

Леса России и хозяйство в них. 2025. № 3 (94). С. 159–169.

Forest of Russia and economy in them. 2025. № 3 (94). P. 159–169.

Научная статья

УДК 674.049.3

DOI: 10.51318/FRET.2025.94.3.016

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОГНЕЗАЩИТНЫХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД, ОБРАБОТАННОЙ И НЕ ОБРАБОТАННОЙ АНТИПИРЕНАМИ

Алексей Игоревич Шамов¹, Ирина Валерьевна Яцун²,
Светлана Борисовна Шишкина³

^{1–3} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ shamovaleksey300107@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2584-4897>

² yatsuniv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3195-2410>

³ shishkinasb@m.usfeu.ru

Аннотация. Приведены результаты сравнительного анализа исследований огнезащитных и физико-механических свойств древесины лиственных пород (осины и липы), обработанной и не обработанной огнезащитными составами (антипиренами). С этой целью на поверхности образцов предварительно наносились разные по составу и принципу действия растворы препаратов: на основе органических солей UpGUARD F6 и UpGUARD F7 и на основе неорганических солей NEOMID, а также жидкое стекло. Оценка физико-механических свойств древесины осуществлялась в соответствии с ГОСТ 16483.3–84, ГОСТ 16483.5–73 и ГОСТ 16433.10–73. Результаты исследований показали, что нанесение огнезащитных составов на поверхность древесины способствует увеличению ее прочностных показателей (предела прочности при статическом изгибе, предела прочности при сжатии и скалывании вдоль волокон). Проверка огнестойкости древесины, проведенная по нестандартной методике, показала, что наилучшие огнезащитные свойства достигаются при обработке поверхности древесины жидким стеклом, которое повышает время полного сгорания древесины осины в среднем на 106 %, а липы – на 122 %.

Ключевые слова: огнезащита древесины, антипирены, физико-механические свойства огнезащитной древесины, определение времени полного сгорания древесины, исследование огнезащиты древесины

Для цитирования: Шамов А. И., Яцун И. В., Шишкина С. Б. Сравнительный анализ огнезащитных и физико-механических свойств древесины лиственных пород, обработанной и не обработанной антипиренами // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 3 (94). С. 159–169.

Original article

COMPARATIVE ANALYSIS OF FLAME-RETARDANT AND PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF HARDWOOD TREATED AND UNTREATED WITH FLAME RETARDANTS

Alexey I. Shamov¹, Irina V. Yatsun², Svetlana B. Shishkina³

¹⁻³ Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

¹ shamovaleksey300107@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2584-4897>

² yatsuniv@m.usfeu.ru, <http://orcid.org/0000-0003-3195-2410>

³ shishkinasb@m.usfeu.ru

Abstract. The results of a comparative analysis of studies of fire-protective and physico-mechanical properties of hardwood (aspen and linden) treated and untreated with flame retardants (flame retardants) are presented. For this purpose, solutions of preparations of different composition and principle of action were pre-applied to the surface of the samples: based on organic salts UpGuard F6 and UpGuard F7 and based on inorganic salts NEOMID, as well as liquid glass. The assessment of the physical and mechanical properties of wood was carried out in accordance with GOST 16483.3–84, GOST 16483.5–73 and GOST 16433.10–73. The research results have shown that the application of flame retardants to the surface of wood contributes to an increase in its strength indicators (the ultimate strength under static bending, the ultimate strength under compression and chipping along the fibers). The fire resistance test of wood, conducted using a non-standard method, showed that the best fire-retardant properties are achieved when treating the wood surface with liquid glass, which increases the time of complete combustion of aspen wood by an average of 106 %, and linden – by 122 %.

Keywords: fire protection of wood, flame retardants, physical and mechanical properties of fire-resistant wood, determination of the time of complete combustion of wood, study of fire protection of wood

For citation: Shamov A. I., Yatsun I. V., Shishkina S. B. Comparative analysis of flame-retardant and physico-mechanical properties of hardwood treated and untreated with flame retardants // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 3 (94). P. 159–169.

Введение

Существует распространенное мнение, что деревянные дома при пожаре могут сгореть за считанные минуты. Однако это не так страшно, как кажется на первый взгляд. Еще в древности люди начали искать способы защитить дерево от огня. Первые упоминания о подобных методах защиты строений относятся к XVI в. В те времена люди повсеместно использовали деревянные дома, которые обрабатывали специальными смесями, чтобы защитить их от возгорания. Эти смеси состояли из глины, извести и соли. С годами состав смесей, предназначенных для защиты от огня, улучшался. Ученые активно исследовали свойства горения и воспламенения, стремясь создать более

эффективные средства защиты. Это позволило разработать новые составы, повышающие огнезащиту (Антипирены, 2024; Петрова, Корольченко, 2003).

