

УДК 641.841

О.В. Арцыбашева, Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ ОГНЕСТОЙКОСТИ
ДЕРЕВЯННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Рассмотрены современные тенденции в области обеспечения огнестойкости зданий и сооружений из древесины. Проведен анализ отечественных и зарубежных работ по исследованию параметров обугливания, занимающих центральное место при оценке огнестойкости деревянных зданий и сооружений. Отмечается, что в современных условиях эффективным для повышения огнестойкости деревянных конструкций является применение конструктивной огнезащиты. Проведена расчетная оценка огнестойкости ограждающей конструкции по признаку потери теплоизолирующей способности в зависимости от схемы элементов стены (перегородки) и направлений теплопередачи.

Огнестойкость; древесина; деревянные конструкции; скорость обугливания.

O.V. Arcybasheva, R.M. Aseeva, B.B. Serkov, A.B. Sivenkov**MODERN TRENDS IN THE FIELD OF FIRE RESISTANCE WOODEN
BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS**

The modern trends in the field of the fire resistance of wooden buildings and constructions from the wood are discussed in this article. The analysis of Russian and foreign studies about parameters of charring are carries out, that has a main place in evaluating the fire resistance of wooden buildings and constructions. It is noted that in modern conditions effective for increasing the fire resistance of wooden constructions is application of constructive fire protection. The calculated estimation of fire resistance of the fencing construction on the grounds of loss of heat-insulating ability, based on the elements of the wall (septum) and directions of heat transfer.

Fire resistance; wood; wooden structures; charring rate.

Введение. В российской практике строительной индустрии древесина находит широкое применение в качестве конструкционного материала для зданий и сооружений различного назначения. В домостроении – для строительства жилых, общественных и производственных, сельскохозяйственных, животноводческих, складских и прочих зданий и сооружений. В транспортной системе – при строительстве железнодорожных путей (применение шпал), подвесных мостовых развязок; в гидростроительстве – сооружение небольших деревянных мостов. В северных и северо-восточных климатически холодных районах страны, богатых лесами, до сих пор популярно строительство бревенчатых зданий и сооружений (преимущественно в небольших городах и сельских поселениях). Для несущих ограждающих конструкций зданий используют бревна круглого сечения или механически обработанных с плоской формой [1].

Развитие современного деревянного домостроения идет по пути создания новых прогрессивных индустриальных технологий производства разных конструкционных материалов из натуральной древесины. Прежде всего, это массивные крупногабаритные профилированные деревянноклееные конструкции (glulam – glued laminated timber), многослойные материалы из однонаправленного шпона (LVL-laminated veneer lumber) или с перекрестным расположением слоев относительно направления волокон (CLT – cross-laminated timber) [2].

Широкий размах в строительной индустрии получают инновационные технологии изготовления клееных и прессованных строительных конструкций, основным материалом которых является древесина лиственных и хвойных пород. За рубежом за минувший период промышленно освоены новые структурные композитные деревянные клееные конструкции (ДКК) с ориентированной структурой. Например, ДКК на основе крупноразмерной стружки с ортогональной ориентацией компонентов (OSB-oriented strand board) или на основе древесной стружки с параллельным направлением компонентов (PSL – Parallam – parallel strand lumber и LSL – laminated strand lumber).

Современные тенденции в мировой строительной индустрии свидетельствуют о том, что из древесины можно возводить не только одно- и двухэтажные строительные объекты (таунхаусы и индивидуальные коттеджи, сельскохозяйственные постройки, культовые и другие объекты), но и здания многоквартирных и многоэтажных жилых домов, гостиниц и ресторанов, магазинов и офисов. Такая практика достаточно динамично развивается в ряде Европейских стран, Австралии, США и Канаде [3].

По прогнозу в ближайшее время малоэтажное деревянное строительство может стать одним из самых перспективных строительных направлений в мире. Национальные программы стран Европейского союза нацелены в ближайшем будущем на обеспечение доли деревянных домов на уровне 75–80 % в малоэтажном жилом фонде [4]. Независимо от всех существующих технологических и нормативных барьеров, по прогнозам экспертов рынка недвижимости в период до 2015 г. ожидается среднегодовой темп роста востребованности деревянных домов около 10 %, а в период до 2020 г. в пределах 20–25 % [4].

В настоящее время уже разработаны уникальные отечественные проекты общественных зданий (офисные здания, выставочные центры) высотой более 9 м, требующие специальных технических подходов и решений по обеспечению их пожарной безопасности [5].

В строительстве деревянных зданий и сооружений можно выделить две основные конструктивные системы с разными функциями используемых деревянных конструкций:

1 – бескаркасные сооружения с применением массивных бревен или бруса, выполняющих одновременно несущие и ограждающие функции конструкций внешних стен (heavy timber buildings). Стены воспринимают все вертикальные нагрузки, а также горизонтальные нагрузки через перекрытия в здании;

2 – здания каркасного типа, в которых все основные нагрузки воспринимают конструкции каркаса. Этот тип зданий можно подразделить на сооружения с большепролетными массивными несущими конструкциями и здания с облегченными несущими и ограждающими конструкциями (light frame timber buildings).

В каркасной конструктивной системе несущими вертикальными конструкциями являются колонны, горизонтальными несущими конструкциями служат ригели, балки, фермы. Деревянные каркасы с массивными несущими конструкциями применяют при строительстве большепролетных общественных зданий (спортивные залы, выставочные павильоны), а также одноэтажных зданий промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Каркасы в этих зданиях могут быть одно- и многопролетными, бескрановыми и с подвесными кран-балками грузоподъемностью до 3 тонн, рассчитаны на эксплуатацию зданий и сооружений в нормальном температурном режиме и с агрессивной средой [6].

Из деревянных конструкций сооружают стоечно-балочные, рамные и арочные каркасы. Стоечно-балочные каркасы проектируют в основном для производственных зданий. Пролеты перекрываются балками при пролетах от 6 до 8 м или фермами при пролетах от 12 до 30 м. При больших пролетах используют арки с затяжками. Рамные каркасы проектируют для общественных и производственных однопролетных зданий с пролетами от 12 до 24 м. Несущие рамы могут быть образованы из прямолинейных элементов (ригели, стойки), соединенных нагелями или с помощью зубчатых шипов. Могут использоваться также гнукотклеенные рамы. Арочные каркасы проектируют для общественных и производственных однопролетных зданий (склады минеральных удобрений, химического сырья и др.) с пролетами до 60 м и более. Стрела подъема арок обычно не менее $1/6$ длины пролета L , а высота сечения арки – до $1/30L$ [6].

Здания с облегченным деревянным каркасом (light frame timber buildings) рассчитаны на мало- и среднеэтажный жилой сектор домостроения, офисы, небольшие торговые центры и прочие объекты. В качестве несущих деревянных конструкций в каркасных зданиях используют клееные и клефанерные балки с постоянной и переменной высотой сечения, металлодеревянные фермы, распорные плоскостные конструкции (арки, рамы), пространственные конструкции в виде сводчатых и купольных покрытий.

Одним из главных требований, предъявляемых к конструкциям из цельной древесины и ДКК с несущими и ограждающими функциями, является обеспечение требуемой нормативной огнестойкости. Огнестойкость деревянных конструкций зависит не только от вида материала (клееная или цельная древесина), но и от наличия элементов усиления, узлов сочленения, геометрических размеров и конфигурации сечения строительного элемента, величины механических нагрузок, конструктивной огнезащиты, условий огневого воздействия (пожара) и многих других факторов.

