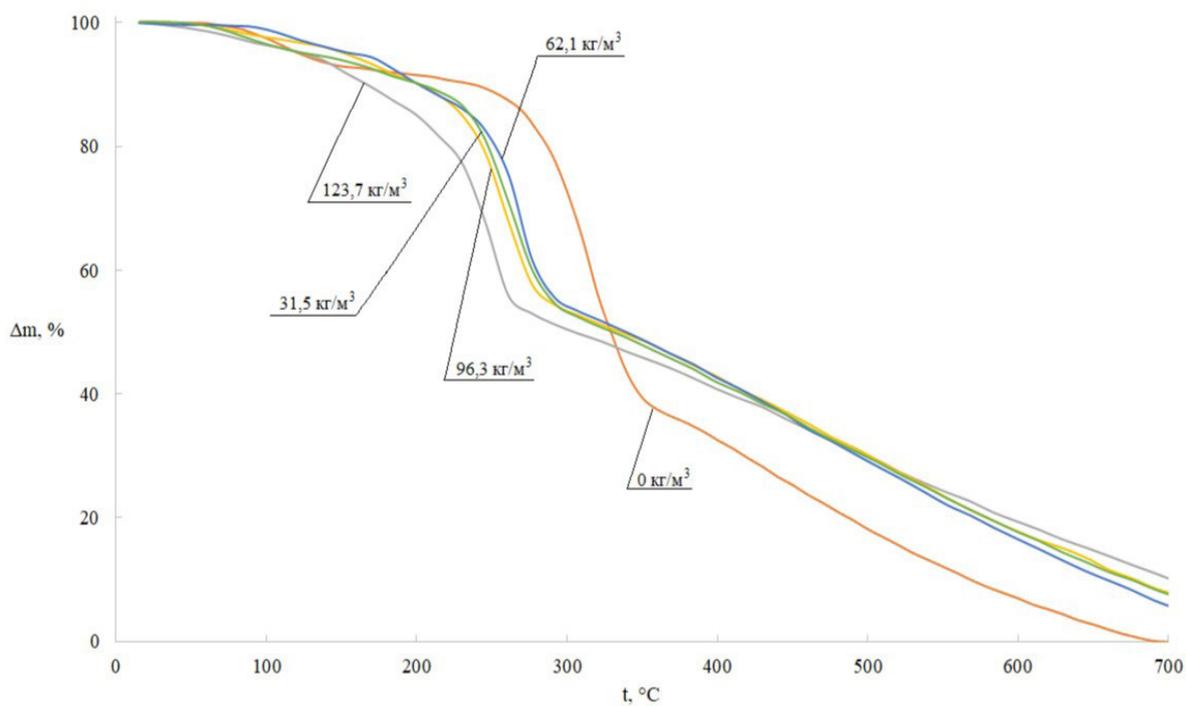
а



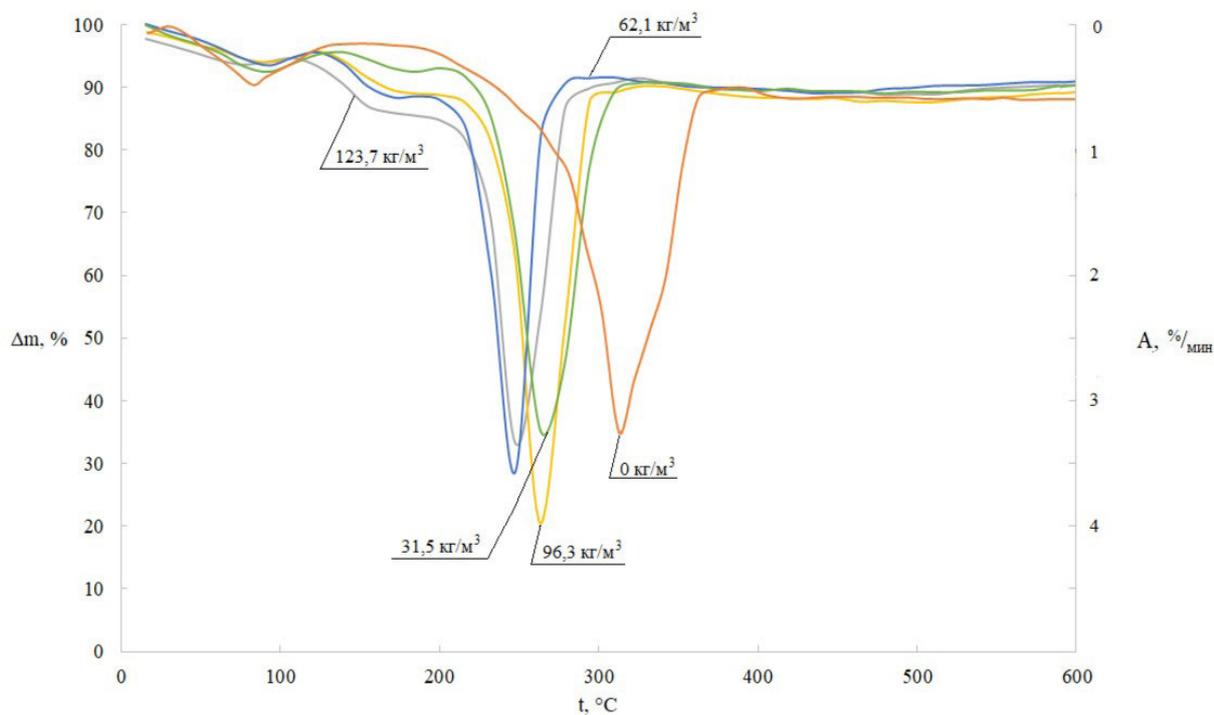
б

Рис. 1. Кривые TG (а) и DTG (б) древесины, пропитанной смесью диаммонийфосфата и карбамида в соотношении 1:1 при различных поглощениях

Fig. 1. Curves TG(a) and DTG(b) of wood impregnated with a mixture of diammonium phosphate and carbamide in a 1:1 ratio at various absorbances

