

Некоторые особенности повышения огнестойкости деревянных конструкций

А.М. Газизов^{1, 2a}, А.Г. Гороховский^{1b}, Е.Е. Шишкина^{1c}, И.Н. Кручинин^{1d},
А.В. Мялицин^{1e}, А.С. Агафонов^{1f}

¹ Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский Тракт, 37, Екатеринбург, Россия

² Уфимский государственный нефтяной технический университет, ул. Космонавтов, 1, Уфа, Республика Башкортостан

^a ashatgaz@mail.ru, ^b goralegr@yandex.ru, ^c elenashishkina@yandex.ru, ^d kruchinin@m.usfeu.ru,

^e myalitsin@m.usfeu.ru, ^f agafonovas@m.usfeu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-7940-8444>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-8847-8217>, ^c <https://orcid.org/0000-0002-2584-4897>,

^d <https://orcid.org/0000-0002-7598-9672>, ^e <https://orcid.org/0000-0003-1695-9868>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-0955-9068>

Статья поступила 10.10.2023, принята 14.10.2023

В силу достаточно высокого спроса на древесину и ее производные в строительной сфере на протяжении многих лет актуальными являются вопросы изучения и модификации физических и химических характеристик древесины с целью повышения ее огнезащитных свойств. Стремительный прогресс в области композиционных материалов все активнее востребует различные способы огнезащиты деревянных конструкций, которые включают методы создания на поверхности древесины разного рода теплозащитных экранов, и технологические приемы, направленные на снижение пожарной опасности древесных материалов. В современном строительстве зданий и сооружений широко применяются огнезащитные покрытия, соответственно, совершенствование их свойств на сегодняшний день является весьма актуальным. Отсюда цель исследования — это обоснование способа и режима пропитки древесины огнезащитным составом с мраморной крошкой, добавленной для улучшения огнезащитных свойств. По данным проведенных испытаний была исследована эффективность огнезащитного покрытия на основе мраморной крошки на испытательной огневой установке в течение более 21 мин. Эксперименты показали, что при пропитке в течение 3; 12; 24; 48 ч в вакуумной упаковке образцы загораются быстрее, чем при вымачивании в ванне. При 6 час замачивания в вакуумной упаковке образцы сопротивляются огню дольше, чем при вымачивании в ванне. В показанных временных промежутках испытаний замечено частичное и сильное разрушение огнезащитного покрытия на некоторых образцах, а также их воспламенение. Выявлено, что при отключении нагревательной установки на испытуемых образцах горение участков заканчивалось. С учетом полученных данных можно рекомендовать их использование в качестве основного показателя оценки эффективности огнезащитных покрытий, применяемых на строительных деревянных изделиях. Полученные данные предполагают проведение дополнительных исследований с большим количеством образцов с использованием состава, который показал наилучшие результаты.

Ключевые слова: древесина; пропитка древесины; огнезащитные покрытия; мраморная крошка; огнезащитная эффективность; пожарная безопасность.

Some features of increasing the fire resistance of wooden structures

A.M. Gazizov^{1, 2a}, A.G. Gorohovsky^{1b}, E.E. Shishkina^{1c}, I.N. Kruchinin^{1d},
A.V. Myalitsin^{1e}, A.S. Agafonov^{1f}

¹ Ural State Forestry Engineering University; 37, Siberian Tract St., Ekaterinburg, Russia

² Ufa State Petroleum Technological University; 1, Kosmonavtov St., Ufa, Republic of Bashkortostan

^a ashatgaz@mail.ru, ^b goralegr@yandex.ru, ^c elenashishkina@yandex.ru, ^d kruchinin@m.usfeu.ru,

^e myalitsin@m.usfeu.ru, ^f agafonovas@m.usfeu.ru

^a <https://orcid.org/0000-0001-7940-8444>, ^b <https://orcid.org/0000-0001-8847-8217>, ^c <https://orcid.org/0000-0002-2584-4897>,

^d <https://orcid.org/0000-0002-7598-9672>, ^e <https://orcid.org/0000-0003-1695-9868>, ^f <https://orcid.org/0000-0002-0955-9068>

