

Научная статья

УДК 614.841.3

<https://elibrary.ru/cxioeh><http://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-298-306>

## Влияние насыщения древесины огнебиозащитными составами на горючесть

**В.М. Паршин<sup>1</sup>, Д.С. Шалагин<sup>2</sup>, А.А. Баранова<sup>3</sup>**<sup>1,2,3</sup>Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Россия

**Аннотация.** Цель работы – установить влияние насыщения древесины сосны огнебиозащитными составами на ее горючесть и оценить огнезащитную эффективность трех видов антипиренов: «Сенеж Огнебио», «Ecossept Огнебио» и «Propitex Огнебиозащита». Составы наносились на образцы двумя способами: путем поверхностной обработки и глубокой пропиткой. Испытания на горючесть проводились методом огневой трубы по стандартной методике. Качество огнебиозащитного состава оценивалось по содержанию пропитки в образцах и по потерям массы обработанных образцов при огневых испытаниях. При поверхностной обработке среднее содержание состава «Сенеж Огнебио» в образцах составило 2,41% по массе, а средние потери массы образцов при сжигании достигли 21,97%. Среднее содержание в образцах антипиренов «Ecossept Огнебио» и «Propitex Огнебиозащита» составило 1,97% и 2,56% по массе, а повреждения образцов при испытании – 28,52% и 28,38% соответственно. После глубокой пропитки среднее содержание пропиточных составов в образцах увеличилось более чем в 2,5 раза и повреждения древесины при испытании составили в среднем для «Сенеж Огнебио» – 14,87%, для «Ecossept Огнебио» – 8,27%, для «Propitex Огнебиозащита» – 11,83%. Экспериментально установлено, что для поверхностной обработки древесины лучшим огнебиозащитным составом является «Сенеж Огнебио», а для глубокой пропитки подходят все три состава.

**Ключевые слова:** древесина, горючесть, антипирены, огнебиозащитные составы, глубокая пропитка, поверхностная пропитка

**Для цитирования:** Паршин В.М., Шалагин Д.С., Баранова А.А. Влияние насыщения древесины огнебиозащитными составами на горючесть // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 2. С. 298–306. <https://elibrary.ru/cxioeh>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-298-306>.

### Original article

## Influence of wood saturation with fire- and bioprotective agents on its combustibility

**Victor M. Parshin<sup>1</sup>, Dmitriy S. Shalagin<sup>2</sup>, Albina A. Baranova<sup>3</sup>**

Angarsk State Technical University, Angarsk, Russia

**Abstract.** The aim was to establish the effect of pine wood saturation with fire- and bioprotective agents on its combustibility and to evaluate the fireproof efficiency of three types of fire retardants: Senezh OgneBio, Ecossept OgneBio, and Propitex Ognebiozaschita. The compositions were applied onto the samples by surface treatment and deep impregnation. Combustibility tests were carried out by the flame tube method according to a standard technique. The quality of the fire and bioprotective agents was evaluated by the impregnation content in the samples and by the weight loss of the treated samples during combustion tests. In surface-treated samples, the average content of Senezh OgneBio was 2.41 wt% and the average mass loss during combustion reached 21.97%. The average content of Ecossept OgneBio and Propitex Ognebiozaschita fire retardants in the samples was 1.97 and 2.56 wt%, with the average mass loss during combustion reaching 28.52% and 28.38%, respectively. After deep impregnation, the average content of the impregnating compositions in the samples increased by more than 2.5 times, and wood damage during the test was on average 14.87% for Senezh OgneBio, 8.27%

© Паршин В.М., Шалагин Д.С., Баранова А.А., 2023

for Ecossept OgneBio, and 11.83% for Propitex Ognebiozaschita. Senezh OgneBio was experimentally determined to be the best fire- and bioprotective agent for wood surface treatment, although all three compositions were found to be suitable for deep impregnation.