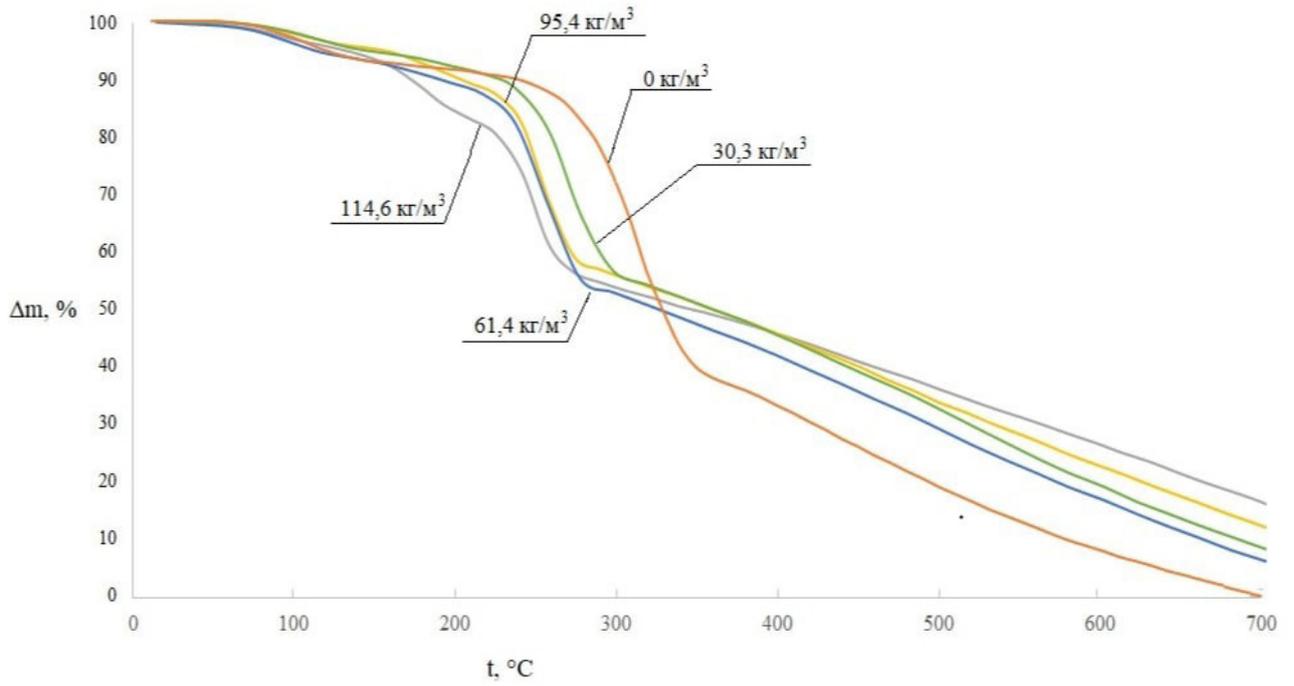


а

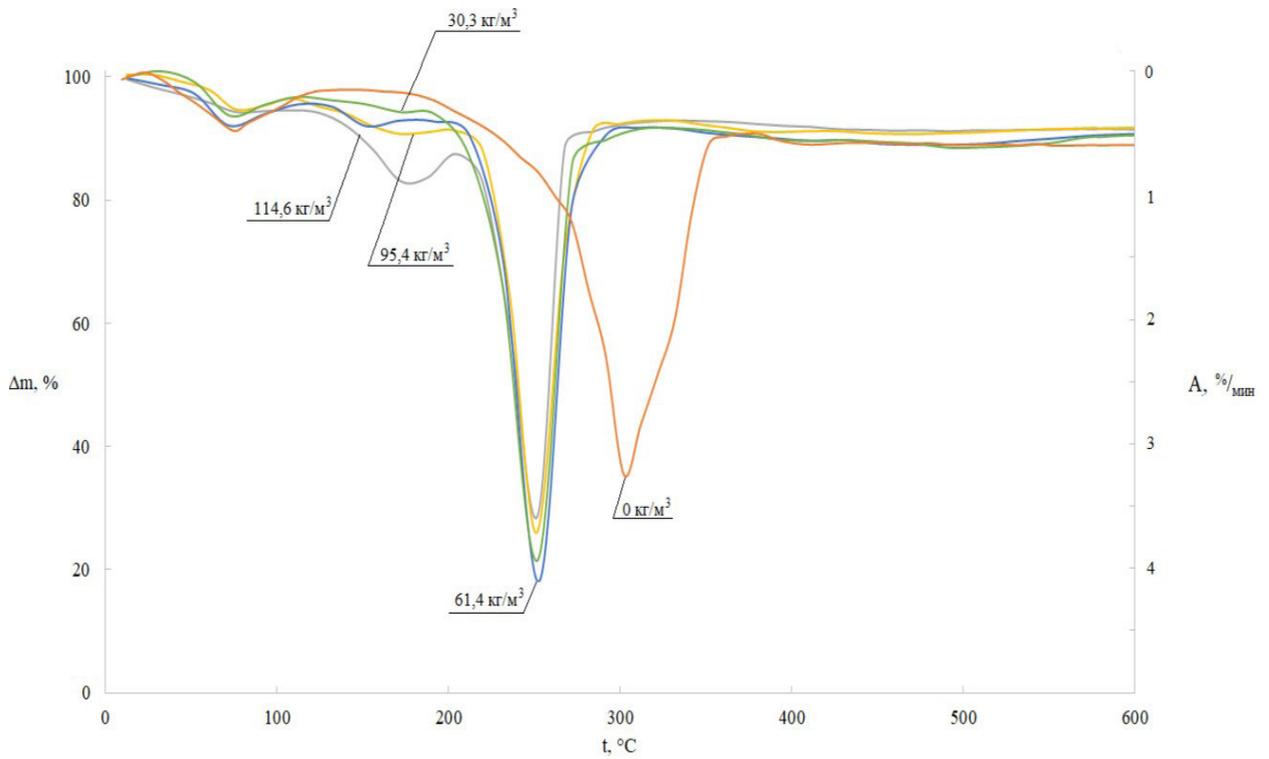


б

Рис. 2. Кривые TG (а) и DTG (б) древесины, пропитанной смесью диаммонийфосфата и карбамида в соотношении 1:2 при различных поглощениях
 Fig. 2. Curves TG (a) and DTG (b) of wood impregnated with a mixture of diammonium phosphate and carbamide in a ratio of 1:2 at various absorbances



а



б

Рис. 3. Кривые TG (а) и DTG (б) древесины, пропитанной смесью диаммонийфосфата и карбамида в соотношении 2:1 при различных поглощениях
 Fig. 3. Curves TG (a) and DTG(b) of wood impregnated with a mixture of diammonium phosphate and carbamide in a 2:1 ratio at various absorbances

