

Разработка состава для придания огнезащитных свойств и повышения водостойкости материалов и конструкций из древесины

Н.С. Никулина

Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России, ул. Краснознаменная, 231, Воронеж, Россия

nad.nikulina2013@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2586-7738>

Статья поступила 18.08.2025, принята 29.10.2025

Древесина – это природный материал, который имеет свои особенности, и поэтому комплекс ценных положительных свойств граничит с присущими ей недостатками. Недостатками, ограничивающими возможность использования древесины в строительстве и домостроении, являются низкая огнестойкость и высокое влаго- и водопоглощение. Обработка древесных материалов с помощью антипиренов позволяет провести комплексную защиту и повысить спрос на саму древесину и на пропиточные составы. Подход в области организации огнезащиты древесных материалов имеет общую доступность, основанную на методе поверхностного нанесения защитного покрытия. Статья рассматривает влияние состава, полученного на основе побочных продуктов производства синтетического каучука, на огнезащитные свойства получаемого покрытия. Побочный продукт, полученный из отходов производства полибутиданена – 4-винилциклогексен – подвергали галогенированию. Введение галогенсодержащих групп осуществляется путём реакции присоединения брома по месту разрыва кратных связей. Общее содержание галогенного компонента в виде бромированного 4-винилциклогексена составило 60–70 %. Образцы, с нанесённым на их поверхность составом бромированного 4-винилциклогексена, испытывались на группу горючести и водопоглощение. Испытания показали, что использование бромированного 4-винилциклогексена для защитной обработки поверхности древесных материалов и конструкций позволяет повысить огнестойкость и снизить влаго- и водопоглощение, а также придать пропитанным изделиям декоративный вид и повысить срок службы. Показано, что эффект огнезащиты в случае использования состава при учёте потери массы образов снижается с 46 до 8,83 %. Водопоглощение снизилось в 2,5 раза по сравнению с необработанной древесиной. Предлагаемый способ получения из побочных продуктов нефтехимии пропиточного огнезащитного состава позволит утилизировать данный отход и улучшить экологическую обстановку.

Ключевые слова: древесина; древесные материалы; антипирен; огнезащита; пропитка; водопоглощение.

Development of a composition to impart fire-retardant properties and increase water resistance of materials and structures made of wood

N.S. Nikulina

Voronezh Institute for Advanced Training of Employees of EMERCOM of Russia; 231, Krasnoznamennaya St., Voronezh, Russia

nad.nikulina2013@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2586-7738>

Received 18.08.2025, accepted 29.10.2025

Wood is a natural material with its own unique characteristics, and therefore, its array of valuable positive properties is matched by its inherent disadvantages. Disadvantages that limit the use of wood in construction and housing include low fire resistance and high moisture and water absorption. Treating wood materials with flame retardants allows for comprehensive protection and increases demand for the wood itself and impregnating compounds. A generally accessible approach to fire protection for wood materials is based on surface application of a protective coating. This article examines the effect of a composition obtained from by-products of synthetic rubber production on the fire-retardant properties of the resulting coating. A by-product obtained from polybutadiene production waste, 4-vinylcyclohexene, is subjected to halogenation. The introduction of halogenated groups is achieved through the addition of bromine at the site of multiple bond cleavage. The total halogen content in the form of a bromine solution is 60–70 %. Samples coated with brominated 4-vinylcyclohexene are tested for flammability and water absorption. Tests show that using brominated 4-vinylcyclohexene for surface protection on wood materials and structures improves fire resistance and reduces moisture and water absorption, while also imparting a decorative appearance and extending the service life of the treated products. It is shown that the fire protection effect of this coating, taking into account the sample weight loss, decreases from 46% to 8,83 %. Water absorption decreases by 2.5 times compared to untreated wood. The proposed method for producing an impregnating fire-retardant compound from petrochemical byproducts will allow for the recycling of this waste and improve the environmental situation.

Keywords: wood; wood materials; fir-retardant; fire protection; impregnation; water absorption.

