

А.Б. Сивенков, Б.Б. Серков, Р.М. Асеева
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: sivenkov01@mail.ru)

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Проведена расчётная оценка огнестойкости ограждающей конструкции по признаку потери теплоизолирующей способности в зависимости от схемы элементов стены (перегородки) и направлений теплопередачи.

Ключевые слова: древесина, ограждающие деревянные конструкции, огнестойкость, теплоизолирующая способность.

A.B. Sivenkov, B.B. Serkov, R.M. Aseeva **THE FIRE RESISTANCE OF ENCLOSED WOOD CONSTRUCTIONS**

The assessment of fire resistance of enclosed constructions based on the thermal insulation loss depending on the scheme of wall elements (partition) and the heat transfer directions is carried out.

Key words: wood, enclosed wood constructions, fire resistance, thermal insulation.

Древесина издавна традиционно широко используется в зарубежном и отечественном строительстве. Помимо того, что этот строительный конструкционный материал базируется на воспроизводимом сырье, обладает многими положительными качествами, его производство является энергетически менее затратным и экологически более благоприятным для окружающей среды, чем производство бетона или стали. Большой импульс развитию современного деревянного домостроения придало создание прогрессивных индустриальных технологий производства новых конструкционных материалов из натуральной древесины. Это, прежде всего, деревянно-клееные конструкции (glulam-glued laminated timber), ламинированные панели с взаимно-поперечным расположением слоев из натуральной древесины (CLT – cross-laminated timber), плиты и балки из многослойной ламинированной фанеры (LVL-laminated veneer lumber). Подобные конструкционные материалы представляют особый интерес для строительства многоэтажных деревянных зданий общественного и гражданского назначения каркасного типа.

За рубежом сектор деревянного домостроения развивается очень динамично. По сведениям [1], национальные программы стран Европейского Союза планируют в ближайшем будущем достигнуть 75-80 %-ной доли этого сектора в строящемся мало- и средне-этажном жилом фонде. Для обеспечения пожарной безопасности в деревянных зданиях и сооружениях каркасного типа проработаны соответствующие объёмно-планировочные и технические решения с использованием средств пассивной и активной огнезащиты. В некоторых странах начата ревизия существующего законодательства, норм и правил пожарной безопасности в части более широкого применения древесины

при строительстве многоэтажных зданий. Считается, что 8-этажные здания, построенные с применением новых конструкционных материалов из натуральной древесины, являются наиболее практичными и экономичными.

В России внедрение современных технологий в области деревянного домостроения происходит менее активно, по сравнению с европейскими государствами. Так, в отечественном домостроении древесина по относительному объёму используется в 20 раз меньше, чем в Финляндии или Швеции [1]. В значительной степени это обусловлено слабой проработкой отечественных противопожарных норм в области деревянного домостроения, а также отсутствием в Российской Федерации единой системной программы строительства деревянных зданий и сооружений.

Несмотря на существующие материаловедческие, технологические и нормативные барьеры, по прогнозам экспертов рынка недвижимости, в России в период до 2015 г. ожидается среднегодовой темп роста востребованности подобных зданий около 10 %, а к 2020 г. – в пределах 20-25 % [1].

В настоящее время с применением клееных деревянных конструкций (колонн, балок, арок, рам), выполняющих несущие функции, построен ряд уникальных большепролетных сооружений. Достаточно назвать спортивно-зрелищное здание в г. Архангельске пролётом 63 м; крытый каток в г. Твери пролётом 58 м; склад минеральных удобрений в морском порту в г. Санкт-Петербурге пролётом 63 м и высотой в коньке арок 45 м [2]. Разработаны другие отечественные проекты общественных зданий (выставочные центры, офисы) высотой более 9 м.

Общие принципы технического регулирования в области пожарной безопасности в строительстве и, в частности, требований к строительным деревянным конструкциям сформулированы в Законе РФ № 123-2008 [3], стандартах, нормах и правилах обеспечения огнестойкости строительных объектов [4-6].