**Keywords:** wood, combustibility, flame retardants, fire-protective compounds, deep impregnation, surface impregnation

**For citation:** Parshin V.M., Shalagin D.S., Baranova A.A. Influence of wood saturation with fire- and bioprotective agents on its combustibility. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(2):298-306. (In Russ.). <https://elibrary.ru/cxioeh>. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-2-298-306>.

## ВВЕДЕНИЕ

Древесина, являясь материалом природного происхождения, обладает множеством достоинств, таких как: низкая теплопроводность, достаточная прочность при невысокой средней плотности, небольшие затраты на производство, легкость обработки, возможность переработки промышленных отходов. При соответствующих условиях эксплуатации конструкции и изделия на ее основе могут прослужить длительное время. Однако одними из главных ее недостатков являются повышенная воспламеняемость и горючесть. По показателю горючести древесина относится к четвертой группе – сильногорючие, т.е. в сухом состоянии при воздействии открытого огня воспламеняется, поддерживает горение и практически полностью сгорает, что может привести к уничтожению не только материальных ценностей, но и гибели людей.

Исходя из всего вышесказанного, снижение пожарной опасности деревянных конструкций и изделий из древесины является весьма актуальной и значимой задачей, над решением которой трудятся исследователи из разных стран [1–20]. Снижения возгораемости древесины можно добиться путем ее пропитки специальными растворами – антипиренами. Воздействие антипиренов на древесину основано на повышении сопротивления возгоранию и горению. При нагревании антипирен, содержащийся на поверхности древесины, образует пленку, ограничивая тем самым доступ кислорода к поверхности. В результате, часть тепла расходуется на ее плавление, приводя к повышению температуры воспламенения древесины. Некоторые огнезащитные вещества, разлагаясь при нагревании, выделяют газы, не поддерживающие горение (аммиак, сернистый газ). Негорючие вещества, оттесняющие кислород с поверхности древесины, препятствуют ее горению. В настоящее время на рынке пред-

лагается достаточное количество пропиточных составов, которые позволяют повысить стойкость древесины к возгоранию.

Целью работы было установить влияние насыщения древесины огнебиозащитными составами на ее горючесть и оценить огнезащитную эффективность исследуемых антипиренов.

## МЕТОДЫ

В исследованиях применялись три огнебиозащитных состава, которые предлагаются торговыми сетями: «Сенеж Огнебио» по ТУ 2389-002-18796270-2003, «Ecossept Огнебио» по ТУ 2499-134-13238275-2016 и «Propitex Огнебиозащита» по ТУ 20.59.50-003-46366385-2017.

Для испытаний из древесины сосны были изготовлены образцы размерами 10x10x100 мм, которые обрабатывались антипиренами двумя способами:

– путем погружения образцов в емкость с антипиреном в течение нескольких секунд за два раза с интервалом в одни сутки – поверхностная обработка;

– выдерживанием (вымачиванием) образцов в емкости с огнебиозащитным составом в течение двух недель – глубокая пропитка. При этом уровень пропиточной жидкости над поверхностью образцов составлял 100 мм.

Обработка образцов огнебиозащитными составами проводилась в лаборатории при температуре воздуха +20 °С и влажности 38%. Обработанные антипиренами образцы высушивались до постоянной массы при комнатной температуре в течение 30 сут.

У каждого образца измерялась масса до и после обработки огнезащитным составом, а также после огневых испытаний с точностью до 0,01 г.

Потери массы образца (Р, %) при испытании определялись по формуле

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100, \quad (1)$$

где  $m_1$  – масса образца до испытания, г;  $m_2$  – масса образца после испытания г.

Перед началом огневых испытаний исследуемые образцы взвешивались. Высота пламени газовой горелки составляла 2–2,5 см. Образец, закрепленный в держателе, устанавливался вертикально и опускался в огневую трубу до касания с пламенем. При соприкосновении образца с огнем с помощью секундомера засекалось время.

Образец находился в вертикальном положении, соприкасаясь с пламенем, в течение 2 мин. По истечении этого времени образец удалялся из зоны огня, и фиксировалось время его самостоятельного горения. После огневых испытаний остывшие до комнатной температуры образцы древесины взвешивались.