Введение. Природные богатства нашей планеты многообразны по своей сущности и направленности. Одними из них являются лесные насаждения, которые даруют нам уникальный по своей природе материал – древесину. С давних времен древесина активно использовалась в различных сферах промышленности [1, 2]. Это связано с тем, что древесина обладает уникальным комплексом положительных свойств: высокая прочность и упругость, лёгкость в обработке, красивая структура и экологичность. Однако ей как природному полимерному материалу присущи свои недостатки: растрескивание, высокое водо- и влагопоглощение, горение, поражение грызунами и др. Нейтрализация или снижение влияния факторов, которые будут способствовать появлению выше перечисленных недостатков, достигается использованием химической обработки древесины [3–6]. На Руси для этого использовали смолы, масла, соли, смеси с добавкой железного, а также медного купороса. Сейчас для этих целей используют различные типы пропиток, составов, лаков, красок и добавок [7]. Благодаря их использованию повышается огнестойкость древесины [8]. Время идёт, составы меняются и усовершенствуются, а их эффективное воздействие на материалы порождает рост спроса на продукцию из древесины.

В наши дни активное использование древесины наблюдается в таких странах, как Китай, Великобритания, Польша, Дания, Австралия, Италия, Нидерланды и др. [9–15]. В России также наблюдается наращивание мощности по производству древесных материалов. Это связано с возможностью использования экологически чистого материала в строительстве, домостроении, а также для внутренней отделки или для интересных дизайнерских и интерьерных решений. Данная тенденция неразрывно связана с разработками в области огнезащиты древесины.

Известно, что древесина восприимчива к горению и нагреву. При воздействии на древесину температуры в 100 °С начинается её разложение, которое сопровождается выделением летучих веществ, и это можно обнаружить по характерному запаху. Возрастание температуры до 150 °С приводит к выделению негорючих продуктов, таких как вода и углекислый газ, а древесина приобретает жёлтую окраску. Начиная с 200 °С происходит обугливание древесины, и она приобретает коричневую окраску. С этого момента начинают образовываться газы, такие как оксины углерода, водорода и пары органических веществ. Дальнейший рост температуры выше 250 °С послужит началом образования горючей смеси и повлечёт за собой процесс пламенного горения [16, 17].

Использование для защитной обработки древесины огнезащитных составов [18, 19] способно ингибировать процесс горения. Это связано с образованием негорючих малолетучих соединений, которые изменяют состав продуктов термического разложения. Применение антиприренов будет замедлять скорость реакции термического разложения и снижать эффективную энергию, направленную на активацию процесса горения.

В связи с этим разработки в данной области направлены на введение веществ, позволяющих препятствовать процессу горения, а также замедлять скорость

распространения пламени по поверхности древесного материала [20, 21].

Цель работы – оценка эффективности огнезащиты древесных материалов и конструкций химическим составом на основе бромированного 4-винилциклогексена.

Материалы и методы. В качестве объекта для определения группы огнезащитной эффективности была использована древесина сосны с влажностью около 12 % и плотностью от 490 до 510 кг/м³. Размеры образцов 30 × 60 × 150 мм. Для испытания было подготовлено 10 образцов. Методика подготовки образцов и проведения испытаний изложена в НПБ 251-98 «Огнезащитные средства и вещества для древесины и материалов на её основе. Общие требования. Методы испытаний».

Состав на основе бромированного 4-винилциклогексена (4-ВЦГ) получен по следующей методике. Сначала готовился раствор брома в хлороформе. Затем в реактор помещался 4-винилциклогексен, и при непрерывном перемешивании вводился подготовленный раствор брома в хлороформе в заданном количестве. После введения расчётного количества брома перемешивание продолжалось ещё в течение 1 часа для завершения реакции и повышения выхода бромированного продукта на основе 4-ВЦГ. Для удаления излишков растворителя и несвязанного брома проводилась отгонка. Процесс проводился в две стадии, сначала при температуре 90 °С (для удаления непрореагированного брома и хлороформа), а затем температура поднималась до 160 °С (удаляются остатки ВЦГ, а также брома и хлороформа). Процесс отгонки заканчивался после того, как отгоняемые вещества переставали поступать в приёмник. Полученный состав охлаждался до комнатной температуры и переливался в ёмкость для хранения. Бромированный таким образом отход производства нефтехимической промышленности выдерживали в течение суток.

В результате данной обработки были получены бромированные химические продукты с содержанием брома 62–63 %. Данные продукты должны хорошо проявить себя в качестве антиприреновых добавок. Выход целевого продукта составил 86–91 %.

Пропитка образцов древесины осуществлялась путём поверхностного нанесения кистью, бромированного 4-ВЦГ, в два слоя с интервалом не менее 3 ч. Такой способ обработки поверхности древесины не снижает прочности и не вызывает внутренних напряжений.