Нормативное регулирование в области огнестойкости деревянных конструкций. Отечественные и зарубежные методологические подходы к оценке огнестойкости деревянных конструкций. Основные положения технического регулирования в области пожарной безопасности, а также общие требования пожарной безопасности к зданиям и сооружениям приведены в Федеральном законе РФ № 123-ФЗ от 22 июля 2008 г. [7]. Позднее в него были внесены некоторые изменения [8]. Специально для зданий и сооружений из цельной древесины и ДКК в 2011 г. введен в действие свод правил и норм по проектированию и расчету конструкций жилых, общественных, промышленных и других деревянных строительных объектов [9]. Методы проектирования и расчета ДКК, конструкций из цельной древесины, нормативные и расчетные значения прочности деревянных конструкций при разных видах нагружения нашли также отражение в стандарте [10].

Здания и сооружения всех типов классифицируют по степени огнестойкости, классу конструктивной пожарной опасности и классу функциональной пожарной опасности. По степени огнестойкости здания подразделяют на здания I, II, III, IV и V степени огнестойкости (табл. 1).

Степень огнестойкости зданий и сооружений устанавливают в зависимости от числа этажей (высоты здания), площади этажа (пожарного отсека), функционального назначения здания (класса функциональной пожарной опасности), типа применяемых конструкций. Построенные из массивных бревен одноэтажные деревянные здания могут быть отнесены к зданиям IV степени огнестойкости. Легкие каркасные деревянные здания и сооружения без специальной огнезащиты относят к V степени огнестойкости.

Таблица 1

Соответствие степени огнестойкости и предела огнестойкости строительных конструкций зданий, сооружений и пожарных отсеков

Степень огнестойкости здания	Предел огнестойкости строительных конструкций, не менее						
	Несущие элементы здания	Наружные несущие стенки	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и над подвалами)	Элементы бесчердачных покрытий		Лестничные клетки	
				Настилы (в том числе с утеплителем)	Фермы, балки, прогоны	Внутренние стены	Марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	не нормируется						

Поведение строительных конструкций при пожаре зависит от температурного режима пожара и его продолжительности. В свою очередь на температурный режим пожара влияют вид и количество сгораемых веществ и материалов (пожарная нагрузка), их размещение в помещении, размеры и конфигурация помещения, размеры проемов в ограждающих конструкциях и другие факторы. Это означает, что при одной и той же пожарной нагрузке возможны различные варианты развития пожара и каждому варианту будет соответствовать свой температурно-временной режим пожара (рис. 1).

Для экспериментального определения предела огнестойкости деревянных конструкций используют стандартные методы [11, 12]. Отечественные методы ГОСТ 30247.0 и ГОСТ 30247.1 по параметрам печных устройств и реализации температурно-временного режима пожара подобны стандартам ISO 834 и ASTM E-119.

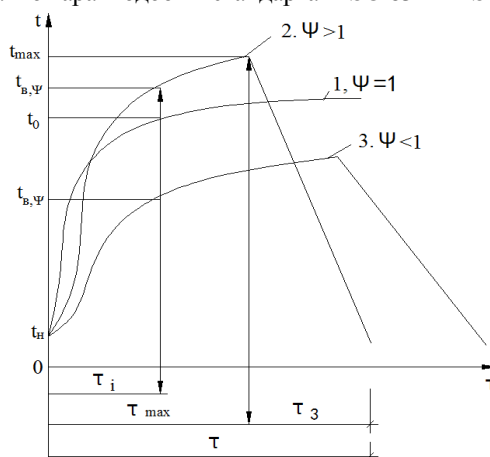


Рис. 1. Температурные режимы пожара: 1 – стандартный режим; 2 – режим более жесткий, чем стандартный; 3 – режим более мягкий, чем стандартный

Для классификации конструкций по огнестойкости используют стандартный режим пожара, при котором изменение среднеобъемной температуры нагревающей среды на стадии развития пожара описывается уравнением:

$$t = 345 \lg(8\tau + 1) + T_0, \quad ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

где τ – время действия пожара, мин; t_0 – начальная температура, равная 20°C .

В реальных условиях температурный режим пожара может быть более «жестким», чем стандартный пожар (рис. 1, кривая 2). В этом случае огнестойкость конструкции будет меньше, чем при стандартном пожаре.

В более «мягком» режиме (рис. 1, кривая 3) огнестойкость конструкции будет превышать значение при стандартном испытании [13].

Температурный режим при реальных пожарах на стадии развития предложено описывать зависимостью

$$T = \psi 345 \lg(8\tau + 1) + T_0. \quad (2)$$

Эта зависимость отличается от уравнения (1) наличием коэффициента температурного режима пожара ψ . Значение ψ равно отношению температур реального и стандартного пожара для одних и тех же моментов развития этих пожаров.

Значение ψ можно определить, учитывая фактор проемности K_n в помещении пожара:

$$\psi = 1,37 - (150K_n - 0,65)/K_n^2 10^4, \quad (3)$$

где $K_n = A_n \sqrt{H} / A$, A_n – площадь вертикальных проемов, м^2 ; H – средняя высота проемов, м; A – полная площадь всех горизонтальных и вертикальных ограждающих конструкций помещения, м^2 .

Для режимов, отличных от стандартного пожара (рисунок 1), время τ_{\max} предлагается вычислять по формуле

$$\tau_{\max} = Q_{\text{CY}} / (8318K_n - 4021 K_n^2), \quad (4)$$

где Q_{CY} – удельная пожарная нагрузка, приведенная к суммарной площади поверхности ограждений, $\text{МДж}/\text{м}^2$.

Тогда значение максимальной температуры газовой среды при реальном пожаре будет равно

$$T_{\max} = \psi 345 \lg(8\tau_{\max} + 1) + T_0. \quad (5)$$

Скорость снижения температуры на стадии затухания пожара равна

$$V_3 = (98\ 000K_n - 1500)/Q_{\text{CY}} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{мин}. \quad (6)$$

Аналогичный подход с учетом площади проемов и ограждений, теплопоглощающей способности ограждения рекомендован при расчете параметрических температурно-временных зависимостей пожара Европейским стандартом EN 1991-1-2-2002, получившим статус Национального стандарта России в 2011 г. [14].

Время достижения максимальной температуры газовой среды в помещении пожара зависит от скорости развития пожара и его характера – регулируется ли он пожарной нагрузкой или вентиляцией. Соответственно от этих факторов зависит и температурный режим в помещении на стадии затухания пожара [14].

В настоящее время также предложены и другие методы оценки температурных режимов пожара, в которых используются зонное и/или полевое моделирование поведения газовой среды при пожаре в помещении [15].

Показателем огнестойкости строительной конструкции является фактический предел огнестойкости, который определяется по времени (в минутах) наступления одного или последовательно нескольких нормируемых для данной конструкции признаков (R, E или I). Предел огнестойкости конструкций из древесины определяется обычно временем, за которое несущая способность сечения уменьшается за счет обугливания и прогрева до величины действующей нагрузки.

Основными признаками предельного состояния несущих и ограждающих конструкций являются:

1 – потеря несущей способности (признак *R*), наступает вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций (например, недопустимого изгиба);

2 – потеря целостности – образование в конструкциях или стыках сквозных трещин или сквозных отверстий (признак *E*), через которые в смежное помещение проникают продукты горения или пламя;

3 – потеря теплоизолирующей способности (признак *I*) – повышение температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем больше, чем на 160 °С или выше 180 °С в любой точке этой поверхности;

4 – достижение предельной величины плотности теплового потока ($3,5 \text{ кВт/м}^2$) на нормируемом расстоянии (0,5 м) от необогреваемой поверхности конструкции (признак *W*).