ющие поглощения образцов), наблюдается изменение процесса разложения, а именно оно уже характеризуется четырьмя стадиями. Первый пик на DTG сохраняется при тех же значениях температуры, далее добавляется пик с максимумом примерно при 170–180 °С, что соответствует распаду карбамида с выделением CO_2 и воды, а затем пик основной стадии интенсивного разложения древесины, который сдвигается на 40–80 °С в область более низких температур для разных смесей и поглощений относительно чистой древесины и наблюдается в интервале от 180 до 320 °С. Четвертая стадия догорания углистого остатка становится более длительной, и полная потеря массы не наступает при температуре 700 °С, но при этом потеря массы образца наблюдается тем быстрее, чем больше содержание карбамида в смеси антипиренов.

Также стоит отметить, что интенсивность второго пика DTG от поглощения антипиренов увеличивается, а основной стадии интенсивного терморазложения (третий пик) практически не меняется, как и температуры максимумов пиков для исследуемых смесей.

По экспериментальным данным, полученным с помощью ДТА, был проведен расчет кинетических параметров основной стадии термического разложения. В таблице представлены сводные экспериментальные и расчетные данные исходной и пропитанной древесины исследуемыми антипиренами в зависимости от поглощения: температура максимума DTG-кривой, потеря массы образца при основной стадии терморазложения, максимальная скорость потери массы и рассчитанные энергия активации и предэкспоненциальный множитель в интервале температур.

На рис. 4 представлены зависимости энергии активации E_a процесса термического разложения от поглощения антипиренов. Кинетические параметры процесса для индивидуальных диаммонийфосфата и карбамида взяты из работы [9].

Анализируя полученные данные, можно отметить, что температурный интервал основной стадии терморазложения с увеличением поглощения антипиренов сужается, при этом снижается процент потери массы, но температура его максимума, как и скорость потери массы, практически не изменяется для каждой конкретной смеси. С увеличением поглощения увеличивается энергия активации процесса термического разложения основной стадии для всех смесей антипиренов, она больше, чем для непропитанной древесины. При этом максимальные значения энергии активации отмечаются для смеси диаммонийфосфат-карбамид 1:1, которые больше, чем при применении их индивидуально.

На основе полученных данных, можно сделать выводы, что введение в древесину антипиренов изменяет механизм ее разложения. Исследуемые смеси антипиренов работают по принципу более раннего (при меньших температурах) инициирования первичных процессов разложения поверхностных слоев, выделения негорючих газов CO_2 и воды за счет распада карбамида, препятствующих подводу кислорода в зону реакции, дальнейшего расщепления фосфатов, происходящего с образованием фосфорной кислоты и ее ангидридов, которые катализируют дегидратацию и дегидрирование, которые способствуют образованию карбонизованного слоя, и за счет этого последующие слои древесины разлагаются медленнее. Энергия активации при этом

Таблица
Основные параметры процесса термического разложения исходной
и пропитанной антипиренами древесины
 Table
 The main parameters of the thermal decomposition process of the original
 and flame retardant-impregnated wood

Поглощение, кг/м ³ Absorption, kg/m ³	Температура максимума потери массы, T _{max} , °C Maximum mass loss temperature, T _{max} , °C	Максимальная скорость потери массы A _{max} , %/мин Maximum mass loss A _{max} , %/min	Потеря массы, Δm, % Потеря массы, Δm, %	Температурный интервал, °C Temperature range, °C	Энергия активации, E _a , кДж/моль Activation energy, E _a , kJ/mol	Предэкспоненциальный множитель, k The pre-exponential multiplier, k
Непропитанная древесина / Non-impregnated wood						
0	320	3,9	54,4	180–360	95,7	8,3 · 10 ¹⁰
Диаммонийфосфат — Карбамид 1:1 / Diammonium Phosphate Carbamide 1:1						
30,9	250	4,2	40,4	180–320	156,4	1,9 · 10 ¹⁸
59,6	240	4,3	34,2	185–290	186,4	4,0 · 10 ²¹
89,8	240	4,8	33,0	190–280	240,5	1,3 · 10 ²⁷
122,5	240	4,9	31,2	190–280	252,4	1,8 · 10 ²⁸
Диаммонийфосфат — Карбамид 1:2 / Diammonium Phosphate Carbamide 1:2						
31,5	260	3,7	38,8	190–320	148,3	8,5 · 10 ¹⁶
62,1	280	3,9	36,5	190–300	156,6	3,6 · 10 ¹⁷
96,3	260	3,8	35,0	200–310	160,0	1,4 · 10 ¹⁸
123,7	250	4,0	32,6	190–290	200,9	1,5 · 10 ²²
Диаммонийфосфат — Карбамид 2:1 / Diammonium Phosphate Carbamide 2:1						
30,3	260	4,2	40,0	180–320	143,5	4,6 · 10 ¹⁶
61,4	260	4,4	35,9	180–300	163,7	7,3 · 10 ¹⁸
95,4	260	4,0	30,8	195–280	182,1	7,4 · 10 ²⁰
114,6	260	3,9	25,6	210–280	232,9	3,4 · 10 ²⁵

