

Исследование огнезащитной эффективности деревянных конструкций различного периода эксплуатации

Р.Р. Сафин^а, А.А. Гирфанов^б, А.В. Сафина^с

Казанский национальный исследовательский технологический университет,
ул. К. Маркса, 68, Казань, Республика Татарстан

^а cfaby@mail.ru, ^б girfanovaa@mail.ru, ^с alb_saf@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-0226-4232>, ^б <https://orcid.org/0009-0003-9915-0171>,

^с <https://orcid.org/0000-0002-7344-9242>

Статья поступила 20.04.2023, принята 16.05.2023

Древесина является востребованным строительным материалом для формирования несущих конструкций, стропильных систем, опалубки и т. д. При своих очевидных преимуществах древесина требует проведения работ по обеспечению ее огнезащиты, что особенно актуально при использовании таких конструкций в производственных помещениях с большим количеством рабочего персонала. Представлены результаты исследования огнезащитной эффективности древесных образцов различного периода эксплуатации и имеющих различные сроки нанесения огнезащитных средств. Для огневого испытания образцов разработана экспериментальная установка с возможностью поддержания температуры до 400 °С. По анализу динамики потери массы древесных образцов определены группы защитной эффективности составов. Установлено, что составы, нанесенные свыше 20 лет назад, утратили свои огнезащитные свойства вследствие биodeградации и не обеспечивают требования пожарной безопасности. При этом образцы древесины, обработанные огнезащитным составом более 10 лет назад, соответствуют II группе огнезащитной эффективности и являются действующими. Однако такие конструкции требуют своевременной оценки, пристального контроля и организации скорейших работ по обработке огнезащитными составами. Своевременные мероприятия по огнезащите деревянных конструкций (срок обработки составами 2 года) подтвердили высокую степень их огнестойкости. Адекватность результатов экспериментальных исследований на лабораторной установке подтверждена результатами испытаний на приборе, рекомендованном ГОСТ 53292-2009.

Ключевые слова: деревянные конструкции; огнезащита; эффективность; период эксплуатации; срок обработки.

Investigation of fire-retardant effectiveness of wooden structures during various periods of operation

R.R. Safin^а, A.A. Girfanov^б, A.V Safina^с

Kazan National Research Technological University; 68, Karl Marx St., Kazan, Republic of Tatarstan

^а cfaby@mail.ru, ^б girfanovaa@mail.ru, ^с alb_saf@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-0226-4232>, ^б <https://orcid.org/0009-0003-9915-0171>,

^с <https://orcid.org/0000-0002-7344-9242>

Received 20.04.2023, accepted 16.05.2023

Wood is a popular building material for the formation of load-bearing structures, saw systems, formwork, etc. Despite the obvious advantages, wood requires work to ensure its fire protection, which is especially important when using such structures in industrial premises with a large number of working personnel. The results of the study of the fire-retardant effectiveness of wood samples of various periods of operation that have different terms of application of flame retardants are presented. For the fire testing of samples, an experimental installation is developed with the ability to maintain a temperature of up to 400 °C. Based on the analysis of the dynamics of weight loss of wood samples, groups of protective effectiveness of compositions are determined. It is established that the compositions applied over 20 years ago have lost their fire-retardant properties due to biodegradation and do not meet fire safety requirements. At the same time, wood samples treated with a flame retardant for more than 10 years correspond to the II group of flame retardant efficiency and are valid. However, such constructions require timely assessment, close monitoring and organization of the fastest work on the treatment with flame retardants. Timely measures for fire protection of wooden structures (the processing period of the compounds is 2 years) have confirmed the high degree of their fire resistance. The adequacy of the results of experimental studies on a laboratory installation is proved by the results of tests on the device recommended by GOST 53292-2009.

Keywords: wooden structures; fire protection; efficiency; service life; processing time.

