

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

ОЦЕНКА ОГНЕСТОЙКОСТИ ОГРАЖДАЮЩИХ ДЕРЕВЯННЫХ КАРКАСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С использованием маломасштабной огневой печи экспериментально определены фактический предел огнестойкости двух систем ограждающих деревянных каркасных конструкций, а также вклад в него теплоизоляции и типа облицовочного материала.

Ключевые слова: огнестойкость, облицовочный материал, ограждающие деревянные каркасные конструкции.

R.M. Aseeva, E.Y. Kruglov, A.B. Sivenkov, B.B. Serkov EVALUATION OF FIRE RESISTANCE OF WOODEN FRAME ENCLOSING STRUCTURES

With using small-scale firing furnace experimentally determined the actual limit of fire resistance of two systems of wooden frame enclosing structures and to contribute to it insulation and a facing material is also evaluated.

Key words: fire resistance, facing material, wooden frame enclosing structures.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 26 февраля 2015 г.

Применение деревянных лёгких каркасных конструкций с несущими и ограждающими функциями в строительстве малоэтажных зданий и сооружений разного назначения стало уже обычной традицией. Древесина является горючим материалом. Без специальных средств огнезащиты легкие каркасные деревянные здания и сооружения относят к V степени огнестойкости и, согласно закону РФ № 123-ФЗ от 22 июля 2008 года, их предел огнестойкости не нормируется. Однако общая мировая тенденция характеризуется динамичным развитием сектора строительства деревянных зданий легкого каркасного типа не только одно- или двухэтажных, но и многоэтажных (до 8-9 этажей). В этом случае требования к огнестойкости зданий и обеспечению соответствующего уровня их пожарной безопасности значительно возрастают.

Огнестойкость деревянных конструкций зависит от вида материала, геометрических размеров и конфигурации сечения строительного элемента, узлов сочленения, наличия элементов усиления, величины механических нагрузок, условий огневого воздействия (пожара) и многих других факторов. Легкие каркасные деревянные конструкции с несущими и ограждающими функциями являются, как правило, многослойными.

Функции ограждающих элементов и частей сооружений сводятся к предотвращению распространения пожара в соседние с очагом пожара помещения и ограничению воздействия на людей опасных факторов пожара. Поэтому ограждающие конструкции должны иметь фактический предел огнестойкости не ниже требуемого значения. Последнее рассматривается как требуемый

период времени сохранения целостности конструкции (критерий E), её теплоизолирующей способности (критерий I), а также ограниченного радиационного излучения от необогреваемой поверхности конструкции (критерий W) и дымогазонепроницаемости (критерий S).

Термические и физические свойства материала отдельных элементов всей системы в целом в значительной степени определяют огнестойкость и пожарную опасность строительных деревянных конструкций. Обеспечение необходимого уровня пожарной безопасности строительных объектов может быть реализовано за счет применения в деревянном домостроении материалов с высокими пожарно-техническими характеристиками.

Цель проведенной авторами работы – экспериментально определить фактический предел огнестойкости двух систем ограждающих легких каркасных деревянных конструкций и оценить вклад в огнестойкость её составляющих элементов, выбранных из облицовочных и теплоизоляционные материалов поколения XXI века.

Для оценки огнестойкости образцов использовали маломасштабную огневую печь с размерами огневой камеры $0,5 \times 0,39 \times 0,4$ м. В камере с используемой регулируемой газовой горелки устанавливали стандартный температурно-временной режим пожара в соответствии с ГОСТ 30247.0 и ГОСТ 30247.1-94 [1, 2]:

$$T = 345 \lg(8\tau + 1) + T_0, \quad (1)$$

где T и T_0 – текущая и начальная температура в огневой камере, °C;
 τ – время, мин.

Показания температуры в печи и в соответствующих контрольных точках на подвергаемой огневому воздействию и необогреваемой поверхности, а также внутри образцов регистрировались автоматически в ходе испытания.

Исследуемые образцы, моделирующие фрагменты несущих ограждающих конструкций каркасного деревянного дома (стен, перегородок), представляли собой трехслойные системы. Деревянные стойки сечением 150×50 мм были изготовлены из древесины сосны или ели. Образцы с площадью поверхности 370×300 мм, подвергаемой огневому воздействию, устанавливали в вертикальном положении.

Основные характеристики элементов исследуемых образцов конструкций приведены в табл. 1.

Предел огнестойкости оценивали по признакам EI – времени потери целостности и теплоизолирующей способности конструкции (времени достижения критической максимальной температуры 180 °C на необогреваемой поверхности образца).

Материалы, выбранные в качестве элементов ограждающих деревянных каркасных конструкций, относительно недороги, обладают целым рядом положительных качеств.