При проведении исследований были учтены основные параметры, определяющие устойчивость древесины к горению по ГОСТ Р 53292-2009 «Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на её основе. Общие требования. Методы испытаний».

Определение группы огнезащитной эффективности проводилось в специализированной установке «Керамическая труба» (рис. 1). В ходе эксперимента осуществлялось воздействие на образцы древесины пламени горелки в течение 2 минут при температуре 200±5 °С. Расход газа при проведении испытаний был постоянным. После прекращения пламенного воздействия образцы остывали и учитывалась потеря их массы. По результатам испытаний полученные данные округляются до 0,1 %.

В дальнейшем согласно требованиям ГОСТ Р, вычисляется среднее арифметическое значение потери массы десяти испытанных образцов. При этом должно выполняться условие

$$|P_{\text{ср}} - P_i| \leq 3 \text{ при } P_{\text{ср}} \leq 9,$$

где $P_{\text{ср}}$ – среднее арифметическое значение потери массы десяти испытанных образцов, %; P_i – значение потери массы одного из десяти испытанных образцов, %.



Рис. 1. Общий вид установки «Керамическая труба»

Для оценки качества полученного огнезащитного покрытия и способности к воспламенению в случае воздействия на древесные материалы внешних источников пламени, было использовано портативное устройство ПМП-1 (рис. 2). Данное устройство имеет сертификат и соответствует требованиям ГОСТ Р 53292-2009. Размеры образцов для испытания: толщина 1,5 мм, ширина 25 мм, длина 60 мм. В ходе эксперимента происходит воздействие на образцы древесины пламени горелки в течение 40 с. Оценку полученных результатов осуществляли путём обследования образцов на отсутствие ряда признаков, характеризующих качество огнезащитного покрытия.



Рис. 2. Общий вид прибора ПМП-1

Влияние антипирирующего состава на основе бромированного 4-ВЦГ на водопоглощение проводилось на образцах древесины сосны размером $20 \times 20 \times 30$ мм. Для этого в пропиточную ванну загружался приготовленный состав и в него погружались образцы древеси-

ны сосны и выдерживались в течение 30 минут. После чего пропитанные образцы извлекались из ванны и высыпывались до постоянной массы. Содержание в древесине пропиточного состава определялось гравиметрическим методом. Подготовленные таким образом образцы подвергались испытаниям по ГОСТ 16483.20-72* «Древесина. Метод определения водопоглощения».

Результаты и обсуждения. Исследована возможность получения на основе побочных продуктов нефтехимии огнезащитного состава для поверхностной обработки древесины. Анализ результатов показал, что под воздействием капиллярных сил глубина проникновения состава в поверхностный слой древесины составляет до 4 мм. Расход состава наносимого на поверхность образца определялся гравиметрическим методом по соотношению массы поглощенного вещества к объему пропитываемого образца и составил $0,104 \text{ кг}/\text{м}^2$. Молекулы пропиточного состава – бромированного 4-ВЦГ в силу малого размера молекул ($6 \cdot 10 \text{ нм}$) легко проникают в клеточную полость древесины, заполняя при этом трахеиды (составляющие около 95 % объёма древесины) и сердцевинные лучи. Также происходит оседание пропиточного состава на поверхности древесины, и как следствие этого, после высыхания формируется сплошное покрытие и закупориваются трахеиды.

Так как в бромированном продукте содержатся смеси ди- и тетрабром, производных на основе 4-ВЦГ, а в древесине содержатся кратные связи и кислородосодержащие функциональные группы, то можно предположить, что происходит удерживание антипирина в составе древесины за счёт сил межмолекулярного взаимодействия между бромированным 4-ВЦГ и компонентами древесного вещества. При высокотемпературном воздействии происходит ослабление связей между компонентами древесины и антипирином. Антипирен при этом будет мигрировать к поверхности древесины, усиливая тем самым огнезащитные свойства древесного материала. Данное воздействие антипирина позволяет ингибировать процесс горения, защитить от воздействия открытого огня и снизить скорость распространения пламени по поверхности древесины.

За результат испытания принимали среднее арифметическое значение результатов 10 проведённых экспериментов, округлённое до целого числа процентов (ГОСТ Р 53292-2009) (рис. 3).

