

*Е. Ю. Полищук<sup>1</sup>, П. В. Халепя<sup>2</sup>, А. Б. Сивенков<sup>1</sup>*

*(<sup>1</sup>Академия ГПС МЧС России, <sup>2</sup>Специальное управление ФПС № 20 МЧС России;  
e-mail: epyur@ya.ru)*

## ДРЕВЕСИНА КАК ЭЛЕМЕНТ КОНСТРУКТИВНОЙ ОГНЕЗАЩИТЫ

Приводится краткий анализ работ в области огнезащиты древесины с точки зрения оценки перспектив её использования в качестве элемента конструктивной огнезащиты. Показано, что применение древесины в качестве конструктивной защиты позволяет обеспечить качество теплоизоляции защищаемой поверхности не ниже, чем у гипсоволокнистых плит, наиболее широко используемых для этих целей сегодня. При этом антипирирование древесины позволяет не только снизить уровень её пожарной опасности, но и повысить теплоизоляционные свойства образующегося угольного слоя.

Ключевые слова: древесина, огнезащита, конструктивная защита, тепловая защита, пожарная опасность, огнестойкость, строительные конструкции.

Общеизвестно, что независимо от функционального назначения, принятых архитектурных и дизайнерских решений любое здание или сооружение должно отвечать требованиям безопасности. При этом безопасность должна обеспечиваться как в процессе нормальной эксплуатации, так и в случае возникновения различных природных и техногенных аварий и катастроф, в том числе при возникновении пожаров.

В случае с пожарами, принятые проектные технические решения должны обеспечивать устойчивость конструкций в течение времени, необходимого для эвакуации людей и организации подразделениями пожарной охраны мер по локализации и тушению возгорания. Кроме того, конструкции, по возможности, не должны увеличивать пожарную нагрузку, способствуя тем самым формированию опасных факторов пожара.

Выполнение указанных требований определяет необходимость применения средств огнезащиты, независимо от того, способны ли материалы конструкции к самостоятельному горению или нет. В огнезащите одинаково нуждаются как конструкции из древесины, древесных композитов и других материалов органической природы, так и железобетонные и стальные конструкции.

Для целей огнезащиты конструкций из негорючих неорганических строительных материалов в соответствии с СП 2.13130<sup>1</sup> могут применяться тонкослойные (до 3 мм) вспучивающиеся покрытия, образующие в условиях пожара карбонизированный теплоизолирующий слой, обмазки, пасты, штукатурки, а также различные конструктивные решения, предполагающие применение термически толстых материалов.

<sup>1</sup> СП 2.13330.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты: свод правил

Для защиты материалов органической природы кроме вышеперечисленных способов могут использоваться различные антипирюющие вещества и составы, наносимые на поверхность защищаемого материала или вводимые в его объём [1-4]. Применение конструктивной защиты с использованием плитных материалов на основе неорганических вяжущих в настоящее время считается наиболее эффективным и надёжным способом огнезащиты, широко используемым во всём мире, который, однако, имеет ряд существенных недостатков, среди которых высокая стоимость и значительное утяжеление конструкций. Кроме того, некоторые виды плитных материалов в условиях повышенной влажности способны выделять химически агрессивные соединения, повышающие коррозионную активность металлов и сплавов [5]. Так же при использовании плитных материалов для защиты деревянных конструкций возможно нарушение условий "естественного дыхания" древесины, что определяет необходимость обеспечения воздушного зазора. Это, в свою очередь, может способствовать скрытому распространению горения в объёме конструкции.

Как отмечалось выше, пожарная опасность древесины может быть снижена с применением пропитывающих огнезащитных составов. Результаты исследований, проведённых ранее в Академии ГПС МЧС России [1-3], показали, что применение таких составов позволяет значительно повысить уровень пожарной безопасности деревянных конструкций. В случае внешнего огневого воздействия конструкции, подвергнутые глубокому антипирюванию, несмотря на протекание процессов термического разложения древесины, не оказывают негативного влияния на тепловой режим в зоне горения. Кроме того, такая обработка позволяет значительно снизить уровень дымообразования и исключает распространение горения по поверхности за пределы зоны прямого огневого воздействия [4].