Введение. Использование древесины как строительного материала для создания стропильных систем зданий и сооружений, деревянных конструкций внутри и снаружи промышленных помещений по-прежнему

востребовано по сравнению с другими конструкционными материалами с точки зрения эксплуатационных характеристик [1]. Будучи натуральным строительным материалом, древесина легкодоступна и экономически

целесообразна, выделяет меньше летучих органических соединений [3; 4]. Однако, при очевидных преимуществах, одной из важнейших проблем использования древесины является низкая устойчивость к горению. Фактически, восприимчивость древесины к огню является причиной большинства зарегистрированных пожаров в зданиях. Пожары приводят к гибели людей, потере свойств и выделению парниковых газов, которые оказывают губительное воздействие на окружающую среду.

В связи с этим актуальным вопросом является анализ исследований огнестойкости строительных деревянных конструкций в различных направлениях. Это и исследования характеристик различных пород древесины для подбора защитных составов для снижения воспламеняемости древесины, и разработка новых способов и методов нанесения защитных покрытий, и анализ эффективности огнезащиты деревянных конструкций длительного срока эксплуатации [5–8].

С ростом ассортимента средств огнезащиты значительное количество исследований посвящается вопросам разработки рецептур и оригинальности составов, их полного нормативного обеспечения, долговечности и других эксплуатационных свойств [9–12].

Разнообразны и подходы к исследованиям в области поиска рациональных методов повышения огнестойкости деревянных поверхностей и объектов из древесины, организации технологического сопровождения и аппаратурного оформления процессов, направленных на снижение пожарной опасности деревянных зданий и сооружений [13–16]. При этом необходимо принимать во внимание, что защита деревянных строительных конструкций, находящихся в эксплуатации длительное время, сопряжена с определенными трудностями вследствие изменения физико-механических свойств древесины [17]. Огнезащита таких объектов, чаще всего находящихся в чердачных помещениях, обеспечивается только способом прямого нанесения антипиренов на деревянные поверхности. При своевременном контроле качества и оценке эффективности применяемых огнезащитных средств можно значительно увеличить срок эксплуатации конструкций [18; 19].

Определение эффективности огнезащитных составов для древесины осуществляется на основе руководящих материалов и применяется при установлении соответствующей группы огнезащиты [20]. Основным показателем данной методики является изменение массы обработанного огнезащитным составом образца древесины в процессе огневых испытаний, по анализу которого устанавливается соответствующая группа.

Целью данной работы является исследование огнезащитной эффективности деревянных конструкций различного периода эксплуатации. Выбор темы исследования обусловлен тем, что деревянные конструкции промышленных зданий являются постройками прошлого века и утратили первоначальные физические характеристики, в частности, пропитывающую способность. Поэтому оценка огнезащитной эффективности таких деревянных строительных конструкций позволит определить основные направления работ по организации противопожарных мероприятий и подбору соответствующих средств огневой защиты.

Материалы и методы. Исследование эффективности огнезащиты проводилось в соответствии с действующими нормативно-техническими документами [20; 21]. Для экспериментальных исследований были подготовлены три группы образцов из древесины сосны размером 30×60×7 мм. В каждой группе исследовалось по 10 образцов, выпиленных с противоположных концов деревянных конструкций — объектов огнезащиты.

В качестве огнезащитного средства использован «препарат N», который предназначен для огнезащиты и антисептирования древесины для наружных и внутренних работ, переводит древесину в трудновоспламеняемый и трудногорючий материал, предназначен для комплексной защиты от огня и биопоражения строительных систем, несущих брусьев, перекрытий, лаг. Методы нанесения состава валиком, краскопульт, кистью.

Каждая группа образцов содержала такие характеристики, как срок эксплуатации деревянной конструкции и давность обработки огнезащитным средством:

Группа 1: древесина, находящаяся в эксплуатации более 25 лет, обработанная огнезащитным составом 20 лет назад.

Группа 2: древесина, находящаяся в эксплуатации более 25 лет, обработка огнезащитным составом 10 лет назад.

Группа 3: древесина, находящаяся в эксплуатации более 10 лет, срок обработки огнезащитным составом не более 2-х лет назад.