По результатам испытаний устанавливалась группа огнезащитной эффективности антипирена. Согласно НПБ 251-98 «Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний» к I группе относятся образцы, у которых потери массы не превышают 9%, ко II группе – если потери массы составляют свыше 9% и до 25%. При потере массы более 25% делается вывод, что данное средство не обеспечивает огнезащиту древесины и не является огнезащитным.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты приведены в табл. 1–2 и представлены на рис. 1–3.

Потери массы контрольных образцов (без обработки антипиренами) при огневых испытаниях в среднем составили 59,63%.

При поверхностной обработке (табл. 1) среднее содержание состава «Сенеж Огнебио» в образцах составило 2,41% по массе. При этом средние потери массы образцов при сжигании достигли 21,97%, что соответствует II группе огнезащитной эффективности.

Среднее содержание в образцах антипиренов «Ecosept Огнебио» и «Propitex Огнебиозащита» составило 1,97% и 2,56% по массе, а повреждения образцов при испытании – 28,52% и 28,38% соответственно, что свидетельствует о том, что данные средства при поверхностной обработке не обеспечивают огнезащиту древесины и не являются огнезащитными.

После глубокой пропитки (табл. 2) среднее содержание огнебиозащитных составов в образцах увеличилось более чем в 2,5 раза по сравнению с поверхностной обработкой и повреждения древесины при испытании составили в среднем для «Сенеж Огнебио» 14,87%, для «Ecosept Огнебио» – 8,27%, для «Propitex Огнебиозащита» – 11,83%.

По полученным результатам при глубокой пропитке состав «Ecosept Огнебио» можно отнести к I группе огнезащитной эффективности, а составы «Сенеж Огнебио» и «Propitex Огнебиозащита» – к антипиренам II группы огнезащитной эффективности.

**Таблица 1.** Результаты испытаний образцов после поверхностной обработки огнебиозащитными составами

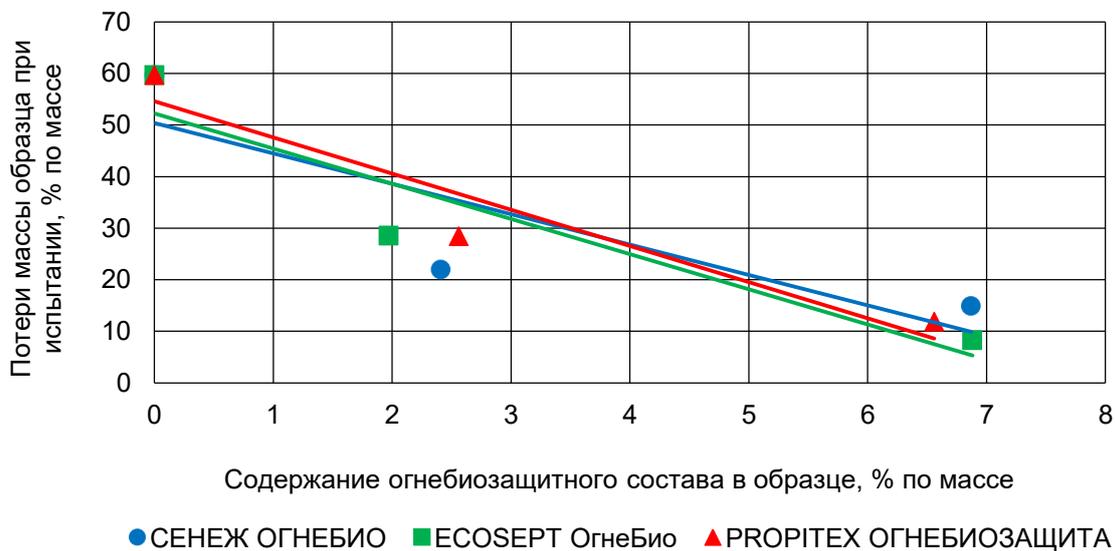
**Table 1.** Test results of samples after surface treatment with fire-bio-protective compounds