Так появились антипирены – вещества, которые предотвращают распространение пламени и защищают дерево от воспламенения. В наши дни ими обрабатывают деревянные конструкции перед использованием, чтобы обеспечить сохранность любых построек из дерева (Антипирены, 2024; Стенина, Левинский, 2011).

Основные виды антипиренов, механизм их воздействия и области применения приведены в табл. 1.

Таблица 1
Table 1Основные виды антипиренов, механизм их действия и области применения
The main types of flame retardants, their mechanism of action and applications

Виды антипирена Types of flame retardants	Механизм воздействия Mechanism of action	Область применения Scope of application
Глубоко проникающие Deeply penetrating	Проникновение в древесину на глубину до нескольких миллиметров Penetration into wood to a depth of several millimeters	Обработка наружных элементов строительных деревянных конструкций Processing of exterior elements of wooden building structures
На основе органических соединений Based on organic compounds	При их нанесении на древесную подложку образуется огнезащитная пленка небольшой толщины When they are applied to a wood substrate, a flame-retardant film of small thickness is formed	Защита предметов интерьера Protection of interior items
Реактивные Reactive	Активное взаимодействие с горючими газами Active interaction with combustible gases	Защита полов или стен Protection of floors or walls

По принципу действия антипирены делятся на три группы: солевые, бессолевые и комбинированные.

Солевые – это антипирены второй группы огнезащиты, которые применяются для пропитки строений из древесины. В этих жидкостях для пропитки деревянных поверхностей содержатся соли, которые легко плавятся. Они способны повышать температуру горения обработанного материала. Тепло, выделяемое в процессе горения, тратится на плавление самого вещества, а не древесины, которая им пропитана. Таким образом, древесине, пропитанной таким веществом, требуется гораздо больше времени и температуры для возгорания, нежели обычной, которая не подвергнута обработке (Что представляют..., 2024).

Солевые антипирены обладают несколькими преимуществами:

- доступность компонентов;
- низкая цена.

Но также солевые пропитки имеют ряд недостатков:

- большой расход – для эффективной защиты требуется значительное количество состава;
- недолговечность и слабая фиксация в древесине – большинство солевых пропиток сохраняют свои свойства не более полутора лет после нанесения. Они слабо закрепляются в структуре древесины, что снижает их эффективность;

– «высаливание» на поверхности – из-за этого явления дальнейшая обработка древесины лакокрасочными материалами становится невозможной;

– ограничения по применению – солевыми пропитками нельзя обрабатывать влажную древесину и наносить их при низких температурах.

В итоге огнезащитные свойства поверхностей, обработанных солевыми растворами, обычно сохраняются от одного года до трех лет. Это связано с тем, что из-за перепада температур, влажности и давления древесина начинает постепенно отторгать кристаллы соли (Солевые пропитки..., 2024).

Бессолевые – это огнезащитные антипирены, которые относятся ко второй группе огнезащиты и не имеют в своем составе солей, при повышении температуры выделяют газы, не поддерживающие горение. Эти соединения влияют на содержание газов в атмосфере, удаляя кислород, нужный для процесса горения.

Если деревянная поверхность обработана таким составом и случилось воспламенение, то огонь не станет распространяться – он потухнет сам.

В состав этих пропиток входят сернокислые газы, такие как сульфат аммония и аммиак. Они действительно предотвращают распространение пламени, что делает данные антипирены эффективным инструментом защиты от возгорания (Отличия..., 2024).

Преимущества бессолевых антипиренов:

- образование антипирена внутри древесины. Это происходит в результате реакции целлюлозы и лигнина с компонентами пропитки, которые проникают в древесину при ее обработке. Образующийся «древесный полимер» химически привязан к древесине и является ее естественным продолжением;

- возможность проводить обработку летом и зимой. Бессолевые антипирены не замерзают до температуры минус 15 °С, поэтому способны вступать в реакцию с компонентами древесины с образованием полимерного комплекса даже на морозе;

- длительный срок нахождения антипирена в древесине. Он может превышать десятки лет, даже без дополнительной защиты лакокрасочными материалами.

Недостатки бессолевых антипиренов:

- необходимость в дополнительной защите лакокрасочными материалами. Они продлевают срок огнебиозащитного действия несолевых пропиток в несколько раз.

Комбинированные – антипирены, которые объединяют в себе свойства солевых и бессолевых. Подобные пропитки отличаются особой эффективностью (Отличия..., 2024).

