

Эффективность огнезащитных составов при эксплуатации строительных материалов из древесины в естественных условиях среды

И.В. Андруняк^a, В.И. Терешков^b

Сибирский федеральный университет, просп. Свободный, 79, Красноярск, Россия

^a irina.andrunyak@mail.ru, ^b v_tereshkov@mail.ru

^a <https://orcid.org/0009-0007-6793-1001>

Статья поступила 18.08.2025, принята 29.10.2025

Тема огнезащиты строительных материалов из древесины является крайне актуальной, учитывая частоту пожаров и их разрушительные последствия. Усовершенствование огнезащитных характеристик древесины, используемой для наружной отделки зданий, способствует повышению пожарной безопасности, что имеет значительное значение для гражданской и промышленной архитектуры. В статье представлены результаты экспериментального исследования, посвящённого изучению долговечности огнезащитных покрытий на деревянных элементах, подверженных воздействию внешних климатических факторов. Цель исследования – анализ выбора огнезащитных строительных материалов и изучение сохранности огнезащиты деревянных элементов, подверженных внешним климатическим воздействиям. Работа включала в себя подготовку образцов и выполнение лабораторных испытаний, а также анализ полученных данных о сохранности огнезащитного слоя. Были проведены огневые испытания древесины из сосны по ГОСТ Р 53292-2009 с учётом предварительного нахождения двух партий образцов в разные внешние климатические условия. В первой партии участвовали одиннадцать образцов древесины из сосны, из которых девять были покрыты огнезащитными составами трёх разных фирм («Сенеж», "MasterGood" и "Neomid"), а два образца не были обработаны огнезащитными составами. Проведены детальные исследования, результаты которых подкреплены многочисленными иллюстрациями и таблицами, что придаёт работе научную достоверность и наглядность. Установлено, что в случае создания внешних условий с прямым попаданием осадков на поверхность строительных материалов, обработанных солевыми огнезащитными составами, возникнет необходимость в более частой огнезащитной обработке данных строительных материалов, что ещё больше увеличит суммарные затраты на данный вид обработки. Следовательно, обработка строительных материалов для наружной отделки зданий огнезащитным средством "Neomid" не рекомендуется. Наилучший результат демонстрирует огнезащитное средство фирмы "MasterGood". Данное исследование может быть рекомендовано при выборе огнезащитного средства и строительного материала для социально значимых объектов инфраструктуры.

Ключевые слова: пожарная безопасность; огнезащита; древесина; пропиточные составы; строительные материалы; огневые испытания; группа огнезащитной эффективности.

The effectiveness of flame retardants in the operation of wood building materials in natural environments

I.V. Andrunyak^a, V.I. Tereshkov^b

Siberian Federal University; 79, Svobodny Pros., Krasnoyarsk, Russia

^a irina.andrunyak@mail.ru, ^b v_tereshkov@mail.ru

^a <https://orcid.org/0009-0007-6793-1001>

Received 18.08.2025, accepted 29.10.2025

The topic of fire protection of building materials made of wood is extremely relevant, given the frequency of fires and their devastating consequences. Improving the fire-resistant characteristics of wood used for exterior decoration of buildings contributes to increased fire safety, which is of significant importance for civil and industrial architecture. The article presents the results of an experimental research devoted to the study of the durability of fire-resistant coatings on wooden elements exposed to external climatic factors. The purpose of the research is to analyze the choice of flame-retardant building materials and to study the safety of fire protection of wooden elements exposed to external climatic influences. The work includes preparing samples and performing laboratory tests, as well as analyzing the data obtained on the safety of the flame retardant layer. Fire tests of pine wood are carried out in accordance with ГОСТ Р 53292-2009, taking into account the preliminary finding of two batches of samples in different external climatic conditions. The first batch includes eleven samples of pine wood, of which nine are coated with flame retardants from three different companies (Senezh, MasterGood and Neomid), and two samples are not treated with flame retardants. Detailed studies have been conducted, the results of which are supported by numerous illustrations and tables, which gives the work scientific credibility and visibility. It has been established that if external conditions are created with direct precipitation on the surface of building materials treated with salt flame retardants, there will be a need for more frequent flame retardant treatment of these building materials, which will further increase the total costs of this type of treatment. Therefore, the treatment of building materials for the exterior decoration of buildings with the flame retardant Neomid is not endorsed. The best result is demonstrated by the MasterGood flame retardant. This research can be recommended when choosing a flame retardant and building material for socially significant infrastructure facilities.

Keywords: fire safety, fire protection, wood, impregnating compounds, building materials, fire tests, fire protection efficiency group.

Введение. Древесина – это прекрасный природный возобновляемый композитный материал, который применяется в различных отраслях: строительство, промышленность, народное хозяйство. Она всегда находила свою аудиторию пользователей и привлекала внимание как качественный, долговечный строительный материал – лёгкость обработки и доступность.

В мире, сталкивающемся с экологическими проблемами, существует острая потребность в динамичных ограждающих конструкциях зданий, которые идеально реагируют на климатические изменения, обеспечивая тем самым наилучший комфорт и качество окружающей среды внутри помещений при сохранении высокой эффективности [1, 2].

Если оценивать древесину как строительный материал, с учётом комплекса механических, технологических, эстетических и экологических характеристик, у него, явно, нет конкурентов. С точки зрения жилищного строительства, натуральное дерево – это низкая теплопроводность, способность поддерживать оптимальный уровень влажности, возможность быстро накапливать и сохранять комфортный климат внутри помещений, независимо от температуры окружающей среды, эстетичность [3].

Не менее известен факт, что древесина является экологически чистым материалом, то есть это безвредный для человека строительный материал. Понятие экологической чистоты древесины намного шире, чем можно себе представить, ведь древесину получают как материал в готовом виде, не используя большого объёма энергии для её производства. Исключается также и загрязнение, свойственное производственным объектам, окружающей среды промышленными выбросами. Древесные опилки и другие древесные отходы естественно входят в круговорот природы, не загрязняя окружающую среду. Более того, такой отход, как древесная щепа, применяется в сельском хозяйстве в качестве удобрений [4–6].

