

*Д.М. Нигматуллина¹, Е.Ю. Полищук¹, А.Б. Сивенков¹,
Е.И. Стенина², В.М. Балакин²*
(¹Академия ГПС МЧС России, ²Уральский государственный
лесотехнический университет; e-mail: dinaraond81@mail.ru)

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ГЛУБОКОЙ ПРОПИТКОЙ ОГНЕБИОЗАЩИТНЫМИ СОСТАВАМИ

Представлены результаты оценки эффективности снижения пожарной опасности деревянных конструкций способом импульсной глубокой пропитки огнебиозащитными составами. Получены аналитические зависимости, характеризующие интенсивность прогрева деревянных конструкций и позволяющие осуществлять прогнозную оценку предела их огнестойкости.

Ключевые слова: пожарная опасность, деревянные конструкции, огнебиозащитный состав.

*D.M. Nigmatullina, E.Yu. Polishhuk, A.B. Sivenkov,
E.I. Stenina, V.M. Balakin*

THE FIRE HAZARD OF WOODEN STRUCTURES WITH DEEP FIRE AND BIO PROTECTIVE IMPREGNATION COMPOSITIONS

The results of evaluation of the effectiveness of reducing fire hazard of wooden structures by method of pulsed deep impregnation fire and bio protective compositions are presented. Analytical dependences describing the intensity of the warm-up of wooden structures and to allow for a predictive assessment of the limit of their fire resistance were obtained.

Key words: fire hazard, wooden constructions, fire and bio protective composition.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 8 апреля 2017 г.

Древесина является уникальным строительным конструкционным материалом, к важнейшим преимуществам которого относятся высокие прочностные характеристики при относительной легкости конструкций, простота механической обработки и др. Вместе с тем, серьезными сдерживающими факторами для развития сферы применения **деревянных конструкций (ДК)** в массовом строительстве является их высокая пожарная опасность и значительная подверженность биодеструкции. Это во многом определяет необходимость поиска эффективных технических решений по повышению безопасности и долговечности ДК без ухудшения других важных эксплуатационных показателей.

Одним из наиболее надежных методов защиты древесины является её глубокая пропитка огнебиозащитными пропиточными составами. Вопросы биозащиты изучены достаточно хорошо как в России, так и в зарубежных странах [1-5], однако исследования эффективности глубокой пропитки древесины с целью её антипирирования в последние десятилетия фактически не проводились [6].

Ранее авторами была подробно проанализирована эффективность импульсной пропитки древесины различными огнебиозащитными составами в зависимости от режимов пропитки и концентрации исходных реагентов в пропиточных системах [7]. Общая характеристика огнебиозащитных составов и полученные результаты по их эффективности представлены в табл. 1.

Таблица 1

Общая характеристика огнебиозащитных составов

Характеристики	Состав 1	Состав 2	Состав 3
Внешний вид	Прозрачная жидкость светло-желтого цвета	Прозрачная жидкость светло-коричневого цвета	Вязкая жидкость коричневого цвета
Химическая природа огнебиозащитного состава	Водный раствор неорганических азот-фосфор-содержащих соединений и функциональных добавок	Водный раствор органических азот-фосфор-содержащих соединений (аминометилен-фосфоновых кислот, Аммофон-1)	Водный раствор органических пленкообразующих соединений (продукты окисления полисахаридов растительного происхождения)
Концентрация сухих веществ, %	28,5	45-46	35
Концентрация водородных ионов (pH)	4-4,5	6,5-7,5	10,5-12,5
Огнезащитная эффективность по ГОСТ Р 53292-2009 при поверхностном нанесении	I группа огнезащитной эффективности при расходе 400 г/м ²	I группа огнезащитной эффективности при расходе 400 г/м ²	I группа огнезащитной эффективности при расходе 300 г/м ²
Огнезащитная эффективность по ГОСТ Р 53292-2009 при введении в объем древесины	I группа при поглощении более 30 кг/м ³	I группа при поглощении более 50 кг/м ³	Не обладает огнезащитной эффективностью