Received 10.10.2023, accepted 14.10.2023

Due to the rather high demand for wood and its derivatives in the construction sphere for many years, the current issue is the study and improvement of the physical and chemical characteristics of wood in order to increase the fire protection properties. Rapid progress in the field of composite materials increasingly uses different ways of fire protection of wooden structures, which include methods for creating various kinds of heat shields on the surface of wood, technological methods, aimed at reducing the fire danger of wood materials. In modern construction of buildings and structures fire retardant coatings are widely used, and, accordingly, the improvement of their properties to date is very relevant. Hence, the purpose of the study is to substantiate the method and mode of impregnation of wood with fire-retardant composition with marble chips added to improve the fire-retardant properties. According to the data of the conducted tests, the efficiency of fire-protective coating based on marble crumb is investigated on the test fire setting, equal to more than 21 minutes. Experiments have shown that when soaked for 3, 12, 24, 48 hours in a vacuum pack, the samples catch fire faster than

in a bath. At 6 hours of soaking, vacuum-packed samples resist fire longer than bath soaking. In the shown time intervals of the test noticed, partial and strong destruction of the fire-retardant coating on some samples, as well as their ignition, are observed. It is revealed that when switching off the heated unit on the tested samples, combustion of sections end, which shows a positive conclusion about the fire safety of the developed methodology. In view of the data obtained, it can be recommended to use the samples as the main indicator of evaluation of the effectiveness of fire protection coatings applied in building wood products. The result of the obtained data is to conduct additional research with a large number of samples using the composition that showed the best results.

Keywords: wood; wood impregnation; flame retardant coatings; marble chips; fire retardant efficiency; fire safety.

Введение. Огнестойкость древесины достигается путем использования различного рода пропиток, красок и добавок к ним [1]. Их действие заключается в защите материалов из древесины от прямого контакта с огнем, предотвращая его возгорание, последние делают древесину еще более устойчивой к воздействию огня.

Существуют различные способы огнезащиты деревянных конструкций, которые включают методы создания на поверхности древесины разного рода теплозащитных экранов и физико-химических и технологических приемов, направленных на снижение пожарной опасности древесных материалов [2–14].

Снижение горючести древесины и древесных материалов достигается следующими методами:

- нанесение на поверхность материалов огнезащитного покрытия, обеспечивающего образование коксового слоя и предотвращение их тления и горения;
- пропитка древесины и материалов на ее основе или введение в их состав веществ, способствующих замедлению деградации древесины с минимальным выделением горючих газов и максимальным обугливанием;
- введение минеральных наполнителей и композиционные материалы на основе древесины [15–20].

В современном строительстве зданий и сооружений огнезащитные покрытия широко применяются и, соответственно, совершенствование их свойств весьма актуально.

Цель исследования — обоснование способа и режима пропитки древесины огнезащитным составом с мраморной крошкой, добавленной для улучшения огнезащитных свойств.

Материалы и методы исследования. Для проведения испытаний подготовлены образцы из древесины хвойной породы размерами 50x50x50 мм в количестве 22 шт. (каждый образец был пронумерован) и состав огнезащитной смеси — краска «Неомид», пропиточный раствор «Синеж» и мраморная крошка для обмазки и пропитки древесины. Заготовленные образцы подвергаются пропитке подготовленной смесью двумя способами: 1) из 22-х образцов 11 пропитываются в ванне в течение 3; 6; 12; 24 и 48 ч, а на 11 образцов наносится огнезащитный состав, и они помещаются в вакуумную упаковку для пропитки и оставляются на выдержку на 3; 6; 12; 24 и 48 ч; 2) образцы подвергаются сушке группами по 4 шт. в различных условиях, при этом некоторые образцы обмазывались два раза. Перед испытанием образцы в течение 24 ч поддерживались в помещении на ровной открытой поверхности при температуре от 10° до 30° и относительной влажности воздуха 60 %.

Для проведения испытаний использовали испытательную установку — газ пропан и газовую горелку. При этом газовая горелка неподвижно закреплена, в качестве подставки для образцов и держателя использовали лабораторный штатив. Подготовленные образцы помещали к предварительно зажженной горелке температурой 300° и 900°. Для каждого образца записывали время обугливания, тления, возгорания и массу до и после испытания.

Результаты исследования и их анализ. В табл. 1 приведены средние значения массы и потерь массы испытуемых образцов.

