

Научная статья

УДК 614.849; DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-123-134

## **ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ И ОГНЕСТОЙКОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОГНЕЗАЩИТОЙ**

**Федотов Илья Олегович.**

**Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия.**

✉ **Сивенков Андрей Борисович;**

**Нигматуллина Динара Магафуровна.**

**Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России, г. Балашиха, Россия**

✉ [sivenkov01@mail.ru](mailto:sivenkov01@mail.ru)

*Аннотация.* Рассмотрены результаты многолетних исследований по изучению эффективности различных видов огнезащиты для материалов и конструкций на основе древесины. Установлены принципиальные отличия конструктивной и неконструктивной огнезащиты в отношении процесса обугливания и прогрева деревянных конструкций. Проведен анализ возможности достижения требуемых показателей пожарной опасности и огнестойкости деревянных конструкций при использовании огнезащитных средств. Определены перспективы и пути совершенствования огнезащитных технологий для высотного деревянного домостроения.

*Ключевые слова:* древесина, деревянные конструкции, деревянное домостроение, огнестойкость, пожарная опасность, огнезащита, антипирены

**Для цитирования:** Федотов И.О., Сивенков А.Б., Нигматуллина Д.М. Пожарная опасность и огнестойкость деревянных конструкций с огнезащитой // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 3 (71). С. 123–134. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-123-134.

Scientific article

## **FIRE HAZARD AND FIRE RESISTANCE OF WOODEN STRUCTURES WITH FIRE PROTECTION**

**Fedotov Ilya O.**

**Academy of State fire service of EMERCOM of Russia, Moscow, Russia.**

✉ **Sivenkov Andrey B.;**

**Nigmatullina Dinara M.**

**Russian order of the Badge of Honor scientific research institute of fire protection of EMERCOM of Russia, Balashikha, Russia**

✉ [sivenkov01@mail.ru](mailto:sivenkov01@mail.ru)

*Abstract.* The article discusses the results of research into the effectiveness of various types of fire retardants (non-structural, structural and combined) to ensure the required fire hazard and fire resistance performance of wooden structures. The analysis of the research results is aimed at establishing the possibility of using different types of fire protection for the sphere of multi-storey wooden house building, which has a dynamic development all over the world.

*Keywords:* wood, wooden structures, wooden house building, fire resistance, fire hazard, fire protection, fire retardants

**For citation:** Fedotov I.O., Sivenkov A.B., Nigmatullina D.M. Fire hazard and fire resistance of wooden structures with fire protection // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2024. № 3 (71). P. 123–134. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-3-123-134.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2024

## Введение

За многовековую историю применения древесины в качестве строительного конструкционного материала во всем мире накоплен обширный научно-технический и промышленный опыт в сфере деревянного домостроения. В последние десятилетия деревянные конструкции зарекомендовали себя с положительной стороны при строительстве многоэтажных зданий и сооружений [1, 2]. Вопросы обеспечения пожарной безопасности объектов с применением конструкций из древесины стали актуальны во второй половине 90-х гг. прошлого столетия по причине снятия ограничений в нормативных документах ряда зарубежных стран в части строительства зданий и сооружений из древесины более трех этажей [1–3]. В России к масштабному обсуждению вопросов обеспечения пожаробезопасности материалов и конструкций на основе древесины подошли только в 2000-х гг., когда появились первые перспективные проекты возведения многоэтажных зданий с применением деревянных конструкций. В последние годы в нашей стране обсуждаемый вопрос приобрел чрезвычайно важный характер по причине государственной поддержки проектов в сфере многоэтажного деревянного домостроения. В этом плане важнейшее значение имеет нормативное регулирование в области пожарной безопасности подобных зданий с применением деревянных конструкций [4], в основе которого лежит, прежде всего, обеспечение безопасности людей в случае возникновения пожара. Технические решения в свете реализации обязательных требований Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» по обеспечению требуемых показателей пожарной опасности и огнестойкости деревянных конструкций в данном случае связаны с применением различных видов огнезащиты. В 90-е гг. XX в. в России исследования были направлены в большей степени на изучение огнезащитной эффективности составов и веществ для древесины по ГОСТ 16363–98 «Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств» (в настоящее время – ГОСТ Р 53292–2009 «Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе. Общие требования. Методы испытаний» (ГОСТ Р 53292–2009)). В связи с этим в различных нормативных документах достаточно часто можно встретить группу огнезащитной эффективности. Лишь в 2000-х гг. пришло осознание необходимости оценки эффективности средств огнезащиты в отношении материалов и конструкций на основе древесины. В этом случае исследования носили в большей степени адресный характер для производимых российскими и зарубежными компаниями огнезащитных материалов [5–7].

В отношении применения неконструктивных видов огнезащиты, опираясь на анализ ретроспективных данных, можно сделать вывод о том, что применение этих видов огнезащитных средств, как правило, не рассматривается в качестве эффективных мероприятий по обеспечению нормируемых показателей пожарной опасности и огнестойкости деревянных конструкций. Данная ситуация в большей степени сложилась в силу ограниченности исследований эффективности огнезащитных составов и покрытий для снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости конструкций из древесины. В связи с этим, несмотря на появление новаций и концептуальных решений по применению деревянных конструкций для многоэтажных зданий и сооружений, проблема применения различных видов огнезащиты для деревянных конструкций остается чрезвычайно актуальной.

