

Д. М. НИГМАТУЛЛИНА, адъюнкт, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: Dinaraond81@mail.ru)

А. Б. СИВЕНКОВ, д-р техн. наук, доцент, ученый секретарь, профессор кафедры пожарной безопасности в строительстве, Учебно-научный комплекс проблем пожарной безопасности в строительстве, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: sivenkov01@mail.ru)

Е. Ю. ПОЛИЩУК, канд. техн. наук, докторант, Академия ГПС МЧС России (Россия, 129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4; e-mail: epyur@ya.ru)

Е. И. СЕНИНА, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры инновационных технологий и оборудования деревообработки, Институт лесопромышленного бизнеса и дорожного строительства, Уральский государственный лесотехнический университет (Россия, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37; e-mail: sten_elena@mail.ru)

В. М. БАЛАКИН, канд. хим. наук, доцент, профессор кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, Уральский государственный лесотехнический университет (Россия, 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37; e-mail: balakin_v.m@mail.ru)

УДК 614.841.1

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ПОЖАРООПАСНЫЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ С ГЛУБОКОЙ ПРОПИТКОЙ ОГНЕБИОЗАЩИТНЫМИ СОСТАВАМИ

Представлены результаты исследования влияния трех огнебиозащитных систем, различных по своей химической природе и механизму огнезащитного действия, при их глубоком введении в структуру древесного материала на физико-механические свойства и показатели пожарной опасности древесины. Установлено влияние степени поглощения и глубины пропитки на прочностные характеристики древесины и показатели ее пожарной опасности. Показано благоприятное влияние глубокой пропитки древесины при незначительной степени поглощения на снижение ее воспламеняемости и способности распространять пламя по поверхности. Обнаружено, что при введении в структуру древесины огнебиозащитных составов с данным уровнем поглощения ухудшения физико-механических показателей не происходит. Получены данные по снижению дымообразующей способности импрегнированной древесины исследуемыми составами.

Ключевые слова: древесина; деревянные конструкции; прочность; пожарная опасность; антипирены; глубокая пропитка.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.06.43-51

Введение

Благодаря высокой экологичности, возобновляемости растительного сырья и высоким эксплуатационным свойствам древесина как конструкционный и отделочный материал имеет неоспоримые преимущества перед иными традиционными и современными полимерными композиционными материалами. В то же время серьезным сдерживающим фактором, ограничивающим возможности ее применения в строительстве, является высокая пожарная опасность.

Для обеспечения пожарной безопасности древесины и конструкций на ее основе в строительстве

широкое распространение получили огнезащитные системы различного состава [1–3], которые могут либо наноситься на поверхность древесины, либо вводиться в ее объем с применением различных технических приемов пропитки.

В практике огнезащиты наибольшее распространение получила поверхностная обработка, что объясняется ее высокой доступностью, простотой, низкой стоимостью и практически полным отсутствием влияния на прочностные и иные эксплуатационные свойства древесины. Вместе с тем данный способ обработки имеет и ряд недостатков, связанных, в первую очередь, с ее низкой надежностью [4].

Глубокая пропитка ввиду высокой технологичности и стоимости обработки, а также потребности в специализированном оборудовании не получила широкого распространения при решении вопросов обеспечения пожарной безопасности. Кроме того, многие исследователи считают, что применение данного способа пропитки, с одной стороны, нецелесообразно для массивных деревянных конструкций [5], а с другой — крайне негативно влияет на их физико-механические свойства [6, 7].

Вместе с тем введение антипиренов в объем древесного материала в заводских условиях позволяет обеспечивать относительно высокую стабильность противопожарных свойств. Однако, как показывают результаты немногочисленных исследований, влияние глубокой пропитки на прочностные свойства древесины неоднозначно [5, 8]. Ряд проблемных вопросов, связанных с применением глубокой пропитки деревянных конструкций, был снят с развитием техники импульсной пропитки [9, 10], которая при меньших временных и энергетических затратах не приводит к формированию напряжений и повреждений внутри пропитываемого материала и позволяет обеспечить достаточный уровень поглощения.

Цели и задачи исследования

В настоящей работе была поставлена цель — изучить влияние огнезащитных систем, различных по своей химической природе, на физико-механические и пожароопасные свойства древесины. Для достижения этой цели необходимо было решить задачи установления уровней поглощения огнебиозащитных составов для обеспечения требуемых показателей прочности и пожарной опасности древесного материала.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования в работе использовались образцы древесины сосны, подготовленные в соответствии с требованиями стандартных методов исследования на прочность при сжатии вдоль волокон по ГОСТ 16483.10–73, при статическом изгибе по ГОСТ 16483.3–84 и при скалывании вдоль волокон по ГОСТ 16483.5–73, воспламеняемость по ГОСТ 30402–96, дымообразующую способность и индекс распространения пламени по ГОСТ 12.1.044–89.