Таблица 1. Средние значения потерь массы образцов с огнезащитным покрытием при температуре 300 °С (пропитка в ванне)

Номер образца	Масса, г		Потери массы образца		Среднее арифметическое значение потери массы, %
	Перед сжиганием	После сжигания	г	%	
1	50,5	40,1	10,4	20,59	18,73
2	45,4	34,3	11,1	24,45	
3	55,9	50,4	5,5	9,84	
4	45,8	40,5	5,3	11,57	
5	53,1	50,9	2,2	4,14	
6	50,5	40,8	9,7	19,21	
7	52,6	40,9	9,7	22,24	
8	52,7	38,5	14,2	26,94	
9	50,8	41,4	9,4	18,50	
10	40,5	30,4	10,1	24,94	
11	50,4	44,5	5,9	11,71	
12	55,5	45,6	9,9	17,84	
13	55,5	45,6	9,9	17,84	
14	60,4	50,7	9,7	16,06	
15	60,5	49,8	10,7	17,69	
6	55,6	45,5	10,1	18,17	
17	55,6	45,5	10,1	18,17	
18	50,8	40,6	10,2	20,08	
19	50,8	35,6	15,2	29,92	
20	45,3	30,6	14,7	32,45	
21	55,9	50,1	5,8	10,38	
22	50,5	40,7	9,8	19,41	

На рис. 1 представлен образец 5 до испытания: выдержка в растворе 6 ч, время высыхания 24 ч, температура $t = 25$ °С, тип вымачивания — в ванне, изменение цвета — светло-синий, масса до испытания 53,1 г.

После испытания: время начала обугливания 1:54 мин, время начала тления 5:30 мин, время возгорания 21:56 мин, температура испытания: 300 °С, изменение цвета до черного, масса после испытания 50,9 г.

Эффект: обугливание образца, частичное разрушение огнезащитного покрытия, выделение дыма, потеря массы 4,14 %, что соответствует 1-й группе огнезащитной эффективности испытуемого огнезащитного покрытия при данном способе его нанесения.

На рис. 2 приведен образец 20. Подготовка к испытанию: выдержка в растворе — 48 ч, время высыхания — 24 ч, температура $t = 18$ °С, тип вымачивания — в ванне, изменение цвета — светло-синий, масса до испытания 45,3 г.



Рис. 1. Образец 5

После испытания: время начала обугливания 1:40 мин, время начала тления 2:20 мин, время возгорания 19:02 мин, температура испытания 300 °С, изменение цвета — черный, масса после испытания 30,6 г.

Эффект: обугливание образца, полное разрушение огнезащитного покрытия, выделение дыма, потеря массы 32,45 %. Относится к 3-й группе огнезащитной эффективности испытуемого огнезащитного покрытия при данном способе его нанесения.

В табл. 2 приведены средние значения массы и потерь массы испытуемых образцов.

Как видно на рис. 3, наилучшую огнезащиту показали 15 образцов, они более 21 мин не горели. Наихудшим оказался образец 11 (не горел до 13 мин 12 с).

Согласно рис. 4, наилучшую огнезащиту показали образцы под номерами 1; 8; 10; 15; 19, сопротивлявшихся огню более 11 мин. Наихудшим оказался образец 4, который начал гореть на 7-й мин.



Рис. 2. Образец 6

Таблица 2. Время обугливания, тления и возгорания образцов при 300 °С (протитка в вакуумной упаковке)

Номер образца	Время, мин			
	обугливание	тление	возгорание	Самостоятельное горение
1	0,40	5,30	21,28	25,30
2	1,17	4,55	20,28	26,3
3	0,45	15,06	18,8	–
4	0,46	20,58	21,56	–
5	1,54	–	21,56	27,6
6	2,34	–	17,30	23,4
7	2,25	3,30	16,45	19,28
8	2,03	6,30	18,5	25,6
9	2,30	6,45	19,28	27,8
10	1,30	8,40	15,34	17,48
11	1,31	6,30	10,56	13,12
12	1,42	5,40	21,38	25,30
13	1,20	4,98	17,56	24,56
14	4,30	3,45	17,41	24,21
15	1,30	4,58	13,48	18,56
16	1,25	6,48	19,54	21,36
17	1,30	4,58	19,25	25,47
18	0,30	1,34	17,64	21,01
19	1,40	8,06	14,35	17,54
20	1,40	2,20	19,02	25,04
21	0,50	3,30	18,54	23,25
22	0,32	0,59	19,25	22,05