Полученные результаты позволяют взглянуть на антипирюванную древесину как на материал, способный выполнять роль конструктивной огнезащиты. При этом, к главным преимуществам древесины относительно плитных материалов на минеральной основе относятся:

- способность клееных древесных материалов выполнять несущую функцию при нормальной эксплуатации и при стрессовых нагрузках в условиях чрезвычайных ситуаций, не связанных с пожарами [6, 7];
- высокие декоративно-эстетические характеристики древесины, без дополнительной обработки;
- простота механической обработки и возможность получения бесшовных обшивок сложной конфигурации;
- деревянные конструкции в среднем в 1,5-1,7 раза легче, чем плитные материалы при одинаковой толщине.

Кроме того, если рассматривать антипирюванные деревянные панели и плиты в качестве конструктивного огнезащитного материала для защиты деревянных конструкций, то высокая степень сродства материалов позволяет полностью исключить необходимость устройства воздушных зазоров. В данном случае защитный слой может быть смонтирован на лицевые поверхности защищаемых конструктивных элементов как в период строительства, так и в процессе получения деревоклееной конструкции.

Фактически при использовании в качестве огнезащиты обшивки из антипирированной древесины можно говорить об эффективном теплозащитном механизме действия. Принцип действия таких огнезащитных материалов реализуется за счёт тепловой и эрозионной защиты с учётом протекания физико-химических процессов разрушения материала под влиянием интенсивных термодинамических воздействий, сопровождающихся уносом его массы [8, 9].

Особенности поведения древесины в условиях огневого воздействия имеют ряд принципиальных отличий, определяющих преимущества обшивок из неё, перед традиционными способами конструктивной огнезащиты с использованием плитных материалов на основе минеральных вяжущих. Огнезащитные свойства гипсовых плит, наиболее широко используемых в качестве конструктивной огнезащиты, определяются их способностью выделять кристаллизационную воду. При этом, по мере обезвоживания, прочность таких материалов значительно снижается, происходит их растрескивание и дальнейшее прогрессирующее разрушение.

По данным [10], стандартные гипсоволокнистые листы толщиной 12,5 мм способны обеспечивать теплоизоляцию защищаемой конструкции в течение 15-18 мин в условиях стандартного температурного режима пожара, после чего температура под обшивкой начинает быстро расти, достигая критических значений для древесины (270 °С) и стальных конструкций (500 °С [11]) через 20-25 мин после начала огневого воздействия, а через 40 мин они полностью разрушаются (рис. 1).



**Рис. 1.** Состояние поверхности гипсовых плит через 35 (слева) и 44 (справа) мин в условиях воздействия стандартного температурного режима пожара [10]

При нормальных условиях древесина имеет схожие с минеральными плитами теплоизоляционные характеристики, обладая одновременно с этим меньшей плотностью – удельная масса древесины сосны примерно в 1,5-1,7 раз меньше, чем у гипсоволокнистых плит [12].