Номер образца	Сенеж Огнебио		Ecosept Огнебио		Propitex Огнебиозащита	
	Содержание антипирена, % по массе	Потери массы образца, %	Содержание антипирена, % по массе	Потери массы образца, %	Содержание антипирена, % по массе	Потери массы образца, %
1	1,49	33,37	2,21	9,37	3,13	46,07
2	2,35	16,89	2,46	36,86	1,39	37,92
3	2,00	26,68	2,9	28,32	1,76	2,09
4	2,95	28,83	1,98	30,89	3,48	48,99
5	3,21	33,66	2,98	26,33	1,95	28,61
6	3,07	12,62	2,15	30,23	3,48	8,31
7	1,27	20,79	1,01	38,47	2,38	39,63
8	1,98	24,57	1,52	16,18	2,99	17,44
9	2,89	6,19	1,95	38,34	2,86	18,26
10	2,85	16,13	0,58	30,22	2,14	36,48
Среднее значение	2,41	21,97	1,97	28,52	2,56	28,38

**Таблица 2.** Результаты испытаний образцов после глубокой пропитки огнебиозащитными составами

**Table 2.** Test results of samples after deep impregnation with fire-bio-protective compounds

Номер образца	Сенеж Огнебио		Ecosept Огнебио		Propitex Огнебиозащита	
	Содержание антипирена, % по массе	Потери массы образца, %	Содержание антипирена, % по массе	Потери массы образца, %	Содержание антипирена, % по массе	Потери массы образца, %
1	9,53	11,47	3,68	14,68	9,72	8
2	7,64	18,22	6,15	11,79	4,69	28,12
3	7,1	17,06	3,99	7,67	9,57	7,41
4	7,31	18,84	9,02	6,75	5,03	37,52
5	8,58	22,19	8,75	13,84	8,6	7,74
6	4,63	12,43	2,29	1,06	5,23	6,04
7	5,25	13,12	8,51	7,76	5,62	6,17
8	7,54	9,52	8,66	4,99	6,32	3,83
9	6,16	13,23	7,61	5,91	0,79	8,87
10	5,02	12,58	10,18	8,26	10,03	4,56
Среднее значение	6,87	14,87	6,88	8,27	6,56	11,83



**Рис. 1.** Горючесть образцов в зависимости от содержания огнебиозащитных составов  
**Fig. 1.** Flammability of samples depending on the content of fire-bio-protective compounds



**Рис. 2.** Фотографии контрольных образцов до (а) и после (b) огневых испытаний  
**Fig. 2.** Photos of control samples before (a) and after (b) fire tests

Потери массы образцов ( $P$ , %) при огневых испытаниях (рис. 1) описываются следующими уравнениями:

– для огнебиозащитного состава «Сенеж ОгнеБио»:

$$P = 50,4 - 5,8978 \cdot x; \quad (2)$$

– для огнебиозащитного состава «Ecosept ОгнеБио»:

$$P = 52,273 - 6,8249 \cdot x; \quad (3)$$

– для огнебиозащитного состава «Propitex Огнебиозащита»:

$$P = 54,59 - 7,01 \cdot x, \quad (4)$$

где  $x$  – содержание в древесине огнебиозащитных составов, % по массе.

У контрольных образцов горение началось с первых секунд огневых испытаний и продолжалось после удаления источника огня до полного сгорания (см. рис. 2, *b*).

Горение образцов, поверхностно обработанных составом «Сенеж ОгнеБио», началось в среднем через 10 сек. с момента испы-

тания и продолжалось в течение 15 сек. после удаления источника огня (рис. 3, *a*). Горение образцов, поверхностно обработанных составом «Ecosept ОгнеБио», началось в среднем через 50 сек. и продолжалось в течение 15 сек. после удаления источника огня (рис. 3, *b*). Горение образцов, поверхностно обработанных составом «Propitex Огнебиозащита», началось в среднем через 17 сек. И продолжалось в течение 30 сек. после удаления источника огня (рис. 3, *c*).