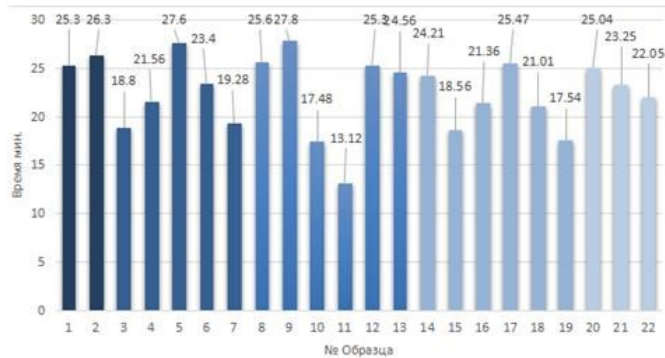


Рис. 3. Общая диаграмма образцов

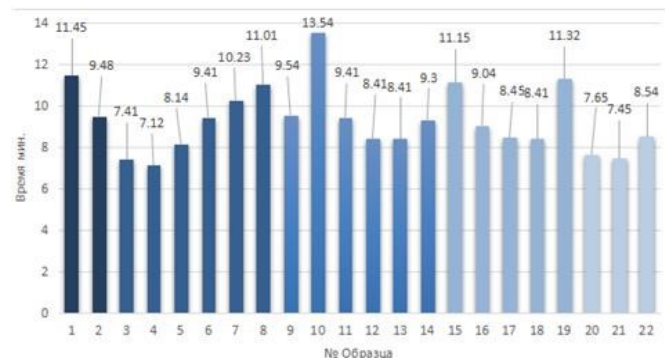


Рис. 4. Время возгорания образцов

Таблица 3. Процессы, происходящие во время сжигания образцов при температуре пламени 900 °С (*пропитка в вакуумной упаковке*)

Номер образца	Время, мин		
	Обугливание	Возгорание	Самостоятельное горение
1	0,40	9,15	11,45
2	1,17	7,52	9,48
3	0,45	4,56	7,41
4	0,46	5,55	7,12
5	1,54	6,45	8,14
6	2,34	7,58	9,41
7	2,25	6,36	10,23
8	2,03	8,50	11,01
9	2,30	7,30	9,54
10	1,30	11,20	13,54
11	1,31	7,35	9,41
12	1,42	6,50	8,41
13	1,20	6,30	8,41
14	4,30	7,40	9,30
15	1,30	9,10	11,15
16	1,25	7,05	9,04
17	1,30	6,00	8,45
18	0,30	6,30	8,41
19	1,40	9,00	11,32
20	1,40	6,45	7,65
21	0,50	5,30	7,45
22	0,32	6,45	8,54

Выводы

1. По данным проведенных испытаний была исследована эффективность огнезащитного покрытия на основе мраморной крошки на испытательной огневой установке, равная более 21 мин. В то же время, эксперименты показали, что при пропитке в течение 3; 12; 24; 48 ч в вакуумной упаковке образцы загораются быстрее, чем в ванне. При 6 ч пропитки в вакуумной упаковке образцы дольше сопротивляются огню, чем при замачивании в ванне.

2. В показанных временных промежутках испытания замечено частичное и сильное разрушение огнезащитного покрытия на некоторых образцах, а также их воспламенение.

Также выявлено, что при отключении нагреваемой установки на испытуемых образцах горение участков прекращалось, что свидетельствует об эффективности разработанной методики.

3. Полученные в ходе эксперимента данные можно использовать в качестве основного показателя оценки эффективности огнезащитных покрытий, применяемых на строительных деревянных изделиях.

4. Рекомендуются дополнительные, более глубокие исследования с большим количеством образцов с применением состава, который показал наилучшие результаты в ходе данных исследований.