В свою очередь, каждая группа образцов подразделялась на подгруппы, соответствующие образцам, взятым из стропил производственного здания (подгруппа 1) и из обрешетки крыши (подгруппа 2).

Критерием оценки огнезащитной эффективности применяемых составов является потеря массы обработанного составом образца древесины при огневом испытании. Для исследования огнестойкости объектов защиты разработана экспериментальная установка, принципиальная схема и внешний вид которой представлены на рис. 1.

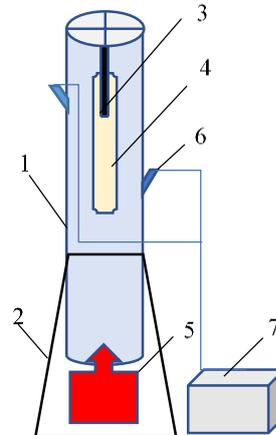


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для исследования эффективности огнезащиты древесины: 1 — металлическая труба; 2 — опорная конструкция; 3 — крепление; 4 — испытуемый образец; 5 — источник теплоты, мини-плита ЭП-0118; 6 — источник теплоты, мини-плита ЭП-0118; 7 — источник теплоты, мини-плита ЭП-0118.

термоэлектрические преобразователи ДТПЛ044 00 30;
7 — термометр многоканальный ТМ5104

Испытания осуществляются в следующей последовательности. Установка разогревается до температуры 200 °С. Контроль температуры внутри установки осуществляется с помощью термопар 7 и поддерживается посредством регулировки подачи газа на источнике тепла 5. Предварительно взвешенный образец древесины 3 закрепляется в установке и выдерживается в течение 2 мин в поле высокой температуры. По истечении установленного времени подача теплоносителя прекращается, а образец остывает в трубе и после извлечения повторно взвешивается.

Для экспресс-оценки эффективности огнезащитной обработки древесины и проверки адекватности полученных результатов испытаний был использован малогабаритный переносной прибор ПМП-1, рекомендованный ГОСТ 53292-2009 [21].

Для идентичности сопоставляемых результатов образцы древесины были отобраны из вышеуказанных мест строительных конструкций, а именно из стропил производственного здания и из обрешетки крыши.

Образцы групп 1, 2 и 3 представляли собой поверхностный слой древесины (стружка) длиной 60 мм, шириной 30 мм и толщиной 2 мм.

Во время испытаний обработанный огнезащитным составом образец древесины закрепляется в приборе ПМП-1 и подвергается огневому воздействию течение 40 с при помощи газовой горелки. Далее образец остывает непосредственно в приборе до температуры внешней среды, и осуществляется его визуальный осмотр и оценка внешнего вида. На рис. 2 представлен данный прибор с образцами древесины до и после проведения огневых испытаний.

В соответствие с нормами пожарной безопасности [20] устанавливаются следующие группы огнезащитной эффективности средств обработки деревянных конструкций:

I группа — состав обеспечивает трудносгораемость

древесины (потеря массы образца при огневом испытании составляет не более 9 %); предел огнестойкости — 150 мин. Такая огнезащита используется в многолюдных местах и на ответственных объектах;

II группа — средство обработки обеспечивает трудновоспламеняемость древесины, если потеря массы образца составляет более 9, но менее 25 %; предел огнестойкости — 90 мин.

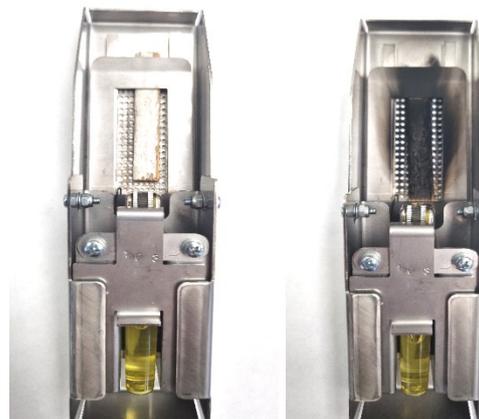


Рис. 2. Внешний вид прибора ПМП-1 с образцами древесины до и после проведения испытаний

Огнезащитный состав не обеспечивает должную защиту древесины при потере массы образца более 25 %. В этом случае эксплуатация объекта запрещается.