Результаты исследования и их обсуждение

В рамках настоящей работы были проведены исследования физико-механических свойств и пожарной опасности древесины, обработанной с использованием трех огнезащитных систем [11]:

- 1) на основе раствора неорганических азот-фосфорсодержащих соединений (состав 1);
- 2) на основе органических азот-фосфорсодержащих соединений — промышленно выпускаемый огнебиозащитный состав Аммофон-1 (состав 2);
- 3) на основе органических пленкообразующих вспучивающихся веществ — продукт окисления растительных полисахаридов (ОПС) [12] (состав 3).

Физико-механические свойства исходной и обработанной огнебиозащитными системами древесины оценивались по трем показателям: прочности при сжатии вдоль волокон по ГОСТ 16483.10–73, при статическом изгибе по ГОСТ 16483.3–84 и при скалывании вдоль волокон по ГОСТ 16483.5–73.

Пропитка образцов древесины проводилась в лабораторном автоклаве (рис. 1) с применением импульсно-создаваемого глубокого вакуума и невысокого переменного гидродавления (вакуум-давление (ВД)) [10, 11].

Одной из основных проблем при проведении пропитки является разброс значений уровня поглощения, что объясняется высокой анизотропией свойств древесины, являющейся природным композиционным материалом. Кроме того, уровень поглощения в значительной степени зависит от геометрических размеров пропитываемого материала (снижение поглощающей способности наблюдается с увеличением размеров образцов). Даже в стандартных условиях различные образцы ведут себя неодинаково, поэтому для оценки влияния пропитывающих составов на прочностные характеристики древесины полученные данные сравнивались с результатами



Рис. 1. Внешний вид лабораторного автоклава
Fig. 1. The appearance of the laboratory autoclave

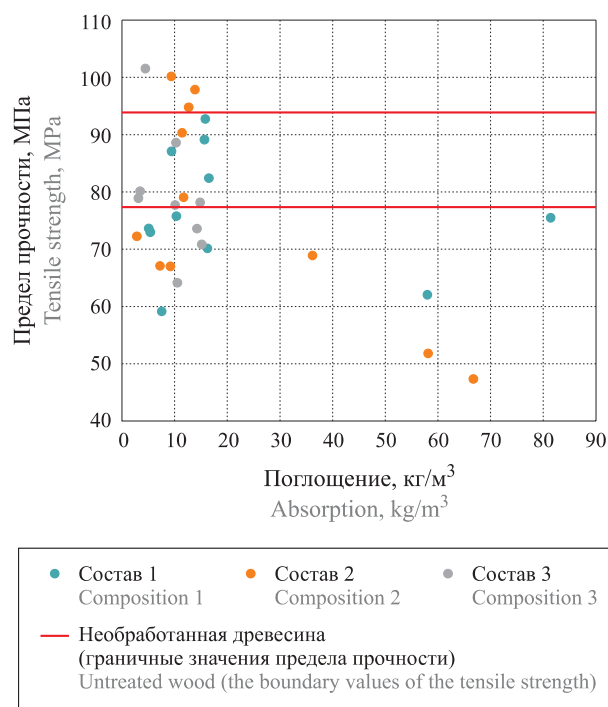


Рис. 2. Результаты испытаний образцов древесины на прочность при изгибе

Fig. 2. Test results of wood samples in terms of bending strength

испытаний необработанной древесины, а также с нормативными характеристиками [13].

Так, например, при проведении испытаний по установлению предела прочности на изгиб (рис. 2) выявлено, что при уровне поглощения до 20 кг/м^3 прочностные характеристики пропитанных образцов соответствуют необработанной древесине независимо от применяемого пропиточного состава.

Некоторое снижение прочности отмечается у образцов, пропитанных составом 2, при уровне поглощения более 50 кг/м^3 . Так, минимальное значение предела прочности при поглощении 66 кг/м^3 составило 47 МПа , что на 39% ниже минимального значения, полученного для необработанной древесины. Вместе с тем в соответствии с приложением В [14] для элементов класса К26 сорта 1 минимальное значение временного предела прочности на изгиб составляет 42 МПа .

Что касается состава 1, на основании полученных данных можно говорить об отсутствии негативного влияния его на прочностные характеристики древесины независимо от уровня поглощения. Так, при поглощении 81 кг/м^3 предел прочности составил $75,5 \text{ МПа}$, что только на 2% ниже минимального измеренного показателя для необработанной древесины.

При оценке влияния огнебиозащитных составов на показатели прочности при сжатии (рис. 3,а) и при скалывании (рис. 3,б) отмечается отсутствие негативного влияния составов 1 и 2.