## Результаты исследований и их обсуждение

В свете развития сферы деревянного домостроения с позиций их возможного применения могут рассматриваться три основных направления огнезащиты: конструктивная и неконструктивная огнезащита, а также их комбинация. Особенностью конструктивной огнезащиты (обмазки, штукатурки, пасты, плитные материалы) является смещение или задержка периода времени прогрева древесины до критических температур, способствующих снижению механических характеристик конструкций, началу процесса обугливания (переугливания) древесины. Для неконструктивной огнезащиты (огнезащитные лаки и краски, покрытия, антипирены) характерно непосредственное влияние на процесс

обугливания, а также на интенсивность прогрева материалов и конструкций на основе древесины [8–12]. Комбинированные виды огнезащиты позволяют комплексно оказывать влияние на основные временные стадии, предшествующие наступлению предела огнестойкости деревянных конструкций. Оптимальное сочетание комбинированных методов огнезащиты, достижение их взаимного синергического эффекта – путь значительного снижения пожарной опасности и повышения огнестойкости деревянных строительных конструкций.

Главным процессом, определяющим пожарную опасность и огнестойкость деревянных конструкций, является процесс обугливания. С одной стороны, особенности формирования обугленного слоя сказываются на формировании защитного поверхностного слоя, способного значительно снизить пожарную опасность древесины, материалов и конструкций на ее основе. На этом принципе основаны многие механизмы огнезащитного действия для древесины и иных полимерных материалов, используемых в строительстве. С другой стороны, процесс обугливания сопровождается уменьшением размера рабочего сечения конструкций, что является определяющим при рассмотрении вопросов огнестойкости деревянных конструкций.

Предел огнестойкости деревянного элемента или конструкции из условия потери их несущей способности может быть представлен выражением:

$$P_{\phi} = \tau_0 + \tau_{cr} = \tau_0 + (Z_{cr} - \delta)/V = \tau_0 + Z_{fcr}/V, \quad (1)$$

где  $\tau_0$  – время от начала огневого воздействия на древесину температуры при пожаре до начала обугливания, воспламенения, самовоспламенения;  $\tau_{cr}$  – время от начала обугливания, воспламенения, самовоспламенения древесины до наступления предельного состояния при пожаре.

Рассмотрение подходов к разработке и применению огнезащитных средств для обеспечения требуемых показателей пожарной опасности и огнестойкости деревянных конструкций можно представить в виде структурно-логической схемы (рис. 1).

В основе рассмотрения эффективности огнезащитных средств лежит возможность их влияния на процесс обугливания. В нормативной практике согласно СП 64.13130.2017 «Деревянные конструкции» (СП 64.13130.2017) для древесины используют значение температуры начала обугливания 270 °С. Здесь можно также обозначить еще некоторые пороговые значения температур, при которых происходят значимые физико-химические и термические преобразования древесного комплекса, а именно: 100, 200 и 300 °С [8].

В связи с этим ключевой является работа [13], охватывающая изучение влияния различных видов огнезащиты на обугливание и прогрев деревянного массива. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии эффективности некоторых огнезащитных покрытий (ВПД, ОФП-9) в снижении интенсивности прогрева конструкции по сечению [13], а также наличие переугливания древесины под слоем покрытия. Подобный эффект неоднократно наблюдался в ходе исследований авторов при изучении эффективности различных конструктивных видов огнезащиты.

Наиболее доступными среди огнезащитных материалов являются штукатурные составы на основе различных минеральных наполнителей, обладающие теплоизолирующим механизмом огнезащитного действия. Как показали результаты огневых испытаний сборной ограждающей деревянной конструкции со штукатурным слоем (штукатурка по металлической сетке с ячейкой 10x10 мм), в зависимости от толщины (15–20 мм) наблюдается задержка воспламенения древесины в огневой камере от 22 до 44 мин. Обращает на себя внимание тот факт, что для незащищенного деревянного массива толщиной 20 мм время достижения температуры 100 °С составляет 20 мин, что фактически сопоставимо с эффектом для штукатурного покрытия аналогичной толщины. Наряду с толщиной покрытия на интенсивность прогрева штукатурного материала в значительной степени влияет механическая и термическая прочность слоя, во многом зависящая от степени завершенности процесса отверждения неорганического вяжущего.