В результате мы имеем материал, который, по своей сути, практически исключает возможное вредное воздействие на экологическую обстановку в целом. Однако не стоит забывать о биологическом равновесии в природе и вести качественный учёт вырубки и посадки новых деревьев.

Общемировые тенденции развития строительной индустрии [7], в том числе и Российский рынок, определяют повышенный спрос на применение древесины в конструктивных элементах зданий различной этажности и функционального назначения [8]. Данные последних лет указывают на рост численности населения в мире, что говорит о необходимости строительства новых зданий жилого назначения.

Многие архитектурные бюро берутся воплощать самые необычные и оригинальные идеи. Архитекторы все чаще работают с клееной древесиной и новыми формами. В жизнь входят новые технологии – NLT- и CLT-панели [9]. Дизайнеры, выражают мировое настроение, появляется «экодизайн» и использование «чистых» материалов, или использование старых конструкций для новых целей. Несмотря на такую привлекательность и доступность, конструкции и элементы из древесины имеют ряд недостатков. Один из них – под-

верженность гниению, воздействию грибков и, как следствие, малые сроки службы. Один из главных недостатков – это высокая пожарная опасность, способность самостоятельно поддерживать процесс горения. Это, в конечном итоге, определяет быстрое развитие пожара с образованием опасных факторов пожара, которые ведут к трагичным результатам. В связи с этим, наиболее актуальными остаются вопросы, связанные с обеспечением пожарной безопасности действующих и вновь возводимых объектов.

В настоящее время для минимизации пожарной опасности в зданиях с деревянными элементами используются различные стратегии, такие как [10–12]:

- снижение горючести и воспламеняемости строительных материалов: выбор материалов с низкой горючестью и высокой устойчивостью к возгоранию;

- контроль распространения пламени: применение конструктивных решений, замедляющих распространение огня по поверхности конструкций, например, создание противопожарных отсеков и использование огнестойких барьеров;

- огнезащита деревянных элементов: обработка древесины огнезащитными составами для снижения её горючести и повышения огнестойкости. Включает в себя поверхностную пропитку, глубокую пропитку и нанесение огнезащитных покрытий.

Эти меры направлены на предотвращение возникновения и распространения пожаров, защиту людей и имущества, а также обеспечение безопасной эвакуации из зданий.

Важнейшим этапом осуществления комплекса мер по предотвращению пожаров в зданиях и сооружениях является огнезащита деревянных конструкций [11, 13–15]. На данный момент огнезащитная обработка деревянных элементов и конструкций уже не новшество, а требование нормативных документов. Большинство основополагающих моментов прописано в регламенте [16], огнезащитная эффективность должна соответствовать ГОСТ Р 53292-2009 [17]. Строительные материалы, используемые непосредственно в процессе капитального строительства, должны соответствовать требованиям нормативно-правовых актов.

На данный момент существует множество вариантов огнезащитных решений (пасты, пропитки, изоляционные материалы), но в целом огнезащите можно разделить на подгруппы по способу применения, представленные на рис. 1. Способы огнезащиты чаще применяются для определённых видов конструкций или элементов зданий [18].



Рис. 1. Способы огнезащиты деревянных конструкций и элементов

Целью исследования является анализ выбора огнезащитных строительных материалов и изучение сохранности огнезащиты деревянных элементов, подверженных внешним климатическим воздействиям.

Задачи исследования – провести сезонные испытания на отобранных образцах древесины с целью оптимизации выбора наиболее перспективных методов повышения огнезащитных характеристик строительных материалов.

Объект и методы исследования. Объектом исследования являются огнезащитные составы для строительных материалов из древесины. Предмет исследования представляет собой влияние вида огнезащитных покрытий строительных конструкций из древесины на эффективность пожаростойкости. Методы исследования основаны на натурном эксперименте, анализе теоретических и экспериментальных работ в области исследования пожароопасных свойств древесины и длительного срока их эксплуатации. В качестве материалов для проведения лабораторных испытаний, были отобраны деревянные доски из хвойных пород древесины – сосна, влажность $\approx 40\%$. Согласно ГОСТ Р 53292-2009 [17] чётко определяет необходимые размеры образцов для проведения лабораторных огневых испытаний – 30×60 мм и длиной вдоль волокон 150 мм.

Для определения испытываемого пропиточного огнезащитного состава (ОС) изучены пропиточные составы, доступные для приобретения на территории г. Красноярска, обеспечивающие 1 группу огнезащитной эффективности в соответствии с сертификатами, выданными на данную продукцию.

Для проведения натурных испытаний в лаборатории, исходя из стоимостных характеристик, а также расхода пропиточного состава на метр квадратный, и химического состава (щелочной, кислотный) пропиток, выбраны три огнезащитных состава, представленных на рис. 2. Первый огнезащитный состав (ОС № 1) от фирмы «Сенеж», второй (ОС № 2) – от "MasterGood", третий (ОС № 3) – от "Neomid" в виде сухого концентратата, который необходимо разводить водой [19].



Рис. 2. Использующиеся огнезащитные пропитки

Для проведения столярных работ, а также оптимального нанесения и впитывания образцами огнезащитного состава, деревянные образцы были подвергнуты естественной сушке для усушки материала до влажности – 20 % [20]. По окончанию сушки пилома-

териалов, проведены столярные работы – обрезка и шлифовка образцов, до размеров, обозначенных ГОСТ Р 53292-2009 [19].

Затем образцы древесины из сосны, подготовленные по вышеуказанному ГОСТу, обработаны выбранными огнезащитными составами в 9 слоев. Контроль расхода для каждого образца, производился мерными шприцами объемом 5 мл. Каждый вид ОС наносился на три деревянных бруска. Нанесение проводилось в два этапа – первый осенью 2022 года, второй – весной 2023 года, с целью дальнейшего помещения образцов древесины в условия реальной эксплуатации в зимний период 2022–2023 гг. и летне-осенний период 2023 года.