При проектировании строительного объекта ориентируются на то, чтобы предел огнестойкости узлов соединения элементов и опорных узлов деревянных конструкций, в том числе с применением металлических и неметаллических элементов усиления, был не ниже требуемого предела огнестойкости конструкции в целом.

Допускается предел огнестойкости деревянных конструкций устанавливать расчетным путем на основе закономерностей обугливания и прогрева их сечений в условиях стандартного теплового воздействия, регламентируемого ГОСТ 30247.0, и с учетом предельных состояний по огнестойкости, регламентируемых ГОСТ 30247.1.

Экспериментальная и расчетная оценка скорости обугливания деревянных конструкций. Основные факторы, оказывающие влияние на параметры обугливания. Вопрос о скорости обугливания конструкций из цельной древесины, ДКК и других видов продукции на основе древесины при пожаре занимает центральное место в исследованиях огнестойкости деревянных зданий и сооружений. Это не удивительно, так как предел огнестойкости конструкций определяют с учетом суммарного времени от начала теплового воздействия на деревянный элемент конструкции до начала его обугливания и времени от начала обугливания до наступления предельного критического состояния.

В условиях пожара огнестойкость сложных деревянных конструкций определяется главным образом снижением несущей способности их деревянных элементов и узловых соединений этих элементов. Несущая способность элементов деревянных конструкций снижается вследствие обугливания древесины и уменьшения размеров рабочего сечения, способного воспринимать действующие нагрузки, а также из-за изменения прочности древесины в необугленной части сечения [6]. На изменение несущей способности узловых соединений при пожаре оказывает влияние как обугливание древесины, так и снижение прочности стальных элементов, используемых в деревянных конструкциях – стальных нагелей, узлов усиления – накладок, башмаков.

Процесс обугливания древесины неминуемо сопровождается уменьшением размеров рабочего сечения деревянной конструкции. Из-за пористой структуры и низкой теплопроводности угольный слой служит тепловым барьером, ограничивает доступ кислорода к необугленному сечению конструкции. Неравномерное распределение температуры по сечению за фронтом обугливания приводит к тому, что механические и теплофизические свойства древесины в различных точках данного сечения изменяются неодинаково.

Детальное исследование обугливания 8-ми видов образцов древесины хвойных и лиственных пород при стандартном режиме пожара провели R.White и E. Nordheim [16]. Методом регрессионного анализа результатов была установлена следующая взаимосвязь между временем теплового воздействия пожара и толщиной обугленного слоя:

$$\tau = mx_c^{1,23}, \quad (7)$$

где τ – время теплового воздействия, мин; x_c – толщина обугленного слоя, мм.; m – коэффициент корреляции – величина, обратно пропорциональная скорости обугливания. Этот показатель является функцией кажущейся плотности сухой древесины, ρ , кг/м³, содержания влаги, u , %, в образце и параметра усадки обугленного слоя, f_c . Показатель скорости обугливания, m , рассчитывают по формуле

$$m = 0,000564\rho + 1,21u + 0,532f_c - 0,147, \text{ мин/мм}^{1,23}. \quad (8)$$

Здесь f_c – безразмерный параметр уменьшения толщины обугленного слоя. Он определяется как отношение толщины обугленного слоя в конце огневого воздействия к исходной толщине слоя древесины, который мог быть обугленным. Авторы [16] полагают, что фактор f_c зависит от содержания лигнина в химическом составе древесины.

Для сухой еловой древесины с $\rho=460$ кг/м³ значение показателя скорости обугливания $m=0,47$ мин/мм^{1,23}, а при влажности 9 % $m=0,58$ мин/мм^{1,23}.

Указанная выше формула относится к условиям испытания по стандартному температурному режиму деревянных конструкций в ненагруженном состоянии. Известно, что приложенное к образцу механическое напряжение «помогает» тепловому движению разрушать материал. Но как влияет нагруженное состояние элемента конструкции на скорость обугливания и влияет ли вообще – этот вопрос остается открытым.

Эксперименты показывают, что средняя скорость обугливания древесины разных видов может изменяться от 0,6 до 1,1 мм/мин и зависит от многочисленных факторов, в частности, от плотности (объемной массы) и влажности древесины, количества сторон обогрева конструкции, продолжительности нагрева, размера сечения, шероховатости поверхности и других факторов [17].

Скорость обугливания древесины лиственных пород в условиях стандартного пожара на 10–20 % меньше по сравнению с образцами хвойных пород. С увеличением объемной массы (плотности), влажности древесины и размеров сечения деревянного элемента средняя скорость обугливания снижается. С увеличением температуры нагревающей среды при пожаре, притока воздуха, количества сторон обогрева конструкции и шероховатости деревянной поверхности скорость обугливания древесины возрастает. Например, при 4-стороннем воздействии температурно-временного стандартного пожара на деревянные колонны в нагруженном состоянии скорость обугливания возрастала в 1,25–1,3 раза по сравнению с односторонним нагревом. При достаточно продолжительном температурном воздействии скорость обугливания древесины снижается.

По сравнению с клееной древесиной, скорость обугливания цельной древесины выше. В экспериментальном исследовании деревянных балок из хвойной древесины ели сечением 100x140 мм и 150x250 мм, подверженных воздействию стандартного режима пожара, были получены следующие средние значения скорости обугливания в направлении от центра сечения [18]:

- ◆ для балок из цельной древесины:
 - скорость обугливания сбоку равна 0,65 мм/мин;
 - скорость обугливания снизу равна 0,95 мм/мин;
- ◆ для балок из клееной древесины:
 - скорость обугливания сбоку равна 0,55 мм/мин;
 - скорость обугливания снизу равна 0,85 мм/мин.

При этом замечено, что скорость обугливания не линейна, является различной в отдельных фазах горения древесины.

Скорость обугливания древесины существенно зависит от типа и условий эксплуатации несущих конструкций [19]. В ряде европейских стран приняты стандарты, устанавливающие при проектировании строительных объектов среднюю скорость обугливания для того или иного типа деревянных конструкций. Так, например, в циркуляре №91/61 Министерства внутренних дел Италии обозначены следующие средние скорости обугливания древесины в зависимости от вида несущей деревянной конструкции: балки внешние, образующие свод, и боковые – 0,8 мм/мин, балки внутренние, образующие свод – 1,1 мм/мин; пилястры и колонны – 0,7 мм/мин, другие горизонтальные конструктивные элементы – 1,1 мм/мин. В более позднем итальянском государственном стандарте UNI 9504 «Аналитическая оценка огнестойкости деревянных конструктивных элементов» установлены скорости обугливания 0,9 мм/мин для цельной древесины и 0,7 мм/мин – для многослойной клееной древесины.

Из соотношения баланса тепловой энергии во фронте пиролиза и на поверхности обугленного слоя при горении древесины авторы работы [20] получили аналитическую зависимость нарастания толщины обугленного слоя, δ_k , от времени t с учетом усадки кокса. Это стало возможным при ряде допущений: квазистационарности процесса горения, относительно небольшой толщины зоны пиролиза, преимущественного лучистого теплообмена между пламенем и поверхностью горючего материала, применении заранее принятого профиля изменения температуры в разлагающемся материале по экспоненциальному закону. Предполагался постоянным коэффициент усадки, β_y , обугленного слоя, а также выход карбонизованного остатка, K , в результате пиролиза материала. Получено следующее уравнение:

$$\delta_k = \sqrt{2a_k t + b_k^2} - b_k, \quad (9)$$

здесь b_k – параметр, учитывающий кондуктивную теплопроводность обугленного слоя и лучистую теплопередачу от пламени с температурой T_f .

$$b_k = \lambda_k / A_{эфф} \sigma T_f^3, \quad (10)$$

где $A_{эфф} = 1 / [(1/\epsilon_f) (1/\epsilon_w - 1) + 1/\epsilon_w]$ – эффективная функция радиационных параметров пламени и поверхности горючего; ϵ_f и ϵ_w – излучательные способности пламени и поверхности горючего.