Учитывая современные тенденции в области деревянного домостроения, представляют большую актуальность исследования влияния рассматриваемого способа пропитки древесины на огнестойкость и пожарную опасность деревянных конструкций. В рамках проведенного авторами исследования стояла задача установления влияния способа импульсной пропитки ДК огнебиозащитными составами на их пожарную опасность в условиях длительного огневого воздействия. Огневое испытание проводилось в условиях стандартного температурного режима пожара в течение 45 мин. В соответствии с ГОСТ 30403-2012, определяющими параметрами для отнесения конструкции к определенному классу пожарной опасности являются тепловой эффект при горении материала конструкции и степень его термического повреждения.

Испытаниям были подвергнуты четыре образца ограждающих деревянных конструкций. Для сборки ограждающих ДК в каждом случае использовался брус из древесины сосны сечением 100×200 мм и длиной 550 мм (ограничения лабораторного автоклава), общие размеры конструкций составляли 2300×1300 мм. Образцы бруса предварительно были пропитаны огнебиозащитными составами с использованием способа импульсной глубокой пропитки. Для образца деревянной конструкций с составом № 3 после проведения глубокой пропитки дополнительно предусматривалось нанесение состава поверхностным способом (табл. 2).

Таблица 2

Общая характеристика деревянных конструкций

Наименование образца	Влажность древесины перед испытанием, %	Средний уровень поглощения, кг/м ³	Расход при поверхностной обработке, кг/м ²	Огнезащитная эффективность состава
Без пропитки	15	-	-	-
С составом 1	18-20	22,2	-	II
С составом 2	19-21	41,5	-	II
С составом 3	17-18	3,2	0,4	- / I

В процессе испытания проводилась регистрация температуры в огневой и тепловой камерах в соответствии со схемой установки термопар согласно ГОСТ 30403-2012, а также по толщине конструкции в геометрическом центре и в контрольной зоне на глубине 20, 40 и 60 мм.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при использовании импульсной глубокой пропитки древесины огнебиозащитными составами повышается её устойчивость к воспламенению в 1,5-2 раза. Анализ динамики нарастания температур в огневой и тепловой камерах испытательной печи при испытании конструкции из необработанной древесины показывает, что температура превышает допустимые значения уже через 5 мин. с момента начала испытания в огневой (рис. 1а) и через 25 мин. в тепловой (рис. 1б) камерах.

По завершении испытания наблюдалось самостоятельное горение конструкции из древесины по всей площади поверхности. Вертикальные повреждения в тепловой камере превысили 80 см.

При испытании конструкции из бруса, пропитанного огнебиозащитными составами, в среднем для всех антипирированных ДК температура в печах установки была на 50-100 °С ниже, чем во время испытания необработанной конструкции, и не выходила за пределы установленных допусков.

При использовании огнебиозащитных составов также важно понимать характер их влияния на огнестойкость ДК. По результатам многочисленных исследований механизма огнезащитного действия азот-фосфорсодержащих составов с использованием методов термического анализа известно, что входящие в их состав соединения способствуют ускорению процесса карбонизации. По данным некоторых исследователей, скорость обугливания при этом может увеличиваться до 4 мм/мин., что может негативно влиять на общий уровень огнестойкости ДК [6].