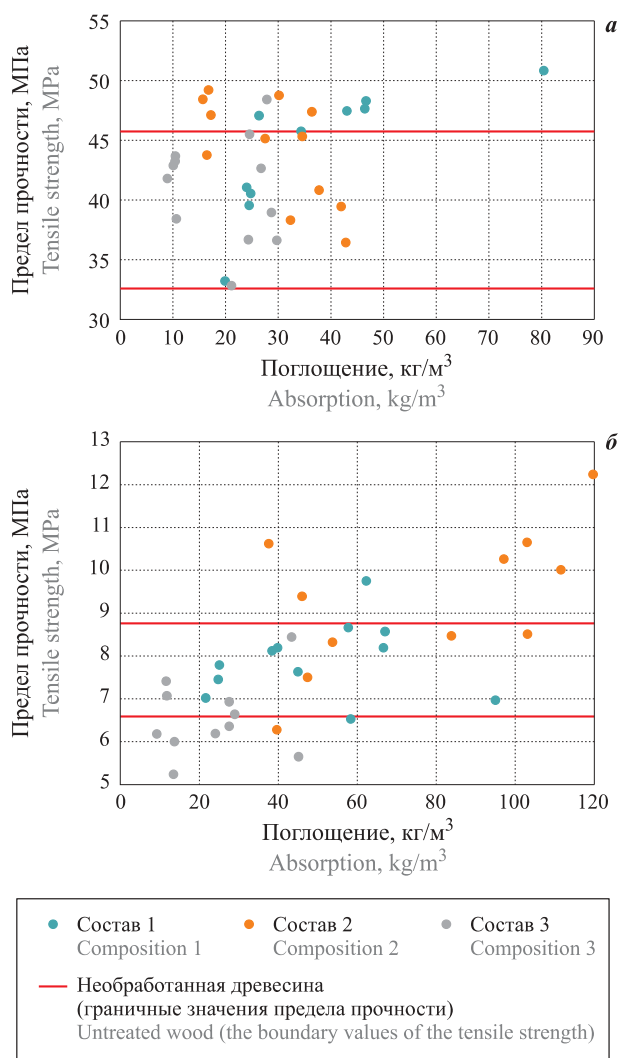


Рис. 3. Результаты испытаний образцов древесины на прочность при сжатии (а) и при скалывании (б)

Fig. 3. Test results of wood samples in terms of compressive strength (a) and of shear strength (б)

Состав 1 повышает предел прочности древесины на сжатие при больших значениях поглощения (более 40 кг/м^3), а состав 2 — предел прочности на скалывание при экстремально высоких значениях поглощения (более 80 кг/м^3). Некоторое снижение прочности на скалывание отмечается у состава 3: минимальное значение, полученное в ходе испытаний, на 13% ниже нормативного, приведенного в приложении В [14].

Таким образом, полученные данные позволяют говорить об отсутствии отрицательного влияния глубокой пропитки древесины огнезащитными составами на ее прочностные свойства, что определяет целесообразность проведения дальнейших исследований, направленных на выявление особенностей влияния различных антипиренирующих составов на показатели пожарной опасности элементов деревянных конструкций.

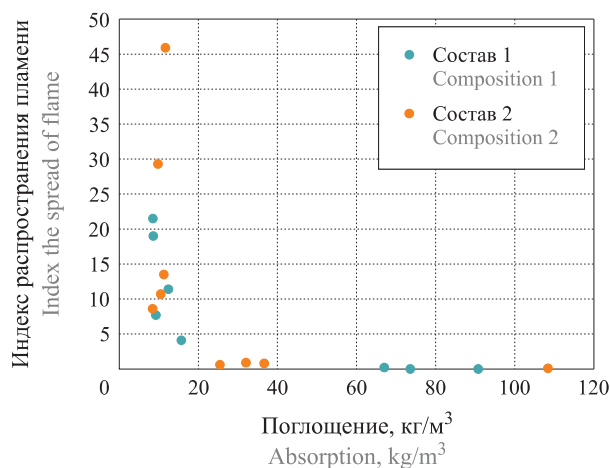


Рис. 4. Результаты определения индекса распространения пламени для древесины, пропитанной составами 1 и 2
Fig. 4. The results of the determination of the index the spread of flame for wood impregnated with compositions 1 and 2

Ранее [11] нами было показано, что огнезащитная эффективность составов при глубокой пропитке зависит не только от уровня поглощения и вида огнезащитного средства, но и от глубины его проникновения. Так, для состава 1 было установлено, что 1-я группа огнезащитной эффективности может быть достигнута при уровне поглощения 55 кг/м³ при введении состава на глубину до 1 мм, а при поглощении 30 кг/м³ — на глубину до 15 мм (сквозная пропитка стандартных образцов по ГОСТ Р 53292–2009). Это позволяет говорить о наличии потенциальных возможностей оптимизации процессов глубокой пропитки древесины, снижении расхода сырьевых компонентов и, соответственно, о повышении экономической привлекательности метода. В то же время по результатам испытаний на огнезащитную эффективность было показано, что состав 3, огнезащитное действие которого основано на формировании над поверхностью защищаемого материала защитного карбонизированного слоя, при введении в объем изделий не обеспечивает огнезащиты.