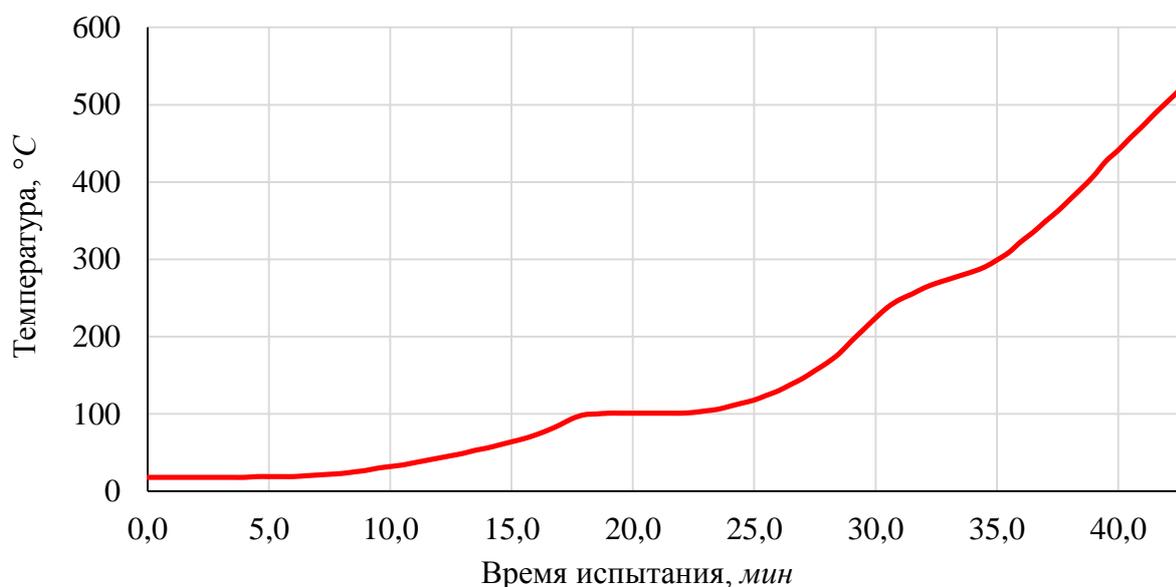
При воздействии пожара заметная потеря массы древесиной начинается при температурах от 80-100 °С, что обусловлено началом испарения воды и протекает в последующем в несколько стадий. При температурах, близких к 270 °С<sup>2,3</sup>, начинается процесс обуглероживания древесины. Интенсивность данного процесса может быть повышена с применением огнезащитных составов, в результате чего на поверхности древесины происходит постепенное формирование угольного слоя. Интенсивное выгорание образующихся угольных структур, которые, так же, как и исходная древесина, способны выполнять теплоизолирующую функцию, начинается при температурах выше 600 °С. Скорость протекания процессов окисления угольного слоя в значительной степени лимитируется условиями воздухообмена, а так же может быть снижена за счёт использования антипиренирующих систем, реализующих ингибирующий механизм огнезащиты и способствующих формированию более упорядоченных графитоподобных структур [1, 2]. Таким образом, за счёт применения различных антипиренирующих систем, помимо повышения уровня пожарной безопасности древесины, в значительной степени расширяются теплоизоляционные характеристики конструкций из неё.

При стандартном температурном режиме пожара обугливание не антипиренированной древесины начинается примерно через 3-4 мин после начала испытания и протекает со скоростью 0,6-1,0 мм/мин. При этом скорость обугливания зависит от толщины древесины, её влажности, сорта, вида и других факторов. Таким образом, для гарантированного повышения огнестойкости стальных конструкций до значения R45 и более достаточно обеспечить их обшивку деревянными элементами толщиной не менее 25-30 мм. Данные предположения подтверждаются результатами испытаний [4] соснового бруса, показавшие, что действительная динамика прогрева древесины оказывается гораздо ниже, чем у гипсовых плит. Так, на глубине 20 мм температура обугливания (270 °С) достигается только через 30 мин после начала эксперимента, а критическая для стальных конструкций температура (500 °С) достигается через 42 мин (рис. 2). С применением плитных материалов на основе гипса аналогичные результаты могут быть получены только при использовании 2-х или 3-х слоёв плит, общей толщиной 25-37,5 мм, что соответствует нагрузке на строительные конструкции от 21 до 32 кг на 1 м<sup>2</sup> защищаемой поверхности. При использовании обшивок из древесины при аналогичных толщинах нагрузка будет составлять от 12,5 до 19 кг.

Вместе с тем, в виду высокой пожарной опасности, характеризующейся высоким уровнем тепловыделения, способностью распространять горение по поверхности, склонностью к образованию дыма и токсичных газообразных продуктов термического разложения, а так же к развитию скрытого тлеющего горения, применение древесины без огнезащитной обработки является не допустимым.