Все антипирены доступны в различных формах: в виде лака, краски, мастики, пасты или жидких пропиток (Выставка домов..., 2024).

Предположительно пропитка древесины антипиренами придает ей не только огнезащитные свойства, но и способствует повышению показателей физико-механических свойств.

Цель, объект и методика исследования

Целью исследования являлось проведение сравнительного анализа огнезащитных и физико-механических свойств лиственных пород древесины, обработанной разными огнезащитными составами (антипиренами), со свойствами необработанной древесины.

Объект исследования – обработанная и не обработанная огнезащитными составами древесина лиственных пород.

Для оценки физико-механических свойств древесины использованы стандартные методики: ГОСТ 16483.3–84 «Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе», ГОСТ 16483.5–73 «Древесина. Метод определения предела прочности при скалывании вдоль волокон», ГОСТ 16433.10–73 «Древесина. Метод определения предела прочности при сжатии вдоль волокон».

Проверка огнестойкости древесины проводилась по нестандартной методике. Суть испытаний заключалась в создании условий, максимально приближенных к условиям пожара. Для этого пропитанные и не пропитанные огнезащитными составами образцы помещались в печь с заранее разведенным огнем. Как только образец оказывался в печи, секундомером засекалось время полного его сгорания (образец переставал гореть и превращался в уголь).

Каждый опыт дублировался по три раза. По результатам полученных экспериментальных данных была проведена их статистическая обработка, были определены такие показатели, как среднее арифметическое, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, показатель точности среднего значения и др. (Пижурич, Розенблит, 1984).

Результаты и их обсуждение

Для проведения экспериментальных исследований были взяты бруски размером 20×20×300 мм двух лиственных пород древесины: липы и осины, имеющие влажность 8 ± 2 % и шероховатость поверхности не более 16 мкм. Перед нанесением на поверхность брусков огнезащитных растворов и жидкого стекла осуществлялся визуальный осмотр их поверхности на наличие любых видимых загрязнений и следов грибковых поражений.

Поверхность образцов обрабатывалась четырьмя видами огнезащитных солевых составов: на основе органических солей UpGUARD F6 (UpGUARD F6, 2024) и UpGUARD F7 (UpGUARD F7, 2024) и на основе неорганических солей NEOMID (Огнебиозащита..., 2024), а также жидким стеклом (Жидкое стекло..., 2024; Применение..., 2024). Характеристики использованных в экспериментах огнезащитных составов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Table 2

Основные характеристики огнезащитных составов
Main characteristics of fire retardant compounds

Характеристики Characteristics	Вид огнезащитного состава Type of fire retardant			
	UpGUARD F6	UpGUARD F7	NEOMID	Жидкое стекло Liquid glass
Область применения Application domain	Огнезащитная обработка наружных поверхностей, изготовленных из древесины лиственных и хвойных пород древесины и материалов на их основе Fire-resistant treatment of exterior surfaces made of hardwood and coniferous wood and materials based on them			Многоцелевое применение Multi-purpose applications
Внешний вид Appearance	Жидкий концентрат светло-желтого цвета Light yellow liquid concentrate	Жидкий концентрат светло-красного цвета Light red liquid concentrate	Сухой концентрат в виде гранул белого цвета и красителя ярко-красного цвета Dry concentrate in the form of white granules and bright red dye	Густая прозрачная жидкость Thick transparent liquid
Огнезащитная эффективность по ГОСТ Р 53292–2009 Fire protection efficiency according to GOST 53292–2009	II группа Group II		I группа Group I	
Показатель безопасности Safety Score	Нетоксичен, пожаровзрывобезопасен Non-toxic, fire and explosion-proof			
Влияние на здоровье человека Impact on human health	Раздражающего действия Irritating effect			
Состав Composition	Раствор солей-антипиренов, смесевая композиция органических биоцидов Solution of flame retardant salts, a mixed composition of organic biocides		Смесь на основе неорганических соединений A mixture based on inorganic compounds	Водный щелочной раствор силикатов натрия и (или) калия An aqueous alkaline solution of sodium and (or) potassium silicates
Кол-во слоев нанесения Number of application layers	3	3	6	3
Время высыхания, ч Drying time, h	48	48	1	1,5
Расход, мл/м² Consumption, ml/m²	250	250	600	300

Приготовление рабочих растворов на основе вышеприведенных составов осуществлялось следующим образом. Жидкие концентраты препаратов UpGUARD F6, UpGUARD F7 смешивались с водой в пропорции 1:15, а перед нанесением на древесную подложку тщательно перемешивались. Приготовленный раствор наносился на поверхность в два слоя, причем между нанесениями выдерживалось время не менее 48 ч.

