

О.В. Арцыбашева¹, Р.М. Асеева², Е.Ю. Полищук², Б.Б. Серков², А.Б. Сивенков²

¹Специальное управление ФПС № 20 МЧС России,

²Академия ГПС МЧС России; e-mail: eryur@ya.ru

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОГНЕЗАЩИТНЫМИ ПРОПИТОЧНЫМИ СОСТАВАМИ

Представлены результаты исследования огнестойкости деревянных конструкций с огнезащитными составами по показателю потери несущей способности (R). Установлена способность отдельных огнезащитных систем оказывать положительное влияние на уровень огнестойкости деревянных конструкций. Предел огнестойкости конструкции по потере несущей способности с одним из огнезащитных составов составил 69 мин. Полученное значение фактически на 10 % превышает уровень огнестойкости необработанной деревянной балки. Проведён анализ динамики прогрева конструкций с учётом применения средств огнезащиты.

Ключевые слова: огнестойкость, древесина, деревянные конструкции, огнезащита, обугливание, теплофизические характеристики

Введение

Древесина является природным композиционным материалом, имеющим широкое применение в различных отраслях промышленности и народного хозяйства. Её привлекательность в качестве строительного и конструкционного материала обусловлена достаточно высокими физико-механическими показателями, лёгкостью механической обработки, гидролитической устойчивостью и технологичностью применения [1]. Вместе с тем, одним из главных недостатков конструкций из древесины и материалов на её основе является их высокая пожарная опасность, что в конечном итоге определяет быстрое развитие пожара в зданиях и сооружениях с интенсивным образованием **опасных факторов пожара (ОФП)**.

Наиболее известным и востребованным способом снижения пожарной опасности **деревянных конструкций (ДК)** является применение различных видов огнезащиты. В практике применения огнезащитных технологий для ДК наибольшее распространение получили конструктивные виды огнезащиты, тонкослойные огнезащитные покрытия (лаки и краски), а также пропиточные огне- и огнебиозащитные составы [2].

Несомненно, при использовании различных способов и видов огнезащиты для ДК должен учитываться важнейший классификационный показатель – предел огнестойкости конструкций, характеризующий время от начала огневого воздействия (пожара) до появления одного или одновременно нескольких предельных состояний по огнестойкости.

Применение огнезащитных составов, в том числе антипиренов и огнезащитных красок, а также строительных материалов (облицовок) для повышения пределов огнестойкости строительных конструкций регламентируется Федеральным законом Российской Федерации № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (ст. 52). В связи с этим, исследо-

вания по разработке и применению средств огнезащиты для древесины должны быть построены не только в отношении оценки их огнезащитной эффективности, но и возможности их применения для обеспечения требуемых пределов огнестойкости и классов пожарной опасности ДК. К сожалению, в последние десятилетия в отечественной практике основная направленность исследований в области огнезащиты древесины была связана с возможностью достижения определенной группы эффективности огнезащитного средства по ГОСТ Р 53292-2009 или требуемых показателей пожарной опасности строительных материалов из древесины [3, 4].

Лишь незначительное количество работ было посвящено изучению влияния различных средств огнезащиты на пожарную опасность и огнестойкость ДК. Например, в работах [5, 6] было изучено влияние различных видов огнезащиты на возможность достижения соответствующего класса пожарной опасности ДК. Для **деревоклееных конструкций (ДКК)** с огнезащитой экспериментально получены показатели K0(30) и K1(45) при нанесении вспучивающегося огнезащитного лака "ПРОТЕРМ ВУД" (толщина 1,1 мм) и K0(30) при нанесении огнезащитного лака "ФЕНИКС ДП" (толщина 0,6 мм) [5]. В работе [6] для повышения класса пожарной опасности ограждающей ДК был использован способ глубокой пропитки составом "КСД-А" (марка 1), обладающим в отношении древесины огнебиозащитными свойствами. По результатам исследования показано, что для получения класса пожарной опасности деревянных конструкций K1(15) необходимо обеспечить привес сухих солей антипиренов не менее 40 кг/м^3 в условиях автоклавной пропитки составом "КСД-А" (марка 1).