Испытания показали, что среднее арифметическое значение потери массы образцов, округлённое до целого числа, составило 9 %.

Проверка соответствия условия на качество огнезащитной пропитки показала, что условие $|P_{\text{ср}} - P_i| \leq 3$ выполняется.

По результатам проведённых испытаний была определена группа огнезащитной эффективности испытываемого покрытия при данном способе его применения. Согласно полученным данным древесина, обработанная бромированным 4-ВЦГ, соответствует I группе огнезащитной эффективности – трудносгораемая (максимальная степень огнезащитной эффективности). Полученные образцы древесины по декоративным (текстура и цвет) свойствам напоминали такие ценные породы древесины, как дуб, каштан, греческий орех, полисандэр (рис. 4).



Рис. 3. График значений потери массы образцов в % после воздействия пламени



Рис. 4. Текстура пород древесины

Сравнительная оценка огнезащитной эффективности используемого антипирирующего состава и используемых в настоящее время аналогов представлена в табл. 1. В качестве основного критерия рассмотрена потеря массы образцов при огневом воздействии (в %).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при ограниченном огневом воздействии (120 секунд), уменьшение массы натуральной незащищённой древесины сосны составляет около 46 % от первоначального значения (более 25 %) и соответствует III группе огне-

защитной эффективности, следовательно, защиты от огневого воздействия нет.

Обработка поверхности изучаемых образцов древесины огнезащитными составами позволяет снизить массовые потери и придать устойчивость к воздействию пламени. Это связано с активным противодействием и ограничением непосредственного воздействия открытого пламени на поверхность древесины в течение небольшого промежутка времени.

Таблица 1. Сравнительная характеристика огнезащитных составов

Наименование состава	Вид состава	Возможная технология нанесения	Расход, кг/м ²	Потеря массы, %	Группа огнезащитной эффективности	Количество наносимых слоев
Негорин	лак	Кистью, валиком, распылением	0,45	8,76	I	2
			0,2	14,4	II	2
Пиролакс Classic	краска	То же	0,28	8,73	I	2
			0,18	12,2	II	2
МПВО	краска	То же	0,7	8,79	I	2–3
Щит-1	лак	То же	0,5	8,81	I	2
Асфор	состав	То же	0,35	8,78	I	2
			0,185	15,7	II	2
4-ВЦГ	состав	То же	0,112	8,57	I	2

Исходя из установленной классификации групп огнезащитной эффективности проведённый сравнительный анализ пропитывающих составов показал следующее: к I группе относятся средства огнезащиты с потерей массы до 9 %, такие как МПВО (ТУ 5775-007-17297211-2002), Щит-1 (ТУ 2311-001-23081751-94), Пиролакс Classic (ТУ 2499-027-24505934-05) при расходе состава 280 г/м², Негорин (ТУ 2499-036-24505934-2006)

при расходе состава 450–500 г/м², Асфор (ТУ 2499-001-77120364-2005) при расходе состава не менее 350 г/м². В случае снижения расхода огнезащитного состава, например, за счёт количества наносимых слоев, потеря массы образцов составляет от 9 до 25 % и при этом снижается группа огнезащитной эффективности. Показано, что эффект огнезащиты при испытаниях обработанной антипириеном древесины проявляет-

ся в снижении потери массы при горении от 46 % (в случае необработанной древесины) до 8,57 % (в случае обработки огнезащитными составами).

Результаты исследования огнезащитной эффективности состава с использованием прибора ПМП-1 показали, что при воздействии высоких температур у незащищенных образцов древесины сосны происходило интенсивное обугливание поверхности, после прекращения воздействия пламени наблюдалось самостоятельное горение и сквозное прогорание (рис. 5). В случае нанесения огнезащитного покрытия, состав оказывает защитное воздействие и препятствует быстрому распространению пламени внутрь древесины.

Обработка образцов древесины составами на основе бромированного 4-ВЦГ также оказывает положительное влияние на водопоглощение. Данное покрытие даёт возможность не только повысить водостойкость за счёт препятствования попадания воды и влаги через покрытие внутрь древесины, но и предотвратить образование трещин.

Отмечено, что водопоглощение обработанной антипирирующим составом древесины снизилось в 2,5 раза по сравнению с необработанной. Результаты испытания представлены на рис. 6. Данный эффект может быть связан с образованием химических связей между молекулами пропитывающего состава и гидроксильными группами древесины.