В рамках данной работы была проведена сравнительная оценка влияния глубокой пропитки ис-

Таблица 1. Классификация материала по ИРП в зависимости от поглощения антипиренов

Table 1. Classification of material on flame spread index on the magnitude of the absorption of flame retardants

Защитный состав Protective composition	Поглощение антипирена, кг/м ³ Absorption of flame retardants, kg/m ³		
	Материалы, не распространяющие пламя Do not distribute	Материалы, медленно распространяющие пламя Slowly distribute	Материалы, быстро распространяющие пламя Fast distribute
1	Более 25 Higher 25	Более 10 Higher 10	Менее 10 Below 10
2	Более 25 Higher 25	Более 9 Higher 9	Менее 9 Below 9
3	Не достигнута Not achieved		Менее 28 Below 28

следуемыми составами на ряд показателей пожарной опасности древесины, определенных в соответствии с [13].

Так, при исследовании влияния глубокой пропитки на воспламеняемость древесины по ГОСТ 30402–96 наилучшие показатели отмечены у состава 3, который согласно ГОСТ Р 53292–2009 не обладает огнезащитным действием. Высокая эффективность данного состава по показателю воспламеняемости относится, по всей видимости, к его способности заполнять поры древесного материала, препятствуя выходу на поверхность газообразных продуктов термического разложения, обеспечивая перевод древесины в группу по воспламеняемости В2 (критическая плотность теплового потока 20 кВт/м²) при уровне поглощения от 19 кг/м³, в то время как составы 1 и 2 позволяют получить подобные показатели воспламеняемости при поглощении 25 и 40 кг/м³ соответственно.

Хорошие характеристики при снижении распространения пламени по поверхности древесных материалов по ГОСТ 12.1.044–89* показали составы 1 и 2, при уровне поглощения которых более 10 кг/м³

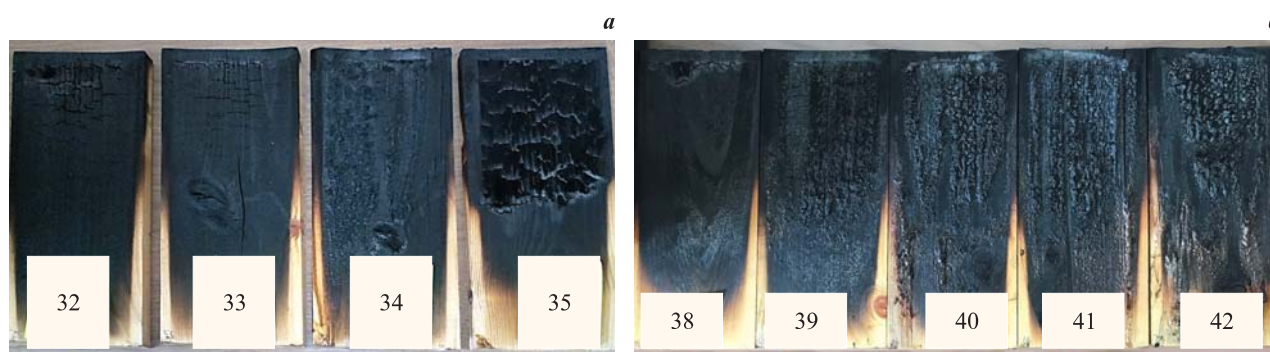


Рис. 5. Внешний вид образцов, пропитанных составами 1 (а) и 2 (б), после испытаний на определение ИРП
Fig. 5. Appearance of samples impregnated with liquid 1 (a) and 2 (b) after the test to determine the flame spread index

Таблица 2. Классификация материалов по прочностным показателям и пожарной опасности в зависимости от величины поглощения антипиренов

Table 2. Classification of materials on strength characteristics and fire hazard depending on the magnitude of the absorption of flame retardants