Большой научный и практический интерес представляют работы, посвящённые исследованию возможности применения различных средств огнезащиты для повышения пределов огнестойкости ДК, поскольку в соответствии со ст. 52 № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" предусмотрена возможность повышения пределов огнестойкости с применением огнезащитных составов, в том числе антипиренов. Большинство исследователей принято считать, что пропиточные средства, в лучшем случае, не влияют на уровень огнестойкости конструкций. Расчётная же методика определения огнестойкости ДК, представленная в СП 64.13330.2017 и EN 1995-1-2. Eurocode 5, позволяет учитывать только конструктивную защиту путём простого сложения уровней огнестойкости защищаемой и защищающей конструкций [7, 8].

Ключевой и фактически одной из последних работ советского периода по изучению влияния различных способов и видов огнезащиты на огнестойкость ДК стала диссертация Харитонов В.С. [9], в которой было изучено влияние огнезащитных покрытий ВПД и ОФП-9 на несущую способность конструкций и распределение температур по сечению ДК. В первые 3 мин от начала огневых испытаний покрытие марки ВПД начинает вспучиваться, образуя мелкопористый слой толщиной 8-10 мм, сдерживающий возгорание древесины в течении 9 мин. На 10 мин испытаний происходит пламенное горение образца.

Далее происходит нарушение целостности покрытия, характеризующееся появлением трещин. Огнезащитное фосфатное покрытие марки ОФП-9 с гидроизолирующей эмалью замедляет возгорание древесины до 7-8 мин, после чего происходит отслоение состава от поверхности образца с последующим интенсивным горением и обугливанием древесины. Таким образом, был сделан главный вывод о том, что составы не оказывают существенного влияния на интенсивность прогрева конструкции по толщине и на величину предела её огнестойкости [9].

Главным процессом, определяющим огнестойкость ДК, является процесс обугливания. Вопросами определения скорости обугливания цельной, клееной и огнезащищённой древесины посвящены работы многих учёных, таких как: Иванова Е.К., Хрулев В.М., Рыков Р.И., Заполь М.Ю. и других исследователей. Согласно проведённым исследованиям, скорости обугливания нативной и огнезащищённой древесины в конструкциях различного поперечного сечения практически идентичны, за исключением работы Ивановой Е.К., в которой установлено, что скорость обугливания древесины с поверхностной огнезащитной обработкой выше, чем у необработанной древесины. В некоторых рекомендациях по расчёту пределов огнестойкости ДК скорость обугливания принимается равной 1,0 мм/мин для нативной и огнезащищённой древесины [9].

Анализ собственных наблюдений по оценке влияния различных огнезащитных средств на значения скоростей обугливания позволяет прийти к выводу о том, что наиболее эффективно данный показатель снижается при использовании огнезащитных вспучивающихся покрытий или рулонных покрывных материалов на минеральной основе. Эти материалы обладают свойствами эффективной теплоизоляции защищаемой поверхности конструкции от воздействия пожара. При этом значения скоростей обугливания в зависимости от вида применяемой огнезащиты снижается в диапазоне от 0,56 до 0,33 мм/мин по сравнению с деревянной конструкцией без огнезащиты (0,7 мм/мин). Применение же пропиточных огнезащитных составов в большинстве случаев приводило к повышению скорости обугливания в пределах 0,78-0,94 мм/мин, что, по всей видимости, обусловлено механизмом огнезащитного действия применяемых составов. Подобные результаты, как правило, характерны для антипиренов, работающих по механизму "каталитической дегидратации", поэтому в данном случае необходимо оценивать эффективность составов не только по значениям скорости обугливания, но и по структуре и свойствам образующегося угольного слоя.

Несмотря на полученные результаты, авторы убеждены в том, что успешность решения задачи по повышению пределов огнестойкости ДК с использованием различных способов и видов огнезащиты, в том числе огнезащитных пропиточных составов, во многом зависит от их способности в условиях огневого воздействия снижать интенсивность обугливания и температурные характеристики прогрева деревянной конструкции, а также оказывать влияние на особенности структуры угольного слоя и его свойства.

Учитывая необходимость комплексного решения обеспечения безопасности и долговечности ДК, приобретает большую актуальность теоретический и экспериментальный поиск классов веществ и соединений, способных модифицировать древесину по её основным компонентам, оказывающих непосредственное влияние на особенности процесса углеобразования и которым присущи универсальные свойства огне- и биозащиты древесины.