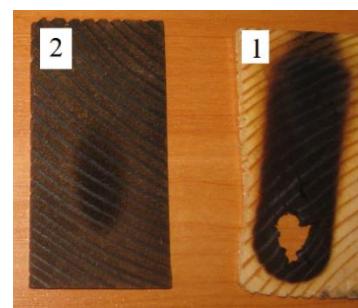


Рис. 5. Результаты испытания древесины на приборе ПМП-1: 1 – необработанная древесина; 2 – покрытая антипирирующим составом древесина

Полученные результаты позволяют не только сохранить исходные показатели древесных материалов, но и произвести комплексную защиту от воздействия огня, влаги и воды и тем самым значительно продлить срок их эксплуатации.

В зависимости от условий эксплуатации, обработанную составом древесину можно рекомендовать к использованию в качестве деревянных конструкций, работающих на открытом воздухе или под навесом. Примеры деревянных конструкций, обработанных составом на основе 4-винилциклогексен: элементы жесткой кровли, несущие балки, стропила, лаги, фермы, террасы, лавочки и скамейки, беседки и другие.

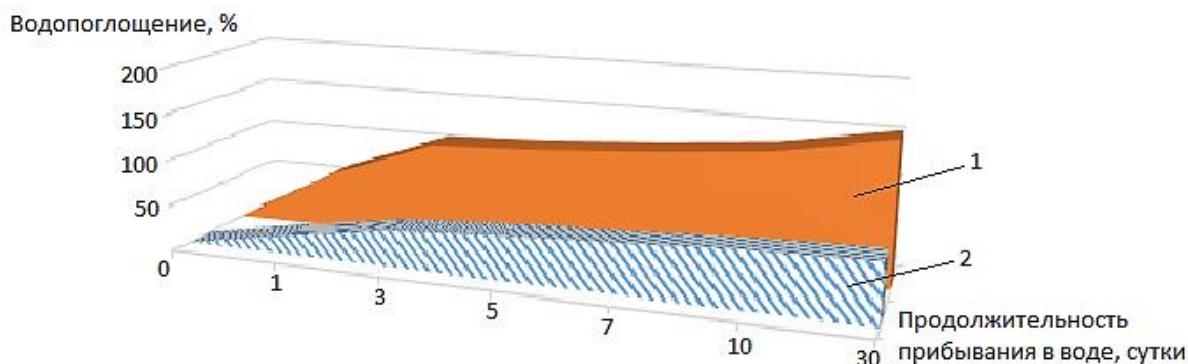


Рис. 6. Влияние состава на основе бромированного 4-ВЦГ на водопоглощение: 1 – необработанная древесина; 2 – покрытая антипирирующим составом древесина

Заключение. Полученный на основе побочного продукта нефтехимии антипирирующий состав позволяет придать древесным материалам стойкость к воздействию открытого огня, замедляет распространение пламени по поверхности и обеспечивает первую группу огнезащитной эффективности. Также было установлено, что данный состав оказывает положительное влияние на водостойкость древесины, а значит способ-

ствует стабилизации формы и размеров и увеличению срока службы деревесных конструкций.

Применение для достижения поставленной цели продуктов нефтехимии даёт возможность утилизации и переработки образующихся отходов в ценные составы с широкими возможностями их дальнейшего использования по новым направлениям.

Литература

- Бровкина И.С. Особенности инновационных процессов в строительной отрасли // Международный научный журнал «Наука и мир». 2014 г. № 8 (12). С. 97–99.
- Lindfield M., Steinberg F. Green Cities, Asian Development Bank: monograph. Philippines. 2012. pp. 373
- Дегтярева Е.П., Литвинов В.А. Влияние защитной обработки древесины на организм человека в условиях дере-
- вянного домостроения // Вестник науки. 2018. Т. 2. № 8. С.127–131.
- Медведев И.Н., Паринов Д.А., Шамаев В.А. Непрерывная пропитка древесины с торца под давлением Различными составами // Мат-лы Всеросс. науч.-практ. конф. «Современные машины, оборудование и ИТ-решения для промышленного комплекса: теория и практика», ФГБОУ ВПО