Перед нанесением составов бруски были пронумерованы. В целях защиты использовались средства индивидуальной защиты: перчатки, маска и халат. При производстве работ соблюдались меры безопасности, прописанные в инструкциях для каждого огнезащитного состава. Нанесение проводилось малярной кистью, причём на каждый состав для чистоты эксперимента кисть была индивидуальная. Обработка составами проводилась при комнатной температуре, в закрытом помещении, однако с целью соблюдения мер безопасности, прописанных в инструкциях к каждому огнезащитному составу, помещение проветривалось, а также использовался вытяжной шкаф.

Первым, и осенью 2022 года, и весной 2023 года, наносился ОС № 1 от фирмы «Сенеж». В первую очередь было отмерено 43 мл раствора с помощью мерной колбы с учётом потерь на нанесение в количестве 10 %. Деревянные бруски пронумерованы с одного до трёх (№ 1–3) в первую часть опыта и с двенадцати до четырнадцати (№ 12–14) во вторую часть опыта, на рис. 3 зафиксирована информация, что именно на эти бруски наносится данный состав. Процесс нанесения огнезащитного состава на образцы № 12–14 аналогичен процессу нанесения огнезащитного состава на образцы № 1–3.



Рис. 3. Зафиксированы номера брусков и используемый огнезащитный состав

Отмечены следующие свойства огнезащитной пропитки: окрас дерева в жёлтый цвет. Согласно инструкции по применению промежуточная сушка составляет 20–40 минут, на практике промежуточная сушка составила 30 минут, момент промежуточной сушки представлен на рис. 4. Однако каждый слой впитывался достаточно долго, не менее 6–8 минут. На каждый бруск нанесено по 9 слоёв до окончательного расхода всего отмеренного состава.

Следующее используемое ОС № 2 от "MasterGood". Процесс подготовки к нанесению аналогичен процессу подготовки к нанесению огнезащитного состава фирмы

«Сенеж» и представлен на рис. 5. Согласно инструкции по эксплуатации данный состав не требует промежуточной сушки и значительно быстрее впитывается (один слой за 3–5 минут).



Рис. 4. Промежуточная сушка брусков № 1–3 с огнезащитным составом от фирмы «Сенеж»



Рис. 5. Отмеренное количество раствора и подписанные бруски под номерами 4, 5, 6, 15, 16, 17

Отмечены следующие свойства огнезащитного состава: окрас дерева в красный цвет (рис. 6), консистенция немного жиже, чем у огнезащитного состава от фирмы «Сенеж».



Рис. 6. Деревянные бруски № 4–6 с нанесённым огнезащитным составом от "MasterGood"

Процесс подготовки к третьему этапу нанесения составов отличается от двух первых, поскольку изначально огнезащитный состав представляет собой сухой концентрат "Neomid", который необходимо приготовить; выглядит как порошок из белых кристаллов. Раствор был приготовлен согласно инструкции к применению ОС. Отмеренное количество порошка (10 г) растворено в воде в пропорциях 1:5 (на 10 г порошка – 50 мл воды).

Образцы пронумерованы с семи до девяти (№ 7–9) в первую часть опыта – осенью 2022 года, и с восемнадцати до двадцати (№ 18–20) во вторую часть опыта –

весной 2023 года. На рис. 7 зафиксировано количество используемого состава. В отличие от двух других составов данный огнезащитный состав практически прозрачный, что сказывается и при нанесении – дерево выглядит мокрым, не окрашиваясь в другой цвет, как видно на рис. 8. Деревянные бруски № 10 и № 11 без пропитки (эталон) для сравнения с исходным деревом из доски того же материала представлены на рис. 8.



Рис. 7. Номера брусков и количество огнезащитной пропитки



Рис. 8. Общий вид деревянных образцов, обработанных огнезащитными составами (№ 1–9) и неподвергавшихся обработке огнезащитными составами (№ 10, 11)

В течение суток после нанесения огнезащитных составов на поверхности образцов древесина подвергалась сушке, по истечении которой образцы помещены за окно в естественные погодные условия. Однако бруски № 1–11 убраны на открытый балкон, с учётом попадания снега и дождя на поверхность испытуемых образцов (срок хранения образцов – с 1 декабря 2022 года по 28 февраля 2023 года), тогда как бруски № 12–20 убраны на закрытый балкон с учётом ограничения прямого попадания осадков на поверхность испытуемых образцов (срок хранения образцов – с 31 мая 2023 года по 21 января 2024 года).

На рис. 9–10 представлены минимальные и максимальные температуры соответственно зимнего и летнего периода выдержки в естественных условиях.

По окончанию проведённых в течение 2022–2023 гг. работ получены образцы (20 шт.) размерами 30 × 60 мм, и длиной вдоль волокон 150 мм (± 1 мм), обработанные огнезащитными составами – ОС № 1 (от фирмы «Сенеж»), ОС № 2 (от фирмы "MasterGood"), ОС № 3 (от фирмы "Neomid"). Полученные образцы после выдержки в естественных условиях были упакованы и отправлены в лабораторию для проведения огневых испытаний.

Сравнения характеристик, определяемых в лабораторных условиях для ОС № 1, ОС № 2, а также ОС № 3, проводились по Методу 6.1.2 ГОСТ Р 53292-2009 [19].

Для более детального изучения свойств отобранных огнезащитных составов проведён опыт по определению водородного показателя (рН) огнезащитных составов. Прежде чем наносить огнезащитную пропитку, важно определить уровень pH предыдущего покрытия,

если таковое имеется, на обрабатываемой древесине. Несовместимость кислотных и щелочных составов может привести к химической реакции нейтрализации, которая снижает эффективность огнезащиты.

Для определения pH огнезащитных составов использовался универсальный индикатор – лакмусовая бумага.