Литература

- Газизов А.М., Колесник А.А., Яппарова Р.У. Увеличение огнезащиты древесины путем обоснования режимов пропитки // Нефтегазовое дело. 2022. № 6. С. 20-29.
- Газизов А.М., Абдрахманова А.И. Подбор огнезащитного состава для древесины // Актуальные проблемы и тенденции развития техносферной безопасности в нефтегазовой отрасли: материалы IV Междунар. науч.-практической конф. (15 дек. 2021 г.). Уфа, 2021. С. 49.
- Газизов А.М., Хазипов А.М., Мялицин А.В. Повышение огнезащитных свойств древесины при помощи пропитки антипиреном // Нефтегазовое дело. 2022. № 6. С. 7-19.
- Газизов А.М., Бурханов А.А. Снижение пожарной опасности изделий из древесины с помощью обработки огнезащитными составами // Нефтегазовое дело. 2022. № 5. С. 55-66.
- Нигматуллина Д.М., Полищук Е.Ю., Сивенков А.Б., Стенина Е.И., Балакин В.М. Пожарная опасность деревянных конструкций с глубокой пропиткой огнебиозащитными составами // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 3 (73). С. 64-71.
- Шарифуллина Л.Р. Химические методы огнезащиты древесины // Химические и материаловедческие аспекты техносферной безопасности: сб. тр. XXX Междунар. науч.-практической конф. (19 марта 2020 г.). Химки, 2020. С. 20-24.
- Афанасьев С.В. Азотфосфорсодержащие антипирены пропитывающего действия для древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 12. № 6. С. 38-42.
- Афанасьев С.В. Теория и практика огнезащиты древесины и древесных изделий: моногр. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2012. 138 с.
- Асеева Р.М. Эффективность и механизм действия двух огнезащитных систем для древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16. № 5. С. 23-30.
- Арцыбашева О.В., Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б. Современные тенденции в области огнестойкости деревянных зданий и сооружений // Изв. ЮФУ. Технические науки. 2013. № 8 (145). С. 178-196.