Горение образцов, обработанных составом «Сенеж ОгнеБио» методом глубокой пропитки, началось в среднем через 70 сек. с момента испытания и прекращалось после удаления источника огня (рис. 4, *a*). Возгорание образцов, обработанных составами «Ecosept ОгнеБио» и «Propitex Огнебиозащита» методом глубокой пропитки, не наблюдалось в течение 120 сек. (рис. 4, *b* и *c*).

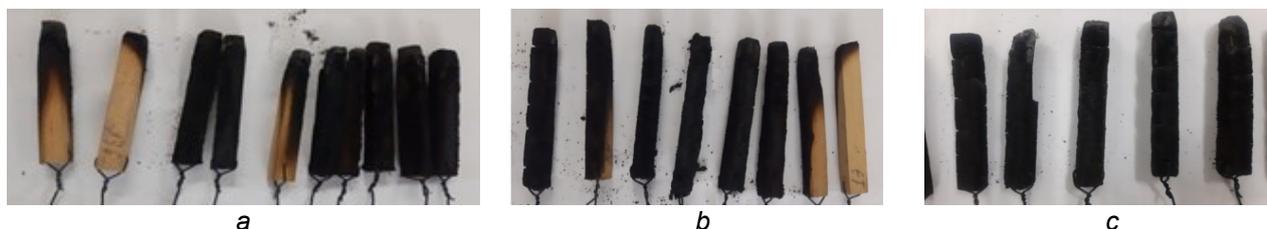


Рис. 3. Образцы, поверхностно обработанные огнебиозащитными составами, после огневых испытаний:

*a* – Сенеж ОгнеБио; *b* – Ecosept ОгнеБио; *c* – Propitex Огнебиозащита

Fig. 3. Photos of samples superficially treated with fire-protective compounds after fire tests: *a* – Senezh Ognеbio; *b* – Ecosept Ognеbio; *c* – Propitex Ognеbiозashchita



Рис. 4. Образцы, обработанные методом глубокой пропитки огнебиозащитными составами, после огневых испытаний:

*a* – Сенеж ОгнеБио; *b* – Ecosept ОгнеБио; *c* – Propitex Огнебиозащита

Fig. 4. Samples treated by deep impregnation with fire-protective compounds after fire tests: *a* – Senezh Ognеbio; *b* – Ecosept Ognеbio; *c* – Propitex Ognеbiозashchita

## ВЫВОДЫ

По результатам проведенных исследований сделаны следующие выводы:

– для поверхностной обработки древесины лучшим из трех исследуемых огнебиозащитных составов является «Сенеж Огнебио», у которого потери массы образцов при сжигании составили 21,97%, что соответствует II группе огнезащитной эффективности;