Для приготовления рабочего раствора на основе сухого препарата NEOMID его концентрат перемешивался с водой в соотношении 1:5. Приготовление раствора осуществлялось непосредственно перед нанесением на древесную подложку при постоянном перемешивании в течение не менее 3 мин. Раствор наносился на подложку до тех пор, пока он не начинал стекать с поверхности древесины. Количество нанесенных слоев – шесть.

Обработанные поверхности высыхали естественным путем в течение 24 ч.

Жидкое стекло на поверхность древесной подложки наносилось в два слоя, причем второй слой только после полного высыхания первого.



Рис. 1. Внешний вид древесины липы и осины, обработанной раствором на основе препарата UpGUARD F6

Fig. 1. The appearance of wood linden and aspen treated with a solution based on the drug UpGUARD F6

Нанесение рабочих растворов осуществлялась кистью в помещении с температурой воздуха $18 \pm 2^\circ\text{C}$ и влажностью $60 \pm 5\%$.

Полученные образцы древесины липы и осины, обработанные антипиренами, представлены на рис. 1–4.



Рис. 2. Внешний вид древесины липы и осины, обработанной раствором на основе препарата UpGUARD F7

Fig. 2. The appearance of wood linden and aspen treated with a solution based on the drug UpGUARD F7



Рис. 3. Внешний вид древесины липы и осины, обработанной раствором на основе препарата NEOMID

Fig. 3. The appearance of wood linden and aspen treated with a solution based on the drug NEOMID



Рис. 4. Внешний вид древесины липы и осины, обработанной жидким стеклом

Fig. 4. The appearance of wood linden and aspen treated with liquid glass

Далее проводились исследования по определению физико-механических и огнезащитных свойств древесины, обработанной и не обработанной антипиренами. Определение физико-механических свойств проводилось согласно стандартным методикам испытаний.

Для определения предела прочности при статическом изгибе выпиливались образцы размерами $20 \times 20 \times 300$ мм, которые испытывались на

испытательной машине Werkstoffprüfmaschinen Leipzig.

Для определения предела прочности при сжатии вдоль волокон выпиливались образцы размерами $20 \times 20 \times 30$ мм, а форма и размеры образцов для определения предела прочности при скалывании вдоль волокон представлены на рис. 5. Испытания также проводились на испытательной машине Werkstoffprüfmaschinen Leipzig (рис. 6, 7).

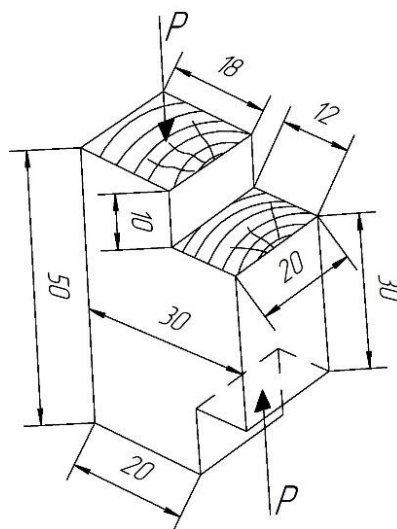


Рис 5. Форма и размеры образцов для определения предела прочности на скалывание вдоль волокон

Fig. 5. The shape and dimensions of the samples for determining the tensile strength along the fibers



Рис. 6. Проведение испытаний по определению предела прочности при сжатии вдоль волокон

Fig. 6. Conducting tests to determine the compressive strength along the fibers

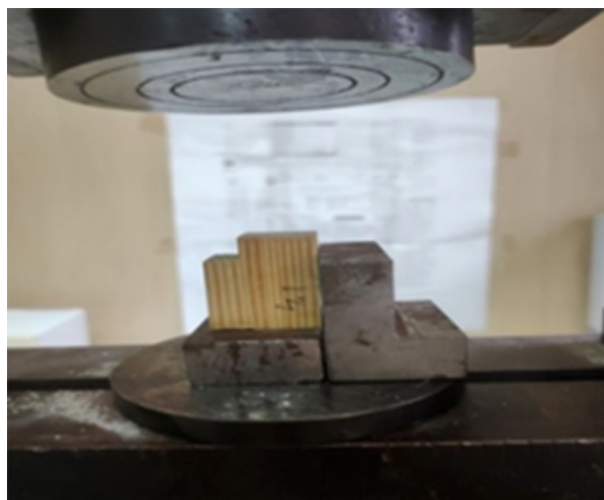


Рис. 7. Проведение испытаний по определению предела прочности при скалывании вдоль волокон

Fig. 7. Conducting tests to determine the ultimate strength when chipping along the fibers

Далее осуществлялась статистическая обработка полученных экспериментальных данных. Результаты исследований представлены на рис. 8–10.