Оценка параметров огневых испытаний образцов на приборе ПМП-1 осуществлялась визуально.

Результаты. Результаты огневых испытаний образцов древесины, имеющих различные параметры по срокам эксплуатации и давности обработки огнезащитными составами, представлены в таблице. Здесь $T_{\text{эксп}}$ — срок эксплуатации объекта огнезащиты, лет; $T_{\text{обр}}$ — срок обработки древесины огнезащитными средствами, лет.

Таблица. Результаты испытаний огнестойкости объектов защиты

Показатели	Образцы древесины					
	Группа 1 $T_{\text{эксп}} > 25$ лет, $T_{\text{обр}} = 20$ лет		Группа 2 $T_{\text{эксп}} > 25$ лет, $T_{\text{обр}} = 10$ лет		Группа 3 $T_{\text{эксп}} > 25$ лет, $T_{\text{обр}} = 2$ года	
	Подгруппы					
	1.1	1.2	2.1	2.2	3.1	3.2
Вес до испытаний, г	7,6	7,3	8,1	8,4	9,4	9,8
Вес после испытаний, г	5,5	5,0	7,1	7,0	8,8	9,5
Потеря массы образца, %	27	31	12	16	6	3
Группа огнезащитной эффективности	—	—	II	II	I	I

Для визуализации полученных данных представлена диаграмма потери массы исследуемых образцов (рис. 3), на которой красными линиями отмечены границы соответствующих групп огнезащитной эффективности составов.

Анализ данных таблицы показал, что образцы древесины 1.1 и 1.2, обработанные составами свыше 20 лет назад, не имеют огнестойкой защиты, поскольку изме-

нение массы после огневого испытания составило в среднем 29 %. Это обусловлено тем, что покрытия древесных конструкций утратили свои защитные свойства вследствие биодegradации в течение длительного времени эксплуатации объектов. Согласно требованиям пожарной безопасности, все деревянные конструкции промышленного назначения должны иметь огневую защиту посредством обработки огнезащитными

составами только I и II групп огнезащитной эффективности [20]. Как не удовлетворяющие этим требованиям образцы 1.1 и 1.2 исключены из дальнейшего рассмотрения.

Для наглядности результаты таблицы представлены в виде диаграммы (рис. 3).



Рис. 3. Диаграмма изменения массы объектов огнезащиты

Средняя потеря массы образцов группы 2 составила 14 %, поэтому они относятся к II группе огнезащитной эффективности и представляют собой трудновоспламеняемую древесину с пределом огнестойкости до 90 мин. Таким образом, строительные конструкции со сроком обработки огнезащитными составами 10 лет назад и находящиеся в эксплуатации более 25 лет являются действующими. Однако такие конструкции требуют своевременной оценки, пристального контроля и организации скорейших работ по обработке огнезащитными составами.

Группа образцов 3.1 и 3.2 относится к I группе огнезащитной эффективности с пределом огнестойкости до 150 мин (трудногораемая древесина, может эксплуатироваться в производственных зданиях).

Далее представлены результаты экспресс-оценки эффективности огнезащитных составов на установке ПМП-1 и проверки адекватности полученных результатов испытаний (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид древесных образцов после проведения испытаний на установке ПМП-1

По результатам проведенных испытаний и визуального осмотра объектов исследования, согласно рис. 4, можно сделать следующие выводы:

1) образец № 1 — произошло изменение формы, коробление, тление и обугливание на всю глубину зоны воздействия пламени. При этом отмечалось самостоятельное горение образца после отключения источ-

ника горения. Заключение: образец испытания не прошел, что подтверждает низкую эффективность огневой защиты объекта, установленную выше;

2) образец № 2 — произошло изменение цвета образца, вспучивание защитного состава и незначительное коробление. Самостоятельное горение образца после отключения источника горения и прогорание образца не установлены, образец испытания выдержал.