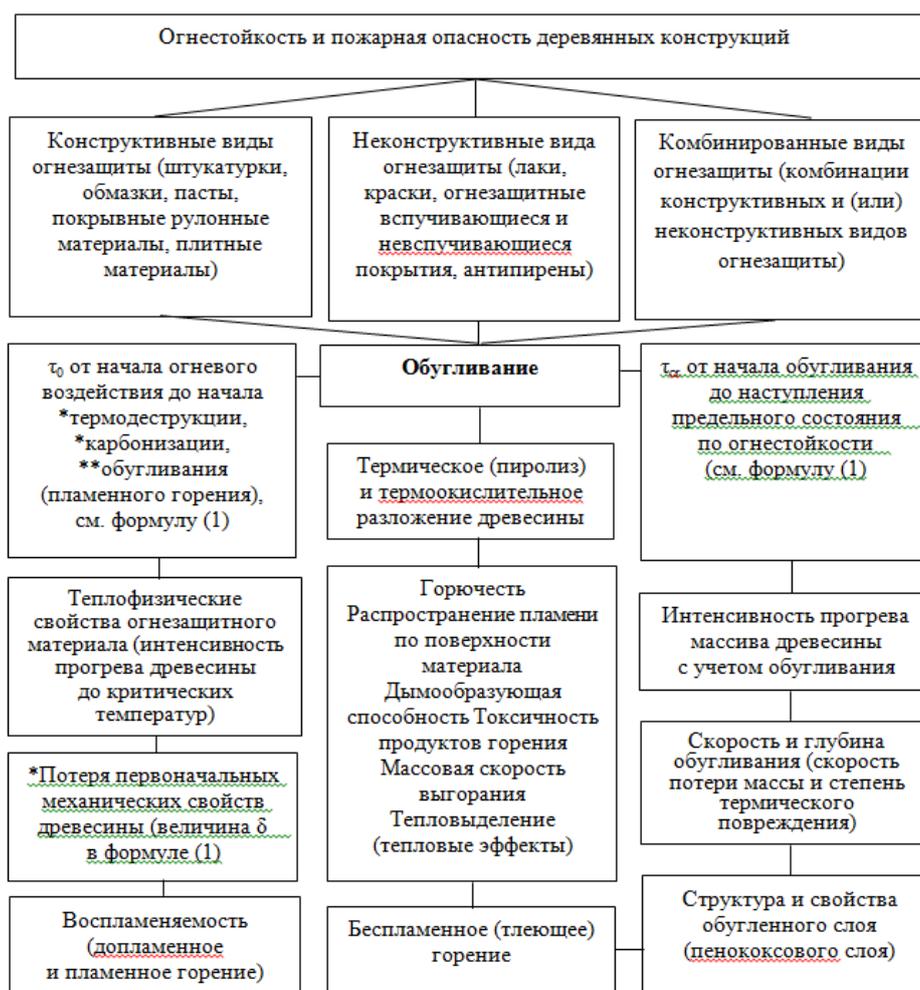


Рис. 1. Структурно-логическая схема разработки и применения огнезащитных средств для деревянных конструкций:

- \* – температуры 200–270 °С – термодеструктивные превращения и карбонизация древесины;  
 \*\* – температура 270 °С – обугливание древесины (в соответствии с СП 64.13130.2017)

В тепловой камере в процессе испытания на класс пожарной опасности температуры на поверхности деревянной конструкции при различных толщинах штукатурки практически одинаковы и не достигают пожароопасных значений в течение 45 мин. После полного остывания печи по итогам оценки повреждений ограждающая конструкция, имеющая штукатурный слой толщиной 15 мм, была отнесена к классу пожарной опасности К1(45), длина повреждений составила 173 мм при допустимых для данного класса пожарной опасности 50 мм. Ограждающая конструкция, имеющая штукатурный слой толщиной 20 мм, была отнесена к классу К2(45), длина повреждений под штукатуркой превысила предельно допустимые значения для класса К1 и составила 260 мм. По сути, ограждающая конструкция с более массивной конструктивной защитой (толщина штукатурки 20 мм), имеющая лучшую теплоизоляционную способность в процессе испытания, по степени термического повреждения показала наихудшие результаты, что можно объяснить ее большей инертностью и механическим разрушением. При использовании штукатурных покрытий ожидаемым является переугливание древесины под слоем покрытия. В части прогрева, анализируя ранее проведенные работы, например [14], гипсокартонный лист обеспечивает аналогичную теплоизоляцию защищаемой деревянной поверхности. Задержка воспламенения при использовании огнезащитной плиты толщиной 15 мм составляет менее 20 мин. Представленные данные подтверждаются также и результатами собственных исследований.

В рамках исследования перспективных направлений развития огнезащитных технологий проведены исследования эффективности пленочных покрытий для огнезащиты материалов и конструкций на основе древесины [15]. Все полученные в процессе исследований ламинирующие покрытия согласно методике по ГОСТ Р 53292–2009 были отнесены к I и II группам огнезащитной эффективности в зависимости от количества функциональных слоев и химической природы компонентов. Применение покрытий на основе стеклотканей позволяет обеспечивать получение устойчивой группы В2 (умеренновоспламеняемые) по ГОСТ 30402–96 «Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость». Более эффективными оказались фольгированные стеклотканые и бумажные покрытия, которые позволяют получить устойчивую группу В1 (трудновоспламеняемые), обеспечивая устойчивость к тепловому потоку не менее  $40 \text{ кВт/м}^2$ . В результате проводимых испытаний защищаемая поверхность практически не имела признаков обугливания. Для подтверждения эффективности покрытий на основе фольгированной бумаги были проведены испытания панелей CLT по ГОСТ 30247.0–94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования» (ГОСТ 30247.0–94) и по ГОСТ 30403–2012 «Конструкции строительные. Метод испытания на пожарную опасность» (ГОСТ 30403–2012). Было отмечено, что средняя скорость обугливания древесины без огнезащиты и с фольгированным покрытием отличалась незначительно: в пределах  $0,7 \dots 0,8 \text{ мм/мин}$ . Несмотря на это, в условиях тепловой камеры поверхность древесины имела только поверхностные признаки обугливания на глубину не более 2 мм, что позволяет говорить о потенциальной возможности достижения класса пожарной опасности К0(30–45) для деревянных конструкций с пленочной огнезащитой на основе фольгированных тканей или бумаг. Сравнительный анализ динамики прогрева испытуемых образцов показывает (рис. 2), что огнезащитное покрытие оказывает незначительное влияние на динамику прогрева образцов в диапазоне температур начала разложения древесины (до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ ) [15].