Проверка огнестойкости древесины проводилась по нестандартной методике на образцах размерами 20×20×200 мм.

Используемые в исследованиях антипирены имеют разные принципы защиты от огня. Так,

при нанесении на древесную подложку рабочих растворов на основе препаратов UpGUARD F6 и UpGUARD F7 под воздействием повышенной температуры выделяются негорючие и нейтральные газы, которые создают барьер между древесиной и источником тепла, а также снижают концентрацию горючих газов, образующихся при термическом разложении древесины, что предотвращает ее возгорание. Кроме того, растворы действуют как

грунтовка, т.е. выравнивают поверхность древесной подложки и улучшают ее сцепление с лакокрасочными материалами (UpGUARD F6, 2024; UpGUARD F7, 2024). При нанесении раствора на основе препарата NEOMID (Огнебиозащита..., 2024) соли, входящие в состав антипирена, оседают на поверхности, образуют защитный слой и тем самым обеспечивают сопротивление пламени (Жидкое стекло..., 2024), а при использовании жидкого стекла на поверхности древесины образуется негорючая пленка, которая предотвращает

доступ кислорода и при контакте с огнем древесины не может загореться (Выставка домов..., 2024).

Результаты исследований по определению полного времени сгорания образцов древесины, обработанной и не обработанной антипиренами, после их статистической обработки представлены на рис. 11.

Также проведен сравнительный анализ стоимости обработки поверхности древесины липы (осины) рассмотренными огнезащитными составами, представленный далее.

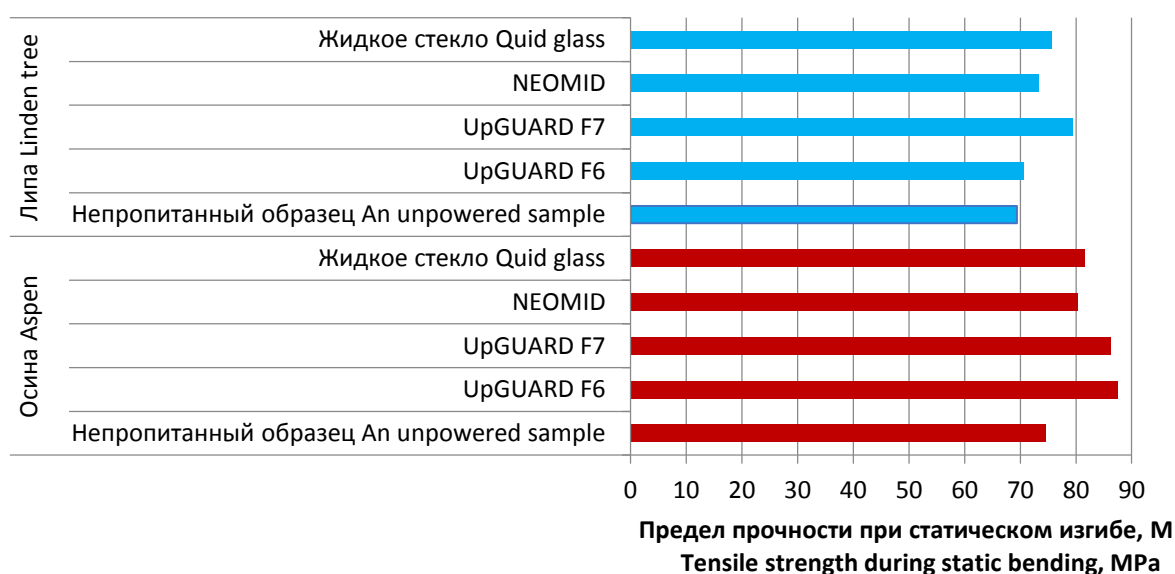


Рис. 8. Результаты исследования по определению предела прочности при статическом изгибе
Fig. 8. Results of a study to determine the tensile strength during static bending