– для глубокой пропитки подходят все три состава, при этом по проценту повреждений древесины при огневых испытаниях состав «Ecosept Огнебио» соответствует I группе огнезащитной эффективности, «Сенеж Огнебио» и «Profitex Огнебиозащита» относятся ко II группе огнезащитной эффективности.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Luming Li, Zhilin Chen, Jinhan Lu, Ming Wei, Yuxiang Huang, Peng Jiang. Combustion behavior and thermal degradation properties of wood impregnated with intumescent biomass flame retardants: phytic acid, hydrolyzed collagen and glycerol // ACS Omega. 2021. Vol. 6. No. 5. P. 3921–3930. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05778>.
2. Rowell R.M., M.A. DiTenberger. Thermal properties, combustion and fire retardancy of wood. In: Handbook of wood chemistry and wood composites. 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. P. 127–150. <https://doi.org/10.1201/b12487>.
3. Kumar S.P., Takamori S., Araki H., Kuroda S. Flame retardancy of clay-sodium silicate composite coatings on wood for construction purposes // RSC Advances. 2015. Vol. 5. No. 43. P. 34109–34116. <https://doi.org/10.1039/C5RA04682C>.
4. Park Hyung-Ju, Kang Young-Goo, Kim Hong. A study on combustion characteristics of fire-retardant treated wood // Journal of the Korean Wood Science and Technology. 2005. Vol. 33. Iss. 4. P. 38–44.
5. Sohyun Park, Yeonjung Han, Dong Won Son. Flame retardancy of wood products by spreading concentration and impregnation time of flame retardant // Korean Wood Science and Technology. 2020. Vol. 48. No. 4. P. 417–430. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2020.48.4.417>.
6. Park Hee-Jun, Mingyu-Wen, Cheon, Sang-Hun, Hwang, Jung-Woo, Oh, Seung-Won. Flame retardant performance of wood treated with flame retardant chemicals // Journal of the Korean Wood Science and Technology. 2012. Vol. 40. Iss. 5. P. 311–318. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2012.40.5.311>.
7. Qiangqiang Liu, Yubo Chai, Lin Ni, Wenhua Lyu. Flame retardant properties and thermal decomposition kinetics of wood treated with boric acid modified silica sol // Materials. 2020. Vol. 13. No. 20. P. 4478. <https://doi.org/10.3390/ma13204478>.
8. Gaff M., Čekovská H., Bouček J., Kačíková D., Kubovský I., Tribulova T., et al. Flammability characteristics of thermally modified meranti wood treated with natural and synthetic fire retardants // Polymers. 2021. Vol. 13. P. 1–13. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15977.21608>.
9. Wang L., Yang Ya., Deng H., Duan W., Zhu J., Wei Yu., et al. Flame retardant properties of a guanidine phosphate-zinc borate composite flame retardant on wood // ACS Omega. 2021. Vol. 6. No. 16. P. 11015–11024. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00882>.
10. Коротков Р.В. Снижение горючести строительных материалов из древесины // Научный вестник воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. 2009. № 3 (5). С. 166–171. EDN: KUXYJN.
11. Трифонова О.Н. Химическая модификация древесины с целью снижения ее горючести // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. № 1. С. 23–25.
12. Трушкин Д.В., Корольченко О.Н., Бельцова Е.Г. Горючесть древесины, обработанной огнезащитными составами // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. № 1. С. 29–33.
13. Петрова Е.А. Снижение горючести древесины // Строительные материалы. 2011. № 11. С. 59–61.
14. Саяпина Д.И., Зимина А.Н., Порубенко А.С. Применение огнезащитных покрытий для получения устойчивости древесины в условиях пожара // Студенческий: электронный научный журнал. 2021. № 19-1 (147). С. 38–46. URL: <https://sibac.info/journal/student/147/213852> (24.04.2023).
15. Альменбаев М.М., Сивенков А.Б. Применение антипиренов для снижения пожарной опасности древесины с лакокрасочными материалами // Олигомеры-2015: сб. тезисов докл. V Междунар. конф.-школы по химии и физико-химии олигомеров (г. Волгоград, 01–06 июня 2015 г.). Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2015. С. 216. EDN: UAJDEX.
16. Савченко Т.А., Панкин К.Е. Экспериментальные исследования эффективности действия ан-

типиренов на воспламенение древесины // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы III Международ. науч.-практ. конф. (г. Саратов, 18–20 мая 2016 г.). Саратов: ООО «Амирит», 2016. С. 75–79. EDN: WXVENH.

17. Рустамов У.И., Аташов А.Ш., Мухамедгалиев Б.А. Исследование горения огнезащищенных древесных материалов, модифицированных полимерными антипиренами // Химическая промышленность. 2018. Т. 95. № 4. С. 205-208. EDN: YMHYFV.

18. Абдукадиров Ф.Б., Камалов Ж.К., Касимов И.У., Мухамедгалиев Б.А. Исследование горения огнезащищенных древесных материалов, модифицированных полимерными антипиренами //

Химическая промышленность. 2021. Т. 98. № 2. С. 82-86. EDN: ZKNKKL.

19. Копылов Н.П., Кузнецов А.Е., Сушкина Е.Ю., Яшин В.В. Изучение кинетики термической и термоокислительной деструкции обработанной антипиренами и необработанной древесины (часть 2) // Пожарная безопасность. 2020. № 4 (101). С. 55-62. EDN: WFIGJF.