Устойчивость зданий и сооружений при пожаре зависит от предела огнестойкости их несущих конструкций. Известно, что потеря несущей способности деревянных конструкций происходит из-за обугливания древесины, а также резкого уменьшения сопротивляемости материала и узловых соединений действию механических и тепловых нагрузок. Предел огнестойкости несущих конструкций устанавливается по времени достижения предельного состояния по указанному признаку (R) в условиях стандартных испытаний [7, 8].

В отличие от *несущих* конструкций, функции *ограждающих* элементов и частей сооружений (стен, перегородок и пр.) сводятся к предотвращению распространения пожара в соседние с очагом пожара помещения и ограничению воздействия на людей опасных факторов пожара. Поэтому огнестойкость ограждающих конструкций оценивают по времени:

а) нарушения их целостности с образованием трещин, сквозных отверстий, через которые проникают продукты горения и пламя (признак Е);

б) потери теплоизолирующей способности и критического повышения температуры поверхности конструкции на обратной стороне, не подвергаемой огневому воздействию (признак I);

в) достижения предельной величины плотности теплового потока на нормируемом расстоянии от необогреваемой поверхности конструкции (признак W).

Для организации и проведения натуральных испытаний по оценке огнестойкости строительных конструкций крупномасштабными методами ([7, 8] – аналогичны по характеристикам [9, 10]) необходимы значительные затраты времени и материальных средств.

Альтернативой являются расчётные методы, которые дают возможность не только сократить затраты, но и оценить огнестойкость проектируемых новых деревянных строительных конструкций, сделать прогноз их поведения в разных нестандартных условиях пожара.

Особый интерес в этом отношении представляют аналитические методы расчёта огнестойкости как несущих, так и ограждающих строительных деревянных конструкций.

Процедура расчёта огнестойкости ограждающих конструкций деревянных зданий каркасного типа по аддитивному методу компонентов приведена в Европейском стандарте [11]. Метод назван так потому, что для определения огнестойкости конструкции в целом последовательно рассчитывают огнестойкость каждого материала (слоя), входящего в состав конструкции, с учётом узловых соединений и используемой теплоизоляции, а затем суммируют все частные вклады.

Таким образом, акцентируется внимание на конструктивной огнезащите деревянных зданий, качестве и эффективности её действия. При этом считают, что критерий I выполняется, если средняя температура на необогреваемой поверхности всей деревянной конструкции не превышает 140 °С, а максимальный подъём температуры в любой точке поверхности не превышает 180 °С. Кроме того, опыт показывает, что если соблюдается критерий I, а панели, соединённые 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 расчёта огнестойкости ограждающих и несущих деревянных конструкций в условиях воздействия стандартного температурного режима пожара с учётом взаимного влияния слоев на теплопередачу.

Соответствующее руководство было выполнено в рамках многостороннего содружества стран Евросоюза по исследовательскому проекту "Огнестойкость инновационных деревянных конструкций" [12]. В перспективе намечена в этом плане ревизия стандарта EN 1995-1-2. Eurocode 5 [11].

Представляло интерес, используя руководство [12], выяснить, как изменяется огнестойкость 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. 1 представлены схемы моделей элементов рассматриваемых ограждающих конструкций стен и направлений теплопередачи через эти многослойные конструкции.