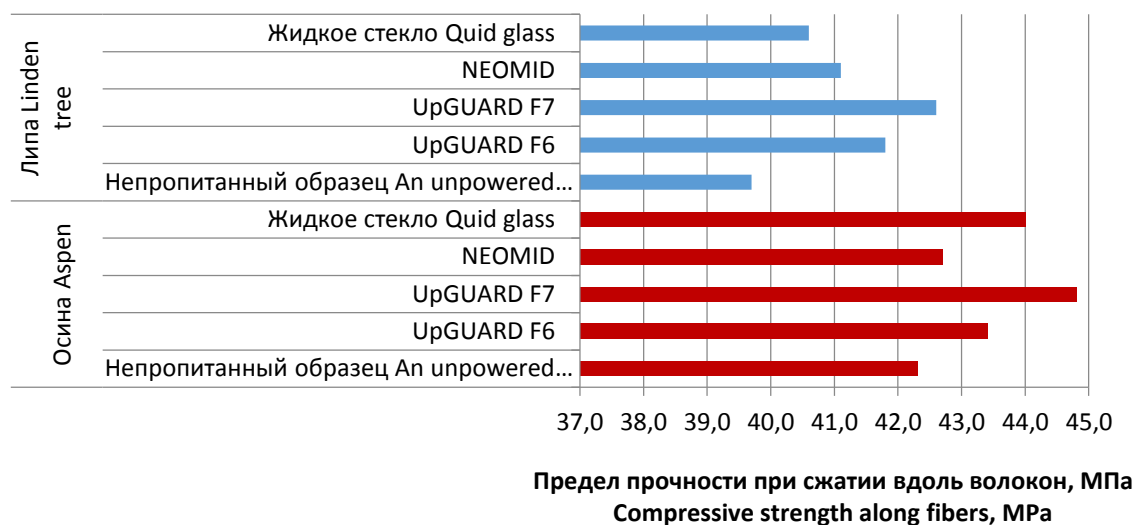


Рис. 9. Результаты исследования по определению предела прочности при сжатии вдоль волокон
Fig. 9. Results of the study to determine the compressive strength along the fibers

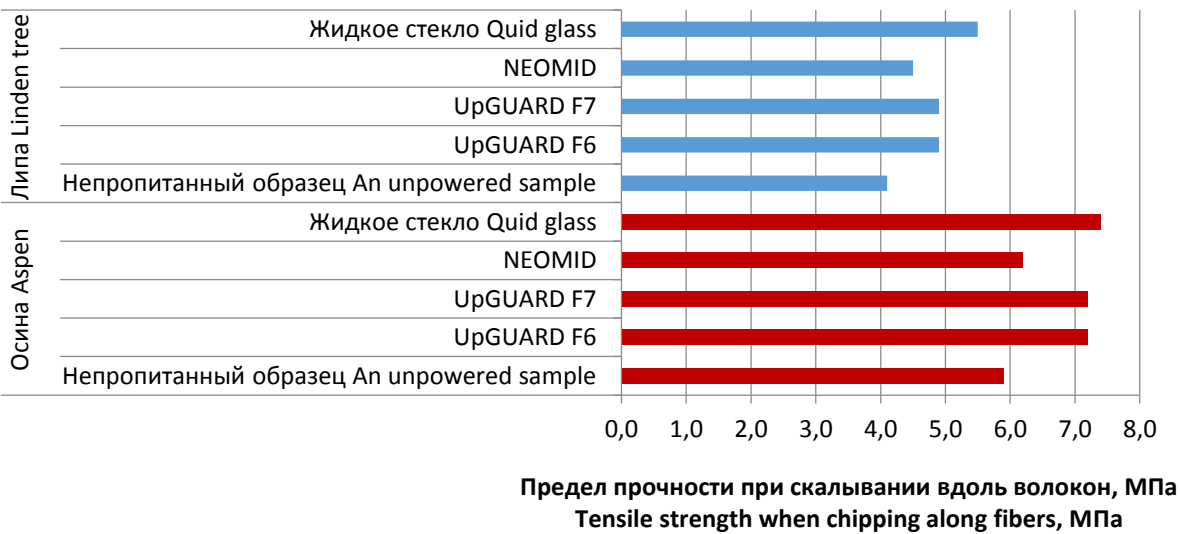


Рис. 10. Результаты исследования по определению предела прочности при скалывании вдоль волокон
Fig. 10. Results of a study to determine the shear strength along the fibers