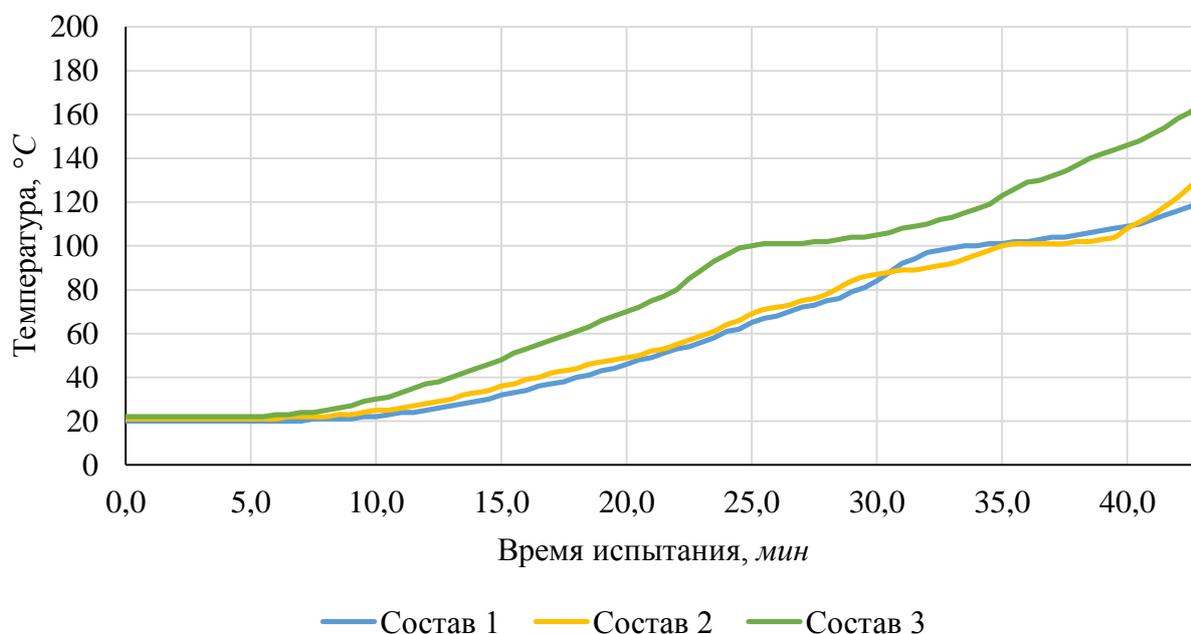
<sup>2</sup> EN 1995-1-2:2004 Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2: General. Structural fire design;

<sup>3</sup> СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80



**Рис. 2.** Динамика прогрева соснового бруса на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности [4]

Антипирирование древесины, как показывают результаты последних исследований, позволяет не только значительно снизить уровень её пожарной опасности [2], но и обеспечить модификацию свойств образующегося угля [1], повысить его теплоизоляционные свойства, тем самым обеспечивая снижение интенсивности прогрева (рис. 3) [4]. При этом можно свидетельствовать о заметном повышении огнестойкости деревянных конструкций даже при поверхностном нанесении огнезащитного состава [3].



**Рис. 3.** Динамика прогрева соснового бруса импрегнированного огнезащитными составами 1, 2 и 3 на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности [4]

Анализируя опубликованные в научных изданиях результаты исследований, приходится отметить, что в настоящее время фактически полностью отсутствуют работы, посвящённые исследованию способности древесины обеспечивать огнезащиту строительных конструкций. В подавляющем большинстве случаев исследователи пытаются изучать эффективность различных способов и видов огнезащиты самого древесного материала или конструкций на основе древесины [13].

Соответственно, сегодня можно оценить возможности такого способа защиты только по данным, полученным при решении иных задач. В качестве исключения можно представить предложенные исследователями из Японии технические решения [14], предусматривающие применение импрегнированной огнезащитными составами древесины для защиты как деревянных, так и стальных конструкций.