растет, и увеличивается стойкость образца к термическому воздействию.

Для всех исследуемых смесей антипиренов была изучена огнезащитная эффективность в соответствии с требованиями ГОСТ 30028.3–2022 [12]. На рис. 5 представ-

лен график зависимости потери массы образцов от общего поглощения антипиренов.

Данные по огнезащитной эффективности для индивидуальных диаммонийфосфата и карбамида взяты из работы [9]. Наибольшую огнезащитную эффективность

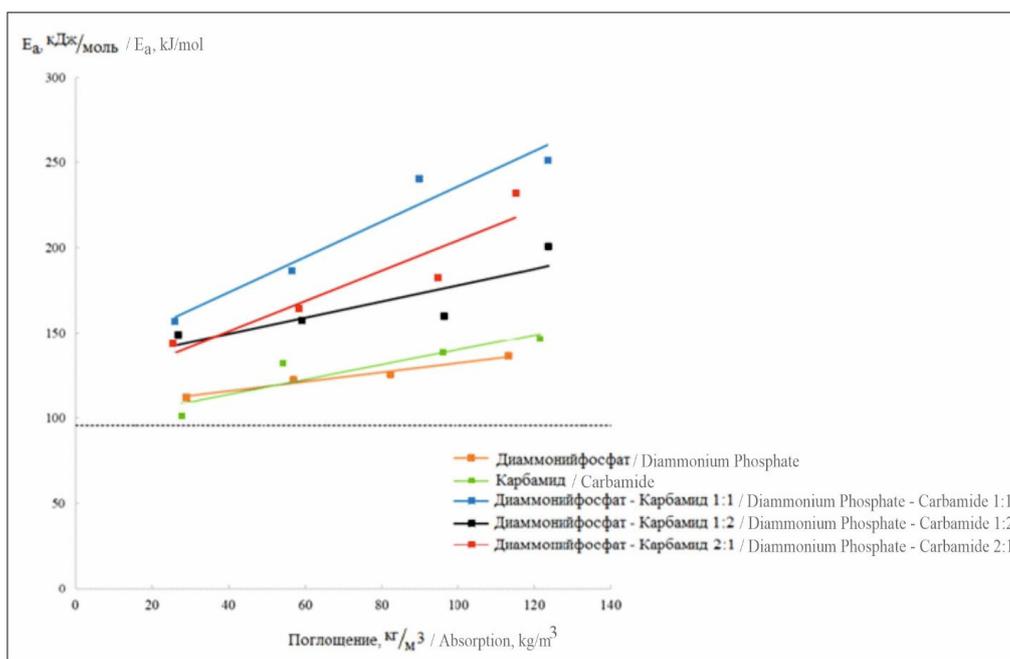


Рис. 4. Зависимость энергии активации E_a от поглощения ($\text{кг}/\text{м}^3$) антипиренов
 Fig. 4. Dependence of the E_a activation energy on the absorption ($\text{кг}/\text{м}^3$) of flame retardants