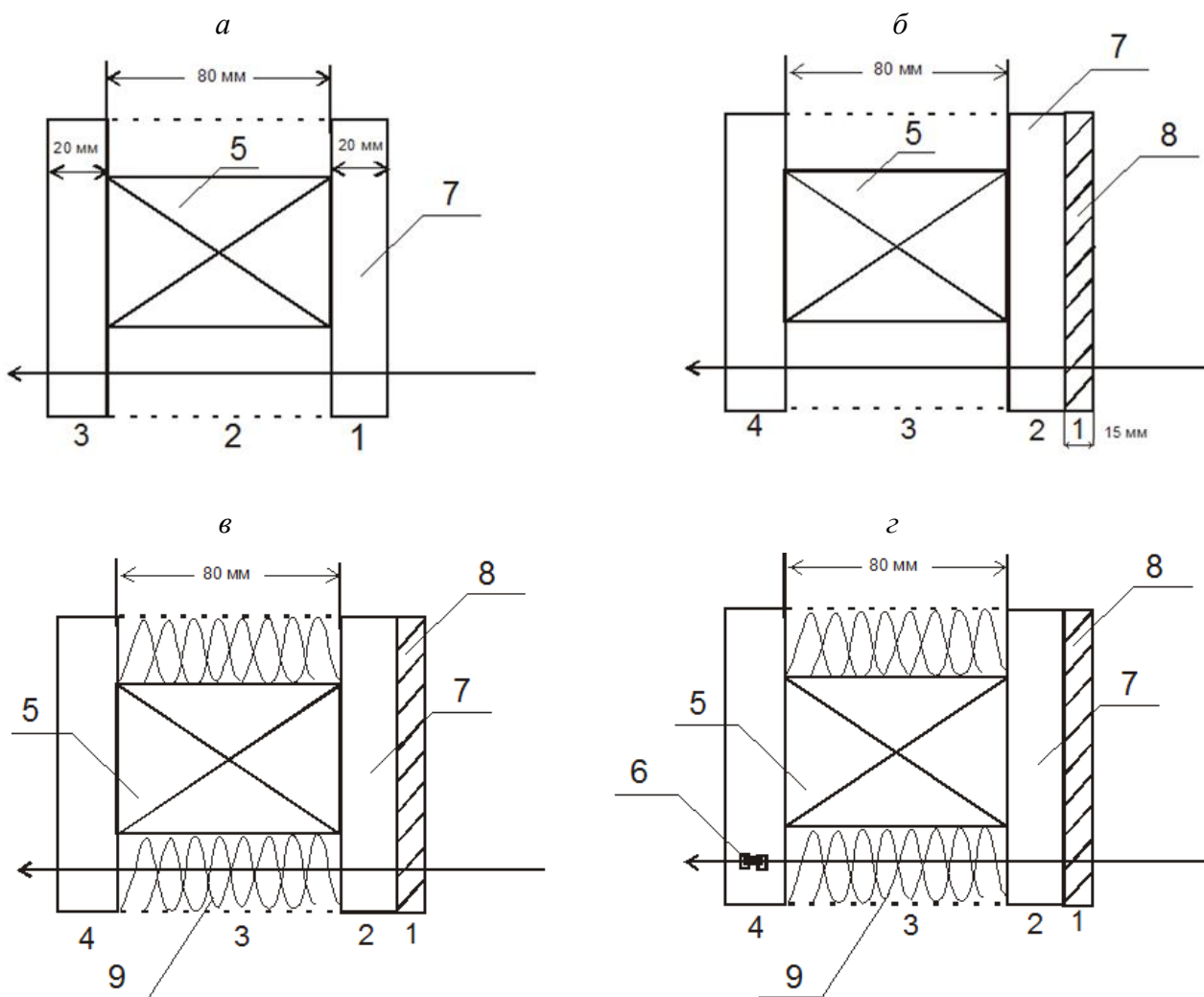


Рис. 1. Схемы элементов ограждающих деревянных каркасных конструкций и рассматриваемые направления теплопередачи:

- 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 варианта (б) заполнением пространства между деревянными досками теплоизоляцией типа минеральной ваты. В варианте (г), по сравнению с вариантом (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:

$$t_{ins} \geq t_{req}. \quad (1)$$

Время потери теплоизолирующей способности ограждающей деревянной конструкции рассчитывают по уравнению:

$$t_{ins} = \sum_{i=n-1}^{i=1} t_{prot,i} + t_{ins,n}, \quad (2)$$

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.

Долю времени защиты от огня каждого слоя рассчитывают по уравнению (3):

$$t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} \cdot \Delta t_i) \cdot k_{i,n}. \quad (3)$$

Долю последнего изолирующего слоя рассчитывают по уравнению:

$$t_{ins,n} = (t_{ins,0,n} \cdot k_{pos,exp,n} + \Delta \tau_v) \cdot k_{i,n}, \quad (4)$$

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

$k_{pos,exp,i}$, $k_{pos,exp,n}$ – коэффициенты позиции, которые учитывают влияние слоёв, 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 слоёв 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 [12], что позволяет провести достаточно быстро инженерный расчёт огнестойкости различных вариантов деревянных ограждающих конструкций.