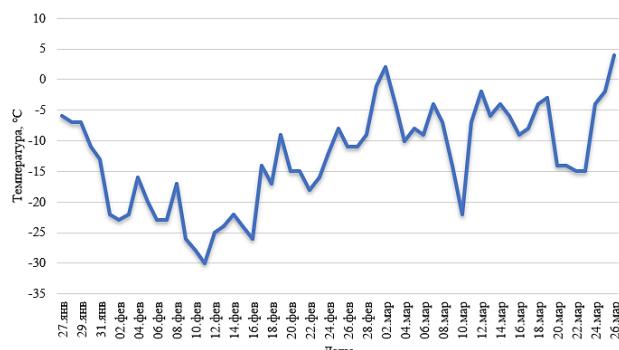
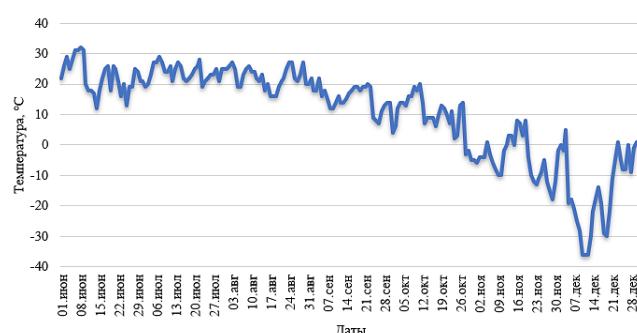


Рис. 9. Минимальные температуры, воздействию которых подвергались образцы в зимний период времени



Результаты и их обсуждение. Лабораторные испытания проводились в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы «Испытательная пожарная лаборатория» по Красноярскому краю» (ФГБУ СЭУ ФПС ИПЛ по Красноярскому краю).

По результатам подготовительных работ, получены 20 образцов древесины, размерами 30×60 мм, длиной вдоль волокон 150 мм (± 1 мм). Для проведения огневых испытаний в зимний период времени, 11 образцов разделены на 4 группы:

- 3 образца, обработанные ОС № 1 («Сенеж»);
- 3 образца, обработанные ОС № 2 ("MasterGood");
- 3 образца, обработанные ОС № 3 ("Neomid");
- 2 образца, необработанных ОС.

Для проведения огневых испытаний в летний период времени, 9 образцов разделены на 3 группы:

- 3 образца, обработанные ОС № 1 («Сенеж»);
- 3 образца, обработанные ОС № 2 ("MasterGood");
- 3 образца, обработанные ОС № 3 ("Neomid").

Методика проведения огневых испытаний для определения группы огнезащитной эффективности описана в ГОСТ Р 53292-2009 [19]. Согласно пункту 6.1.2 ГОСТ Р 53292-2009 все 18 обработанных образцов подвергаются огневому воздействию на установке по одному образцу. Цель экспериментальной методики оценки огнезащитных характеристик составов для древесины состоит в количественном определении массовых потерь образцов, обработанных огнезащитными составами, под воздействием огня в условиях, способствующих накоплению тепловой энергии.

Для определения огнезащитной эффективности применялись следующие средства измерения, испытательное оборудование и материалы:

- «термостенд-ОТМ и КТ»;
- весы лабораторные ЕК-400Н (класс точности III);
- секундомер (класс точности 2);
- газ бытовой;
- вытяжной шкаф с принудительной вентиляцией.

«Термостенд-ОТМ и КТ» (рис. 13) предназначен для определения огнезащитной эффективности огнезащитных составов по [17].

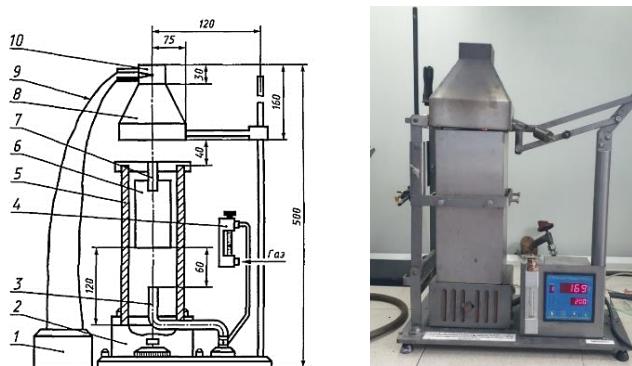


Рис. 13. Установка «Термостенд-ОТМ и КТ»

Для каждого огнезащитного состава проводилось одно испытание (по 3 испытания для трёх ОС на каж-

дый сезон). Каждый образец взвешивали до проведения огневого воздействия и после.

Процесс проведения лабораторного испытания условно можно разделить на четыре этапа. Первый этап (подготовительный) – керамический короб переводится в горизонтальное положение, зажигается газовая горелка (газ – пропан), высоту пламени регулируют в диапазоне от 15 до 25 см.

Во время второго этапа после закрытия керамического короба регулируют и фиксируют расход газа так, чтобы температура отходящих газов в течение пяти минут была равна 200 °C.

Третий этап (основной) – начинается, когда температура установится, тогда образец крепится в держатель и опускается внутрь установки. Образец подвергается огневому воздействию в течение двух минут [21]. Время нахождения образца внутри установки фиксируется секундомером. По истечению двух минут горелка отключается.

Во время четвертого этапа образец остывает внутри установки с целью выхода всех дымовых газов из образца, а после этого производится повторное взвешивание с округлением данных с точностью до десятых.

При проведении каждой серии лабораторных испытаний определялись температура дымовых газов, максимальная высота всучивающегося слоя, масса образца до и после испытания.

В зимний период обработанные образцы древесины подвергались перепадам температур (от -30 °C до $+6$ °C). До проведения эксперимента на определение огнезащитной эффективности ОС было замечено, что образцы, обработанные ОС № 1 и ОС № 2, заметно выцвели. На поверхности образцов, обработанных ОС № 3, наблюдалась кристаллизация солей.