<https://doi.org/10.37657/vniipo.pb.2020.101.4.005>.

20. Газизов А.М., Хазипов А.М., Мялицин А.В. Повышение огнезащитных свойств древесины при помощи пропитки антипиреном // Нефтегазовое дело. 2022. № 6. С. 7–19. <https://doi.org/10.17122/ogbus-2022-6-7-19>. EDN: KVECXO.

## REFERENCES

1. Luming Li, Zhilin Chen, Jinhan Lu, Ming Wei, Yuxiang Huang, Peng Jiang. Combustion behavior and thermal degradation properties of wood impregnated with intumescent biomass flame retardants: phytic acid, hydrolyzed collagen and glycerol. *ACS Omega*. 2021;6(5):3921-3930. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c05778>.

2. Rowell R.M., M.A. Diitenberger. Thermal properties, combustion and fire retardancy of wood. In: Handbook of wood chemistry and wood composites. 2<sup>nd</sup> ed. Boca Raton: CRC Press; 2012. p. 127–150. <https://doi.org/10.1201/b12487>.

3. Kumar S.P., Takamori S., Araki H., Kuroda S. Flame retardancy of clay-sodium silicate composite coatings on wood for construction purposes. *RSC Advances*. 2015;5(43):34109-34116. <https://doi.org/10.1039/C5RA04682C>.

4. Park Hyung-Ju, Kang Young-Goo, Kim Hong. A study on combustion characteristics of fire-retardant treated wood. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 2005;33(4):38-44.

5. Sohyun Park, Yeonjung Han, Dong Won Son. Flame retardancy of wood products by spreading concentration and impregnation time of flame retardant. *Korean Wood Science and Technology*. 2020;48(4):417-430. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2020.48.4.417>.

6. Park Hee-Jun, Mingyu-Wen, Cheon, Sang-Hun, Hwang, Jung-Woo, Oh, Seung-Won. Flame retardant performance of wood treated with flame retardant chemicals. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 2012;40(5):311-318. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2012.40.5.311>.

7. Qiangqiang Liu, Yubo Chai, Lin Ni, Wenhua Lyu. Flame retardant properties and thermal decomposition kinetics of wood treated with boric acid modified

silica sol. *Materials*. 2020;13(20):4478. <https://doi.org/10.3390/ma13204478>.

8. Milan Gaff, Hana Čekovská, Jiří Bouček, Danica Kačíková, Ivan Kubovský, Tereza Tribulova, et al. Flammability characteristics of thermally modified meranti wood treated with natural and synthetic fire retardants. *Polymers*. 2021;13:1-13. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.15977.21608>.

9. Wang L., Yang Ya., Deng H., Duan W., Zhu J., Wei Yu., et al. Flame retardant properties of a guanidine phosphate-zinc borate composite flame retardant on wood // ACS Omega. 2021. Vol. 6. No. 16. P. 11015–11024. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c00882>.

10. Korotkov R.V. Reduction of combustibility of wood building materials. *Nauchnyi vestnik voronezhskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture* (In Russ.). EDN: KUXYJN.

11. Trifonova O.N. Chemical modification of wood in order to reduce its combustibility. *Pozharovzrivo-bezopasnost = Fire and explosion safety*. 2008;17(1):23-25. (In Russ.).

12. Trushkin D.V., Korolchenko O.N., Beltsova T.G. Combustibility of wood treated with flame retardants. *Pozharovzrivo-bezopasnost = Fire and explosion safety*. 2008;17(1):29-33. (In Russ.).

13. Petrova E.A. Reducing the combustibility of wood. *Stroitelnie materialy*. 2011;11:59-61. (In Russ.).

14. Sayapina D.I., Zimina A.N., Porubenko A.S. The use of fire-resistant coatings to increase the stability of wood in fire conditions. *Studencheskii: el-*

elektronnyi nauchnyi zhurnal. 2021;19-1:38-46. (In Russ.).