Параметр $a_k = (1 - \beta_y) \lambda_k (T_f - T_k) / \rho[(1 - K) L_v + c(T_k - T_0)]$ учитывает соотношение теплоты, переносимой от пламени к фронту пиролиза, и тепла, затрачиваемого на газификацию горючего.

Применительно к горению ели дугласии при $T_f = 1200$ °К и принятых свойствах древесины: $\rho = 450$ кг/м³, $c = 2800$ Дж/кг·°К, $\lambda_k = 0,5$ Вт/м·°К, $\beta_y = 0,2$, $K = 0,2$, $L_v = 1820$ кДж/кг, $T_k = 623$ °К расчеты показали, что толщина обугленного слоя за 20 минут периода горения достигает почти 18,5 мм. Средняя скорость обугливания составляет 0,925 мм/мин. После начала обугливания еловой древесины массовая скорость пиролиза за этот период снизилась с 12 до 4 г/м²с [20].

В лаборатории огнестойкости Академии ГПС МЧС России (г. Москва) была экспериментально определена средняя скорость обугливания древесины хвойных и лиственных пород в режиме стандартного пожара на маломасштабной огневой печи при одностороннем нагреве образцов размером 150x150x30 мм в течение 20 мин. В этих условиях начало активного обугливания образцов наблюдается через 4–5 минут с момента испытания.

В табл. 2 приведены полученные значения средней скорости обугливания древесины, а также характеристика образующегося поверхностного угольного слоя.

Таблица 2

Параметры обугливания древесины разных видов и поверхностного угольного слоя

Образец	$\delta_{\text{кокса}}$, мм	β_0 , мм/мин	$\rho_{\text{кокса}}$, кг/м ³	T_s кокса, °С	$(\lambda\rho c)_{\text{кокса}}$, кДж ² /м ⁴ К ² с
Ель	23	1,15	225	780	0,140
Сосна	19	0,95	268	732	0,133
Береза	13,5	0,675	285	718	0,115
Дуб	9,2	0,46	348	700	0,119

Как видно из табл. 2, образцы лиственной древесины обугливаются с меньшей скоростью, чем образцы ели и сосны. При этом они образуют поверхностный угольный слой меньшей толщины, но более плотный. Снижение значения тепловой инерции кокса, $\lambda\rho c$, у лиственной древесины, по-видимому, обусловлено образованием более однородной мелкопористой структуры кокса.

Скорость обугливания незащищенных элементов конструкции при стандартном режиме пожара в условиях одномерной теплопередачи обычно принимают в качестве базового значения при проектировании деревянных зданий и сооружений. Например, в Еврокоде 5, EN 1995-1-2 рекомендовано использовать для хвойной древесины базовую скорость обугливания 0,65 мм/мин при толщине образцов 20 мм и плотности 450 кг/м³. Если толщина образцов древесины и плотность будут другими, базовую скорость обугливания умножают на соответствующие коэффициенты [21].

При нагревании деревянной конструкции с трех или четырех сторон с учетом угловых закруглений для древесины хвойной породы рекомендовано использовать значение скорости обугливания $\beta_0 = 0,8$ мм/мин., а для ДКК (glulam и LVL) – $\beta_0 = 0,7$ мм/мин (табл. 3) [21].

Таблица 3

Расчетные значения скорости обугливания b_n и b_0 для древесины, LVL, деревянных панелей и древесных плит

Наименование конструкционного материала	b_0 , мм/мин	b_n , мм/мин
а) Древесина хвойных пород и бук		
Клееная древесина с нормативной плотностью $\rho \geq 290$ кг/м ³	0,65	0,7
Цельная древесина с нормативной плотностью $\rho \geq 290$ кг/м ³	0,65	0,8
б) Древесина лиственных пород		
Цельная древесина или клееная древесина с нормативной плотностью $\beta \geq 290$ кг/м ³	0,65	0,7
Цельная древесина или клееная древесина с нормативной плотностью $\beta \geq 450$ кг/м ³	0,50	0,55
в) LVL с нормативной плотностью $\beta \geq 480$ кг/м ³	0,65	0,7
д) Плиты		
Деревянные панели	0,9а)	—
Клееная фанера	1,0а) 0,9а)	—
Древесные плиты, кроме клееной фанеры	—	—
а) Значения применяются при нормативной плотности древесины 450 кг/м ³ и толщине плиты 20 мм, при другой толщине материала и нормативной плотности		

где b_n – расчетное значение условной скорости обугливания, учитывающей влияние угловых закруглений и трещин, b_0 – расчетное значение скорости одностороннего обугливания при стандартном воздействии пожара [21].

При наличии конструктивной огнезащиты главное внимание в европейском стандарте [21] уделено времени начала обугливания защищаемого элемента конструкции. При этом эффект огнезащиты многослойной системы принимается аддитивным, складывается из суммы времени огнезащитного действия каждого слоя. Взаимное влияние соседних слоев на изменение теплопередачи в сложной несущей и ограждающей конструкции деревянных сооружений учтено в рекомендации [23]. Показано, что при наличии огнезащиты скорость обугливания защищаемого элемента деревянной конструкции является замедленной. Однако после разрушения огнезащиты обугливание происходит с повышенной скоростью, превышающей скорость обугливания древесины без огнезащиты.

Наиболее существенными факторами, определяющими огнестойкость конструкций из древесины, являются размеры сечения конструкции, количество сторон обогрева в условиях огневого воздействия и вид деревянных конструкций (клееная или цельная). Экспериментально было установлено, что огнестойкость клееных конструкций выше, чем огнестойкость цельной природной древесины. Это можно объяснить более качественной структурой клееных элементов, а также использованием в индустрии клееных деревянных конструкций термостойких клеев. Так, деревянная клееная балка с размерами сечения 100x140 мм при испытании имеет предел огнестойкости 35 мин, что на 10 мин превышает предел огнестойкости цельной древесины подобного сечения [18]. Результаты определения предела огнестойкости деревянных балок в зависимости от размера сечения и количества сторон обогрева в условиях стандартного режима пожара представлены в табл. 4.

Таблица 4

Влияние условий обогрева на предел огнестойкости деревянных балок различного сечения

№ п/п	Вид конструкции	Предел огнестойкости, мин
1	Деревянные балки, напряженные на изгиб, незащищенные (трехстороннее воздействие пожара) с размерами в мм:	25
		30
		40
		50
		50
2	Деревянные колонны, незащищенные, напряженные на продольный изгиб при гибкости $\lambda=75$ (четырёхстороннее воздействие пожара) с размерами в мм:	10
		15
		15
		20

Результаты, представленные в табл. 4, свидетельствуют о том, что с уменьшением размеров сечения конструкции существенно снижаются значения предела огнестойкости. Так, конструкция сечением 100x140 мм имеет предел огнестойкости 25 мин, а конструкция сечением 180x260 мм – в два раза больше – 50 мин. Увеличение количества сторон обогрева ведет к снижению предела огнестойкости конструкции.