Таким образом, учитывая возрастающий интерес к деревянному домостроению, а так же результаты многочисленных исследований, показывающие возможность значительного снижения пожарной опасности древесного материала и повышения теплоизоляционных свойств образующегося угля [1-4], перспективным представляется проведение целенаправленного исследования возможностей древесины как элемента конструктивной огнезащиты для различных конструкций, в том числе для конструкций из негорючих материалов.

### Литература

1. *Анохин Е. А.* Повышение класса пожарной опасности деревянных конструкций длительного срока эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. 236 с.
2. *Нигматуллина Д. М.* Снижение пожарной опасности деревянных конструкций способом глубокой пропитки огнебиозащитными составами: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03. М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. 201 с.
3. *Арцыбашева О. В., Асеева Р. М., Полищук Е. Ю., Серков Б. Б., Сивенков А. Б.* Огнестойкость деревянных конструкций с огнезащитными пропиточными составами // Технологии техносферной безопасности. Вып. 1 (77). 2018. С. 12-21. <http://academygps.ru/ttb>.
4. *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. Вып. 3 (73). 2017. С. 64-71. <http://academygps.ru/ttb>.
5. *Гравит М. В., Недрышкин О. В., Вайтицкий А. А.* Аспекты применения стекломагнезиальных листов в строительстве // Архитектура и строительство в России. № 1. 2017. С. 111-116.
6. *Green M. C., Karsh J. E.* The case for tall wood buildings / Architecture + Design equilibrium consulting LMDG Ltd BTY Group. 2012. 240 p.
7. *Jhon S., Nebel B., Perez N., Buchanan A.* Environmental impacts of multi-storey buildings using different construction materials // Research report: Department of Civil and Natural resources engineering University of Canterbury Christchurch, New Zealand, 2009. 204 p.

8. Горский В. В. Теоретические основы расчёта абляционной тепловой защиты. М.: Научный мир, 2015. 687 с.
9. Макаров А. А. Термическое разложение древесины в режиме быстрого абляционного пиролиза: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. Казань: КНИТУ, 2011. 144 с.
10. Just A., Schmid J., Konig J. Gypsum plasterboards used as fire protection – Analysis of a database / SP Technical research institute of Sweden, SP Report: 2010:29, 2010. 30 p.
11. Пособие по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, параметров пожарной опасности материалов. Порядок проектирования огнезащиты. Справочный материал. М.: НИЦ Строительство, 2013. 45 с.
12. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л. Справочник по строительному материаловедению. М.: Инфра-инженерия, 2010. 472 с.
13. Aseeva R., Serkov B., Sivenkov A. Fire behavior and fire protection in timber buildings // Springer Science, 2014. 290 p.
14. Ohashi H., Igarashi S., Nagaoka T. Development of wood structural elements for fire resistant buildings // Journal of Structural Fire Engineering. Vol 9. Issue 2. 2017. Pp.126-137. <https://doi.org/10.1108/JSFE-11-2016-0019>.

*Материал поступил в редакцию 13 августа 2018 г.*

**Для цитирования:** Полицук Е. Ю., Халепа П. В., Сивенков А. Б. Древесина как элемент конструктивной огнезащиты // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 1 (83). – 2019. – С. 34-41. DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.34-41.

*E. Yu. Polishchuk, P. V. Khalepa, A. B. Sivenkov*

## WOOD AS AN ELEMENT OF STRUCTURAL FIRE PROTECTION

Currently, there is a growing interest in the use of wood in construction as a structural material worldwide. At the same time, in most cases, wood is considered only as a material in need of fire protection and its ability to fulfill the role of thermal insulation protection is not taken into account. However, as the analysis of research results shows, in their capabilities, wood is not inferior to currently used materials based on inorganic binders, even without the use of flame retardant treatment. Fire-retardant treatment by deep impregnation can significantly improve the thermal insulation properties of wood and char formed, as well as significantly reduce the fire danger, which suggests the prospect of a purposeful study of the possibilities of wood as a structural element of fire protection for various structures, including structures made of non-combustible materials.

Key words: wood, fire protection, structural protection, heating protection, fire hazard, fire resistance, building construction.