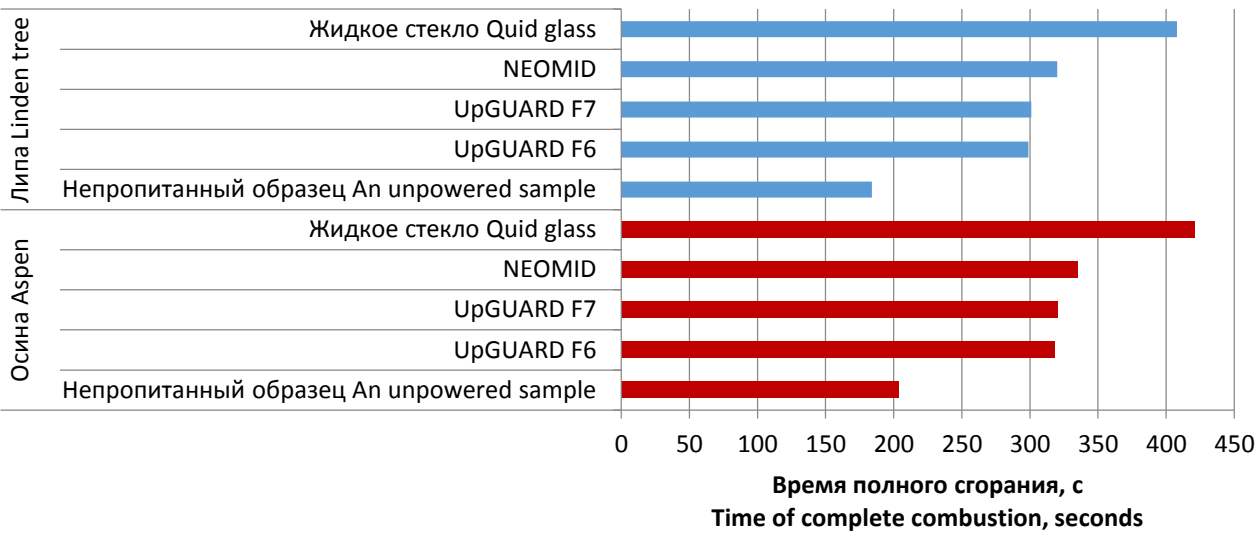


Рис. 11. Результаты исследования по определению времени полного сгорания
Fig. 11. The results of the study on determining the time of complete combustion

Стоимость обработки 1 м², руб.
The cost of treating 1 m², Rub.

UpGuard F6	22,4
UpGuard F7	23,6
NEOMID	45
Жидкое стекло / Liquid glass	17,1

Выводы

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Обработка древесины разными огнезащитными составами (антипиренами) позволяет увеличить показатели ее физико-механических свойств:
- предела прочности при статическом изгибе: осины – от 7,5 (NEOMID) до 17,1 % (UpGUARD F6), липы – от 1,9 (UpGUARD F6) до 14,4 % (UpGUARD F7);

– предела прочности при сжатии вдоль волокон: осины – от 1 (NEOMID) до 6 % (UpGUARD F7), липы – от 1 (NEOMID) до 7,3 % (UpGUARD F7);

– предела прочности при скалывании вдоль волокон: осины – от 4,4 (NEOMID) до 25,4 % (жидкое стекло), липы – от 9,8 (NEOMID) до 34 % (жидкое стекло).

2. Все образцы, обработанные антипиренами, показали увеличение времени полного сгорания

по сравнению с необработанными образцами. По результатам исследований наилучшие свойства достигаются при обработке поверхности древесины жидким стеклом, которое повышает огнезащитные свойства на 106 % (осина) и на 122 % (липа).

3. При обработке 1 м² поверхности древесины липы (осины) жидким стеклом стоимость обработки будет минимальной и составит 17 руб. 10 коп.

Список источников

- Антипирены – виды, свойства и назначения // ABC строй защита : [сайт]. URL: <https://stroy-zashita.ru/blog/antipiren/> (дата обращения: 25.10.2024).
- Жидкое стекло для обработки древесины, плюсы и минусы применения // Конструктор : [сайт]. URL: <https://tk-konstruktor.ru/articles/zhidkoe-steklo-dlya-obrabotki-drevesiny-plyusy-i-minusy-primeneniya/> (дата обращения: 19.12.2024).
- Выставка домов. Малоэтажная страна : Огнезащитная обработка деревянных конструкций – виды и составы пропиток, технология нанесения, требования; огнезащитная обработка деревянных конструкций: разновидности пропитки и их свойства, правила нанесения, требования. URL: <https://m-strana.ru/articles/> (дата обращения: 19.12.2024).
- Огнебиозащита NEOMID I группа, сухой концентрат 1:5 // NEOMID : [сайт]. URL: <https://neomid.ru/catalog/ognezashchitnye-sostavy/sukhoy-vodorastvorimyy-kontsentrat-dlya-ognebiozashchity-drevesiny/> (дата обращения: 19.12.2024).
- Отличия несолевых огнебиозащитных пропиток для древесины от солевых // Нанто – огнезащитные материалы : [сайт]. URL: <https://www.nanto01.ru/articles/otlichiya-nesolevyh-propitok-ot-solevyh.html> (дата обращения: 25.10.2024).
- Петрова Е. А., Корольченко А. Я. Современные средства огнезащиты древесины // Российский химический журнал. 2003. Т. XLVII, № 4. С. 49–54.
- Пижурич А. А., Розенблит М. С. Исследования процессов деревообработки. М. : Лесн. пром-сть, 1984. 232 с.
- Применение жидкого стекла для защиты дерева: как покрывать, пропитка // Краски.нет : [сайт]. URL: <https://kraski-net.ru/spetsialnye-materialy/obrabotka-drevesiny/obrabotka-dereva-zhidkim-steklom-plyusy-i-minusy> (дата обращения: 19.12.2024).
- Солевые пропитки – «устаревший» способ огнезащиты деревянных конструкций // Индустрия краски : [сайт]. URL: <https://www.ind74.ru/news?id=187/> (дата обращения: 25.10.2024).
- Стенина Е. И., Левинский Ю. Б. Защита древесины и деревянных конструкций. Екатеринбург : УГЛТУ, 2011. 223 с.
- Что представляют собой антипирены // ИзолМакс : [сайт]. URL: <https://izolmaks.ru/poleznaia-informatciia/chto-takoe-antipiren/> (дата обращения: 25.10.2024).
- UpGUARD F6 (концентрат). Серия F // UpGUARD. На страже вашего дома : каталог. URL: <https://up-guard.ru/product/upguard-f6/> (дата обращения: 19.12.2024).
- UpGUARD F7 (концентрат). Серия F – UpGUARD. На страже вашего дома : каталог. URL: <https://up-guard.ru/product/upguard-f7/> (дата обращения: 19.12.2024).