Большое влияние на огнестойкость и пожарную опасность деревянных конструкций оказывает конфигурация их сечения. Например, в элементах прямоугольного сечения более интенсивно обугливаются углы сечений при «стандартном пожаре», скругление которых наблюдается через 10–15 мин после начала карбонизации древесины. Ребра и подобные выступающие части элементов с большим отношением площади нагреваемой поверхности к объему нагреваемого материала воспламеняются быстрее, чем плоские или выпуклые элементы с большим радиусом кривизны [6].

Для расчета средней температуры в середине сечения деревянного элемента конструкции при стандартном температурном режиме пожара с учетом скорости обугливания и условий обогрева конструкции можно использовать формулу

$$T = (1 + kb/h) [20 + 180(\beta\tau_f)^\eta / (1-\eta) (b/h - \beta\tau_f)] \{ (b/h)^{1-\eta} (\beta\tau_f)^{1-\eta} \} \quad (11)$$

Здесь b , h – начальные значения ширины и высоты поперечного сечения деревянного элемента конструкции; β – скорость обугливания; τ_f – продолжительность действия пожара; k – коэффициент, учитывающий число сторон обогрева конструкции.

Принимают $k=0$ при 2-стороннем обогреве, при 3-стороннем $k=0,25$ и обогреве с 4-х сторон $k=0,4$. Показатель τ учитывает продолжительность пожара: $\eta = 0,398 \tau_f^{0,62}$.

Распределение температуры от фронта обугливания с температурой 300 °С к центру сечения массивных клееных деревянных элементов происходит по гиперболическому закону. Механические свойства древесины изменяются линейно с температурой в определенных интервалах нагрева.

Приложенное к образцу древесины механическое напряжение усиливает разрушение материала. Так, предел огнестойкости 3 м сосновых балок сечением 120x410 мм снижался с 65 до ~ 20 мин с увеличением нагрузки, установленной в середине балки, от 2300 до 9200 кг при стандартном температурном режиме пожара [24].

Можно отметить, что в одинаковых условиях механического нагружения деревянные балки из лиственницы обнаруживали почти на 25 % более высокий предел огнестойкости, чем балки из сосновой древесины. Скорость обугливания деревянных балок из лиственницы и толщина обугленного слоя также были меньшими. По сведению [25] аналогичный эффект наблюдали при испытании деревянных клееных балок (glulam) из ели дугласии сечением 222x419 мм и длиной 4,57 м по стандарту ASTM E 119. Огневому воздействию в печи подвергалась центральная часть балок длиной 3,76 м. Нагрузки на балки были равномерно размещены в двух точках на равном расстоянии так, что они составляли 27, 44 и 91 % от проектного значения. Допустимые значения напряжения и жесткости соответствовали 16,55 МПа и $E=11$ ГПа. Разрушение деревянных клееных балок в этих условиях происходило через 147, 114 и 85 мин соответственно. За этот период толщина обугленного слоя достигала 81, 74,5 и 57,3 мм соответственно.

При стандартном температурном режиме пожара фактический предел огнестойкости деревянных конструкций, P_ϕ , определяют по суммарному времени от начала теплового воздействия на древесину при пожаре до начала обугливания, τ_o , и времени от начала обугливания до наступления предельного состояния при пожаре, $\tau_{кр}$:

$$P_\phi = \tau_o + \tau_{кр}, \text{ мин.} \quad (12)$$

Последний показатель определяют, исходя из скорости обугливания древесины:

$$\tau_{кр} = (\delta_{кр} - \delta) / v, \quad (13)$$

где v – скорость обугливания, мм/мин; $\delta_{кр}$ – толщина обугленного слоя при предельном состоянии, мм; δ – толщина слоя древесины за фронтом обугливания, который практически не сопротивляется действующей на элемент конструкции нагрузке.

В недавно актуализированной редакции свода норм и правил по деревянным конструкциям [22] рекомендовано считать толщину слоя (δ), равной 7 мм, как и в Еврокоде 5 [21]. Таким образом принимается, что слой древесины, прогретый от 175 до 300 °С, из-за существенного снижения и утери прочностных свойств не должен учитываться при расчетах предела огнестойкости деревянных конструкций. Критическая толщина обугленного слоя $\delta_{кр}$ не должна превышать 0,25 наименьшего размера (толщины) сечения рассматриваемого элемента конструкции.

Общий принцип расчета огнестойкости строительных конструкций при пожаре состоит в решении двух задач: теплотехнической и прочностной, статической. Цель теплотехнической задачи заключается в оценке распределения температуры по сечению деревянной конструкции, времени ее прогрева и достижения критического значения. Цель статической задачи состоит в расчете времени достижения предельного состояния элемента конструкции по потере прочности из-за изменения механических свойств в зависимости от температуры и времени достижения ее критического значения.

Точные расчетные методы предела огнестойкости строительных конструкций, в том числе из древесины и других композиционных материалов, основаны на математическом моделировании и численном решении системы частных уравнений теплопередачи и статики с помощью современных ЭВМ. В этом случае необходимы вводные данные по характеристике конструктивных материалов. В частности, знание макрокинетических параметров разложения, теплофизических, термомеханических и механических свойств в широком температурном диапазоне материалов, из которых создана та или иная конструкция, критические значения прочности и деформации. При наличии огнезащиты необходимы еще соответствующие данные о характеристиках материала огнезащиты [20, 26]. Подобные расчеты очень сложные. Поэтому в инженерной практике используют упрощенные приемы и методы для решения конкретных задач, в частности, конечно-разностные методы и аналитические решения. Для учета условий эксплуатации, нагружения, изменения геометрических характеристик, толщины слоев в ДКК, наличия узлов связей и прочих факторов используют соответствующие коэффициенты, на которые умножают (или делят) базовые расчетные сопротивления. Базовые значения расчетных сопротивлений хвойных пород цельной древесины и ДКК по разным напряженным состояниям (изгиб, сжатие, растяжение, скалывание и др.) приведены в нормативных документах [22, 27].

Принцип применения соответствующих коэффициентов для учета влияния разных факторов на начало обугливания (огнестойкость) несущих и ограждающих элементов конструкций в деревянных легких каркасных сооружениях (light frame timber structures) реализован также в Еврокоде 5 и рекомендации [25, 26].

Деревянные элементы конструкций в легких каркасных сооружениях без огнезащиты теряют свои несущие функции при пожаре в течение нескольких минут. Эффективная защита всех элементов несущих конструкций, правильная последовательность огнезащитных ограждающих панелей и теплоизолирующих слоев в общей ассамблее, огнезащита узлов соединений и сочленений позволяет повысить предел огнестойкости здания в целом до 120 мин.

Оценка огнестойкости ограждающих конструкций по признаку потери теплоизолирующей способности в зависимости от схемы элементов стены (перегородки) и направлений теплопередачи. Процедура расчета огнестойкости ограждающих конструкций деревянных зданий каркасного типа по аддитивному методу компонентов приведена в Европейском стандарте [21]. В данном методе для определения огнестойкости конструкции в целом последовательно рассчитывают огнестойкость каждого материала (слоя), входящего в состав конструкции с учетом узловых соединений и используемой теплоизоляции, а затем суммируют все частные вклады. Таким образом, акцентируется внимание на конструктивной огнезащите деревянных зданий, качестве и эффективности ее действия. При этом

считают, что критерий I выполняется, если средняя температура на необогреваемой поверхности всей деревянной конструкции не превышает $140\text{ }^{\circ}\text{C}$, а максимальный подъем температуры в любой точке поверхности не превышает $180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кроме того, опыт показывает, что если соблюдается критерий I, а панели, соединенные с необогреваемой стороной деревянной конструкции, остаются на месте, то ограждающая деревянная конструкция удовлетворяет критерию E.