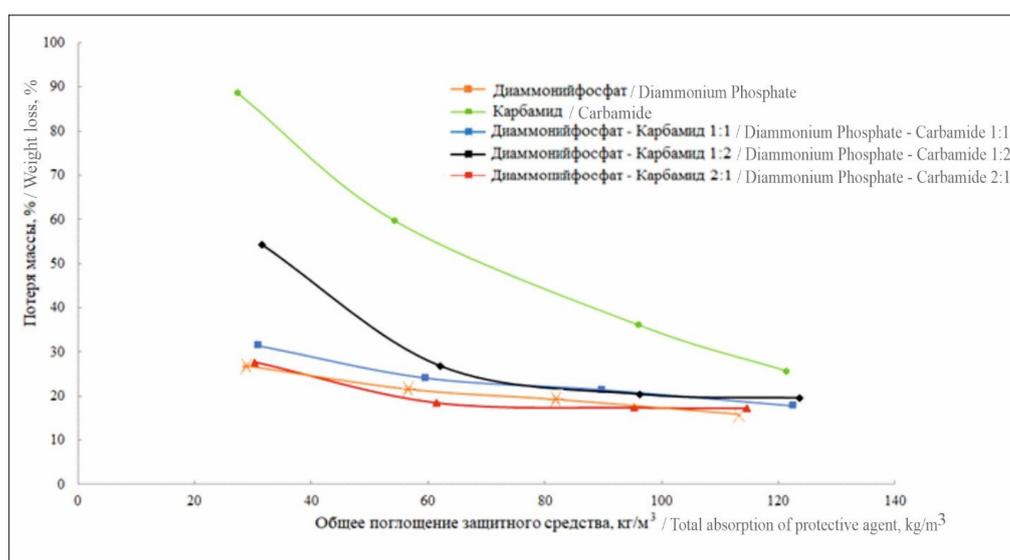


Рис. 5. График зависимости потери массы образца (%) от общего поглощения ($\text{кг}/\text{м}^3$) антипиренов
 Fig.5. Graph of the dependence of the mass loss of the sample (%) on the total absorption ($\text{кг}/\text{м}^3$) of flame retardants

проявляет смесь диаммонийфосфата и карбамида в соотношении 2:1 при поглощениях от $38 \text{ кг}/\text{м}^3$ до $100 \text{ кг}/\text{м}^3$. Таким образом, эта смесь имеет схожую с чистым диаммонийфосфатом огнезащитную эффективность, но при этом стоимость карбамида практически в два раза дешевле последнего, поэтому благодаря совместному действию указанных антипиренов можно

снижать себестоимость рецептуры средства огнезащиты.

Заключение

В настоящей статье методами ДТА определены кинетические параметры основной стадии интенсивного термоокислительного разложения древесины, пропитанной

смесью диаммонийфосфата и карбамида в соотношениях 1:1, 1:2 и 2:1 с различными поглощениями. Установлено, что для всех трех смесей антипиренов энергия активации процесса возрастает с увеличением поглощения, а потеря массы уменьшается. Температура максимума потери массы при этом сдвигается на 40–80 °С в область более низких температур.

Установлено, что огнезащитная эффективность при определенной комбинации

антипиренов может взаимно усиливаться. Смесь диаммонийфосфата и карбамида в соотношении 2:1 обладает наибольшей огнезащитной эффективностью, чем эти же смеси в соотношении 1:1 и 1:2 и индивидуальные антипирены. Энергия активации в смесях увеличивается на 150 кДж/моль относительно исходных антипиренов, что дополнительно подтверждает наличие синергетических эффектов в изученных смесях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование параметров воспламеняемости и процесса термоокислительного разложения древесины в присутствии эффективных средств огнебиозащиты / А. А. Кобелев [и др.] // Нанотехнологии в строительстве. 2023. Т. 15, № 5. С. 474–481. DOI: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-5-474-481>.
2. Characterisation of the fire behaviour of wood: From pyrolysis to fire retardant mechanisms / R. A. Mensah et al. // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2023. № 148. pp. 1407–1422. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11442-0>.
3. Титунин, А. А., Федотов, А. А. Исследование влияния антипиренов на горючесть строительных материалов из древесины сосны и осины // Строительные материалы. 2024. № 8. С. 49–55. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-827-8-49-55>.
4. Пиролиз обработанной огнезащитными составами древесины погонажных изделий / А. А. Решетников [и др.] // Вестник Пермского университета. Серия: Химия. 2020. Т. 10, № 3. С. 285–299. DOI: <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2020-3-285-299>.
5. Огнестойкость деревянных конструкций с огнезащитными пропиточными составами / О. В. Арцыбашева [и др.] // Технологии техносферной безопасности. 2018. № 1 (77). С. 12–21. DOI: <https://doi.org/10.25257/TTS.2018.1.77.12-21>.
6. Котлярова, И. А., Степина, И. В. Определение кинетических параметров термодеструкции и группы огнезащитной эффективности древесины сосны, модифицированной боразотным антипиреном // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2020. № 1. С. 70–77. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-1-70-77>.
7. ГОСТ 28815–2018. Растворы водные защитных средств для древесины. Технические условия : межгос. стандарт : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн.