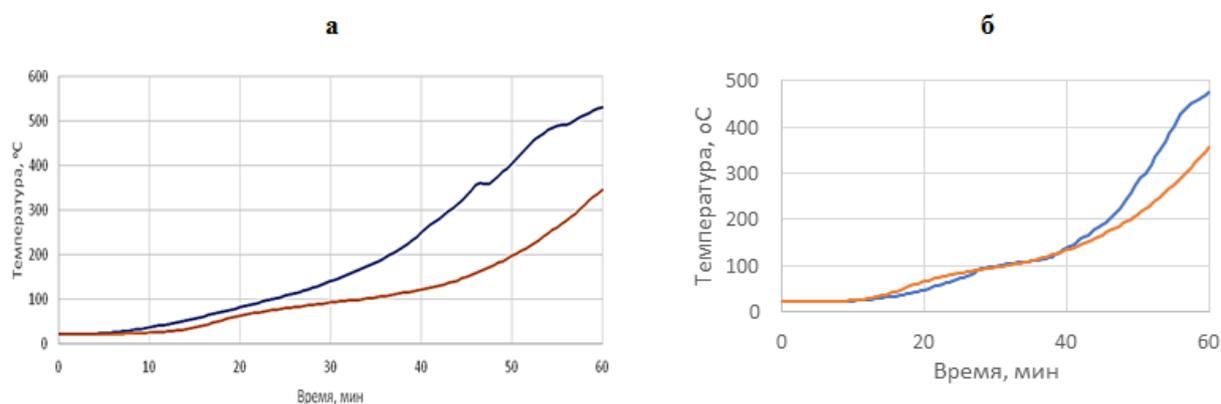


Рис. 2. Динамика прогрева деревянного бруса на глубине (а) 20, (б) 30 мм от экспонируемой поверхности: — без огнезащиты; — с огнезащитным пленочным покрытием

В указанном температурном диапазоне скорость роста температур, по всей видимости, определяется исключительно особенностями конкретного образца древесины. По результатам испытаний площадь повреждений для образца с огнезащитным покрытием не превысила 40 %, в то время как у образца без огнезащиты полностью обугленными оказались обе торцевые и две боковые грани из четырех, а общая площадь повреждений превысила 60 %. Скорость обугливания образца без огнезащиты в центральной части одной из боковых граней достигла значений  $0,5 \text{--} 0,6 \text{ мм/мин}$ , а для образца с покрытием боковые грани остались фактически неповрежденными.

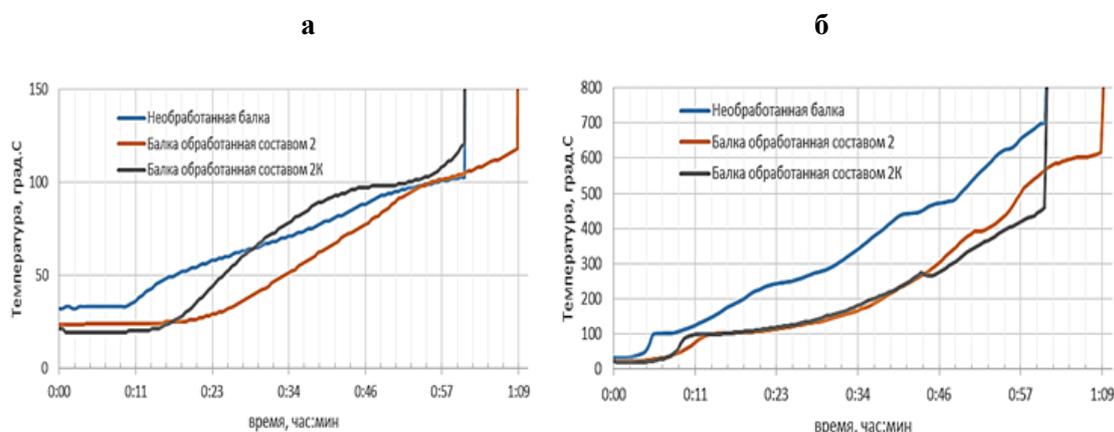
Положительная динамика в снижении скорости обугливания деревянных конструкций установлена при использовании коксообразующих антипиренов и вспучивающихся покрытий (снижение скорости обугливания до 0,58–0,65 мм/мин и 0,45–0,5 мм/мин соответственно) [16]. При использовании антипиренов (расход 300–500 г/м<sup>2</sup>), действующих по механизму каталитической дегидратации, как правило, наблюдается повышение скорости обугливания до 0,75–0,85 мм/мин в сравнении с нативной древесиной (0,7 мм/мин). В случае поверхностного применения комплексных регуляторов процесса обугливания, а именно фосфоразотсодержащего неорганического антипирена (2) и комплексного органического фосфата (2К) для деревянных конструкций при испытаниях по ГОСТ 30403–2012 наблюдается как снижение, так и повышение скорости обугливания древесины в тепловой и огневой камерах огневой печи (табл.).

Таблица

**Значения скоростей обугливания ограждающих конструкций из цельной древесины антипиренами при испытаниях по ГОСТ 30403–2012**

Место замера глубины обугливания	Ограждающая деревянная конструкция (древесина сосны)			Ограждающая деревянная конструкция длительного срока эксплуатации (древесина сосны, 81 год эксплуатации)		
	Без огнезащиты	Состав 2	Состав 2К	Без огнезащиты	Состав 2	Состав 2К
Тепловая камера	0,37	0,52	0,41	0,75	0,69	0,61
Огневая камера	0,64	0,67	0,57	1,06	0,95	0,82

Огнезащитное действие подобных антипиренов (регуляторов процесса обугливания) связано с реализацией классического механизма каталитической дегидратации [17–20]. Важным достоинством фосфорсодержащих соединений является их способность препятствовать развитию тлеющего горения [21]. Интересно отметить, что наибольший эффект в снижении интенсивности процесса обугливания при использовании подобных антипиренов установлен для древесины длительного естественного старения, имеющей повышенную степень термического повреждения [8, 22]. Очевидно, что в данном случае эффективно работает поверхностная зона древесины с антипиреном (до 1–2 мм) в части формирования обугленного слоя с соответствующей структурой и свойствами. Это наглядно видно из результатов оценки интенсивности прогрева деревянного массива в огневой камере установки (рис. 3).