Показатель Property	Состав 1 Composition 1	Состав 2 Composition 2	Состав 3 Composition 3
<i>Характер влияния на прочностные характеристики материалов</i> <i>Effect on mechanical properties</i>			
Прочность на изгиб Bending strength	Не влияет (до 80 кг/м ³)* No effect (to 80 kg/m ³)*	Снижение (более 30–40 кг/м ³) Reduce (higher 30–40 kg/m ³)	Не влияет (до 15 кг/м ³) No effect (to 15 kg/m ³)
Прочность на сжатие Compression strength	Повышение (более 40 кг/м ³) Increasing (higher 40 kg/m ³)	Не влияет (до 45 кг/м ³) No effect (to 45 kg/m ³)	Не влияет (до 30 кг/м ³) No effect (to 30 kg/m ³)
Прочность на скалывание Shear strength	Не влияет (до 100 кг/м ³) No effect (to 100 kg/m ³)	Повышение (более 100 кг/м ³) Increasing (higher 100 kg/m ³)	Не влияет (до 45 кг/м ³) No effect (to 45 kg/m ³)
<i>Влияние на показатели пожарной опасности материалов</i> <i>Effect on fire properties</i>			
Воспламеняемость Flammability	Умеренно воспламеняемые (более 25 кг/м ³) Moderately flammable (higher 25 kg/m ³)	Умеренно воспламеняемые (более 40 кг/м ³) Moderately flammable (higher 40 kg/m ³)	Умеренно воспламеняемые (более 19 кг/м ³) Moderately flammable (higher 19 kg/m ³)
Индекс распространения пламени Flame spread index	Не распространяющие (более 25 кг/м ³) Do not distribute (higher 25 kg/m ³)		Быстро распространяющие (до 28 кг/м ³) Fast distribute (to 28 kg/m ³)
	Медленно распространяющие (более 10 кг/м ³) Slowly distribute (higher 10 kg/m ³)		
Дымообразующая способность Smoke generation	Д2 (40–75 кг/м ³) D2 (40–75 kg/m ³)	Д2 (40–75 и более 200 кг/м ³) D2 (40–75 and higher 200 kg/m ³)	Д2 (более 45 кг/м ³) D2 (higher 45 kg/m ³)
	Д1 (75–200 кг/м ³) D1 (75–200 kg/m ³)		Не достигается Not available
* В скобках указан уровень поглощения * In brackets the level of absorption.			

(рис. 4) обеспечивается перевод древесины в группу медленно распространяющих (табл. 1), а при расходе более 25–30 кг/м³ — в группу не распространяющих пламя по поверхности материалов.

Внешний вид образцов после испытания представлен на рис. 5.

Менее стабильные результаты продемонстрировали образцы древесины сосны, пропитанные составом 3. В данном случае при уровне поглощения 4–6 кг/м³ индекс распространения пламени изменялся от 5,8 до 27,9, в связи с чем данные материалы отнесены к материалам, быстро распространяющим пламя (см. табл. 1).

Что касается снижения дымообразующей способности, определяемой по ГОСТ 12.1.044–89*, все исследуемые составы обладают сравнительно одинаковой эффективностью, обеспечивая перевод древесины в группу Д2 при поглощении, близком к 40 кг/м³ (рис. 6).

Составы 1 и 2 способны обеспечить перевод древесины в группу материалов Д1, однако уровень поглощения (более 75 кг/м³) оказывается фактически

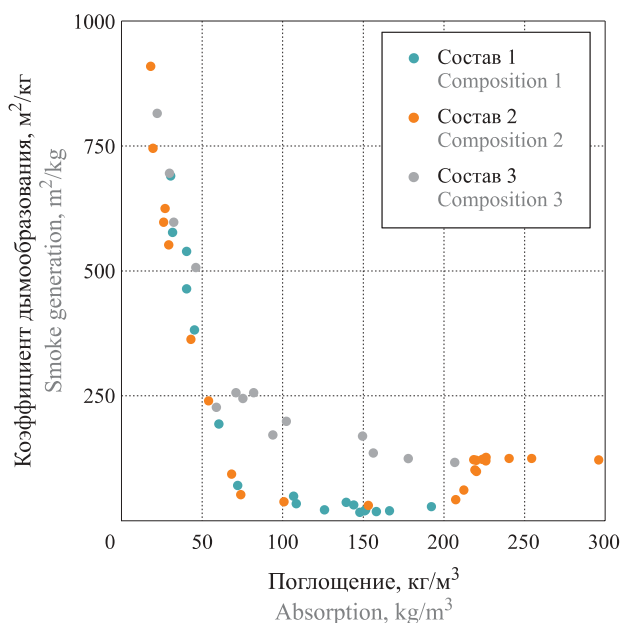


Рис. 6. Результаты испытаний на дымообразующую способность в зависимости от уровня поглощения

Fig. 6. The results of the test to determine smoke generation ability depending on the level of absorption

недостижимым для крупноразмерных образцов и является чрезмерным, поскольку в соответствии с [13] для конструкций классов пожарной опасности К1 и К2 достаточным условием является достижение группы Д2.

На примере состава 2 также интересно отметить, что при уровне поглощения более 200 кг/м^3 древесина вновь переходит в группу Д2, что, по всей видимости, можно связать с перенасыщением материала антипиренирующими веществами.