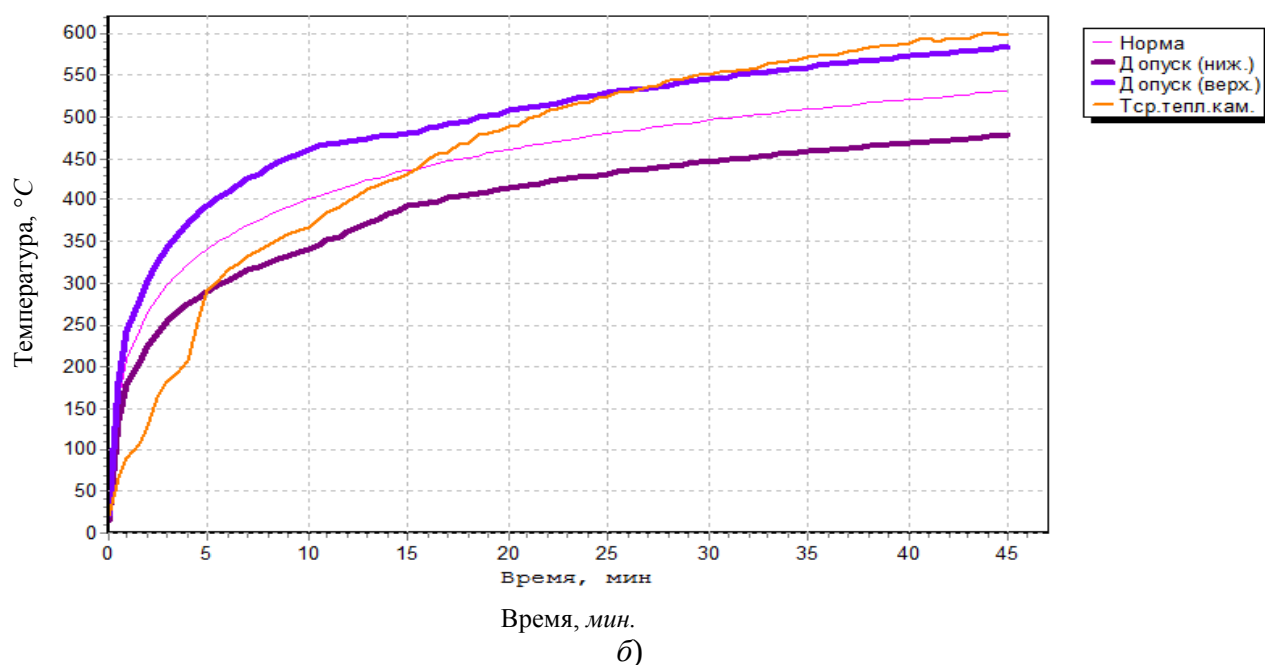
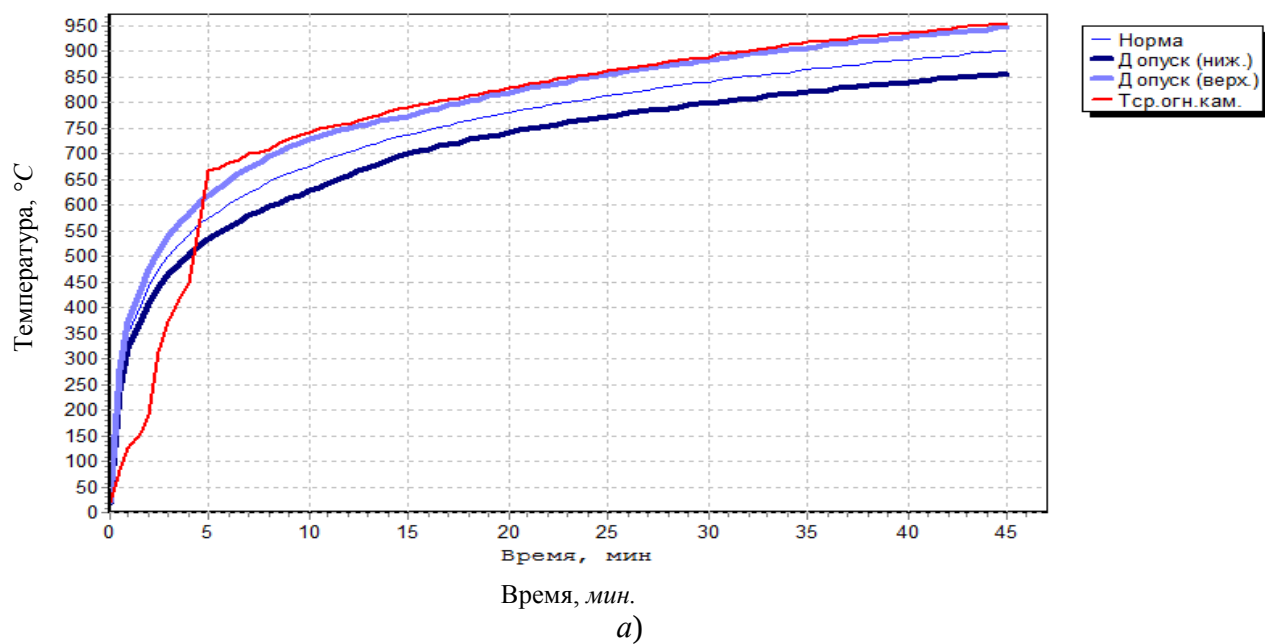