На рис. 14, а представлены образцы древесины до проведения огневых испытаний в зимний и летний (рис. 14, б) периоды времени после нахождения в естественных условиях, пропитанные огнезащитными составами от фирм «Сенеж», "MasterGood" и "Neomid", соответственно.

Установку подготовили к проведению лабораторных испытаний: включили газовую горелку, установили расход газа, отрегулировали температуру и, когда температура дымовых газов стала равной 200 °C, включили секундомер с целью контроля необходимых пяти минут времени. По истечении пяти минут расход газа, согласно ротаметру, составлял 2400 л/ч.

Зимний период года. Образцы, обработанные огнезащитным составом от фирмы «Сенеж» (зимний период года), после проведения испытания покрыты всучивающимся слоем (образцы № 1–3) (рис. 15, а). То же касается и образцов, обработанных огнезащитным составом от фирмы "MasterGood". Однако образцы, обработанные огнезащитным составом от фирмы "MasterGood", быстрее разгораются под воздействием пламени, максимальная температура достигает 360 °C, снижение температуры дымовых газов начинает происходить на 1 минуте 45 секундах. При этом температура, до которой происходит снижение, и время, когда оно происходит, для всех образцов отличается.



Образцы древесины № 1–3,
обработанные ОС № 1



Образцы древесины № 4–6,
обработанные ОС № 2
а)



Образцы древесины № 7–9,
обработанные ОС № 3



Образцы древесины № 12–14,
обработанные ОС № 1



Образцы древесины № 15–17,
обработанные ОС № 2
б)



Образцы древесины № 18–20,
обработанные ОС № 3

Рис. 14. Образцы древесины в зимний (а) и летний (б) периоды времени до проведения огневых испытаний



Образцы древесины № 1–3,
обработанные ОС № 1



Образцы древесины № 4–6,
обработанные ОС № 2
а)



Образцы древесины № 7–9,
обработанные ОС № 3



Образцы древесины № 12–14,
обработанные ОС № 1



Образцы древесины № 15–17,
обработанные ОС № 2
б)



Образцы древесины № 18–20,
обработанные ОС № 3

Рис. 15. Образцы древесины в зимний (а) и летний (б) периоды времени после проведения огневых испытаний

Образец № 4: максимальная температура 360 °C, после выключения пламени горелки образец продолжал гореть в течение 30 секунд.

Образец № 5: быстро разгорался, под конец эксперимента температура достигала 313 °C, после выключения горелки образец не горел, но продолжал тлеть.

Образец № 6: температура под конец испытания достигала 242 °C, после выключения горелки образец не горел, но продолжал тлеть. По результатам лабораторных испытаний огнезащитный состав от фирмы "Neomid" в целом имеет характеристики хуже.

Образец № 7: максимальная температура 350 °C, однако на 1 минуте 35 секундах температура начинает падать, на конец эксперимента температура достигает 270 °C. После выключения горелки образец продолжает гореть. Данный огнезащитный состав не всучивается.

Образец № 8: максимальная температура достигается на уровне 270 °C, на 1 минуте 35 секунд происходит снижение температуры уходящих газов. В конце испытания температура уходящих газов 245 °C.

Образец № 9: максимальная температура 480 °C на 50 секундах горения, снижение температуры дымовых газов происходит на 1 минуте 40 секунд. Горение более активное [19].

Образцы № 10 и № 11 (рис. 16) не были покрыты огнезащитными составами, чтобы проверить реальное значение потери массы на используемой древесине и сделать выводы о наличии или отсутствии огнезащиты после нахождения образцов в естественных условиях эксплуатации. Они также находились в естественных условиях эксплуатации с целью дальнейшего сравнения результатов потери массы данных образцов с теми образцами, которые были пропитаны огнезащитными составами.



Рис. 16. Образцы древесины № 10–11, необработанные ОС (слева – до огневого испытания, справа – после)

Для образца № 10 максимальная температура превышала 500 °C, однако, как и в других случаях, происходило снижение температуры дымовых газов на 1 минуте 40 секундах. Это говорит о том, что снижение температуры дымовых газов не влияет пропитка огнезащитными составами, а влияет уровень выгоревшего поверхностного слоя древесины. Горение происходит активно, на конец испытания температура достигает 280 °C.

Образец № 11 также подвержен активному горению, однако максимальная температура находится на уровне 400–450 °C и достигается на 30 секундах, в конце испытания происходит также снижение температуры дымовых газов пламени, температура падает до 330 °C. После вынимания из установки продолжается тление.

Потерю массы испытанного образца P_i , %, вычисляют по формуле (1) [22]:

$$P_i = \frac{m_{1i} - m_{2i}}{m_{1i}} \cdot 100, \quad (1)$$

где m_{1i} – масса образца до испытания, г; m_{2i} – масса образца после испытания, г; i – номер образца.

Полученный результат вычисления округляют до 0,1 %. После испытания определяют среднее арифметическое значение потери массы испытанных образцов. Результаты расчёта потери массы по формуле (1) и размер всучивающегося слоя приведены для образцов зимнего и летнего периодов в табл. 2.

Проведённое испытание показало, что огнезащитная эффективность каждого ОС снизилась с I до II группы в результате вымывания состава из древесины при попадании на поверхность осадков. Наилучший результат продемонстрировал ОС от фирмы «Сенеж» (потеря массы – 10,5 %), наибольшая потеря массы после опыта наблюдалась у образцов, пропитанных ОС от фирмы "Neomid" (13,1 %). Средний результат у ОС от "MasterGood": потеря массы составила 11,2 %. Кроме того, по результатам расчёта видно, что огнезащита древесины, подверженной внешним условиям окружающей среды в зимний период времени, обеспечивается, несмотря на снижение огнезащитной эффективности огнезащитных составов в результате вымывания составов при попадании осадков.