3) образец № 3 — произошло изменение цвета, вспучивание огнезащитного состава. Самостоятельное горение образца после отключения источника горения и прогорание образца не установлены, огнестойкость объекта защиты высокая.

Выводы. Способность деревянных строительных конструкций сохранять функциональные параметры в условиях пожара во многом зависит от эффективности применяемых средств огневой защиты. Материалы, входящие в защитный состав, предотвращают критический нагрев защищаемой конструкции и обеспечивают ее сохранность во время пожара за заданное время. Требования по обеспечению огнестойкости деревянных конструкций предусматривают своевременный контроль за состоянием покрытий, технологией нанесения защитных средств и качеством огнезащиты.

Разработанная установка адекватно отражает результаты испытания на эффективность огнезащитного покрытия для древесины деревянных конструкций, находящихся в эксплуатации различное время. Проведенная экспресс-оценка эффективности огневой стойкости объекта на приборе, рекомендованном ГОСТ 53292-2009, подтвердила полученные результаты.

Так, деревянные конструкции, которые обработаны огнезащитными составами более 20 лет назад, не могут применяться в объектах промышленного строительства, поскольку средство обработки утратило свои свойства и не обеспечивает требуемую степень огнезащиты древесины, что подтверждено обугливанием образцов на всю глубину зоны воздействия пламени.

В ходе испытаний установлено, что строительные деревянные конструкции, находящиеся в эксплуатации более 25 лет и обработанные защитным средством 10 лет назад, соответствуют II группе эффективности огнезащиты и могут выполнять функциональное назначение на объектах промышленных зданий. При этом требуется проведение работ по скорейшему обновлению огнезащитных покрытий.

Своевременное проведение работ по обработке деревянных конструкций соответствующими средствами, как показали эксперименты, обуславливает высокую эффективность огнезащитных составов и обеспечивает высокую степень огнестойкости объектов.

Для поддержания огнезащитной эффективности деревянных конструкций, находящихся в эксплуатации длительное время, необходимо строго соблюдать интервалы выполнения работ по поддержанию огнестойкости строительных конструкций согласно инструкциям и сертификатам соответствия изготовителя на средства для огнезащиты древесины, следовать заключениям испытательных лабораторий, выполнять ежегодный осмотр и проверку состояния объектов огнезащиты.