11. Балакин В.М. Изучение огнезащитной эффективности азот-фосфорсодержащих составов для древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16. № 5. С. 39-40.
12. Федотов И.О., Сивенков А.Б. Проблемы и перспективы применения огнезащитных средств для деревянных конструкций // Проблемы техносферной безопасности: материалы Междунар. науч.-практической конф. молодых ученых и специалистов. 2021. № 10. С. 65-69.
13. Леонович А.А. Огнезащита древесины и древесных материалов. СПб.: СПбЛТА, 1994. 148 с.
14. Страхов В.Л., Крутов А.М., Давыдкин Н.Ф. Огнезащита строительных конструкций / под ред. Ю.А. Кошмарова. М.: ТИМР, 2000. 433 с.
15. Анохин Е.А. Повышение класса пожарной опасности деревянных конструкций длительного срока эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2017. 236 с.
16. Стенин А.А., Ајзенштадт А.М., Шинкарук А.А., Махова Т.А. Формирование огнезащитных свойств строительных материалов из древесины с использованием высокодисперсного базальтового наполнителя // Строительные материалы. 2013. № 11. С. 47-50.
17. Белых С.А., Зайцева Ю.В., Скоков Д.В. Огнезащитная композиция с тонкодисперсными наполнителями из вторичных минеральных ресурсов // Естественные и инженерные науки - развитию регионов Сибири: материалы Всерос. науч.-технической конф. (16-20 апр. 2007 г.). Братск, 2007. С. 154-155.
18. Скоков Д.В., Зайцева Ю.В. Изучение эффекта и эффективности различных наполнителей для огнезащитных композиций // Энергия молодых - строительному комплексу: материалы науч.-технической конф. студентов инж.-строит. факультета. Братск, 2007. С. 17-19.
19. Хафизов Ф.Ш., Газизов А.М., Муратов Д.Ф. Применение антипиренов для древесного материала // Нефтегазовое дело. 2019. № 2. С. 16-31.
20. Нигматуллина Д.М., Полищук Е.Ю., Сивенков А.Б., Стенина Е.И. Исследование эффективности способа глубокой пропитки древесины различными огнезащитными системами // Ройтмановские чтения: материалы 5 Междунар. науч.-практической конф. М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. С. 60-63.
5. Nigmatullina D.M., Polishchuk E.YU., Sivenkov A.B., Stenina E.I., Balakin V.M. Fire risk of wooden structures with deep impregnation with firebioprotective compositions // Technosphere security technology. 2017. № 3 (73). P. 64-71.
6. SHarifullina L.R. Chemical methods of fire protection of wood // Himicheskie i materialovedcheskie aspekty tekhnosfernoj bezopasnosti: sb. tr. HKHKH Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (19 marta 2020 g.). Himki, 2020. P. 20-24.
7. Afanas'ev S.V. Nitrogen-phosphorus-containing flame retardants of impregnating action for wood // Fire & Explosion Safety. 2012. V. 12. № 6. P. 38-42.
8. Afanas'ev S.V. Theory and practice of fire protection of wood and wood products: monogr. Samara: Izd-vo SNC RAN, 2012. 138 p.
9. Aseeva R.M. Efficiency and mechanism of action of two flame retardant systems for wood // Fire & Explosion Safety. 2007. V. 16. № 5. P. 23-30.
10. Arcybasheva O.V., Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. Modern trends in the field of fire resistance wooden buildings and constructions // Izvestiya SFedU. Engineering Sciences. 2013. № 8 (145). P. 178-196.
11. Balakin V.M. Investigation of fire retardance effectiveness of nitrogen containing composition for wood // Fire & Explosion Safety. 2007. V. 16. № 5. P. 39-40.
12. Fedotov I.O., Sivenkov A.B. Features of application of glulam structures in seismic areas // Problemy tekhnosfernoj bezopasnosti: materialy Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. molodyh uchenyh i specialistov. 2021. № 10. P. 65-69.
13. Leonovich A.A. Fire protection of wood and wood materials. SPb.: SPbLTA, 1994. 148 p.
14. Strahov V.L., Krutov A.M., Davydkin N.F. Fire protection of building structures / pod red. YU.A. Koshmarova. M.: TIMR, 2000. 433 p.
15. Anohin E.A. Increasing the fire hazard class of wooden structures of long service life: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 2017. 236 p.
16. Stenin A.A., Ajzenshtadt A.M., SHinkaruk A.A., Mahova T.A. Formation of fireproof properties of wood building materials with the use of high disperse basalt filler // Stroitel'nye materialy. 2013. № 11. P. 47-50.
17. Belyh S.A., Zajceva YU.V., Skokov D.V. Fireproof composition with fine fillers from secondary mineral resources // Estestvennye i inzhenernye nauki - razvitiyu regionov Sibiri: materialy Vseros. nauch.-tekhnicheskoy konf. (16-20 apr. 2007 g.). Bratsk, 2007. P. 154-155.
18. Skokov D.V., Zajceva YU.V. Studying of the effect and efficiency of various fillers for fireproof compositions // Energiya molodyh - stroitel'nomu kompleksu: materialy nauch.-tekhnicheskoy konf. studentov inzh.-stroit. fakul'teta. Bratsk, 2007. P. 17-19.
19. Hafizov F.SH., Gazizov A.M., Muratov D.F. Application of flame retardants for wood material // Petroleum Engineering. 2019. № 2. P. 16-31.
20. Nigmatullina D.M., Polishchuk E.YU., Sivenkov A.B., Stenina E.I. Study of the effectiveness of deep impregnation of wood with different fire protection systems // Rojtmанovskie chteniya: materialy 5 Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. M.: Akademiya GPS MCHS Rossii, 2017. P. 60-63.

References

1. Gazizov A.M., Kolesnik A.A., YApparova R.U. Increase in fire protection of wood by substantiating impregnation modes // Petroleum Engineering. 2022. № 6. P. 20-29.
2. Gazizov A.M., Abdrahmanova A.I. Selection of flame retardant composition for wood // Aktual'nye problemy i tendencii razvitiya tekhnosfernoj bezopasnosti v neftegazovoj otrasli: materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakticheskoy konf. (15 dek. 2021 g.). Ufa, 2021. P. 49.
3. Gazizov A.M., Hazipov A.M., Myalicin A.V. Increase in fire retardant properties of wood by impregnation with flame retardant // Petroleum Engineering. 2022. № 6. P. 7-19.
4. Gazizov A.M., Burhanov A.A. Reduction of fire hazard of wood products by treatment with flame retardant compositions // Petroleum Engineering. 2022. № 5. P. 55-66.