В указанном выше Европейском стандарте не учитывается влияние соседних слоев в ограждающей многослойной деревянной конструкции на передачу тепла в анализируемом слое материала. Понятно, что этот фактор должен отражаться на теплоизолирующей способности (огнестойкости) ограждающей конструкции в целом.

Относительно недавно была разработана улучшенная процедура расчета огнестойкости ограждающих и несущих деревянных конструкций в условиях воздействия стандартного температурного режима пожара с учетом взаимного влияния слоев на теплопередачу. Соответствующее руководство было выполнено в рамках многостороннего сотрудничества стран Евросоюза по исследовательскому проекту «Огнестойкость инновационных деревянных конструкций» [23]. В перспективе намечена в этом плане ревизия стандарта EN 1995-1-2. Eurocode 5 [21]. Представляло интерес, используя руководство [23], выяснить, как изменяется огнестойкость типовой ограждающей деревянной конструкции в виде простой модели стены деревянного здания каркасного типа при применении внутренней теплоизоляции и дополнительной панели гипсовой штукатурки со стороны огневого воздействия.

На рис. 3 представлены схемы моделей элементов рассматриваемых ограждающих конструкций стен и направлений теплопередачи через эти многослойные конструкции.

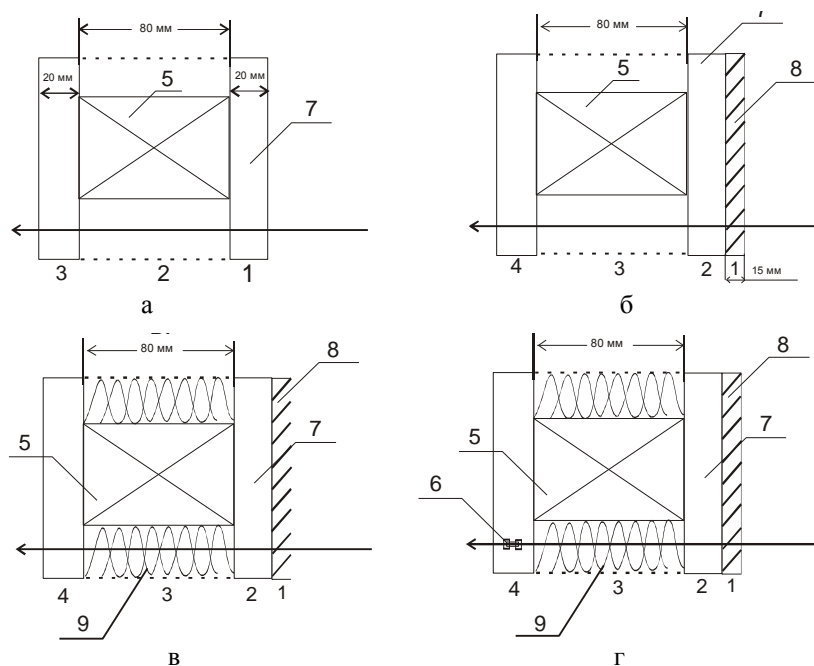


Рис. 3. Схемы элементов ограждающих деревянных каркасных конструкций и рассматриваемые направления теплопередачи: 1, 2, 3, 4 – последовательность слоев конструкции; 5 – деревянная балка каркаса; 6 – шпунт; 7 – деревянный элемент ограждающей конструкции; 8 – панель гипсовой штукатурки; 9 – теплоизоляция (минеральная вата); ← направление теплопередачи

В первой анализируемой модели (а) ограждающей деревянной конструкции использованы только доски из цельной древесины хвойной породы толщиной 20 мм, без узлов соединений. Между деревянными обшивками – пустое пространство, без теплоизоляции.

Во второй модели (б) добавлена панель гипсовой штукатурки толщиной 15 мм со стороны огневого воздействия. Вариант (в) отличается от (б) заполнением пространства между деревянными досками теплоизоляцией типа минеральной ваты. В варианте (г) по сравнению с (в) в деревянной обшивке последнего слоя конструкции дополнительно имеется узел соединения (шпунт) и теплопередача через ограждающую конструкцию рассматривается с его участием.

Огнестойкость ограждающей деревянной конструкции по признаку I будет приемлемой, если она будет выше нормируемого требования:

$$t_{ins} \geq t_{req}. \quad (14)$$

Время потери теплоизолирующей способности ограждающей деревянной конструкции рассчитывают по уравнению

$$t_{ins} = \sum_{i=n-1}^{i=1} t_{prot,i} + t_{ins,n}, \quad (15)$$

где $t_{prot,i}$ – время теплозащиты слоев (в направлении теплового потока), предшествующих последнему слою конструкции, считая со стороны действия пожара; $t_{ins,n}$ – время теплоизоляции последнего слоя конструкции.

Вклад времени защиты от огня каждого слоя рассчитывают по уравнению

$$t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} \cdot \Delta t_i) \cdot k_{i,n}. \quad (16)$$

Вклад последнего изолирующего слоя рассчитывают по уравнению

$$t_{ins,n} = (t_{ins,0,n} \cdot k_{pos,exp,n} + \Delta \tau_v) \cdot k_{i,n}, \quad (17)$$

где $t_{prot,0,i}$ – базовое значение времени защиты рассматриваемого i -того слоя конструкции, мин;

$k_{pos,exp,i}$, $k_{pos,exp,n}$ – коэффициенты позиции, которые учитывают влияние слоев, предшествующих рассматриваемому слою со стороны действия теплового потока;

$k_{pos,unexp,i}$ – коэффициенты позиции, учитывающие влияние соседних слоев с обратной стороны рассматриваемого слоя;

Δt_i и Δt_n – скорректированное время, мин, для слоев гипсовой штукатурки типа F и гипсовой волокнистой плиты;

$k_{j,i}$, $k_{j,n}$ – коэффициенты, учитывающие узлы соединений;

$t_{ins,0,n}$ – базовое значение времени изоляции последнего слоя ограждающей деревянной конструкции в направлении теплового потока.

Указанные величины представлены в таблицах руководства [23], что позволяет провести достаточно быстро инженерный расчет огнестойкости различных вариантов деревянных ограждающих конструкций.

В качестве примера проведен расчет огнестойкости ограждающей конструкции варианта (г) и дано сравнение с пределами огнестойкости других моделей рассматриваемых конструкций элемента стены (перегородки) по признаку I (потеря теплоизолирующей способности). Предположим, что требуемый (нормируемый) предел огнестойкости ограждающей деревянной конструкции равен 30 мин в условиях стандартного температурного режима пожара.

Рассчитаем последовательно временные вклады каждого слоя конструкции в общую теплоизолирующую функцию (огнестойкость) ограждения.

Первый слой со стороны огневого воздействия – 15 мм – слой обычной гипсовой штукатурки.

$$t_{prot,1} = t_{prot,0,1} \cdot k_{pos,exp,1} \cdot k_{pos,unexp,1} \cdot k_{j,i}$$

Для этого вида материала слоя [23] определяем базовое значение:

$$t_{prot,0,1} = 30(h_i / 15)^{1,2} = 30(15 / 15)^{1,2} = 30 \text{ мин.}$$

Коэффициент $k_{pos,exp,1} = 1$ (другой слой перед рассматриваемым отсутствует).

Коэффициент $k_{pos,unexp,1} = 1$ (с обратной стороны слой древесины [23]).