References

- Application of liquid glass to protect wood: how to cover, impregnation // Kraski.net : [website]. URL: <https://kraski-net.ru/spetsialnye-materialy/obrabotka-drevesiny/obrabotka-dereva-zhidkim-steklom-plyusy-i-minusy/> (accessed 19.12.2024).
- Differences between non-salt fire-protective impregnations for wood and salt impregnations // Nano – flame-retardant materials : [website]. URL: <https://www.nanto01.ru/articles/otlichiya-nesolevyh-propitok-ot-solevyh.html> / (accessed 10.25.2024).
- Exhibition of houses. Low-rise country : Fire-resistant treatment of wooden structures – types and compositions of impregnations, application technology, requirements; Fire-resistant treatment of wooden structures: types of impregnation and their properties, application rules, requirements. URL: <https://m-strana.ru/articles/> (accessed 19.12.2024).
- Fire Protection NEOMID I Group, dry concentrate 1:5 // NEOMID : [website]. URL: <https://neomid.ru/catalog/ognezashchitnye-sostavy/sukhoj-vodorastvorimyy-konsentrat-dlya-ognebiozashchity-drevesiny/> (accessed 19.12.2024).
- Flame retardants – types, properties and purposes // ABC Stroy Zashita : [website]. URL: <https://stroy-zashita.ru/blog/antipiren/> (accessed 25.10.2024).
- Liquid glass for wood processing, advantages and disadvantages of the application // Konstruktor : [website]. URL: <https://tk-konstruktor.ru/articles/zhidkoe-steklo-dlya-obrabotki-drevesiny-plyusy-i-minusy-primeneniya/> (accessed 19.12.2024).
- Petrova E. A., Korolchenko A. Ya. Modern means of fire protection of wood // Russian Chemical Journal. 2003. Vol. XLVII, № 4. P. 49–54. (In Russ).
- Pizhurin A. A. Rozenblit M. S. Studies of woodworking processes. Moscow : Forest Industry, 1984. 232 p.
- Salt impregnations are an “outdated” method of fire protection of wooden structures // Industriya kraski : [website]. URL: <https://www.ind74.ru/news?id=187> (accessed 25.10.2024).
- Stenina E. I., Levinsky Yu. B. Protection of wood and wooden structures. Yekaterinburg : UGLTU, 2011. 223 p.
- UpGuard F6 (concentrate). F Series // UpGuard : [website]. URL: <https://up-guard.ru/product/upguard-f6/> (accessed 19.12.2024).
- UpGuard F7 (concentrate). F Series // UpGuard : [website]. URL: <https://up-guard.ru/product/upguard-f7/> (accessed 19.12.2024).
- What are flame retardants? // izolmaks : [website]. URL: <https://izolmaks.ru/poleznaia-informaciia/chto-takoe-antipiren/> (accessed 25.10.2024). (In Russ).

Информация об авторах

А. И. Шамов – студент;
И. В. Яцун – доктор технических наук, доцент;
С. Б. Шишкина – кандидат технических наук.

Information about the authors

A. I. Shamov – student;
I.V. Yatsun – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;
S.B. Shishkina – Candidate of Technical Sciences.

Статья поступила в редакцию 06.03.2025; принята к публикации 25.03.2025.

The article was submitted 06.03.2025; accepted for publication 25.03.2025.