**Рис. 3. Показания термпар, установленных на различной глубине деревянных конструкций: а) 20 мм; б) 40 мм**

Интересным является тот факт, что антипирены, механизм которых связан со смещением процесса терморазложения в низкотемпературную область, могут значительно снижать интенсивность прогрева деревянных конструкций, даже не уступая по эффективности вспучивающимся огнезащитным покрытиям и некоторым конструктивным видам огнезащиты при сопоставимой толщине материала. Ранее экспериментально по ГОСТ 30247.0–94 была установлена возможность повышения пределов огнестойкости деревянных цельных балок на величину 10–15 % при поверхностном антипиринировании [23]. Снижение пожарной опасности деревянных конструкций с поверхностной пропиткой антипиренами получить в данном случае проблематично. Фактический результат для ограждающих деревянных конструкций находится в пределах класса пожарной опасности К3. Только при повышении расхода поверхностного нанесения антипиренов в 1,5–2 раза становится заметным огнезащитный эффект. В этом случае для деревянных конструкций можно рассчитывать на получение класса пожарной опасности не ниже К2(15) [22].

Основная идея повышения эффективности огнезащитных составов (регуляторов процесса обугливания) в повышении предела огнестойкости и снижения пожарной опасности деревянных конструкций может быть связана с более глубокой пропиткой (импульсной импрегнацией) антипиренами. Огнезащитный эффект импульсной пропитки древесины подобными антипиренами возрастает как в части снижения скорости обугливания (до 0,52–0,6 мм/мин), так и в снижении интенсивности температурного прогрева деревянных конструкций (рис. 4).

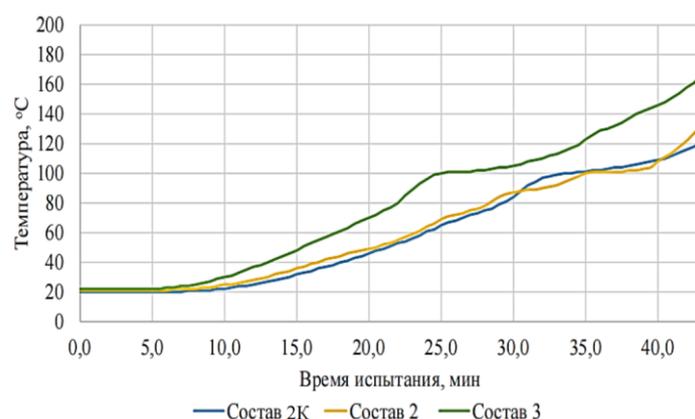


Рис. 4. Динамика прогрева цельной деревянной балки, импрегнированной антипиренами, на глубине 20 мм от обогреваемой поверхности (испытания по ГОСТ 30403–2012, огневая камера)

Из результатов, представленных на рис. 4, видно, что для ограждающих деревянных конструкций, импрегнированных различными антипиренами, на глубине 20 мм температура 100 °C достигается на 25–37 мин в зависимости от вида антипирена, а температура 270 °C в рамках огневых испытаний по ГОСТ 30403–2012 оказалась недостижимой. При увеличении привеса сухих солей априори может возрастать эффективность антипиренов в повышении предела огнестойкости деревянных конструкций. Вместе с тем по результатам исследований необходимо отметить наличие порогового оптимального значения содержания сухих солей, выше которого эффективность антипиренов может изменяться незначительно. Эти же граничные эффекты свойственны и для показателей пожарной опасности древесины, импрегнированной антипиренами. На текущий момент было получено существенное снижение пожароопасности древесины с импульсной импрегнацией антипиренами (привес сухих солей не менее 30 кг/м<sup>3</sup>): Г1 (слабогорючие), В2 (умеренновоспламеняемые), РП1 (не распространяющие пламя по поверхности), Д1–Д2 (с малой и умеренной дымообразующей способностью), Т2 (умеренноопасные по токсичности продуктов горения) [24].

Полученные результаты демонстрируют потенциальную возможность применения пропиточных систем для повышения огнестойкости деревянных конструкций, а также свидетельствуют о возможности эффективного использования отделочных элементов из антипирированной древесины в качестве конструктивной защиты строительных конструкций на основе древесины. Перспективность применения изделий на основе древесины в качестве конструктивной огнезащиты в виде настенных и потолочных покрытий, покрытия пола также рассматривается в работе [25]. Конструктивная защита в виде негорючих плитных материалов с соответствующей толщиной может обеспечить более высокую степень огнезащитности, позволяя достигать класса K0(45), однако ведет к существенному повышению нагрузки на несущие конструкции и является дорогостоящим решением. Дощатые деревянные элементы с импульсной импрегнацией антипиренами (регуляторами процесса обугливания) в данном случае имеют важные преимущества в части возможности снижения нагрузки на конструкции и сохранения эстетической текстуры древесного материала. Объемная импрегнация антипиренами непосредственно цельных или клееных конструкций в процессе технологии их производства с целью обеспечения требуемых характеристик пожарной опасности потенциально позволяет обеспечить, например, класс K0(15), K1(45), K2(45). Ограничения в этом случае в соответствии с ГОСТ 30403–2012, не позволяющие отнести конструкции к более безопасному классу, связаны с установлением степени термического повреждения материала конструкции более 2 мм, что для карбонизирующихся материалов, в том числе с антипиренами, является проявлением защитного механизма. Отсутствие тепловых эффектов в данном случае может достигаться за счет применения импульсной импрегнации древесины антипиренами [24]. Изучаемый вопрос также является актуальным в свете применения антипиренов для исключения тлеющего (беспламенного) горения, что с точки зрения применения конструктивных видов огнезащиты является проблематичным.