Рис. 1. Результаты контроля температуры в огневой (а) и тепловой (б) камерах при испытании конструкции из необработанной древесины

По результатам проведённых замеров глубины обугливания конструкций (табл. 3) установлено, что средние скорости образования угля в огневой камере не превышают аналогичных значений для необработанной конструкции, в то же время в тепловой камере средняя скорость обугливания оказывается ниже в среднем на 0,15 мм/мин., в огневой на 0,04-0,08 мм/мин.

Таблица 3

Скорость обугливания деревянных конструкций

Место замера глубины обугливания*	Без огнезащиты	Пропитка составом 1	Пропитка составом 2	Пропитка составом 3
Тепловая камера	0,37	0,23	0,24	0,25
Огневая камера	0,64	0,56	0,6	0,52

* средние значения приведены по результатам не менее 30 замеров в каждой из камер

Интересно отметить, что несмотря на раннее воспламенение конструкций, пропитанных составом 3, по отношению к конструкциям, пропитанным составами 1 и 2, а также больший тепловой эффект в огневой и тепловой камерах, для данной конструкции характерны более низкие скорости обугливания в огневой камере. По всей видимости, сказывается интумесцентный механизм огнезащитного действия состава № 3. В тепловой камере скорости обугливания для всех испытанных конструкций находятся на одном уровне.

В соответствии с методикой расчётного определения предела огнестойкости деревянных конструкций [8], при определении геометрических размеров сечения в любой момент времени огневого воздействия из расчётов исключается слой перегретой выше 100 °С древесины. Поэтому важным является установление интенсивности продвижения температурного фронта вглубь конструкции, в том числе с учётом огнебиозащиты. При анализе данных с термопар, расположенных в объёме ДК, отмечается меньшая динамика прогрева для антипирированных конструкций. Так в геометрическом центре для бруса, пропитанного составами 1 и 2, отставание прироста температуры, по сравнению с конструкциями без огнезащиты, в среднем составляет 15 мин. на глубине 20 мм (рис. 2а) и 20 мин. на глубине 40 мм (рис. 2б), а для конструкции, пропитанной составом 3 – 7 и 15 мин. соответственно.

По результатам контроля температуры в конструкциях были подобраны математические зависимости, наиболее адекватно характеризующие динамику прогрева конструкций до достижения 100 °С. Эти зависимости, с учётом проведения расчётов величины минимального рабочего сечения ДК, способного удерживать действующую нагрузку, могут быть использованы для прогнозной оценки предела огнестойкости деревянных конструкций при их проектировании или эксплуатации.

В соответствии с полученными закономерностями, расчётным путём было определено время достижения температуры 100 °С в тех точках, где эта температура не была достигнута в условиях эксперимента. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