Таким образом, по результатам исследований можно выделить контрольные значения, характеризующие влияние уровня поглощения на физико-механические свойства и показатели пожарной опасности (табл. 2).

Выводы

Анализируя полученные данные, можно сделать следующие выводы:

1. Применение метода глубокой пропитки деревянных конструкций антипиренирующими составами позволяет потенциально обеспечить их перевод в класс конструктивной пожарной опасности К2 и К1 при поглощении от 40 кг/м^3 .

2. Использование для глубокой пропитки древесного материала составов, реализующих “технический” механизм защиты, нерационально. Ранее было установлено [11], что данные составы обладают низкой проникающей способностью при обработке крупноразмерных деталей из древесины, что не позволит достичь уровня поглощения, необходимого для снижения пожарной опасности защищаемых конструкций.

3. Применение огнезащитных систем на основе неорганических и органических азот-фосфорсодержащих соединений (составы 1 и 2) при их введении

в структуру древесного материала в объеме, достаточном для достижения нормативных значений пожарной опасности конструкций (см. табл. 6 в [13]), не оказывает негативного влияния на физико-механические свойства древесины.

Таким образом, полученные результаты демонстрируют, что введение огнебиозащитных составов в структуру древесины наиболее благоприятно влияет на такие показатели пожарной опасности, как воспламеняемость и способность к распространению пламени по поверхности. При этом необходимые уровни поглощения не приводят к ухудшению физико-механических показателей, что свидетельствует о перспективности применения метода глубокой пропитки для снижения пожарной опасности несущих и ограждающих конструкций из древесины, исключая возможность развития скрытого горения и быстрого развития пожара.

Наиболее сложным вопросом является снижение дымообразующей способности и токсичности продуктов горения, так как для достижения цели необходимо вводить в структуру древесины составы в объеме, превышающем экономически обоснованные уровни. Более того, в данном случае, действительно, может происходить некоторое снижение физико-механических показателей древесины и ее склеиваемости [5]. В то же время избыточная пропитка может эффективно использоваться для декоративных слоев клееных конструкций либо деревянных элементов, не выполняющих несущей функции и применяемых в отделке помещений, в том числе путей эвакуации. В данном случае с учетом, как правило, незначительных размеров деревянных отделочных элементов процесс избыточной пропитки не представляет сложности в технологическом отношении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Russell L. J., Marney D. C. O., Humphrey D. G., Hunt A. C., Dowling V. P., Cookson L. J.* Combining fire retardant and preservative systems for timber products in exposed applications — State of the art review / Forest and Wood Products Research and Development Corporation // Manufacturing & Products, Project number: PN04.2007. — 2004. — 35 p.
2. *Park H.-J., Wen M.-Y., Kang C.-W., Sun Y.-X.* Development of physical pretreatment method for wood fire retardant impregnation // BioResources. — 2017. — Vol. 12, No. 2. — P. 3778–3789. DOI: 10.15376/biores.12.2.3778-3789.
3. *Балакин В. М., Полищук Е. Ю.* Азот-фосфорсодержащие антипирены для древесины и древесных композиционных материалов (литературный обзор) // Пожаровзрывобезопасность. — 2008. — Т. 17, № 2. — С. 43–51.
4. *Полищук Е. Ю., Сивенков А. Б., Бирюков Е. П.* Нормативные требования к огнезащите древесины и экспертная оценка ее качества // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. — 2016. — № 2. — С. 77–80.
5. *Таубкин С. И.* Способы и средства огнезащиты древесины. — М.–Л. : Изд-во Наркомхоза РСФСР, 1944. — 76 с.