Материалы и методы исследования

Для исследования влияния огнезащиты на пределы огнестойкости деревянных конструкций были выбраны две огнезащитные системы, включающие в себя как классические антипирены и антисептики, так и дополнительные функциональные добавки, позволяющие проводить процесс модификации по основным компонентам древесного композита. Теоретические изыскания позволили прогнозировать способность выбранных огнебиозащитных систем участвовать в процессе углеобразования, формировании структуры угольного слоя и придания ему соответствующих свойств. Механизм огнезащитного действия исследуемых систем был достаточно подробно рассмотрен в работе [10] как для современной древесины, так и древесины длительного естественного старения.

Условно выбранные составы были обозначены как "Состав № 2" и "Состав № 2К". "Состав № 2" представляет из себя водный раствор с $\text{pH} = 4,5$ включающий в себя традиционные антипирены – соли аммония (аммоний фосфорнокислый однозамещенный $(\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4)$ и (сульфат аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) и модифицирующие добавки.

"Состав № 2К" – водный раствор с $\text{pH} = 2,0$, содержащий комплекс веществ и соединений, включающий в себя: диметилфосфит ($\text{C}_2\text{H}_7\text{PO}_3$), аммоний фосфорнокислый однозамещенный ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) и модифицирующие добавки.

В качестве модифицирующих добавок в составах применяется комплекс веществ, особенности влияния которых на процесс углеобразования представлены в работе [10].

Оба состава обеспечивают I группу огнезащитной эффективности при расходе не менее 400 г/м^2 .

Для экспериментального определения предела огнестойкости деревянных конструкций с огнезащитой по показателю несущей способности по ГОСТ 30247.0-94 и ГОСТ 30247.1-94 были отобраны три балки из древесины сосны сечением $140 \times 140 \text{ мм}$ и длиной 3000 мм . Две балки были подвергнуты обработке огнебиозащитными составами, имеющими условное обозначение № 2 и № 2К.

В процессе проведения испытания в огневой камере поддерживался стандартный температурный режим пожара. Огнестойкость балок определялась в условиях нагружения по центру конструкции. Сосредоточенная нагрузка в центральной части конструкции составляла 100 кг . Динамика прогрева конструкции контролировалась установкой термопар в её объёме (рис. 1).

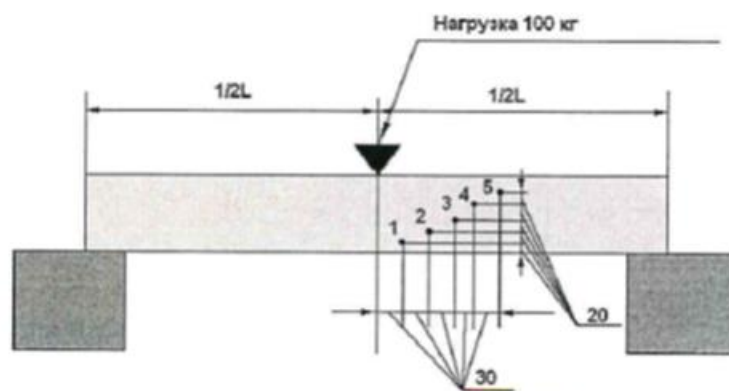
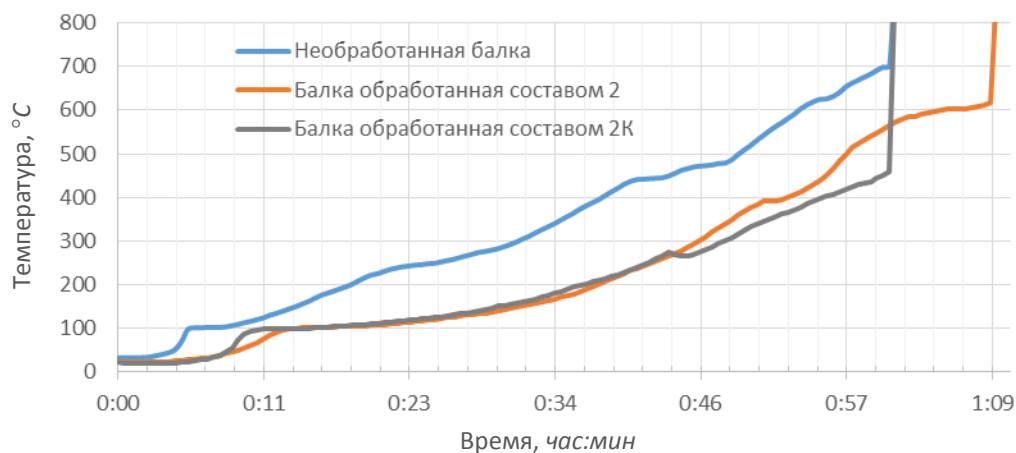