Коэффициент $k_{j,i} = 1$ (отсутствуют узлы соединения).

$$t_{prot,1} = 30 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 30 \text{ мин.}$$

Второй слой конструкции – из деревянной доски толщиной $h_i = 20 \text{ мм}$.

Базовое значение будет равно [23]

$$t_{prot,0,2} = 30(20 / 20)^{1,1} = 30(20 / 20)^{1,1} = 30 \text{ мин.}$$

Коэффициенты:

$$k_{pos,exp,2} = 0,5 \sqrt{(t_{prot,0,2} / t_{prot,1})} = 0,5 \sqrt{(30 / 30)} = 0,5 \text{ [23].}$$

$$k_{pos,unexp,2} = 0,35 h_i^{0,21} \text{ (обратная сторона слоя – теплоизоляция; [23]).}$$

$$k_{pos,unexp,2k} = 0,35 \cdot 20^{0,21} = 0,6565; \quad k_{j,i} = 1.$$

$$k_{prot,2} = 300,5 \cdot 0,6565 \cdot 1 = 9,85 \text{ мин.}$$

Третий слой теплоизоляции толщиной $h_i = 80 \text{ мм}$.

Для элемента конструкции стены [23] базовое значение

$$t_{prot,0,3} = 0,3 h_i^{(0,75 \log(\rho) - \rho / 400)} = 0,3 \cdot 80^{(0,75 \log 30 - 30 / 400)} = 27,7 \text{ мин.}$$

Коэффициенты:

$$k_{pos,exp,3} = 0,5 \sqrt{\{t_{prot,0,3} / (t_{prot,1} + t_{prot,2})\}} = 0,5 \sqrt{\{27,7 / (30 + 9,85)\}} = 0,416.$$

$k_{pos,unexp,3} = 1$ (за теплоизоляцией идет слой древесины, [12]).

$$k_{j,i} = 1.$$

Таким образом, $t_{prot,3} = 27,7 \cdot 0,416 \cdot 1 \cdot 1 = 11,52$ мин.

Последний 4-й слой из древесины толщиной $h_i = 20$ мм.

Определяем базовое значение времени на изоляцию теплового потока [12]:

$$t_{ins,0,4} = 19(h_i / 20)^{1,4} = 19(20 / 20)^{1,4} = 19 \text{ мин.}$$

Коэффициенты:

$$k_{pos,exp,4} = 0,5 \sqrt{\{t_{prot,0,3} / (t_{prot,1} + t_{prot,2} + t_{prot,3})\}} = \\ = 0,5 \sqrt{\{27,7 / (30 + 9,85 + 11,52)\}} = 0,30.$$

$$k_{pos,unexp} = 1; \quad k_{j,i} = 0,4$$

$$t_{ins,4} = t_{ins,0,4} \cdot k_{pos,exp,4} \cdot k_{pos,unexp,4} \cdot k_{j,i} = 19 \cdot 0,3 \cdot 0,4 = 2,28 \text{ мин.}$$

Таким образом, предел огнестойкости ограждающей деревянной конструкции по теплоизолирующей способности (признак I) в варианте модели элемента стены (г) будет равен сумме вкладов конструктивных компонентов:

$$\Pi = t_{ins} = t_{prot,1} + t_{prot,2} + t_{prot,3} + t_{prot,4} = \\ = 30 + 9,85 + 11,52 + 2,28 = 53,65 \text{ мин.}$$

Требование $t_{ins} \geq t_{req}$, $53,65 \geq 30$ мин является выполненным.

В других вариантах ограждающих деревянных конструкций, моделирующих элементы стен (перегородок), расчет по процедуре [12] дает следующие значения пределов огнестойкости по теплоизолирующей способности:

а) $\Pi_{\phi} = t_{ins} = 34,51$ мин; б) $\Pi_{\phi} = 41,3$ мин; в) $\Pi_{\phi} = 57,07$ мин.

По результатам расчетной оценки пределов огнестойкости ограждающих деревянных конструкций можно сделать вывод, что материал первого слоя конструкции имеет самое большое значение. Применение гипсовой штукатурки в качестве первого защитного слоя деревянной конструкции со стороны воздействия теплового потока вносит наибольший вклад в теплоизолирующую способность ограждающей конструкции. Заметным является также положительный вклад минеральной теплоизоляции между стенками конструкции и уменьшение теплоизолирующей способности при наличии узловых соединений.

Заключение. Современные тенденции в области огнестойкости деревянных зданий и сооружений неразрывно связаны с появлением новых прогрессивных материалов, строительством многоэтажных объектов с применением массивных клееных ограждающих и несущих конструкций из древесины.

В современных условиях эффективная защита деревянных конструкций от воздействия пожара может быть обеспечена техническими решениями, включающими в себя как массивность применяемых ДК (площадь поперечного сечения конструкции), так и применение конструктивной огнезащиты (облицовка негорючими или слабогорючими материалами, использование плитных негорючих материалов на минеральной основе и др.).

Таким образом, обеспечение огнестойкости зданий и сооружений из древесины, проектируемых по новым технологиям многоэтажного деревянного строительства, может решаться и регулироваться увеличением расчетной площади поперечного сечения несущих деревянных клееных конструкций, правильным подбором конструкционных материалов и их устойчивой совместной работой как в нормальных проектируемых условиях эксплуатации, так и при воздействии пожара.

Пределы огнестойкости деревянных конструкций зависят от многочисленных факторов, в частности от массивности конструкции, разновидности и качества (сорта) древесины как основного конструкционного материала, внешней нагрузки, условий эксплуатации и температурного режима пожара. В этой связи практическую значимость имеет экспериментальная работа по установлению пределов огнестойкости типовых и нестандартных несущих и ограждающих конструкций в условиях температурных режимов пожара, отличных от стандартного температурного режима.

Расчетная оценка пределов огнестойкости ограждающих ДК, демонстрирующая эффективность конструктивных способов огнезащиты, свидетельствует о том, что определяющую роль в обеспечении эффективного повышения огнестойкости ограждающих ДК играет первый защитный слой, а также применение негорючей минеральной теплоизоляции между стенками конструкции. Подобные оценочные расчеты фактически дают возможность проведения экспресс-анализа эффективности различных негорючих и слабогорючих материалов в виде внешней отделки и внутреннего заполнения конструкции в повышении пределов огнестойкости ограждающих деревянных конструкций.

В рамках гармонизации отечественных и зарубежных норм в сфере огнестойкости строительных конструкций актуальным является установление параметров обугливания конструкций из российских пород древесины, деревянных конструкций продолжительного срока эксплуатации, конструкций из древесины с различными видами огнезащиты, а также новых эффективных конструкционных материалов на основе древесины и последующая их адаптация в Европейской системе оценки огнестойкости деревянных конструкций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романенков И.Г., Зигерн-Корн В.Н. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов. – М.: Стройиздат, 1984. – 240 с.
2. Ковальчук Л.М. Производство деревянных клееных конструкций. – 3-е изд. – М.: РИФ «Стройматериалы», 2005. – 336 с.
3. В Ванкувере построят 30-этажный дом из дерева. Режим доступа. – <http://zhelezyaka.com/novosti/arhitektura/derevyannyu-neboskreb-6531/> Дата размещения – 21.03.2012.
4. Кобелева С.А. Перспективы деревянного домостроения // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы лесного комплекса». – Вып. 32. – Брянск: Изд-во Брянской государственной инженерно-технологической академии, 2012. – С. 83-86.
5. Архитектурный информационно-образовательный ресурс. Конкурс проектов «Дом на крыше», <http://architime.ru/competition/comprehibition270511.htm>. Рубрика – 30.09.2011. Названы победители конкурса «Дом на крыше».
6. Ройтман В.М., Серков Б.Б., Шевкуненко Ю.Г., Сивенков А.Б., Баринаева Е.Л., Приступюк Д.Н. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре / Учебник под общей редакцией В.М. Ройтмана. – 2-е изд. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – 366 с.
7. Федеральный закон РФ № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», 22.06.2008 г.
8. Федеральный закон РФ № 117 « О внесении изменений в Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», 10.07.2012.