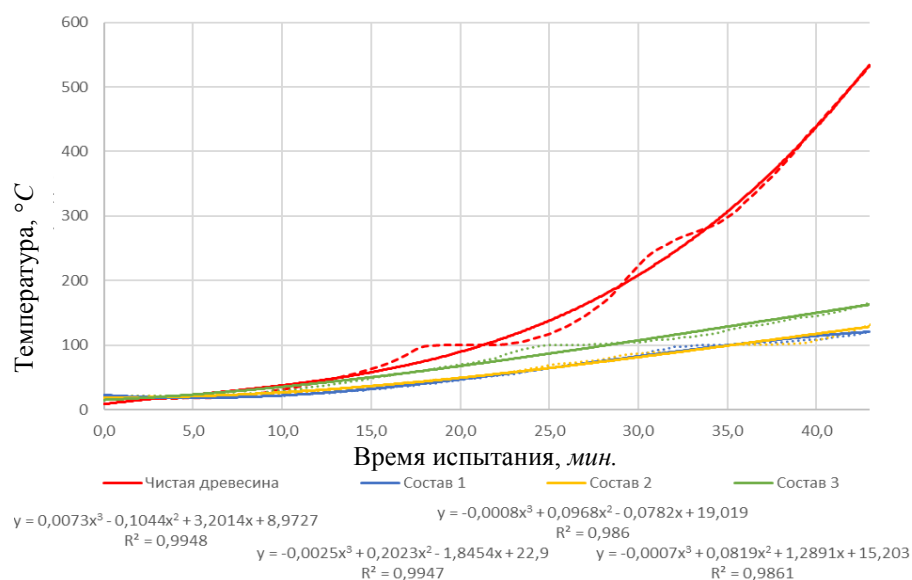
Характеристика динамики прогрева в огневой камере конструкций, пропитанных огнезащитными составами

Расстояние от экспонируемой поверхности, мм	Нативная древесина		Состав 1		Состав 2		Состав 3	
	t^1 , мин.	v^2 , мм/мин.	t^1 , мин.	v^2 , мм/мин.	t^1 , мин.	v^2 , мм/мин.	t^1 , мин.	v^2 , мм/мин.
20	18	1,1	33	0,61	35	0,57	24	0,83
40	39	1,0	62*	0,65	64*	0,63	51*	0,78
60	70*	0,9	101*	0,59	104*	0,57	96*	0,63

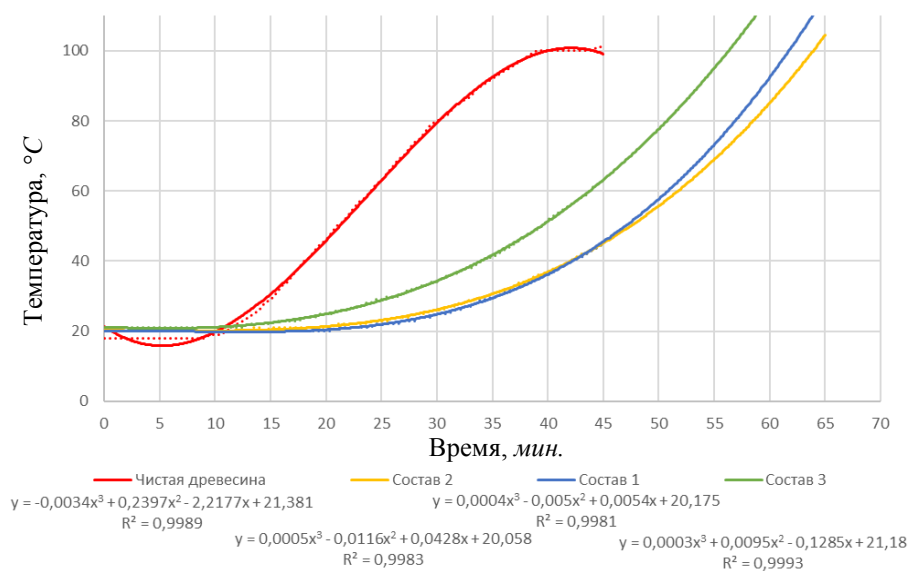
¹ время достижения температуры 100 °С;

² скорость прогрева конструкции до 100 °С;