### References

1. Anokhin E. A. *Povyshenie klassa pozharnoi opasnosti derevyannykh konstruksii dlitel'nogo sroka ekspluatatsii* [Increasing the class of fire danger of wooden structures of long service life]. PhD in Tech. Sci. diss.: 05.26.03, Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2017, 236 p.
2. Nigmatullina D. M. *Snizhenie pozharnoi opasnosti derevyannykh konstrukcij sposobom glubokoj propitki ognеbiozashchitnymi sostavami* [Reducing the fire hazard of wooden structures by deep impregnation with fire-bioprotective compounds]. PhD in Tech. Sci. diss.: 05.26.03, Moscow, State Fire Academy of Emercom of Russia Publ., 2018, 201 p.
3. Artsybasheva O. V., Aseeva R. M., Polishchuk E. Yu., Serkov B. B., Sivenkov A. B. Fire resistance of wooden structures with fire protective compounds. *Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 1 (77), 2018, pp. 12-21. Available at: <http://academygps.ru/ttb> (in Russian).
4. Nigmatullina D. M., Polishchuk E. Yu., Sivenkov A. B., Stenina E. I., Balakin V. M. The fire hazard of wooden structures with deep fire and bio protective impregnation compositions. *Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 3 (73), 2017, pp. 64-71. Available at: <http://academygps.ru/ttb> (in Russian).
5. Gravit M. V., Nedryshkin O. V., Vaititskii A. A. *Aspekty primeneniya steklomagnitnykh listov v stroitel'stve* [Aspects of using magnesium oxide wallboard in construction]. *Arkhitektura i stroitel'stvo v Rossii / Architecture and construction in Russia*, no. 1, 2017, pp. 111-116.
6. Green M. C., Karsh J. E. The case for tall wood buildings. Architecture + Design equilibrium consulting LMDG Ltd BTY Group, 2012. 240 p.
7. Jhon S., Nebel B., Perez N., Buchanan A. Environmental impacts of multi-storey buildings using different construction materials. Research report: Department of Civil and Natural resources engineering University of Canterbury Christchurch, New Zealand, 2009, 204 p.
8. Gorskii V. V. *Teoreticheskie osnovy rascheta ablyatsionnoi teplovoi zashchity* [Theoretical basis for calculating ablation thermal protection]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2015, 687 p.
9. Makarov A. A. *Termicheskoe razlozhenie drevesiny v rezhime bystrogo ablyatsionnogo piroliza* [Thermal decomposition of wood in the mode of fast ablative pyrolysis]. PhD in Tech. Sci. diss.: 05.21.03, Kazan, Kazan National Research Technological University Publ., 2011, 144 p.
10. Just A., Schmid J., Konig J. Gypsum plasterboards used as fire protection – Analysis of a database. SP Technical research institute of Sweden, SP Report: 2010:29, 2010, 30 p.
11. Posobie po opredeleniyu predelov ognestoikosti stroitel'nykh konstruksii, parametrov pozharnoi opasnosti materialov. Poryadok proektirovaniya ognезashchity. Spravochnyi material [Manual to determine the limits of fire resistance of building structures, fire hazard materials. The order of design of fire protection. Reference material]. Moscow, Research Center "Construction" Publ., 2013, 45 p.
12. Dvorkin L. I., Dvorkin O. L. *Spravochnik po stroitel'nomu materialovedeniyu* [Handbook of building materials science]. Moscow, Infra-inzheneriya Publ., 2010. 472 p.
13. Aseeva R., Serkov B., Sivenkov A. Fire behavior and fire protection in timber buildings. *Springer Science*, 2014, 290 p.
14. Ohashi H., Igarashi S., Nagaoka T. Development of wood structural elements for fire resistant buildings. *Journal of Structural Fire Engineering*, vol. 9, issue 2, 2017, pp.126-137. <https://doi.org/10.1108/JSFE-11-2016-0019>.

**For citation:** Polishchuk E. Yu., Khalepa P. V., Sivenkov A. B. Wood as an element of structural fire protection. *Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 1 (83), 2019, pp. 34-41 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2019.1.83.34-41.