6. Сморгачев А. А., Орлов Д. А., Кретова В. М. Исследование влияния огнезащитной пропитки конструкций из древесины на их напряженно-деформированное состояние // Промышленное и гражданское строительство. — 2012. — № 4. — С. 20–21.
7. Ермолина Т. В., Ермолина А. В. Исследование свойств древесины, подвергнутой огнезащитной пропитке // Лесной и химический комплексы — проблемы и решения : материалы Всероссийской научно-практической конференции. — Красноярск : СибГТУ, 2007. — С. 27.
8. Soltani A., Hosseinpourpia R., Adamopoulos S., Taghiyari H. R., Ghaffari E. Effects of heat-treatment and nano-wollastonite impregnation of fire properties of solid wood // BioResources. — 2016. — Vol. 11, No. 4. — P. 8953–8967. DOI: 10.15376/biores.11.4.8953-8967.
9. Ермолин В. Н. Повышение проницаемости древесины хвойных пород жидкостями : дис. ... д-ра техн. наук. — Красноярск, 2001. — 332 с.
10. Стенина Е. И. Технология пропитки древесины мышьяксодержащими антисептиками : дис. ... канд. техн. наук. — Екатеринбург, 2009. — 199 с.
11. Нигматуллина Д. М., Стенина Е. И., Полищук Е. Ю., Сивенков А. Б. Антипирирование деревянных конструкций способом глубокой пропитки // Технологии техносферной безопасности : интернет-журнал. — 2016. — № 5(69). — 6 с. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/04-05-16.ttb.pdf> (дата обращения: 06.05.2017).
12. Пат. 2204547 Российская Федерация, МПК C07C 59/105 (2000.01), A62D 1/02 (2000.01), C09K 21/06 (2000.01), C09K 21/14 (2000.01), A62C 2/00 (2000.01), A62C 5/00 (2000.01), A62C 5/027 (2000.01). Интумесцентный коксообразующий антипирен, способ его получения, способ огнезащитной обработки горючего субстрата и способ тушения очага горения / Скибида И. П., Асеева Р. М., Сахаров П. А., Сахаров А. М. — № 2001119199/04; заявл. 12.07.2001; опубл. 20.05.2003, Бюл. № 14.
13. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон РФ от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 06.05.2017).
14. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции (актуализированная ред. СНиП II-25–80). — Введ. 20.05.2011. — М. : ОАО “ЦПП”, 2011.

Материал поступил в редакцию 10 мая 2017 г.

Для цитирования: Нигматуллина Д. М., Сивенков А. Б., Полищук Е. Ю., Стенина Е. И., Балакин В. М. Физико-механические и пожароопасные свойства древесины с глубокой пропиткой огнебиозащитными составами // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 6. — С. 43–51. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.06.43-51.

PHYSICAL, MECHANICAL AND FIRE PROPERTIES OF WOOD DEEP IMPREGNATED BY FLAME AND BIORETARDANTS

NIGMATULLINA D. M., Graduate Student, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: Dinaraond81@mail.ru)

SIVENKOV A. B., Doctor of Technical Sciences, Docent, Scientific Secretary, Professor of Fire Safety in Construction the Educational Research Center of Fire Safety in Construction, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: sivenkov01@mail.ru)

POLISHCHUK E. Yu., Candidate of Technical Sciences, Doctoral Candidate, State Fire Academy of Emercom of Russia (Borisa Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; e-mail: epyur@ya.ru)

STENINA E. I., Candidate of Technical Sciences, Docent, Associate Professor of Innovative Technologies and Equipment for Woodworking Department, Institute of Timber Processing Business and Road Construction, Ural State Forest Engineering University (Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: sten_elen@mail.ru)

BALAKIN V. M., Candidate of Chemical Sciences, Docent, Professor of Technology of Pulp and Paper Industries and Polymer Processing Department, Ural State Forest Engineering University (Sibirskiy Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: balakin_v.m@mail.ru)

ABSTRACT

This paper presents the results of research of influence on physical, mechanical and fire properties of wood to its impregnation with the use of three fire and bio protective systems:

1. The system is based on the solution of inorganic nitrogen — phosphorus-containing compounds (composition 1).

2. The system is based on organic nitrogen-phosphorus-containing compounds, which was used as the commercially available fire and bio protective composition Ammofon-1 (composition 2);

3. The system is based on organic film-forming intumescent substances, which was used as a product of oxidation of plant polysaccharides (composition 3).

The obtained results demonstrate that the introduction of the fire and bio protective compounds in the wood structure is the most positive effect on such indicators of fire hazard such as flammability and ability to spread flame over the surface. At the same time, the levels of absorption (from 25–30 kg/m³) do not lead to deterioration of physical and mechanical properties that says about the prospects of using the method of deep impregnation to reduce the fire hazard of bearing and enclosing structures made of wood, eliminating the possibility of the development of latent combustion and rapid development of the fire.

The most difficult issue is the reduction of smoke generation ability and toxicity of combustion products, to reduce which it is necessary to enter in the structure of the wood compounds in excess of commercially reasonable levels (more than 40 kg/m³). Moreover, in this case may indeed be some degradation of physical and mechanical properties of wood and its adhesion properties. At the same time, the excess impregnation can effectively be used for decorative layers of glued structures, or when using wooden elements (do not perform structure functions) in the decoration of the premises, including emergency exits. In this case, given the generally small size wooden finishing elements, the excess impregnation does not pose any technological difficulties.

The results of the work determined control values, characterizing the influence of absorption level on the physical, mechanical and fire properties of wood (see Table).