### Выводы

По результатам анализа эффективности различных видов конструктивных и неконструктивных видов огнезащиты выявлены принципиальные отличия в части влияния на интенсивность процесса обугливания и температурного прогрева деревянных конструкций, определяющих характеристики их пожарной опасности и огнестойкости. Для конструктивной огнезащиты (штукатурка, плитные материалы) определена важность увеличения временного периода от начала огневого воздействия до начала процесса обугливания (возникновения пламенного горения), а для неконструктивных видов огнезащиты (интумесцентные покрытия, антипирены) делается акцент на возможности регулирования процесса обугливания и получения обугленного слоя с соответствующей структурой и свойствами. Показаны особенности реализации механизмов огнезащитного действия различных средств огнезащиты, выявлены особенности поведения деревянных конструкций с огнезащитой в условиях воздействия повышенных температур. В этом аспекте обращено особое внимание на способность антипиренов снижать вероятность возникновения тлеющего (беспламенного) горения и степень прогрева деревянных конструкций до критических температур, а также характеристики тепловыделения, что подтверждает потенциальную возможность применения дощатых материалов на основе с объемной пропиткой антипиренами в качестве конструктивной огнезащиты.

Применение неконструктивной огнезащиты представляет интерес при использовании ее как в обособленном виде, так и в комбинации с конструктивными видами. Установление характера протекания процесса обугливания древесины при использовании различных видов огнезащиты является весьма важным для создания высокого эффекта и защитного механизма в обеспечении требуемых характеристик пожарной опасности и огнестойкости деревянных конструкций. При создании эффективных огнезащитных технологий для деревянных конструкций следует уделять серьезное внимание качеству поверхностного обугленного слоя,

образующегося при горении древесины и материалов на ее основе, а также возможности целенаправленного регулирования пористой структуры и свойств угольного слоя. Это будет сказываться на его теплозащитных свойствах, на распределении температуры в деревянном массиве в непосредственной близости от фронта обугливания и, таким образом, на температурной зависимости механических свойств элемента конструкции в целом.

Выявленные особенности поведения деревянных конструкций с конструктивной и неконструктивной огнезащитой в условиях огневого воздействия могут быть основой для эффективного применения различных огнезащитных технологий в высотном деревянном домостроении.

### Список литературы

1. Развитие современного малоэтажного деревянного домостроения в России / З.К. Петрова [и др.] // Строительные материалы. 2018. № 8. С. 74–78. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-762-8-74-78.
2. Modern tall wood buildings: opportunities for innovation / J. Bowyer [et al.]. Minneapolis: DovetailPartnersInc, 2016. 15 p.
3. Хасанов И.Р. Особенности пожарной опасности зданий из деревянных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. 2016. № 25 (11). С. 51–60. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.51-60.
4. Нормативное регулирование в области пожарной безопасности многоэтажных зданий из деревянных конструкций / Д.М. Гордиенко [и др.] // Пожарная безопасность. 2023. № 1 (110). С. 59–67. DOI: 10.37657/vniipro.pb.2023.110.1.006.
5. Снижение пожарной опасности деревянных строительных конструкций способом глубокой пропитки древесины огнебиозащитным составом КСД-А (марка 1) / И.А. Демидов [и др.] // Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 3. С. 31–38.
6. Корольченко О.Н., Цариченко С.Г., Константинова Н.И. К вопросу о свойствах пожарной опасности огнезащищенной древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2021. № 30 (2). С. 23–34. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.23-34.
7. Lowden L.A., Hull T.R. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction // Fire Sci Rev. 2013. 2 (1): 4. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4.
8. Fire Hazard and Fire Resistance of Wooden Structures / A.B. Sivenkov [et al.] // Springer Nature Switzerland AG. 2023. XVI. 269 p.
9. Gašpercová S., Osvaldová L.M. Fire protection in various types of wooden structures // Civil and Environmental Engineering. 2015. Vol. 11. Iss. 1. 51–57 p.
10. Fire Retardancy and Leaching Resistance of Pine Wood Impregnated with Melamine Formaldehyde Resin in-Situ with Guanlyl-Urea Phosphate / Boric Acid / Chia-feng Lin [et al.] // Wood & Fire Safety Proceedings of the 9th International Conference on Wood & Fire Safety. Springer Nature Switzerland AG, 2020. P. 83–89.
11. Fire performance and decay resistance of solid wood and plywood treated with quaternary ammonia compounds and common fire retardants / E. Terzi [et al.] // Eur. J. Wood Prod. 2011. № 69. P. 41–51. DOI: 10.1007/s00107-009-0395-0.
12. Characteristics of selected fireproof properties of particleboard made from particles impregnated with salt agent / P. Baruszewski [et al.] // Annals of Warsaw university of Life Science – SGGW Forestry and Wood technology. 2011. № 73. P. 142–146.
13. Харитонов В.С. Несущая способность изгибаемых клееных деревянных конструкций массивного сечения при тепловом воздействии: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1992. 24 с.
14. 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.
15. Polishchuk E.Yu., Sivenkov A.B., Kenzhehan S.K. Heating and charring of timber constructions with thin-layer fire protection // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 81 (5). P. 3–14. DOI: 10.18720/MCE.81.1.