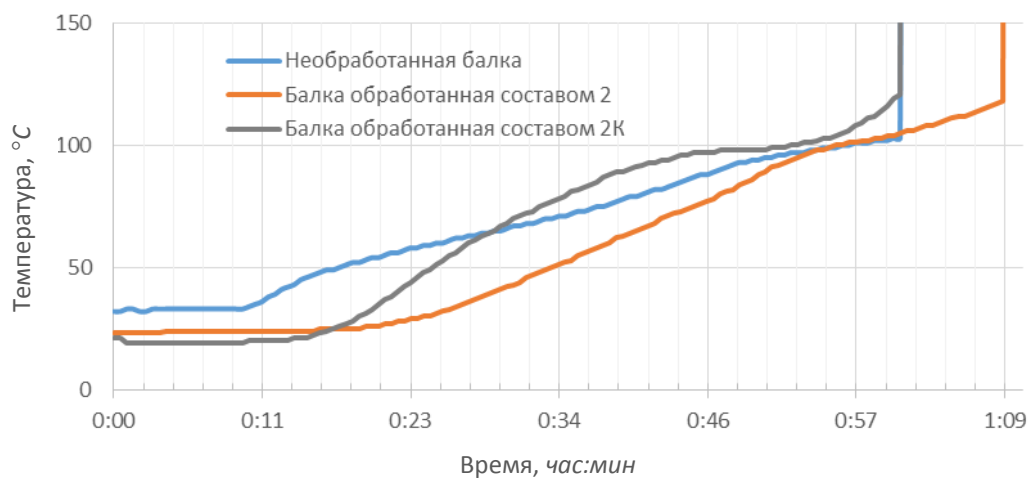
Рис. 1. Схема установки термодатчиков по толщине деревянной балки

Результаты исследования и их обсуждение

Для удобства анализа полученных экспериментальных данных по динамике прогрева конструкций результаты измерения температур были сгруппированы по термодатчикам для всех образцов конструкций (рис. 2 а-д).