Classification of material on strength characteristics and fire hazard depending on the magnitude of the absorption of flame retardants

Property	Comp. 1	Comp. 2	Comp. 3
<i>Effect on mechanical properties</i>			
Bending strength	No effect (to 80 kg/m ³)*	Reduce (higher 30–40 kg/m ³)	No effect (to 15 kg/m ³)
Compression strength	Increasing (higher 40 kg/m ³)	No effect (to 45 kg/m ³)	No effect (to 30 kg/m ³)
Shear strength	No effect (to 100 kg/m ³)	Increasing (higher 100 kg/m ³)	No effect (to 45 kg/m ³)
<i>Effect on fire properties</i>			
Flammability	Moderately flammable (higher 25 kg/m ³)	Moderately flammable (higher 40 kg/m ³)	Moderately flammable (higher 19 kg/m ³)
Flame spread index	Do not distribute (higher 25 kg/m ³)		Fast distribute (to 28 kg/m ³)
	Slowly distribute (higher 10 kg/m ³)		
Smoke generation	D2 (40–75 kg/m ³)	D2 (40–75 kg/m ³ and higher 200 kg/m ³)	D2 (higher 45 kg/m ³)
	D1 (75–200 kg)		Not available
* In brackets the level of absorption.			

Keywords: wood; timber construction; strength; fire hazard; fire retardants; impregnation.

REFERENCES

1. Russell L. J., Marney D. C. O., Humphrey D. G., Hunt A. C., Dowling V. P., Cookson L. J. Combining fire retardant and preservative systems for timber products in exposed applications — State of the art review. Forest and Wood Products Research and Development Corporation. *Manufacturing & Products, Project number: PN04.2007*, 2004. 35 p.
2. Park H.-J., Wen M.-Y., Kang C.-W., Sun Y.-X. Development of physical pretreatment method for wood fire retardant impregnation. *BioResources*, 2017, vol. 12, no. 2, pp. 3778–3789. DOI: 10.15376/biores.12.2.3778-3789.
3. Balakin V. M., Polishchuk E. Yu. Nitrogen-phosphorus-containing flame retardants for wood and wood composite materials (literary review). *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 2, pp. 43–51 (in Russian).
4. Polishchuk E. Yu., Sivenkov A. B., Birukov E. P. Regulatory requirements to wood protection from fires and its quality expert assessment. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya / Fires and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2016, no. 2, pp. 77–80 (in Russian).
5. Taubkin S. I. *Sposoby i sredstva ognезashchity drevesiny* [The ways and means of fire protection of wood]. Moscow–Leningrad, Izdatelstvo Narkomkhoza RSFSR, 1944. 76 p. (in Russian).
6. Smorchkov A. A., Orlov D. A., Kretova V. M. Research of influence of fireproof impregnation of timber structures on their stressed-strained state. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitelstvo / Industrial and Civil Engineering*, 2012, no. 4, pp. 20–21 (in Russian).
7. Ermolina T. V., Ermolina A. V. The study of the properties of wood subjected to fire-resistant impregnation. In: *Lesnoy i khimicheskiy kompleksey — problemy i resheniya: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Forest and chemical complexes — problems and solutions. Proceedings of All-Russian Research and Practice Conference]. Krasnoyarsk, Siberian State Technological University Publ., 2007. 27 p. (in Russian).
8. Soltani A., Hosseinpourpia R., Adamopoulos S., Taghiyari H. R., Ghaffari E. Effects of heat-treatment and nano-wollastonite impregnation of fire properties of solid wood. *BioResources*, 2016, vol. 11, no. 4, pp. 8953–8967. DOI: 10.15376/biores.11.4.8953-8967.
9. Ermolin V. N. *Increased permeability of softwood liquids*. Dr. tech. sci. diss. Krasnoyarsk, 2001. 332 p. (in Russian).
10. Stenina E. I. *Technology impregnation wood preservatives arsenic*. Cand. tech. sci. diss. Yekaterinburg, 2009. 199 p. (in Russian).
11. Nigmatullina D. M., Stenina E. I., Polishchuk E. Yu., Sivenkov A. B. Wooden structures fire hardening by the method of deep impregnation. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti. Internet-zhurnal / Technology of Technosphere Safety. Internet-Journal*, 2016, issue 5(69). 6 p. (in Russian). Available at: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/04-05-16.ttb.pdf> (Accessed 6 May 2017).
12. Skibida I. P., Aseeva R. M., Sakharov P. A., Sakharov A. M. *Intumescent fire retardant foaming coke forming, method of its obtaining, method of fire-retardant treatment of combustible substrate and method of extinguishing the fire burning*. Patent RU, no. 2204547, publ. date 20.05.2003 (in Russian).
13. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 6 May 2017).
14. *Set of rules 64.13330.2011. Timber structures*. Moscow, Center of Design Production in Construction Publ., 2011 (in Russian).

For citation: Nigmatullina D. M., Sivenkov A. B., Polishchuk E. Yu., Stenina E. I., Balakin V. M. Physical, mechanical and fire properties of wood deep impregnated by flame and bioretardants. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 6, pp. 43–51 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.06.43-51.