регулированию и метрологии от 3 июля 2018 г. № 373-ст ; межгос. стандарт ГОСТ 28815–2018 введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации с 1 апреля 2019 г. : дата введения 2019-04-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200159813> (дата обращения: 20.02.2025).

8. Мельников, Н. О., Акинин, Н. И. Влияние антипиренов на термическое разложение древесины // Химическая промышленность сегодня. 2022. № 5. С. 52–57. DOI: https://doi.org/10.53884/27132854_2022_5_52.

9. Колесова В. Ю., Бедило Н. М., Мельников Н. О. Термоанализ древесины, пропитанной диаммонийфосфатом и карбамидом // Успехи в химии и химической технологии. 2023. Т. 37, № 10 (272). С. 72–75.

10. ГОСТ 8515–75. Диаммонийфосфат. Технические условия : гос. стандарт Союза ССР : утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 19 сентября 1975 г. № 2438 : дата введения 1977-07-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200019034> (дата обращения: 20.02.2025).

11. ГОСТ 2081–2010 Карбамид. Технические условия : межгос. стандарт : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 27 июля 2010 г. № 192-ст ; межгос. стандарт ГОСТ 2081–2010 введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации с 1 марта 2011 г. : дата введения 2011-03-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200080578> (дата обращения: 20.02.2025).

12. ГОСТ 30028.3–2022 Средства защитные для древесины. Экспресс-метод определения огнезащитной эффективности : межгос. стандарт : утвержден и введен в действие приказом Федер. агентства по техн. регулированию и метрологии от 22 августа 2022 г. № 800-ст ; межгос. стандарт ГОСТ 30028.3–2022 введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации с 1 июня 2023 г. : введен взамен ГОСТ 30028.3-93 : дата введения 2023-06-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200192768> (дата обращения: 20.02.2025).

REFERENCES

1. Study of flammability parameters and thermo-oxidative decomposition of wood in the presence of effective fire-bio-protection agents / A. A. Kobelev et al. // Nanotechnologies in Construction. 2023. T. 15, № 5. pp. 474–481. DOI: <https://doi.org/10.15828/2075-8545-2023-15-5-474-481>.

2. Characterization of the fire behavior of wood: From pyrolysis to fire retardant mechanisms / R. A. Mensah et al. // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2023. № 148. pp. 1407–1422. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11442-0>.

3. Titunin, A. A., Fedotov, A. A. Investigation of the effect of flame retardants on the combustibility of building materials made of pine and aspen wood // *Construction Materials*. 2024. № 8. pp. 49–55. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2024-827-8-49-55>.

4. Pyrolysis of fire retardant-treated wood of moldings / A. A. Reshetnikov et al. // *Vestnik of Perm University. Series: Chemistry*. 2020. T. 10, № 3. C. 285–299. DOI: <https://doi.org/10.17072/2223-1838-2020-3-285-299>.

5. Fire resistance of wooden structures with fire retardant impregnation compositions / O. V. Artsybasheva et al. // *Technosphere safety technologies*. 2018. № 1 (77). pp. 12–21. DOI: <https://doi.org/10.25257/TTS.2018.1.77.12-21>.

6. Kotlyarova, I. A., Stepina, I. V. Determination of kinetic parameters of thermodestruction and fire protection efficiency group of pine wood modified with borazote flame retardant // *Vestnik of V. G. Shukhov Belarusian State Technical University*. G. Shukhov. 2020. № 1. pp. 70–77. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-1-70-77>.

7. GOST 28815–2018. Solutions of aqueous protective agents for wood. Technical conditions : interstate standard : approved and enacted by the order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of July 3, 2018 № 373-st interstate standard GOST 28815–2018 enacted as a national standard of the Russian Federation from April 1, 2019. : date of introduction 2019-04-01 // *Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200159813> (date of application: 20.02.2025).