Литература

1. Саерова К.В., Сафина А.В. Перспективные технологии как фактор успешного развития лесопромышленного комплекса Татарстана / В сборнике: Экономическое развитие в XXI веке: тенденции, вызовы, перспективы. Сборник научных трудов VII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Составители: Е. В. Бурденко, О. В. Газизова, А. В. Кузнецов; Минобрнауки России, Казанский национальный исследовательский технологический университет. 2019. С. 365-369.
2. Safin R.R., Khasanshin R., Galyavetdinov N., Salimgaraeva R., Mukhametzyanov S., Kraysman N. Improving the physical and mechanical performance of laminated wooden structures by low-temperature plasma treatment Coatings. 2021. Т. 11. № 8.
3. Imken, A.A.P.; Brischke, C.; Kögel, S.; Krause, K.C.; Mai, C. Resistance of different wood-based materials against mould fungi: A comparison of methods. Eur. J. Wood Wood Prod. 2020, 78, 661-671.
4. Safin R.R., Khasanshin R., Mukhametzyanov S.R., Safina A. Physicochemical surface treatment of wood raw materials // Coatings. 2021. Т. 11. № 10.
5. Biao Zhou, Kai Wang, Yanyi Liuchen, Yuhang Li, Xukun Sun, Feng Zhu, Wei Ke, Xuan Wang, Bo Qiu, Yajun Han. (2022) Experimental Study of Upward Flame Spread over Discrete Weathered Wood Chips. International Journal of Architectural Heritage 16:12, pages 1797-1808.
6. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Галаяветдинов Н.Р., Иманаев Р.М. Исследование совмещенной сушки-пропитки массивных капиллярно-пористых коллоидных материалов // Вестник Казанского технологического университета. 2006. № 6. С. 78.
7. Яковлева Р.А., Попов Ю.В., Саенко Н.В., Шевцова Е.Ю. Огнебиостойкие эпоксидные композиции для защиты древесины // Успехи в химии и химической технологии. 2007. Т. 21. № 6 (74). С. 23-28.
8. Сафин Р.Р., Белякова Е.А., Разумов Е.Ю. Разработка новой технологии получения термодревесины // Вестник Казанского технологического университета. 2011. № 1. С. 157-162.
9. Войтович В.А., Спирин Г.В. Бициды и бицидные материалы для защиты изделий из древесины // Строительные материалы. 2006. № 12. С. 35-38.
10. Комаров А.В., Царев Г.И. Термохимическая защита древесины // Химия растительного сырья. 2013. № 1. С. 73-76.
11. Балакин, В. М. Огнезащитные составы и покрытия на основе аминокальдегидных олигомеров (литературный обзор) / В. М. Балакин, Е. Ю. Полищук, А. В. Рукавишников. // Пожаровзрывобезопасность. 2010. Т. 19, № 4. С. 22-27.
12. Birgit Östman. 2020. Weathering Effects on Fire Retardant Wood Treatments. Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires, pages 1055-1062.
13. Сафин Р.Р., Хасаншина Р.Т., Сабирова Г.А., Илалова А.Ф. Исследование изменения свойств поверхности древесины после ультрафиолетовой обработки // Деревообрабатывающая промышленность. 2019. № 3. С. 47-53.
14. Ерин А.А., Арушонок Ю.Ю. Способы защиты древесины от горения и гниения / В сборнике: Потенциал интеллектуально одаренной молодежи - развитию науки и образования. Материалы VI Международного научного форума молодых ученых, студентов и школьников. Под общей редакцией Д. П. Ануфриева. 2017. С. 505-508.
15. Петрова, Е. А. Снижение горючести строительных материалов на основе древесины [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Петрова Елена Александровна. М., 2003. 158 с.
16. Нигматуллина Д.М., Стенина Е.И., Полищук Е.Ю., Сивенков А.Б. Антипирирование деревянных конструкций способом глубокой пропитки // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 5 (69). С. 56-61.
17. Charmaine Mullins-Jaime, Todd D. Smith. (2022) Nanotechnology in Residential Building Materials for Better Fire Protection and Life Safety Outcomes. Fire 5:6, pages 174.
18. Полищук, Е. Ю., Сивенков А. Б., Бирюков Е. П. Нормативные требования к огнезащите древесины и экспертная оценка ее качества // Пожары и ЧС: предотвращение, ликвидация. 2016. № 2. С. 77-80.
19. Гирфанов А.А., Сафин Р.Р. Требования к огнезащите строительных деревянных конструкций // Актуальные проблемы лесного комплекса. Выпуск 62 БГИТУ, г. Брянск. 2022. С. 284-287.
20. НПБ 251-98. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний. М: ВНИИПО МВД России. 1998. 18 с.
21. ГОСТ Р 53292-2009. Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытания. М: Стандартинформ, 2009. 17 с.