- «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», 2021 г. С. 251–255.
5. Шамаев В.А. Получение модифицированной древесины химико-механическим способом и исследование ее свойств // Лесотехнический журнал. 2015. Т. 5. №. 4 (20). С. 177–187.
 6. Фомина О.А. Способы модифицирования древесины лиственных пород: отечественный и зарубежный опыт [электронный ресурс]. Дневник науки. 2017. № 9. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=172735206&tld=ru&lang=ru&name=Fomina>.
 7. Арцыбашева О.В., Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Современные тенденции в области огнестойкости деревянных зданий и сооружений // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 8 (145). С.178–196.
 8. Трофимова О.Н. Химическая модификация древесины с целью снижения её горючести // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. № 1. С. 23–25.
 9. Bakirtzis D.S., Tsapara V.C., Kolovos K.G., Lioudakis S.E. Assessment of the impact of are retardants on the combustion of natural polymers employing DTG and LOI // Fire and Materials. 2015. vol. 39 (2), pp. 109 – 118.
 10. Deka M., Saikia C.N. Chemical Modification of Wood with Thermosetting Resin: Effect on Dimensional Stability and Strength Property // Bioresource Technology. 2000. Vol .73. no. 2, pp. 179 – 181. [Electronic resource]. URL: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00167-46](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00167-46).
 11. Gorbett G.E., Meacham B.J., Wood C.B., Dembsey N.A. Use of damage in are investigation: a review of are patterns analysis, research and future direction // Fire Science Reviews. 2015. vol. 4 (1). pp. 1–35.
 12. Laranjeira J. P.D.S., Cruz H., Pinto A. P.F., Pina dos Santos C., Pereira J.F. Reaction to Fire of Existing Timber Elements Protected With Fire Retardant Treatments: Experimental Assessment // International Journal of Architectural Heritage. 2015. vol. 9 (7). pp. 866–882.
 13. Sandberg D., Haller P., Navi P. Thermo-Hydro and Thermo-Hydro-Mechanical Wood Processing: An Opportunity for Future Environmentally Friendly Wood Products // Wood Material Science and Engineering. 2013. vol. 8. no. 1. pp. 64 – 88. [Electronic resource] URL: <https://doi.org/10.1080/17480272.2012.75193515>.
 14. Xu Q., Wang, Y., Chen, L., Gao, R., Li, X. Comparative experimental study of fire-resistance ratings of timber assemblies with different fire protection measures. 2016. vol.19(3). pp. 500–512. DOI:10.1177/1369433216630044
 15. Zhenhua G., Dong L. Chemical Modification of Poplar Wood with Foaming Polyurethane Resins // Journal of Applied Polymer Science. 2007. vol.104, no.5, pp. 2980 – 2985. [Electronic resource] URL: <https://doi.org/10.1002/app.25963>
 16. Амельчугов С.П., Шубкин Р.Г., Антонов А.В., Романов С.В., Никулин М.А. Горение древесины при пожаре: учебное пособие. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2022. 148 с.
 17. Крейшман К.К. Защита древесных конструкций от гниения, древоточения и огня: практическое пособие. Госстройиздат, 1967. 16с.
 18. Трушкин Д.В., Корольченко О.Н., Бельцова Т.Г. Горючесть древесины, обработанной огнезащитными составами // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17. № 1. С. 29–33.
 19. Нигматуллина Д.М., Сивенков А.Б., Полищук Е.Ю., Степнина Е.И., Балакин В.М. Физико-механические и пожароопасные свойства древесины с глубокой пропиткой. огнебиозащитными составами // Пожаровзрывобезопасность. 2017. Т. 26, № 6. С. 43–51.
 20. Гусев А.И., Пазникова С.Н., Кожевникова Н.С. Повышение огнестойкости строительных деревянных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. 2006. Т. 15. № 3. С. 31–35.
 21. Леонович А.А. Снижение пожарной опасности древесных материалов, изделий и строительных конструкций: монография. СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2002. 55 с.