Летний период года. В летний период обработанные образцы древесины подвергались перепадам температур (от –20,8 °C до +25,8 °C). До проведения эксперимента на определение огнезащитной эффективности огнезащитных составов было отмечено, что образцы, обработанные ОС № 1 и ОС № 2, заметно выцвели.

На рис. 14, б представлены образцы древесины, обработанные огнезащитными составами от фирм «Сенеж», "MasterGood" и "Neomid" соответственно, до проведения огневых испытаний в летний период времени, но после нахождения в естественных условиях.

Образцы, обработанные огнезащитным составом от фирмы «Сенеж», после проведения испытания покрыты всучивающимся слоем (рис. 15, б).

Образец № 12: максимальная температура дымовых газов составляла 180 °C на 120 секунде испытаний, открытого горения не наблюдалось.

Образец № 13: максимальная температура дымовых газов составляла 183 °C на 120 секунде испытаний, открытого горения не наблюдалось.

Образец № 14: температура дымовых газов достигала 172 °C на 115 секунде испытаний, открытого горения не наблюдалось.

Образцы, обработанные огнезащитным составом от фирмы "MasterGood", после проведения испытания покрыты всучивающимся слоем.

Образец № 15: максимальная температура дымовых газов составила 199 °C на 60 секунде испытаний.

Образец № 16: максимальная температура дымовых газов составила 186 °C на 110 секунде испытаний. Открытого горения при испытании образцов № 15–16 не наблюдалось.

Образец № 17: температура дымовых газов достигала 219 °C на 120 секунде испытаний, наблюдалось более активное тление.

Образцы, обработанные огнезащитным составом от фирмы "Neomid", после проведения испытания не покрыты вспучивающимся слоем.

Образец № 18: максимальная температура дымовых газов составляла 268 °C на 115 секунде испытаний, наблюдалось активное горение.

Образец № 19: максимальная температура дымовых газов составляла 269 °C на 115 секунде испытаний, наблюдалось активное горение.

Образец № 20: температура дымовых газов достигала 251 °C на 110 секунде испытаний, наблюдалось активное горение.

В результате анализа обнаружено, что у образцов, обработанных огнезащитным составом от фирмы "MasterGood", вспучивающийся слой гораздо меньше,

чем у образцов, обработанных огнезащитным составом от фирмы «Сенеж» (табл. 2).

Огнезащитный состав от фирмы "Neomid" имеет характеристики хуже, о чём можно судить по проведённому эксперименту, поскольку наблюдается наибольшая потеря массы у данных образцов, кроме того, наблюдается наибольшая потеря геометрического размера образцов.

Проведённое испытание показало, что после вымывания внешнего слоя огнезащитная эффективность каждого огнезащитного состава снизилась не более чем на 7,5 %, что соответствует I группе огнезащитной эффективности. Наилучший результат продемонстрировал ОС № 1 (потеря массы – 4,8 %), наибольшая потеря массы после опыта наблюдалась у образцов, пропитанных ОС № 3 (7,5 %). Средний результат у ОС № 2: потеря массы составила 5,3 %.

Таблица 2. Сводные данные по результатам огневых испытаний для зимнего и летнего периодов года

Фирма ОС	«Сенеж»			"MasterGood"			"Neomid"			Без обработки ОС	
<i>Зимняя серия опытов</i>											
№ образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Потеря массы каждого образца, %	11,1	10,5	10,0	11,5	9,0	12,9	14,1	12,3	12,9	19,4	16,5
Потеря массы в среднем для каждого вида ОС, %	10,5			11,2			13,1			17,9	
Среднее значение высоты вспучившегося слоя по всей площади образца, мм	4,3			4,7			–			–	
<i>Летняя серия опытов</i>											
№ образца	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Потеря массы каждого образца, %	4,3	6,2	4,0	4,5	4,9	6,3	9,4	6,4	6,8		
Потеря массы в среднем для каждого вида ОС, %	4,8			5,3			7,5				
Среднее значение высоты вспучившегося слоя по всей площади образца, мм	3,0			1,3			–				

Заключение. В результате огневых испытаний выявлено, что строительный материал – древесина – при обработке огнезащитными составами выбранных марок демонстрирует меньшую потерю массы образца после воздействия огня. Следовательно, обработка огнезащитными составами способствует улучшению огнезащитных характеристик строительных материалов для наружной отделки зданий. Однако в связи с прямым попаданием осадков на строительный материал в процессе эксплуатации огнезащитные характеристики огнезащитных составов снижаются. В связи с этим проведена вторая серия огневых испытаний, при которой использовались образцы древесины, помещённые в отличные внешние условия, с той разницей, что попадание осадков на поверхность образцов было частичным.

Данный эксперимент показал, что степень защищённости внешних условий влияет на эффективность огнезащитных составов.

Первая серия испытаний проводилась на девяти образцах, пропитанных огнезащитными составами, и показала, что огнезащитная эффективность каждого огнезащитного снизилась с I до II группы в результате вымывания состава из древесины при попадании на поверхность осадков. Наилучший результат продемонстрировал ОС от фирмы «Сенеж» (потеря массы – 10,5 %), наибольшая потеря массы после опыта наблюдалась

у образцов, обработанных огнезащитным составом от фирмы "Neomid", – 13,1 %. Средний результат зафиксирован у огнезащитного состава от фирмы "MasterGood": потеря массы составила 11,2 %.

Вторая серия испытаний проводилась на девяти образцах, пропитанных огнезащитными составами, и показала, что после вымывания внешнего слоя огнезащитная эффективность каждого ОС снизилась не более чем на 7,5 %, что соответствует I группе огнезащитной эффективности. Наилучший результат продемонстрировал ОС от фирмы «Сенеж» (потеря массы – 4,8 %), наибольшая потеря массы после опыта наблюдалась у образцов, обработанных огнезащитными составами от фирмы "Neomid", – 7,5 %. Средний результат у огнезащитного состава от фирмы "MasterGood": потеря массы составила 5,3 %.