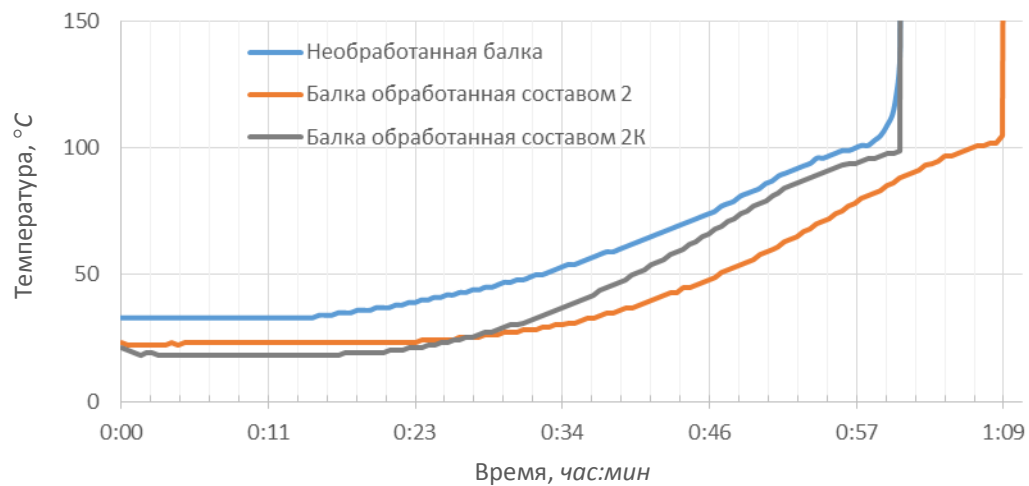


а) термодатчика № 1

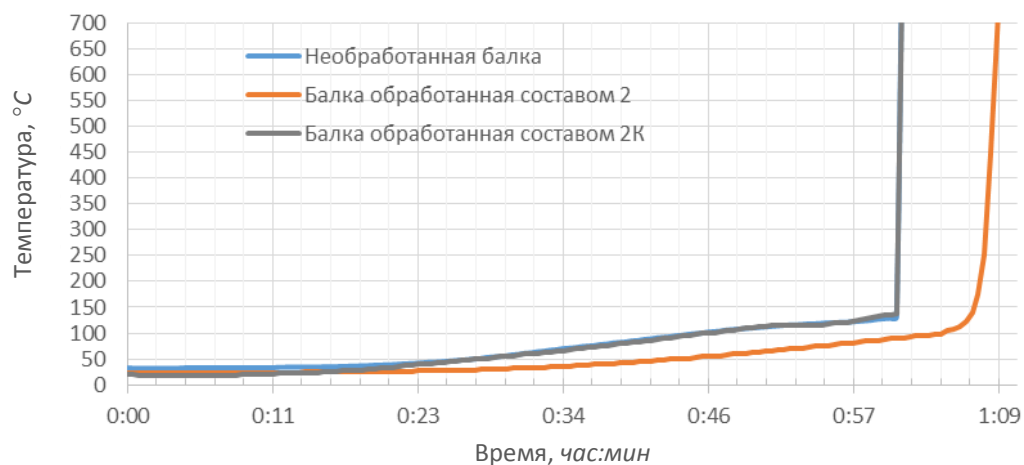


б) термодатчика № 2

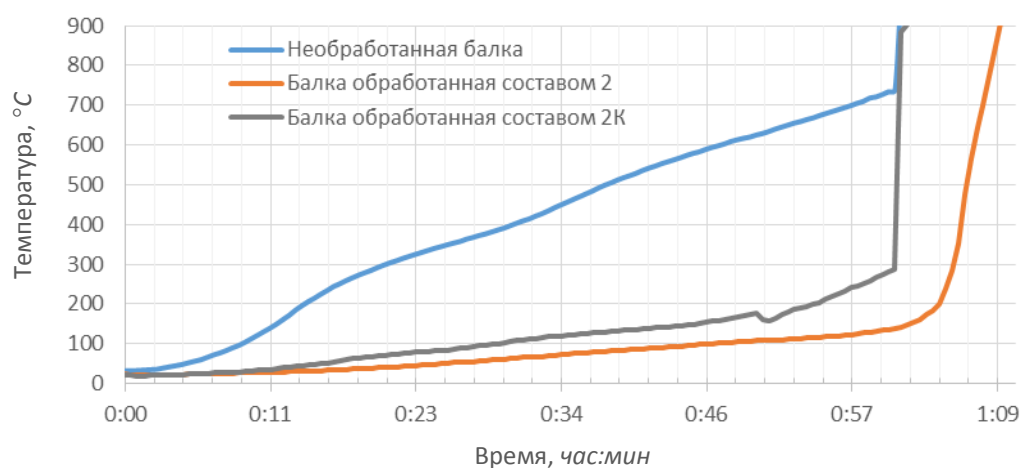
Рис. 2. Показания термодатчиков установленных внутри конструкции



в) термопара № 3



г) термопара № 4



д) термопара № 15

Рис. 2. Показания термопар установленных внутри конструкции (продолжение)

Учитывая условия проведения испытаний на огнестойкость по **показателю потери несущей способности (R)**, действительную глубину обугливания и, соответственно, скорость обугливания определить не представлялось возможным, поэтому оценка данного показателя производилась по данным о распределении температур по глубине конструкции. В качестве температуры обугливания, при этом, принимается значение 270°C , установленное в СП 64.13330.2017.

Исходя из этого можно отметить, что температура обугливания была достигнута для всех конструкций на 1 термопаре (глубина установки 20 мм от нижней грани балки), при этом для необработанной конструкции на 30 мин испытания, а для обработанных составами № 2 и № 2к на 44-й мин. Кроме того, данная температура была достигнута на 5-й термопаре (глубина установки 40 мм от верхней грани балки), причём для необработанной конструкции уже на 18-й мин, а для конструкций, обработанных составами № 2к и № 2, на 61 и 67 мин соответственно. На установленной же "зеркально" ей термопаре № 2 (глубина установки 40 мм от нижней грани балки) температура обугливания до момента обрушения конструкций не была достигнута.