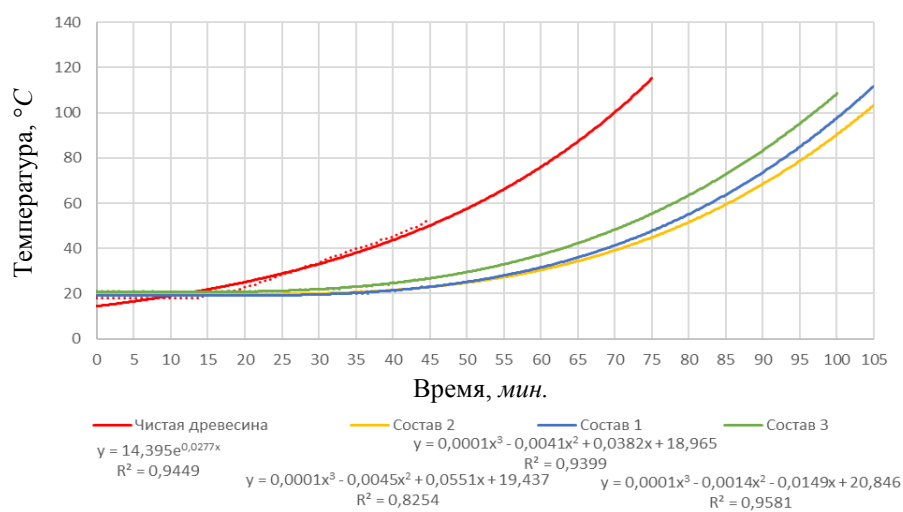
*расчётные значения



а)



б)



в)

Рис. 2. Данные контроля температуры прогрева в геометрическом центре конструкции на глубине 20 (а), 40 (б) и 60 (в) мм от поверхности

Априори снижение интенсивности прогрева деревянных конструкций при использовании огнебиозащитных составов должно привести к повышению пределов их огнестойкости. Предварительная расчётная оценка огнестойкости изгибаемых деревянных балок, с учётом полученных аналитических особенностей, свидетельствует о том, что импульсная глубокая пропитка огнебиозащитными составами может повышать предел огнестойкости ДК на 15 % и более. Подобный эффект был получен при огневых испытаниях деревянных балок с поверхностным нанесением огнезащитных составов, имеющих аналогичные механизмы огнезащиты [9]. Огнезащитная пропитка, несмотря на сравнительно небольшое количество её в поверхностном слое конструкции, способствовала повышала пределы огнестойкости деревянных балок до 12 %.

Способность предложенных огнебиозащитных пропиточных составов оказывать влияние на особенности формирования угольного слоя, его структуру и свойства позволяет в целом повысить пожарную безопасность деревянных конструкций.

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- импульсная глубокая пропитка древесины конструкционного назначения огнебиозащитными системами позволяет обеспечить достижение класса пожарной опасности К2(45) при поглощениях, соответствующих второй группе огнезащитной эффективности;

- применение импульсной глубокой пропитки древесины огнебиозащитными составами позволяет в значительной степени снизить уровень тепловыделения при горении деревянных конструкций. В процессе испытания на класс пожарной опасности температура в огневой и тепловой камерах на всем протяжении эксперимента не превышала допустимых значений. Средняя разница температур, по отношению к температурам при испытании конструкций из необработанной древесины, составляет от 50 до 100 °С;

- применение исследуемых огнебиозащитных составов не оказывает негативного влияния на скорость обугливания древесины, позволяет в значительной степени снизить динамику прогрева конструкций в зависимости от вида применяемого состава и расхода его нанесения (уровня его поглощения), что повышает предел огнестойкости ДК.

- последующие исследования должны быть направлены на выяснение особенностей влияния огнебиозащитных составов на структуру и свойства угольного слоя, взаимосвязь основных параметров процесса углеобразования и механизма огнезащитного действия средств огнезащиты с показателями пожарной опасности и огнестойкости ДК.