Температура дымовых газов показывает то количество теплоты, выделяемое в результате возгорания, как опасный фактор пожара. Можно отметить прямую зависимость между температурой дымовых газов и эффективностью огнезащитных составов, поскольку чем меньше температура дымовых газов, тем меньше потеря массы образцов при огневых испытаниях. Максимальная температура дымовых газов необработанной древесины составила 500 °C, а обработанной огнезащитным составом – по фирме "Neomid" – 480 °C.

Однако, несмотря на наихудшие показатели у огнезащитного состава фирмы "Neomid" в сравнении с двумя другими огнезащитными составами, стоит отметить, что данный огнезащитный состав обеспечивает огнезащиту по ГОСТ [17]. Но, в случае создания внешних условий с прямым попаданием осадков на поверхность строительных материалов, обработанных солевыми огнезащитными составами, возникнет необходимость в более частой огнезащитной обработке данных строительных материалов, что ещё больше увеличит суммарные затраты на данный вид обработки. Наилучшие результаты демонстрирует ОС фирмы "MasterGood".

Литература

1. Elnaklah R., Walker I., Natarajan S. Moving to a green building: Indoor environment quality, thermal comfort and health // Building and Environment. 2021. Vol. 1 (January). 19 s.
2. Goodarzi P., Hashemi N. Landscape Architecture and Environmental Challenges // Global Journal of Research and Review. 2021. Vol. 8. No. 5: 84. P. 1–12. ISSN 2393-8854.
3. Основные древесные породы и их характеристика. [Электронный ресурс]. <https://school-science.ru/15/16/50489> (дата обращения 18.10.2024).
4. Waste from forestry and agriculture – ash as a fertilizer [Электронный ресурс]. <https://russian-farmland.com/sale/waste-from-forestry-and-agriculture-ash-as-a-fertilizer/> (дата обращения 30.04.2024).
5. Aung, A., Seo, J.M., Han, S.H. et al. Effects of torrefied wood chip and vermicompost application on vegetation growth and nutrient uptake in the Saemangeum reclaimed land // Ecological Processes. 2020. Vol 9:7. 9 s.
6. Опилки в саду и огороде: где и как правильно использовать [Электронный ресурс]. <https://antonovsad.ru/opilki-v-sadu-i-ogorode-gde-i-kak-pravilno-ispolzovat-6375/> (дата обращения 02.12.2024).
7. Konovalov M., Kozinets G. Prospects for the multi-storey buildings construction using wooden structures / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 698 (2). 2019. 6 s.
8. Герасимович А.А., Агафонов С.А. Конструктивные системы многоэтажных зданий на основе клееных деревянных конструкций // Вестник магистратуры. 2020. № 5–5 (104). С. 30–40. ISSN 2223-4047.
9. Акшов Э.А. Архитектурно-художественные приемы проектирования объектов из клееных деревянных конструкций // Архитектура зданий и сооружений. 2022. № 1(58). С. 108–124.
10. Сальков О.А. Комментарий к техническому регламенту Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения» (ТР ЕАЭС 043/2017) (постатейный). [Электронный ресурс]. <https://base.garant.ru/480913779/> (дата обращения 15.01.2024).
11. ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности = Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 71-ст : введен впервые : дата введения 2010-01-01, разработан ФГУ ВНИИПО МЧС России. Москва: Стандартинформ, 2009. 13 с.
12. Hull T.R., Lowden L.A. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction // Fire Science Reviews. 2013. Vol 4. 19 s.
13. Собурь С.В. Огнезащита материалов и конструкций: Уч.-справ. пособ. 6-е изд., с изм. Серия «Пожарная безопасность предприятия». Москва: Пожарная книга. 2016. 216 с.
14. Boruszewski P. Characteristics of selected fireproof properties of particleboard made from particles impregnated with salt agent/ P. Baruszewski et al., Annals of Warsaw university of Life Science - SGGW Forestry and Wood technology. №73. 2011. P. 142–146.
15. Sauerbier P., Mayer A.K., Emmerich L., Militz H. Fire Retardant Treatment of Wood – State of the Art and Future Perspectives. In: Wood & Fire Safety. WFS 2020. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41235-7_14.
16. Российская Федерация. Законы. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022): текст с изменениями и дополнениями на 14 июля 2022: [принят Государственной Думой 4 июля 2008 года: одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года]. М. : Проспект, 2022. 139 с.
17. ГОСТ Р 53292-2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний = Fire retardant compositions and substances for wood. General requirements. Test methods : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. N 68-ст : введен впервые : дата введения 2010-01-01 / разработан Федеральным государственным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны» (ФГУ «ВНИИПО») МЧС России. М. : Стандартинформ, 2007. 18 с.
18. Özdemir F. Effects of fire retardants on the combustion behavior of high-density fiberboard / F. Özdemir, A. Tutus, Bio Ressources. 8 № 2. 2013. P. 1665–1674.
19. Пищикова А.В., Андруняк И.В. В сборнике: Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций. Мат-лы VI Всерос. науч.-практ. конф. Железногорск, 2024. С. 389–392.
20. ГОСТ 26002-83. Пиломатериалы хвойных пород северной сортировки, поставляемые для экспорта. Технические условия = Coniferous sawn timber of northern grading supplied for export. Specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 14.12.83 г. № 5894 : введен впервые : дата введения 1985-01-01. М. : Стандартинформ, 2007. 18 с.
21. Газизов А.М., Шарафутдинов А.А., Имамутдинов С.А., Горячев Г.А., Шарафутдинова А.А. Исследование пожарной опасности деревянных строительных конструкций и материалов при применении эффективных огнезащит-

Относительно других огнезащитных составов по совокупности характеристик и по эффективности огнезащиты лидером по результатам исследований является ОС фирмы «Сенеж».

Благодарности. Выражаем искреннюю признательность начальнику ФГБУ «Судебно-экспертное учреждение федеральной противопожарной службы "Испытательная пожарная лаборатория" по Красноярскому краю» Бочагову Сергею Борисовичу и начальнику сектора Радищевскому Алексею Владимировичу за оказание помощи при проведении натурных исследований в лаборатории.