Указанные результаты хорошо коррелируют с результатами испытаний на класс пожарной опасности деревянных конструкций, подвергнутых глубокой пропитке [11], где было показано, что при относительно близких фактических скоростях обугливания для необработанных и огнезащитных конструкций, последние характеризуются меньшей динамикой прогрева.

Таким образом, можно судить о неравномерном прогреве конструкции со стороны нижней и верхней граней, что, по-видимому, связано с большей интенсивностью самостоятельного горения верхней части конструкции. Средняя глубина обугливания для необработанной конструкции по данным термического контроля прогрева конструкции не превысила 20-30 мм с нижней грани и 40 мм с верхней стороны. Скорости обугливания при этом составили 0,5 и 0,67 мм/мин соответственно в расчёте на общую продолжительность эксперимента и примерно одинаковы для всех конструкций (согласно СП 64 СП 64.13330.2017 средняя скорость обугливания составляет 0,7 мм/мин). Если же учитывать время достижения температур обугливания на термопарах, то для необработанной древесины скорость обугливания с нижней стороны составила 0,67 мм/мин, а для верхней грани 2,2 мм/мин. Для конструкций, обработанных огнебиозащитными составами, соответствующие скорости составили для состава № 2 – 0,45 и 0,6 мм/мин, для состава № 2К – 0,45 и 0,66 мм/мин.

Интересно отметить, что огнезащитные составы № 2 и № 2К, снижая общую интенсивность обугливания, имеют различный характер взаимодействия с древесным веществом в процессе термического воздействия. В частности, для структуры угля древесины, обработанной составом № 2, характерно образование пространственно-сетчатых структур, обеспечивающих более высокую устойчивость угольного слоя к выгоранию и окислению. Кроме того, состав способствует образованию вспученного карбонизированного слоя над защищаемой поверхностью [10].

Для огнезащитного состава № 2К во время огневого воздействия характерно образование на поверхности угольного слоя стеклообразной защитной плёнки, сохраняющейся в условиях длительного огневого воздействия, препятствующей доступу кислорода к поверхности угля [10].

Экспериментально определенные значения пределов огнестойкости для необработанной балки и балок, обработанных составами № 2 и № 2К, составляет 60,5, 69 и 61,5 *мин* соответственно. Если в случае с составом № 2К конструкция имеет значение огнестойкости близкое к необработанной конструкции, то в случае обработки составом № 2 превышает его более, чем на 10 %, что можно отнести именно к особенностям реализуемого механизма огнезащитного действия, рассмотренного авторами ранее в работе [10].

Таким образом, можно предположить, что скорость обугливания не является определяющей характеристикой для оценки уровня огнестойкости конструкции, поскольку фактический предел огнестойкости необработанной конструкции и конструкции обработанной составом № 2К оказался на одном уровне, однако прогнозируемые значения скорости обугливания второй конструкции были значительно ниже.

Анализ данных, полученных с термопар № 3 и 4, наиболее близко расположенных к центру конструкций (60 *мм* от нижней и верхней граней соответственно), показывает, что во всех случаях к моменту обрушения балки температура в центральной части была близка к 100 °С (на остальных термопарах обрыв происходил при разных температурах). В соответствии с п. К.6. EN 1995-1-2. Eurocode 5 при определении геометрических размеров сечения следует исключать слой, перегретый выше 100 °С, однако, по результатам анализа можно предположить, что достижение данной температуры в центральной части конструкции фактически является определяющей при оценке огнестойкости ДК.

Основные выводы

Таким образом, по результатам проведенного исследования можно сделать вывод, что определяющими для оценки уровня огнестойкости деревянных конструкций является не столько скорость обугливания, сколько свойства образующегося угля, его прочностные и теплофизические характеристики. Проведённые испытания показали, что средства огнезащиты практически не влияют на скорость обугливания нижних граней конструкций, значение которой находится на уровне 20-30 *мм/ч* и способны в значительной степени снижать её динамику для верхних граней. При этом среднее значение для часового испытания для всех конструкций так же оказывается примерно на одном уровне 40 *мм/ч*. Несмотря на это, из приведённых данных видно, что отдельные огнебиозащитные составы способны оказывать положительное влияние на уровень огнестойкости конструкции. Так, состав № 2 способствует увеличению предела огнестойкости деревянной балки примерно на 10 %, что, по всей видимости, связано с особенностями влияния состава на структуру и свойства угля. Полученные результаты свидетельствуют об актуальности продолжения даль-

нейших работ в части исследования влияния средств огнезащиты на теплофизические и механические свойства угольного слоя и их взаимосвязи с огнестойкостью деревянных конструкций.