16. Fedotov I.O., Khasanova G.Sh., Sivenkov A.B. The efficiency of various fire protectants for wooden structures // *Eurasian Chemico-Technological Journal*. 2022. № 1 (24). С. 33–41.
17. Леонович А.А., Шелоумов А.В. Получение огнезащитных древесноволокнистых плит с использованием фосфорамид ФКМ // *Лесной журнал. Известия Вузов*. 2014. № 2. С. 101–108.
18. Wang Q., Li J., Winandy J.E. Chemical mechanism of fire retardants of boric acid on wood // *Wood Sci Technol*. 2004. № 38. P. 375–389. DOI: 10.1007/s00226-004-0246-4.
19. Ozdemir F., Tutus A. Effects of fire retardants on the combustion behavior of high-density fiberboard // *Bio Resources*. 2013. Vol. 8. № 2. P. 1665–1674.
20. Кобелев А.А., Покровская Е.Н. Комплексная оценка пожароопасных свойств, а также био- и водостойкости древесины в присутствии огнезащитных систем на основе фосфор- и кремнийорганических соединений // *Вестник МГСУ*. 2010. № 1. С. 275–283.
21. Асеева Р.М., Заиков Г.Е. Снижение горючести полимерных материалов. М.: Знание, 1981. 64 с.
22. Анохин Е.А., Полищук Е.Ю., Сивенков А.Б. Снижение пожарной опасности деревянных конструкций с применением огнезащитных композиций // *Пожаровзрывобезопасность*. 2017. Т. 26. № 2. С. 22–35. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.22-35.
23. Повышение огнестойкости деревянных конструкций путем применения огнебиозащитных пропиточных составов / О.В. Арцыбашева [и др.] // *Полимерные материалы пониженной горючести: материалы VIII Междунар. конф. Алматы: Казахский нац. ун-т им. Аль-Фараби*, 2017. 248–251 с.
24. Нигматуллина Д.М. Снижение пожарной опасности деревянных конструкций способом их глубокой пропитки огнебиозащитными составами: дис. ... канд. техн. наук. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2017. 201 с.
25. Östman B., Boström L. Fire Protection Ability of Wood Coverings // *Fire Technol*. 2015. № 51. P. 1475–1493. DOI: 1007/s10694-014-0452-z.

## References

1. Razvitie sovremennogo maloetazhnogo derevyannogo domostroeniya v Rossii / Z.K. Petrova [i dr.] // *Stroitel'nye materialy*. 2018. № 8. S. 74–78. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-762-8-74-78.
2. Modern tall wood buildings: opportunities for innovation / J. Bowyer [et al.]. Minneapolis: DovetailPartnersInc, 2016. 15 p.
3. Hasanov I.R. Osobennosti pozharnoj opasnosti zdaniy iz derevyannyh konstrukcij // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2016. № 25 (11). S. 51–60. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.51-60.
4. Normativnoe regulirovanie v oblasti pozharnoj bezopasnosti mnogoetazhnyh zdaniy iz derevyannyh konstrukcij / D.M. Gordienko [i dr.] // *Pozharnaya bezopasnost'*. 2023. № 1 (110). S. 59–67. DOI: 10.37657/vniipo.pb.2023.110.1.006.
5. Snizhenie pozharnoj opasnosti derevyannyh stroitel'nyh konstrukcij sposobom glubokoj propitki drevesiny ognebiozashchitnym sostavom KSD-A (marka 1) / I.A. Demidov [i dr.] // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2012. № 3. S. 31–38.
6. Korol'chenko O.N., Carichenko S.G., Konstantinova N.I. K voprosu o svojstvah pozharnoj opasnosti ognezashchishchennoj drevesiny // *Pozharovzryvobezopasnost'*. 2021. № 30 (2). S. 23–34. DOI: 10.22227/PVB.2021.30.02.23-34.
7. Lowden L.A., Hull T.R. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction // *Fire Sci Rev*. 2013. 2 (1): 4. DOI: 10.1186/2193-0414-2-4.
8. Fire Hazard and Fire Resistance of Wooden Structures / A.B. Sivenkov [et al.] // Springer Nature Switzerland AG. 2023. XVI. 269 p.
9. Gašpercová S., Osvaldová L.M. Fire protection in various types of wooden structures // *Civil and Environmental Engineering*. 2015. Vol. 11. Iss. 1. 51–57 p.
10. Fire Retardancy and Leaching Resistance of Pine Wood Impregnated with Melamine Formaldehyde Resin in-Situ with Guanlyl-Urea Phosphate / Boric Acid / Chia-feng Lin [et al.] // *Wood*

& Fire Safety Proceedings of the 9th International Conference on Wood & Fire Safety. Springer Nature Switzerland AG, 2020. P. 83–89.

11. Fire performance and decay resistance of solid wood and plywood treated with quaternary ammonia compounds and common fire retardants / E. Terzi [et al.] // *Eur. J. Wood Prod.* 2011. № 69. P. 41–51. DOI: 10.1007/s00107-009-0395-0.