В качестве примера покажем расчёт огнестойкости ограждающей конструкции варианта (з) и дадим сравнение с пределами огнестойкости других моделей рассматриваемых конструкций элемента стены (перегородки) по признаку I. Предположим, что требуемый (нормируемый) предел огнестойкости ограждающей деревянной конструкции равен 30 мин в условиях стандартного температурного режима пожара.

Рассчитаем последовательно временные доли каждого слоя конструкции в общей теплоизолирующей функции (огнестойкость) ограждения.

Первый слой со стороны огневого воздействия – 15-ти 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 по табл. 5.1 [12] определяем базовое значение:

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

Коэффициент $k_{pos,exp,1} = 1$ (нет никакого другого слоя перед рассматриваемым).

Коэффициент $k_{pos,unexp,1} = 1$ (с обратной стороны слой древесины – табл. 5.3 [12]).

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 $h_i = 20$ мм.

По табл. 5.1 [12] базовое значение будет равно:

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

Коэффициенты:

$$k_{pos,exp,2} = 0,5\sqrt{(t_{prot,0,2}/t_{prot,1})} = 0,5\sqrt{(30/30)} = 0,5 \text{ (табл. 5.2 [12]);}$$

$k_{pos,unexp,2} = 0,35h_i^{0,21} = 0,35 \cdot 20^{0,21} = 0,6565$, (обратная сторона слоя – теплоизоляция; табл. 5.3 [12]), $k_{j,i} = 1$;

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

Третий слой теплоизоляции толщиной $h_i = 80$ мм.

Для элемента конструкции стены по табл. 5.1 [12] базовое значение

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

Коэффициенты:

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

$$k_{pos,unexp,3} = 1 \text{ (за теплоизоляцией идет слой древесины, табл. 5.3 [12]),}$$

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

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

Последний 4-й слой из древесины толщиной $h_i = 20 \text{ мм.}$

По табл. 5.1 [12] определяем базовое значение времени на изоляцию теплового потока:

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

Коэффициенты:

$$k_{pos,exp,4} = 0,5\sqrt{\{t_{prot,0,3}/(t_{prot,1} + t_{prot,2} + t_{prot,3})\}} =$$

$$= 0,5\sqrt{\{27,7/(30 + 9,85 + 11,52)\}} = 0,30;$$

$$k_{pos,unexp} = 1; k_{j,i} = 0,4 \text{ (табл. 5.5);}$$

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

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

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

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

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

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

Можно сделать вывод, что материал первого слоя ограждающей деревянной 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.

Литература

1. **Кобелева С.А.** Перспективы деревянного домостроения // Сб. науч. тр. "Актуальные проблемы лесного комплекса". Вып. 32. Брянск: Брянская государственная инженерно-технологическая академия, 2012. С.83-86.
2. **Асеева Р.М., Серков Б.Б., Сивенков А.Б.** Горение древесины и её пожароопасные свойства. М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. 262 с.
3. **Закон РФ № 123-2008.** Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
4. **Свод** Правил СП 2.13130.2009. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
5. **Свод** Правил СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80.
6. **СТО** 36554501-002-2006. Деревянные клееные и цельнодеревянные конструкции. Методы проектирования и расчёта. М.: ФГУП ЦПП, 2006.
7. **ГОСТ** 30247.0-94. Конструкции строительные Методы испытания на огнестойкость. Общие требования.
8. **ГОСТ** 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.
9. **ISO** 834. Fire Resistance Tests – Elements of Building Construction.
10. **ASTM** E119. Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.
11. **EN** 1995-1-2. Eurocode 5: Design of Timber Structures. Part 1-2. General Rules – Structural Fire Design, 2004.
12. **Fire** Safety in Timber Buildings. Technical guideline for Europe. (2010), www.jrc.ec.europa.eu. ISBN 978-91-86319-60-1.

Статья опубликована 29 декабря 2012 г.