9. ГОСТ 30247.1-94 Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.
10. ISO 834 Fire Resistance Tests – Elements of Building Construction.
11. ГОСТ 30247.0-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
12. ГОСТ 30247.1-94. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции. – М.: Изд-во стандартов, 1996
13. *Ройтман В.М.* Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий. Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 385 с.
14. НСР ЕН 1991-1-2-2011, Еврокод 1: Воздействия на сооружения. Ч. 1-2: Основные воздействия- Воздействия на сооружения при пожаре. – М., 2011.
15. *Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А., Молчадский И.С., Шевляков А.Н.* Термогазодинамика пожаров в помещениях. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.
16. *White R.H., Nordheim E.V.* Charring Rate of Wood for ASTM E 119 Exposure // Fire Technology. – 1992. – Vol. 28, № 1. – P. 5-30.
17. *Демехин В.Н., Мосалков И.Л., Серков Б.Б. и др.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – 656 с.
18. *Зоуфал Р., Кашипар Я.* Исследование деревянных конструкций с учетом пожарной безопасности // Бюллетень высшей специальной школы МВД НРБ, – София, 1986. – С. 70-88.
19. *Гусев А.И., Пазникова С.Н., Кожевникова Н.С.* Повышение огнестойкости деревянных конструкций // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Т. 15, № 3. – С. 30-35.
20. *Страхов В.Л., Крутов А.М., Давыдкин Н.Ф.* Огнезащита строительных конструкций ред. Ю.А. Кошмаров. – М.: ТИМП, 2000. – 433 с.
21. EN 1995-1-2-2004 Eurocode 5 – Design of timber structures. P. 1-2: General- Structural fire design.
22. СП 64.13330.2011 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – М., 2011.
23. Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe (2010). www.jrc.ec.europa.eu; ISBN 978-91-86319-60-1.
24. *Харитонов В.Г., Хмелидзе Т.П.* Поведение клееных деревянных балок в условиях стандартного пожара // Сб. Огнестойкость строительных конструкций и обеспечение пожарной безопасности людей и материальных ценностей. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. – С. 40-47.
25. *Janssens M.L.* Modeling of the thermal degradation of structural wood members exposed to fire // Fire and Materials. – 2004. – Vol. 28. – P. 199-207.
26. *Кошмаров Ю.А., Гераськов Г.В., Воинов А.Н., Молчадский И.С.* Математическое моделирование процесса обугливания при горении термически толстого материала с учетом воздействия внешнего теплового потока // Сб. “Исследование пожарной безопасности материалов, конструкций промышленных объектов, противопожарной защиты”. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1990. – С. 172-175.
27. СТО 36554501-002-2006 Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции. Методы проектирования и расчета. – М.: ФГУП ЦПП, 2006.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Пугач.

Арцыбашева Ольга Владимировна – Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (г. Москва); e-mail: alekseyenkova.olga@yandex.ru; 129311, г. Москва, Б. Галушкина, 5; тел.: 89629402824; кафедра пожарной безопасности в строительстве; адъюнкт.

Асеева Роза Михайловна – e-mail: gm-aseeva@yandex.ru; тел.: 84956172626; кафедра пожарной безопасности в строительстве; д.х.н.; профессор.

Сивенков Андрей Борисович – e-mail: sivenkov01@mail.ru; заместитель начальника учебно-научного комплекса проблем пожарной безопасности в строительстве; к.т.н.; доцент.

Серков Борис Борисович – e-mail: serkov@antip.ru; тел.: 84956172728; начальник учебно-научного комплекса проблем пожарной безопасности в строительстве; д.т.н.; профессор.

Artsybasheva Olga Vladimirovna – Academy of State Fire Service Emergency Russia (Moscow); e-mail: alekseyenkova.olga@yandex.ru; 5, B. Galushkina, Moscow, 129311, Russia; phone: +79629402824; the department of fire safety in construction; postgraduate student.

Aseeva Roza Mixajlovna – e-mail: rm-aseeva@yandex.ru; phone: +74956172626; the department of fire safety in construction; dr. of chem. sc.; professor.

Sivenkov Andrei Borisovich – e-mail: sivenkov01@mail.ru;

phone: +74956172626; deputy chief of teaching and research complex issues of fire safety in construction; cand. of eng. sc.; associate professor.

Serkov Boris Borisovich – e-mail: serkov@antip.ru; phone: +74956172728; head of teaching and research complex issues of fire safety in construction; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 66.002.387

В.М. Балакин, А.М. Селезнев, В.В. Белов

**ВЛИЯНИЕ АМИДОФОРМАЛЬДЕГИДГЛИОКСАЛЬСОДЕРЖАЩЕГО
ОЛИГОМЕРА НА ОГНЕЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА ВСПЕНИВАЮЩИХСЯ
ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ СТИРОЛАКРИЛОВОЙ ДИСПЕРСИИ**

Работа посвящена изучению влияния амидоформальдегидглиоксальсодержащего олигомера на огнезащитные свойства вспенивающихся покрытий на основе стиролакриловой дисперсии Акратам AS 04.1. Оценка свойств проводилась на образцах древесины сосны в установках типа «Огневая труба» и «ОТМ» – для определения показателя потери массы; на металлических цилиндрах в пламени газовой горелки – для определения теплоизоляционной эффективности и на металлических пластинах в муфельной печи – для определения коэффициента вспенивания. В результате работы установлено, что добавление амидоформальдегидглиоксальсодержащего олигомера значительно увеличивает огнезащитные характеристики вспенивающихся покрытий.

Огнезащитная эффективность; потеря массы; термоизоляционная эффективность; коэффициент вспенивания.

V.M. Balakin, A.M. Seleznev, V.V. Belov

**(THE INFLUENCE OF THE OLIGOMER CONTAINS
AMIDOFORMALDEHYDEGLIOXAL ON FIREPROOF CHARACTERISTICS
FOAMING COVERS ON BASIS OF STIROLACRILIC DISPERSION)**

The article is dedicated to researching effect of amidoformaldehydeglioxal oligomer on fireproof covers' characteristics on basis of stirolacrylic dispersion Akratam AS 04.1. Evaluation of characteristics was made on pine wood samples in installation type "Fire pipe" and "FPM" – for determination mass loss index on metal rolls in a fire of gas-burner – for determination fireproof efficiency and on metal plate in muffle furnace – for determination foaming coefficient. In consequence of the work establish that adding of amidoformaldehydeglioxal oligomer significant increase fireproof characteristics of foaming covers.

Fireproof rating; weight loss; thermoisolation effect; foaming factor.

Ранее на кафедре «Технологии переработки пластических масс» ФГБОУ ВПО «УГЛТУ» были проведены работы по синтезу амидоальдегидных олигомеров для получения малотоксичных древесностружечных плит [1], и по получению огнезащитных составов и вспенивающихся покрытий [2–3]. Однако применение амидоформальдегидглиоксальсодержащего олигомера в качестве компонента ОЗВП и его влияние на огнезащитные свойства рассматривается впервые.