15. Al'menbaev M.M., Sivenkov A.B. The use of flame retardants to reduce the fire hazard of wood with paint and varnish materials. *Oligomery-2015: sbornik tezisov dokladov V Mezhdunarodnoi konferentsii-shkoly po khimii i fizikokhimii oligomerov = Oligomers-2015: collection of abstracts of the V International Conference-School of Chemistry and Physical Chemistry of oligomers*. 01-06 June 2015, Volgograd. Volgograd: Volgograd State Technical University; 2015. p. 216. EDN: UAJDEX.

16. Savchenko T.A., Pankin K.E. Eksperimental'nye issledovaniya effektivnosti deistviya antipirenov na vosplamnenie drevesiny. *Innovatsii v prirodobustroistve i zashchite v chrezvychainykh situatsiyakh: materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Innovations in environmental management and protection in emergency situations: materials of the III International Scientific and Practical Conference*. 18-20 May 2016, Saratov. Saratov: LLC "Amirit"; 2016. p. 75-79. EDN: WXVEHH.

17. Rustamov U.I., Atashov A.Sh., Mukhamedgaliev B.A. Combustion research fire-resistant wood materials modified with polymer antipyrène. *Khimicheskaya promyshlennost'*. 2018;95(4):205-208. (In Russ.). EDN: YMHYFV.

18. Abdukadirov F.B., Kamalov J.K., Kasimov I.U., Mukhamedgaliev B.A.. Combustion research fire-resistant wood materials modified with polymer antipyrène. *Khimicheskaya promyshlennost'*. 2021;98(2):82-86. (in Russ.). EDN: ZKNKKL.

19. Kopylov N.P., Kuznetsov A.E., Sushkina E.Yu., YASHIN V.V. Study of the kinetics of thermal and thermal-oxidative destruction of treated with flame retardants and untreated wood (Part 2). *Pozharnaya bezopasnost' = Fire safety*. 2020;4:55-62. (In Russ.). EDN: WFIGJF.

<https://doi.org/10.37657/vniipo.pb.2020.101.4.005>.

20. Gazizov A.M., Khazipov A.M., Myalitsin A.V. Increasing the fire-proof properties of wood by impregnation with antipyrène. *Neftegazovoe delo*. 2022;6:7-19. (In Russ.). EDN: KVECXO. <https://doi.org/10.17122/ogbus-2022-6-7-19>.

#### Информация об авторах

##### **Паршин Виктор Максимович**,

к.т.н, доцент,  
доцент кафедры промышленного  
и гражданского строительства,  
Ангарский государственный  
Технический университет,  
665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, Россия  
e-mail: pgs@angtu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3985-4770>

##### **Шалагин Дмитрий Сергеевич**,

магистрант,  
Ангарский государственный  
технический университет,  
665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, Россия  
e-mail: pgs@angtu.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0971-1741>

##### **Баранова Альбина Алексеевна**,

к.т.н., доцент,  
доцент кафедры промышленного  
и гражданского строительства,  
Ангарский государственный  
технический университет,  
665835, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60, Россия  
e-mail: baranova2012aa@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>

#### Information about the authors

##### **Victor M. Parshin**,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Associate Professor of the Department  
of Industrial and Civil Engineering,  
Angarsk State  
Technical University,  
60 Tchaikovsky St., Angarsk 665835, Russia  
e-mail: pgs@angtu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-3985-4770>

##### **Dmitriy S. Shalagin**,

Master's Degree Student,  
Angarsk State  
Technical University,  
60 Tchaikovsky St., Angarsk 665835, Russia  
e-mail: pgs@angtu.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0971-1741>

##### **Albina A. Baranova**,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,  
Associate Professor of the Department  
of Industrial and Civil Engineering,  
Angarsk State  
Technical University,  
60 Tchaikovsky St., Angarsk 665835, Russia  
e-mail: baranova2012aa@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-5939-3334>

**Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

**Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 03.04.2023.  
Одобрена после рецензирования 20.04.2023.  
Принята к публикации 21.04.2023.

**Information about the article**

The article was submitted 03.04.2023.  
Approved after reviewing 20.04.2023.  
Accepted for publication 21.04.2023.