12. Characteristics of selected fireproof properties of particleboard made from particles impregnated with salt agent / P. Baruszewski [et al.] // *Annals of Warsaw university of Life Science – SGGW Forestry and Wood technology.* 2011. № 73. P. 142–146.

13. Haritonov V.S. Nesushchaya sposobnost' izgibaemykh kleenykh derevyannykh konstrukcij massivnogo secheniya pri teplovom vozdeystvii: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. M., 1992. 24 s.

14. Just A., Schmid J., König J. Gypsum plasterboards used as fire protection – Analysis of a database // *SP Technical research institute of Sweden: SP Report: 2010:29.* 2010. 30 p.

15. Polishchuk E.Yu., Sivenkov A.B., Kenzhehan S.K. Heating and charring of timber constructions with thin-layer fire protection // *Magazine of Civil Engineering.* 2018. № 81 (5). P. 3–14. DOI: 10.18720/MCE.81.1.

16. Fedotov I.O., Khasanova G.Sh., Sivenkov A.B. The efficiency of various fire protectants for wooden structures // *Eurasian Chemico-Technological Journal.* 2022. № 1 (24). S. 33–41.

17. Leonovich A.A., Sheloumov A.V. Poluchenie ogneshchitnykh drevesnovoloknistykh plit s ispol'zovaniem fosforamida FKM // *Lesnoj zhurnal. Izvestiya Vuzov.* 2014. № 2. S. 101–108.

18. Wang Q., Li J., Winandy J.E. Chemical mechanism of fire retardants of boric acid on wood // *Wood Sci Technol.* 2004. № 38. P. 375–389. DOI: 10.1007/s00226-004-0246-4.

19. Ozdemir F., Tutus A. Effects of fire retardants on the combustion behavior of high-density fiberboard // *Bio Resources.* 2013. Vol. 8. № 2. P. 1665–1674.

20. Kobelev A.A., Pokrovskaya E.N. Kompleksnaya ocenka pozharoopasnykh svoystv, a takzhe bio- i vodostojkosti drevesiny v prisutstvii ogneshchitnykh sistem na osnove fosfor- i kremnijorganicheskikh soedinenij // *Vestnik MGSU.* 2010. № 1. S. 275–283.

21. Aseeva P.M., Zaikov G.E. Snizhenie goryuchesti polimernykh materialov. M.: Znanie, 1981. 64 s.

22. Anohin E.A., Polishchuk E.Yu., Sivenkov A.B. Snizhenie pozharnoy opasnosti derevyannykh konstrukcij s primeneniem ogneshchitnykh kompozicij // *Pozharovzryvobezopasnost'.* 2017. T. 26. № 2. S. 22–35. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.02.22-35.

23. Povyshenie ognestojkosti derevyannykh konstrukcij putem primeneniya ogneshchitnykh propitochnykh sostavov / O.V. Arcybasheva [i dr.] // *Polimernye materialy ponizhennoj goryuchesti: materialy VIII Mezhdunar. konf. Almaty: Kazahskij nac. un-t im. Al'-Farabi,* 2017. 248–251 s.

24. Nigmatullina D.M. Snizhenie pozharnoy opasnosti derevyannykh konstrukcij sposobom ih glubokoj propitki ogneshchitnymi sostavami: dis. ... kand. tekhn. nauk. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2017. 201 s.

26. Östman B., Boström L. Fire Protection Ability of Wood Coverings // *Fire Technol.* 2015. № 51. P. 1475–1493. DOI: 1007/s10694-014-0452-z.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 21.08.2024; одобрена после рецензирования: 14.09.2024;  
принята к публикации: 16.09.2024

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 21.08.2024; approved after review: 14.09.2024;  
accepted for publication: 16.09.2024

*Информация об авторах:*

**Федотов Илья Олегович**, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела пожарной и аварийно-спасательной техники учебно-научного комплекса пожарной и аварийно-спасательной техники Академии ГПС МЧС России (129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4), e-mail: lafedotov367@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5076-3167>, SPIN-код: 9462-7756

**Сивенков Андрей Борисович**, начальник Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), доктор технических наук, профессор, e-mail: sivenkov01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3821-8606>, SPIN-код: 1404-6956

**Нигматуллина Динара Магафуровна**, ведущий научный сотрудник сектора 3.1.1 отдела 3.1 Всероссийского ордена «Знак Почета» научно-исследовательского института противопожарной обороны МЧС России (143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, д. 12), кандидат технических наук, e-mail: dinaraond81@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1142-4019>, SPIN-код: 5847-6710

*Information about the authors:*

**Fedotov Ilya O.**, senior researcher of research department of fire and emergency rescue equipment of the educational and scientific complex of fire and emergency rescue equipment of Academy of State fire service of EMERCOM of Russia (129366, Moscow, Boris Galushkin str., 4), e-mail: lafedotov367@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5076-3167>, SPIN: 9462-7756

**Sivenkov Andrey B.**, head of Russian order of the Badge of Honor scientific research institute of fire protection of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, md. VNIPO, 12), doctor of technical sciences, professor, e-mail: sivenkov01@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3821-8606>, SPIN: 1404-6956

**Nigmatullina Dinara M.**, senior researcher of the sector 3.1.1 of the department 3.1 of Russian order of the Badge of Honor scientific research institute of fire protection of EMERCOM of Russia (143903, Moscow region, Balashikha, mkr. VNIPO, 12), candidate of technical sciences, e-mail: dinaraond81@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1142-4019>, SPIN: 5847-6710