- ных средств // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2020. № 6. С. 90–114.
22. Ляшенко С.М., Аносова Е.Б. Пожарная и токсическая опасность современных синтетических материалов: монография. Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Химки). 2019. 193 с.

References

1. Elnaklah R., Walker I., Natarajan S. Moving to a green building: Indoor environment quality, thermal comfort and health // Building and Environment. 2021. Vol. 1 (January). 19 s.
2. Goodarzi P., Hashemi N. Landscape Architecture and Environmental Challenges // Global Journal of Research and Review. 2021. Vol.8. No.5: 84. P. 1–12. ISSN 2393-8854.
3. Main tree species and their characteristics. Electronic resource. <http://shul-stsenke.ru/15/16/50489> (accessed 18.10.2024)
4. Waste from forestry and agriculture – ash as a fertilizer [Ehlek-tronnyj resurs]. <https://russian-farmland.com/sale/waste-from-forestry-and-agriculture-ash-as-a-fertilizer/> (data obrashcheniya 30.04.2024).
5. Aung A., Seo J.M., Han S.H. et al. Effects of torrefied wood chip and vermicompost application on vegetation growth and nutrient uptake in the Saemangeum reclaimed land // Ecological Processes. 2020. Vol 9:7. 9 s.
6. Sawdust in the garden and vegetable garden: where and how to use it correctly [Electronic resource]. <https://antonovsad.ru/opilki-v-sadu-i-ogorode-gde-i-kak-pravilno-ispolzovat-6375/> (data ob-rashcheniya 02.12.2024).
7. Konovalov M., Kozinets G. Prospects for the multi-storey buildings construction using wooden structures / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 698 (2). 2019. 6 s.
8. Gerasimovich A.A., Agafonov S.A. Structural systems of multi-story buildings based on panel timber structures // Vestnik magistratura. 2020. No. 5–5 (104). P. 30–40. ISSN 2223-4047.
9. Akshov E.H.A. Architectural and artistic design techniques for buildings made of laminated timber structures // Architecture of buildings and structures. 2022. No. 1 (58). P. 108–124.
10. Salkov O.A. Commentary on the technical regulation of the Eurasian Economic Union "On requirements for fire safety and fire extinguishing equipment" (TR EAEHS 043/2017) (postatejnij). [Electronic resource]. <https://base.garant.ru/480913779/> (data obrashche-niya 15.01.2024).
11. GOST 53295-2009. Fire protection products for steel structures. General requirements. Method for determining fire retardant efficiency = Fire retardant compositions for steel constructions. General requirement. Method for determining fire retardant efficiency: national standard of the Russian Federation: official publication: approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated February 18, 2009. № 71-st: introduced for the first time: data of introduction 2010-01-01, developed by FGU VNIPO MCHS Rossii. Moscow: Standartinform, 2009. 13 s.
12. Hull T.R., Lowden L.A. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction // Fire Science Reviews. 2013. Vol 4. 19 s.
13. Sobur S.V. Fire protection of materials and structures: Study guide. 6th ed., as amended. Series "Fire safety of enterprises". Moscow: Pozharnaya kniga. 2016. 216 p.
14. Baruszewski P. Characteristics of selected fireproof properties of particleboard made from particles impregnated with salt agent/ P. Baruszewski et al., Annals of Warsaw university of Life Science – SGGW Forestry and Wood technology. №73. 2011. R. 142–146.
15. Sauerbier P., Mayer A.K., Emmerich L., Militz H. Fire Retardant Treatment of Wood – State of the Art and Future Perspectives. In: Wood & Fire Safety. WFS 2020. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41235-7_14.
16. Russian Federation. Laws. Technical regulations on fire safety requirements: Federal Law of 22.07.2008 No. 123-FZ (as amended on 14.07.2022); text with amendments and additions as of 14 July 2022: [adopted by the State Duma on 4 July 2008: approved by the Federation Council on 11 July 2008]. Moscow: Prospect, 2022. 139 p.
17. GOST R 53292-2009. Fire retardant compositions and substances for wood and wood-based materials. General requirements. Test methods = Fire retardant compositions and substances for wood. General requirements. Test methods: national standard of the Russian Federation: official publication: approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated February 18, 2009. N 68-st: introduced for the first time: data of introduction 2010-01-01 / developed by the Federal State Institution "All-Russian Research Institute of Fire Defense" (FGU "VNIIPo") MCHS of Russia. M.: Standartin-form, 2007. 18 s.
18. Özdemir F. Effects of fire retardants on the combustion behavior of high-density fiberboard / F. Özdemir, A. Tutus, Bio Ressources. 8. № 2. 2013. P. 1665–1674.
19. Pishchikova A.V., Andrunyak I.V. In collection: Actual problems of ensuring fire safety and protection from emergency situations. Proceedings of the VI All-Russian scientific and practical conference. Zheleznogorsk, 2024. Pp. 389–392.
20. GOST 26002-83. Coniferous sawn timber of northern grading supplied for export. Technical conditions = Coniferous sawn timber of northern grading supplied for export. Specifications: national standard of the Russian Federation: official publication: approved and put into effect by Resolution of the State Committee of the USSR for Standards of 14.12.83, No. 5894: introduced for the first time: data of introduction 1985-01-01. Moscow: Standartin-form, 2007. 18 p.
21. Gazizov A.M., Sharafutdinov A.A., Imamutdinov S.A., Goryachev G.A., Sharafutdinova A.A. Study of fire hazard of wooden building structures and materials when using effective fire protection equipment // Electronic scientific journal Oil and Gas Business. 2020. No. 6. P. 90–114.
22. Lyashenko S.M., Anosova E.B. Fire and toxic hazard of modern synthetic materials: monograph. Civil Defense Academy of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Khimki). 2019. 193 p.