8. Melnikov, N. O., Akinin, N. I. Influence of flame retardants on the thermal decomposition of wood // *Chemical Industry Today*. 2022. № 5. pp. 52–57. DOI: https://doi.org/10.53884/27132854_2022_5_52.

9. Kolesova V. Yu., Bedilo N. M., Melnikov N. O. Thermal analysis of wood impregnated with diammonium phosphate and urea // *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii*. 2023. T. 37, № 10 (272). pp. 72–75.

10. GOST 8515–75. Diammonium phosphate. Technical conditions : state standard of the Union of Soviet Socialist Republics : approved and put into effect by the USSR State Committee for Standards of September 19, 1975 № 2438 : date of introduction 1977-07-01 // *Codex : electronic fund of legal and normative-technical information*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200019034> (date of application: 20.02.2025).

11. GOST 2081–2010 Urea. Technical conditions : interstate standard : approved and put into effect by the order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from July 27, 2010 № 192-st interstate standard GOST 2081–2010 put into effect as a national standard of the Russian Federation from March 1, 2011. : date of introduction 2011-03-01 // *Codex : electronic fund of legal and normative-technical inform*. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200080578> (date of application: 20.02.2025).

12. GOST 30028.3–2022 Protective means for wood. Express-method of determination of fire protection efficiency : interstate standard : approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology from August 22, 2022 № 800-st interstate standard

GOST 30028.3–2022 put into effect as a national standard of the Russian Federation from June 1, 2023. : introduced instead of GOST 30028.3-93 : date of introduction 2023-06-01 // Codex : electronic fund of legal and normative.-technical inform. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200192768> (date of application: 20.02.2025).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Колесова Виктория Юрьевна, студент 2 курса магистратуры кафедры техносферной безопасности РХТУ им. Д. И. Менделеева (125047, Российская Федерация, г. Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1); e-mail: vika.kolesova2015@yandex.ru

Мельников Никита Олегович, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры техносферной безопасности РХТУ им. Д. И. Менделеева (125047, Российская Федерация, г. Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1); заведующий лабораторией исследований огнестойкости строительных конструкций научного экспертного бюро пожарной, экологической безопасности в строительстве ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство» (109428, Российская Федерация, г. Москва, ул. 2-я Институтская, д. 6); РИНЦ ID: 694341; Scopus Author ID: 57189368987; e-mail: no.melnikov@yandex.ru

Монахов Антон Андреевич, ассистент кафедры техносферной безопасности РХТУ им. Д. И. Менделеева (125047, Российская Федерация, г. Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1); РИНЦ ID: 1038060; e-mail: antonmonahov913@yandex.ru

Головина Екатерина Валерьевна, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры надзорной деятельности и права Уральского института ГПС МЧС России (620062, Российская Федерация, г. Екатеринбург, ул. Мира, 22); РИНЦ ID: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Victoria Yu. Kolesova, 2nd year master's student, Department of Technosphere Safety, D. I. Mendeleev Russian Chemical Technology University (p. 1, 9 Miuskaya Ploshchad, Moscow, 125047, Russian Federation); e-mail: vika.kolesova2015@yandex.ru

Nikita O. Melnikov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety, D. I. Mendeleev Russian Chemical Technology University (p. 1, 9 Miuskaya Ploshchad, Moscow, 125047, Russian Federation); Head of the Laboratory of Fire Resistance Research of Building Structures of the Scientific Expert Bureau of Fire and Environmental Safety in Construction, V. A. Kucherenko Central Scientific Research Institute of Fire and Environmental Safety in Construction, JSC “NIC “Construction” (6 2-ya Institutskaya, 109428, Moscow, Russian Federation); RSCI ID: 694341; Scopus Author ID: 57189368987; e-mail: no.melnikov@yandex.ru

Anton A. Monakhov, Assistant, Department of Technosphere Safety, D. I. Mendeleev Russian Chemical Technology University (p. 1, 9 Miuskaya Ploshchad, Moscow, 125047, Russian Federation); RSCI ID: 1038060; e-mail: antonmonahov913@ yandex.ru

Ekaterina V. Golovina, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Supervision and Law, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia (22 Mira St., Ekaterinburg, 620062, Russian Federation); RSCI ID: 846886; ORCID: 0000-0002-2999-0752; e-mail: ekaterinagolovina@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.02.2025
Одобрена после рецензирования 18.02.2025
Принята к публикации 14.03.2025