Вместе с тем, для решения поставленных задач предполагается решение ряда методических вопросов, среди которых важнейшим является разработка методики отличной от предусмотренной ГОСТ 30247.1, где устройство испытательной печи не позволяет производить технические манипуляции с образцом, позволяющие получить более полную информацию о поведении ДК с огнезащитой в условиях пожара.

Литература

1. *Малыхина В.С., Долженко А.В.* Огнестойкость конструкций из дерева и полимеров // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2009. № 2 (7). С. 28-30.
2. *Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б.* Горение древесины и её пожароопасные свойства: монография. М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. 262 с.
3. *Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б.* Эффективность и механизм действия двух огнезащитных систем для древесины // Пожаровзрывобезопасность. 2007. Т. 16, № 5. С. 23-30.
4. *Трушкин Д.В., Корольченко О.Н., Бельцова Т.Г.* Горючесть древесины, обработанной огнезащитными составами // Пожаровзрывобезопасность. 2008. Т. 17, № 1. С. 29-33.
5. *Гаращенко Н.А.* Исследования эффективности огнезащиты деревоклееных конструкций: дис. ... канд. техн. наук. М.: МГСУ, 2007. 152 с.
6. *Демидов И.А., Крашенинникова Н.Н., Кулаков В.С., Серков Б.Б., Сивенков А.Б.* Снижение пожарной опасности деревянных строительных конструкций способом глубокой пропитки древесины огнебиозащитным составом КСД-А (марка 1) // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 3. С. 31-38.
7. *White R.H.* Fire resistance of wood members with directly applied protection // Wood design focus. 2009. <http://www.awc.org/pdf/codes-standards/publications/archives/wdf/WDF-2009-FireResistance-White-0910.pdf>.
8. *Корольченко А.Я., Гаращенко А.Н., Гаращенко Н.А., Рудзинский В.П.* Расчёты толщин огнезащиты, обеспечивающих требуемые показатели пожарной опасности деревоклееных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. Т. 17. № 3. 2008. С. 49-56.
9. *Харитонов В.С.* Несущая способность изгибаемых клееных деревянных конструкций массивного сечения при тепловом воздействии: дис. ... канд. техн. наук. М.: ВНИИПО МВД России 1992. 190 с.
10. *Альменбаев М.М., Анохин Е.А., Арцыбашева О.В., Макишев Ж.К., Полищук Е.Ю., Сивенков А.Б., Хасанова Г.Ш.* Применение огнезащитных пропиточных составов для деревянных конструкций длительного срока эксплуатации // Технологии техносферной безопасности. Вып. 5 (69). 2016. С. 46-55. <http://academygps.ru/ttb>.
11. *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>.

Статья поступила в редакцию интернет-журнала 30 сентября 2017 г.

O.V. Artsybasheva, R.M. Aseeva, E.Yu. Polishchuk, B.B. Serkov, A.B. Sivenkov
FIRE RESISTANCE OF WOODEN STRUCTURES
WITH FIRE PROTECTIVE COMPOUNDS

The results of a study of the fire resistance of wooden beams with and without fire protection are presented. The possibility of increasing the fire resistance limit is shown. The use of composition No. 2 made it possible to increase the fire resistance limit of a 140×140 mm wooden beam approximately by 10%. The fire resistance of the structure with surface impregnation with composition No. 2K remained at a level close to the initial value and amounted to 61,5 minutes. The composition promotes the formation of the expanded carbonized layer above the protected surface. The fire-protective effect of composition No. 2K is based on the formation of a glass-like protective film on the outer surface of the coal, which prevents access to oxygen. Under the conditions of the fire hazard test, this composition showed the best results, ensuring the transfer of construction to class K2 (15).