Литература

1. Деревянных Д. Н. Интенсификация автоклавной пропитки древесины хвойных пород переменным давлением : автореферат дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 1997. 18 с.
2. Ермолин В. Н. Повышение проницаемости древесины хвойных пород жидкостями : дис. ... д-ра техн. наук. Красноярск, 2001. 332 с.
3. Усовершенствование технологии пропитки древесины способом "прогрев-холодная ванна" с использованием амидофосфата / К. М. Озаркив И. М., Демчина Р. А. и др. // Известия ВУЗов: Лесной журнал. № 5. 2015. С. 154-164.
4. Archer K. Fundamental studies on the fungus cellar // Annual Convention of the British Wood Preserving and Damp-proofing Association. 1991. Pp. 51-59.
5. Banerjee K. A., Lew J. F. Fungal succession in wooden fence posts // Material und Organismen. 1971. 6/1. Pp. 43-47.
6. Асеева Р. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б. Горение древесины и её пожароопасные свойства : монография. М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. 262 с.
7. Антипирирование деревянных конструкций способом глубокой пропитки / Д. М. Нигматуллина, Е. И. Стенина, Е. Ю. Полищук и др. // Технологии техносферной безопасности. Вып. 5 (69). 2016. С. 56-61. URL: <http://academygps.ru/ttb> (дата обращения: 02.04.2017).
8. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80.
9. Повышение огнестойкости деревянных конструкций путем применения огнебиозащитных пропиточных составов / О. В. Арцыбашева, Е. Ю. Анохин, Е. Ю. Полищук и др. // Полимерные материалы пониженной горючести : матер. VIII междунар. конф. памяти академика Жубанова Б. А. Алма-Ата : КТИ КЧС МВД РК, 2017. С. 153-155.

References

1. Derevjannyh D. N. Intensifikacija avtoklavnoj propitki drevesiny hvojnyh porod peremennym davleniem (Intensification of autoclave impregnation of coniferous wood with variable pressure) : avtoreferat dis. ... kand. tehn. nauk. Krasnojarsk, 1997. 18 p.
2. Ermolin V. N. Povyshenie pronicaemosti drevesiny hvojnyh porod zhidkostjami (Increasing the permeability of coniferous woods by liquids) : dis. ... d-ra tehn. nauk. Krasnojarsk, 2001. 332 p.
3. Usovershenstvovanie tehnologii propitki drevesiny sposobom "progrevev-holodnaja vanna" s ispol'zovaniem amidofosfata (Improvement of the technology of impregnation of wood by the "warm-cold bath" method using amidophosphate) / K. M. Ozarkiv I. M., Demchina R. A. i dr., Izvestija VUZov: Lesnoj zhurnal. № 5. 2015. Pp. 154-164.
4. Archer K. Fundamental studies on the fungus cellar // Annual Convention of the British Wood Preserving and Damp-proofing Association. 1991. Pp. 51-59.
5. Banerjee K. A., Lew J. F. Fungal succession in wooden fence posts // Material und Organismen. 1971. 6/1. Pp. 43-47.
6. Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Gorenje drevesiny i ejo pozharoopasnye svojstva : monografija (Burning wood and its fire hazard properties). M. : Akademija GPS MChS Rossii, 2010. 262 p.
7. Antipirovanie derevjannyh konstrukcij sposobom glubokoj propitki (Wooden structures fire hardening by the method of deep impregnation) / D. M. Nigmatullina, E. I. Stenina, E. Ju. Polishhuk i dr., Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti. Vyp. 5 (69). 2016. Pp. 56-61. URL: <http://academygps.ru/ttb> (data obrashhenija: 02.04.2017).
8. SP 64.13330.2011. Derevjannye konstrukcii (Wooden constructions). Aktualizirovannaja redakcija SNIP II-25-80.
9. Povyshenie ognestojkosti derevjannyh konstrukcij putem primenenija ognebiozashhitnyh propitochnyh sostavov (Increase of fire resistance of wooden structures by using fire-retardant impregnating compounds) / O. V. Arcybasheva, E. Ju. Anohin, E. Ju. Polishhuk i dr., Polimernye materialy ponizhennoj gorjuchesti : mater. VIII mezhhdunar. konf. pamjati akademika Zhubanova B. A. Alma-Ata : KTI KChS MVD RK, 2017. S. 153-155.