References

1. Saerova K.V., Safina A.V. Promising technologies as a factor of successful development of the timber industry complex of Tatarstan // Ekonomicheskoe razvitie v XXI veke: tendencii, vyzovy, perspektivy: sb. nauch. tr. VII Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. studentov, aspirantov i molodyh uchenykh (26 apr. 2019 g.). Kazan': KNITU, 2019. P. 365-369.
2. Safin R.R., Khasanshin R., Galyavetdinov N., Salimgaraeva R., Mukhametzyanov S., Kraysman N. Improving the physical and mechanical performance of laminated wooden structures by low-temperature plasma treatment Coatings. 2021. V. 11. № 8.
3. Imken A.A.P., Brischke C., Kögel S., Krause K.C., Mai C. Resistance of different wood-based materials against mould fungi: A comparison of methods. Eur. J. Wood Wood Prod. 2020. 78. P. 661-671.
4. Safin R.R., Khasanshin R., Mukhametzyanov S.R., Safina A. Physicochemical surface treatment of wood raw materials // Coatings. 2021. V. 11. № 10.
5. Biao Zhou, Kai Wang, Yanyi Liuchen, Yuhang Li, Xukun Sun, Feng Zhu, Wei Ke, Xuan Wang, Bo Qiu, Yajun Han. Experimental Study of Upward Flame Spread over Discrete Weathered Wood Chips // International Journal of Architectural Heritage. 2022. 16:12. P. 1797-1808.
6. Safin R.R., Safin R.G., Galyavetdinov N.R., Imanaev R.M. Investigation of combined drying-impregnation of massive capillary-porous colloidal materials // Herald of Kazan Technological University. 2006. № 6. P. 78.
7. YAKOVLEVA R.A., POPOV YU.V., SAENKO N.V., SHEVCOVA E.YU. Fire-resistant epoxy compositions for wood protection // Journal Advances in Chemistry and Chemical Technology. 2007. P. 21. № 6 (74). P. 23-28.
8. Safin R.R., Belyakova E.A., Razumov E.YU. Development of a new technology for producing thermal wood // Herald of Kazan Technological University. 2011. № 1. P. 157-162.
9. Vojtovich V.A., Spirin G.V. Biocides and biocidal materials for the protection of wood products // Stroitel'nye materialy. 2006. № 12. P. 35-38.
10. Komarov A.V., Carev G.I. Thermochemical protection of wood // Khimija Rastitel'nogo Syr'ja (Chemistry of plant raw material). 2013. № 1. P. 73-76.
11. Balakin V.M., Polishchuk E.YU., Rukavishnikov A.V. Flame retardants and coatings based on aminoaldehyde oligomers (literature review) // Fire & Explosion Safety. 2010. V. 19. № 4. P. 22-27.

12. Birgit Östman. 2020. Weathering Effects on Fire Retardant Wood Treatments. Encyclopedia of Wildfires and Wildland-Urban Interface (WUI) Fires. P. 1055-1062.
13. Safin R.R., Hasanshina R.T., Sabirova G.A., Ilalova A.F. Investigation of changes in the properties of the wood surface after UV treatment // Derevoobrabatival'naya promishlennost' (Woodworking industry). 2019. № 3. P. 47-53.
14. Erin A.A., Arushonok YU.YU. Methods of protecting wood from burning and rotting // Potencial intellektual'no odarennoj molodezhi - razvitiyu nauki i obrazovaniya: materialy VI Mezhdunar. nauch. foruma molodyh uchenyh, studentov i shkol'nikov (25-28 apr. 2017 g.). Astrahan', 2017. P. 505-508.
15. Petrova E.A. Reducing the combustibility of wood-based building materials: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.26.03. M., 2003. 158 p.
16. Nigmatullina D.M., Stenina E.I., Polishchuk E.YU., Sivenkov A.B. Antipyriation of wooden structures by deep impregnation method // Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti. 2016. № 5 (69). P. 56-61.
17. Charmaine Mullins-Jaime, Todd D. Smith. Nanotechnology in Residential Building Materials for Better Fire Protection and Life Safety Outcomes. 2022. Fire 5:6. P. 174.
18. Polishchuk E.YU., Sivenkov A.B., Biryukov E.P. Regulatory requirements for fire protection of wood and expert assessment of its quality // Fire and emergencies: prevention, elimination. 2016. № 2. P. 77-80.
19. Girfanov A.A., Safin R.R. Requirements for fire protection of building wooden structures // Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa. 2022. Vyp. 62. P. 284-287.
20. NPB 251-98. Flame retardants and substances for wood and materials based on it. Obshchie trebovaniya. Metody ispytaniy. Vved. 30.04.1998. M.: VNIPO MVD Rossii, 1998. 18 p.
21. GOST R 53292-2009. Flame retardants and substances for wood and materials based on it. Obshchie trebovaniya. Metody ispytaniya. M.: Standartinform, 2009. 17 p.