The analysis of the test results showed that, in order to evaluate fire resistance, the determining criterion is not the speed of charring but the heat-insulating capacity of the formed carbon layer, and the critical parameter for wooden structures is the rate of heating of the central part of the structure to 100 °C. It is shown that the means of fire protection practically do not influence the charring speed of the lower faces of the structures, the value of which is at the level of 20-30 mm/h and is able to significantly reduce its dynamics for the upper faces. The obtained results show the prospects and urgency of the continuation of further research in the field of application of impregnating fire-protective compounds for increasing the fire resistance of wooden structures.

Key words: fire resistance, wood, wooden constructions, fire protection, charring, thermo-physical characteristics.

References

1. Malykhina V.S., Dolzhenko A.V. *Ognestoykost konstruktsey iz dereva i polimerov* [Resistance of structures made of wood and polymers]. *Suchasni tekhnologii. materialy i konstruktseyi v budivnitstvi*, 2009, no. 2 (7), pp. 28-30.
2. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. *Goreniye drevesiny i yeye pozharoopasnyye svoystva* [Burning of wood and its fire-hazardous properties]. Moscow, Academy of State Fire Service of Emercom of Russia Publ., 2010, 262 p.
3. Aseeva R.M., Serkov B.B., Sivenkov A.B. *Effektivnost i mekhanizm deystviya dvukh ognezashchitnykh sistem dlya drevesiny* [Efficiency and mechanism of action of two fireproof systems for wood]. *Pozharovzryvbezopasnost*, 2007, vol. 16, no. 5, pp. 23-30.
4. Trushkin D.V., Korolchenko O.N., Beltsova T.G. *Goryuchest drevesiny. obrabotannoy ognezashchitnymi sostavami* [Flammability of wood treated with flame retardants]. *Pozharovzryvbezopasnost*, 2008, vol. 17, no. 1, pp. 29-33.
5. Garashchenko N.A. *Issledovaniya effektivnosti ognezashchity derevokleyennykh konstruktsey* [Studies of the effectiveness of fire protection of wood-glued structures. PhD in Tech. Sci. diss.]. Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2007, 152 p.
6. Demidov I.A., Krashenninnikova N.N., Kulakov V.S., Serkov B.B., Sivenkov A.B. *Snizheniye pozharnoy opasnosti derevyannykh stroitelnykh konstruktsey sposobom glubokoy propitki drevesiny ognеbiozashchitnym sostavom KSD-A (marka 1)* [The decrease in fire danger of wooden building structures by the method of deep impregnation of the wood fire and bio protective composition KSD-A (1 mark)]. *Pozharovzryvbezopasnost*, 2012, vol. 21, no. 3, pp. 31-38.
7. White R.H. Fire resistance of wood members with directly applied protection. Wood design focus, 2009. <http://www.awc.org/pdf/codes-standards/publications/archives/wdf/WDF-2009-FireResistance-White-0910.pdf>.
8. Korolchenko A.Ya., Garashchenko A.N., Garashchenko N.A., Rudzinskiy V.P. *Raschety tolshchin ognezashchity, obespechivayushchikh trebuyemye pokazateli pozharnoy opasnosti derevokleyennykh konstruktsey* [Calculations of the thickness of fireproofing, providing the required level of fire danger of wooden structures]. *Pozharovzryvbezopasnost*, vol. 17, no. 3, 2008, pp. 49-56.
9. Kharitonov V.S. *Nesushchaya sposobnost izgibayemykh kleyennykh derevyannykh konstruktsey massivnogo secheniya pri teplovom vozdeystvii* [Bearing capacity of the bent glued wooden designs of massive section at thermal influence. PhD in Tech. Sci. diss.]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Internal Affairs of Russia Publ., 1992, 190 p.
10. Almenbayev M.M., Anokhin E.A., Artsybasheva O.V., Makishev Zh.K., Polishchuk E.Yu., Sivenkov A.B., Khassanova G.Sh. The use of fire-retardant impregnating compositions for wooden structures long term operation. *Tekhnologii tehnosfernoj bezopasnosti*, vol. 5 (69), 2016, pp. 46-55. <http://academygps.ru/ttb> (in Russ.).
11. 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. *Tekhnologii tehnosfernoj bezopasnosti*, vol. 3 (73), 2017, pp. 64-71. <http://academygps.ru/ttb> (in Russ.).