References

1. Browkina I.S. Features of innovative processes in the construction industry // The international scientific journal "Science and Peace". 2014 No. 8 (12). pp. 97–99.
2. Lindfield M., Steinberg F. Green Cities, Asian Development Bank: monograph. Philippines. 2012. 373 p.
3. Degtyareva E.P., Litvinov V.A. The effect of protective wood processing on the human body in conditions of wooden house construction // Bulletin of Science. 2018. Vol. 2. No. 8. pp.127–131.
4. Medvedev I.N., Parinov D.A., Shamaev V.A. Continuous impregnation of wood from the end face under pressure with various compositions // Materials of the All-Russian Scientific and practical conference "Modern machines, equipment and IT solutions for the industrial complex: theory and practice", Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, 2021, pp. 251–255.
5. Shamaev V.A. Obtaining modified wood by chemical-mechanical method and investigation of its properties // Lesotechnical Journal. 2015. Vol. 5. No. 4 (20). pp. 177–187.
6. Fomina O.A. Methods of modifying hardwood: domestic and foreign experience [electronic resource]. The diary of Science. 2017. № 9. URL: <https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=172735206&tld=ru&lang=ru&name=Fomina>.
7. Artsybasheva O.V., Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Modern trends in the field of fire resistance of wooden buildings and structures // News of the Southern Federal University. Technical sciences. 2013. No. 8 (145). pp.178–196.
8. Trofimova O.N. Chemical modification of wood in order to reduce its combustibility // Fire and explosion safety. 2008. Vol. 17. No. 1. pp. 23–25.
9. Bakirtzis D.S., Tsapara V.C., Kolovos K.G., Lioudakis S.E. Assessment of the impact of are retardants on the combustion of natural polymers employing DTG and LOI // Fire and Materials. 2015. vol. 39 (2), pp. 109–118.
10. Deka M., Saikia C.N. Chemical Modification of Wood with Thermosetting Resin: Effect on Dimensional Stability and Strength Property // Bioresource Technology. 2000. Vol .73. no. 2, pp. 179 – 181. [Electronic resource]. URL: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00167-46](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00167-46).
11. Gorbett G.E., Meacham B.J., Wood C.B., Dembsey N.A. Use of damage in are investigation: a review of are patterns analysis, research and future direction // Fire Science Reviews. 2015. vol. 4 (1). pp. 1–35.
12. Laranjeira J. P.D.S., Cruz H., Pinto A. P.F., Pina dos Santos C., Pereira J.F. Reaction to Fire of Existing Timber Elements Protected With Fire Retardant Treatments: Experimental Assessment // International Journal of Architectural Heritage. 2015. vol. 9 (7). pp. 866–882.
13. Sandberg D., Haller P., Navi P. Thermo-Hydro and Thermo-Hydro-Mechanical Wood Processing: An Opportunity for Future Environmentally Friendly Wood Products // Wood Material Science and Engineering. 2013. vol. 8. no. 1. pp. 64 – 88. [Electronic resource] URL: <https://doi.org/10.1080/17480272.2012.75193515>.
14. Xu Q., Wang, Y., Chen, L., Gao, R., Li, X. Comparative experimental study of fire-resistance ratings of timber assemblies with different fire protection measures. 2016. vol.19(3). pp. 500–512. DOI:10.1177/1369433216630044
15. Zhenhua G., Dong L. Chemical Modification of Poplar Wood with Foaming Polyurethane Resins // Journal of Applied Polymer Science. 2007. vol.104, no.5, pp. 2980–2985. [Electronic resource] URL: <https://doi.org/10.1002/app.25963>

16. Amelchugov S.P., Shubkin R.G., Antonov A.V., Romanov S.V., Nikulin M. A. Gorenje vrezhe na pozhar: textbook. Tyumen: GAU of the Northern Trans-Urals, 2022. 148 p.
17. Kreishman, K.K. Protection of wood structures from rotting, woodcutting and fire: a practical guide. Gosstroyizdat, 1967. 16 p.
18. Trushkin D.V., Korolchenko O.N., Belitsova T.G. Combustibility of wood treated with flame retardants // Fire and explosion safety. 2008. Vol. 17. No. 1. pp. 29–33.
19. Nigmatullina D.M., Sivenkov A.B., Polishchuk E.Yu., Stenina E.I., Balakin V.M. Physico-mechanical and fire-hazardous properties of wood with deep impregnation. fire-protective compounds // Fire and explosion safety. 2017. Vol. 26, No. 6. pp. 43–51.
20. Gusev A.I., Paznikova S.N., Kozhevnikova N.S. Increasing the fire resistance of wooden building structures // Fire and explosion safety. 2006. Vol. 15. No. 3. pp. 31–35.
21. Leonovich A.A. Reduction of fire danger of wood materials, products and building structures: monograph. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University of Economics. 2002. 55 p.