Характеристика элементов ограждающих конструкций

Наименование материала	Размеры, м	Масса, кг	Плотность, кг/м ³
<i>Система № 1</i>			
OSB	0,37×0,3×0,009	0,62	620
Утеплитель "Rockwool scandic"	0,255×0,3×0,1	0,268	35
Стойка – древесина сосна	0,3×0,1×0,05	0,696	464
OSB	0,37×0,3×0,009	0,62	620
<i>Система № 2</i>			
СМЛ №1	0,37×0,3×0,01	0,884	796
Утеплитель "Rockwool scandic"	0,255×0,3×0,15	0,402	35
Стойка – древесина Ель	0,3×0,15×0,05	0,79	351
OSB	0,37×0,3×0,009	0,62	620

OSB (Oriented Strand Board) плиты представляют собой материал из крупноразмерных древесных частиц с ортогональной структурой внешних и внутренних слоёв. Экологически чистый продукт, содержит 95-98 % древесной массы. Основная древесная порода – малоценная осина. OSB плиты характеризуются высокой прочностью, износостойкостью, стойкостью к деформациям, низким водопоглощением. По своим параметрам приближаются к фанере конструкционного назначения и конкурируют с ней. Производство OSB плит в России только начинает развиваться, за рубежом – осуществляется с большим темпом прироста. Плиты OSB активно используют в каркасном домостроении для несущих балок как основы для покрытия крыш, обшивки потолков, внутренних и внешних стен, перегородок помещений, покрытия полов. При сочетании OSB с теплоизоляционным материалом по SIP технологии (Structural Insulated Panel) получают прочные сэндвич-панели конструкционного назначения, выдерживающие большие нагрузки. Это позволяет строить даже бескаркасные дома.

Теплоизоляционный материал из базальтового волокна Rockwool Light Batts Scandic сертифицирован как экопродукт. Он является негорючим материалом (НГ по ГОСТ 30244-94), не впитывает влагу из воздуха, имеет низкую теплопроводность (табл. 1), высокий коэффициент паропроницаемости (0,25 мг/м·ч·Па), что позволяет "дышать" конструкции и препятствует конденсации внутри неё влаги.

Стекломагnezитовый лист (СМЛ) – негорючий материал, устойчивый к влаге, внешним нагрузкам, перепадам температуры. Механически легко обрабатывается, не подвергается действию плесени и грибов. Имеет высокую прочность, гибкость, длительное время выдерживает действие открытого пламени, сохраняя форму. Главными производителями СМЛ являются Китай и Южная Корея. СВЛ рекомендуют для облицовки стен, потолков, опорных конструкций различной геометрии.

Фактический предел огнестойкости ограждающей деревянной конструкции первой системы по результатам температурных измерений составил 42 мин. Расчёт вклада отдельных элементов в огнестойкость этой ограждающей конструкции проведен в соответствии с EN 1995-1-2 Eurocode 5 [7] и рекомендацией [8]. Метод расчёта основан на рассмотрении направления теплопередачи в ограждающей конструкции и последовательной оценке времени потери теплоизолирующей способности каждого слоя, учёте соседних слоёв на теплопередачу и влияния узлов соединения в конструкции. Указанный учёт осуществляют с использованием ввода соответствующих поправочных коэффициентов в базовые значения теплоизолирующей способности каждого элемента. Предел огнестойкости конструкции в целом равен сумме вкладов отдельных элементов, характеризующихся временем потери их теплозащитных свойств. Базовые значения защитных свойств элементов конструкции в зависимости от их толщины, а также поправочные коэффициенты были рассчитаны методом конечных элементов и согласованы с результатами крупномасштабных стандартных испытаний. В результате для каждого материала конструктивного элемента представлены расчётные формулы.

В технической рекомендации по проектированию деревянных зданий и сооружений [8] расширен список материалов, используемых в качестве элементов ограждающих конструкций, по сравнению с Eurocode 5 [7]. В частности, приведены данные для OSB плит и базальтового утеплителя. Это обстоятельство позволило рассчитать огнестойкость ограждающей конструкции системы № 1 и вклады в неё используемых конструктивных элементов.

Базовое значение времени огнезащиты первого элемента – OSB плиты рассчитывали по формуле:

$$t_{prot,0,1} = 23(h_1/20)^{1,1} = 23(9/20)^{1,1} = 9,56 \text{ мин.}$$

Позиционные коэффициенты для этого слоя:

$$k_{pos,exp,1} = 1 \text{ (с обогреваемой стороны нет других слоёв);}$$

$$k_{pos,unexp,1} = 0,5 h_1^{0,15} = 0,5 \times 9^{0,15} = 0,7.$$

Вклад в предел огнестойкости конструкции первого слоя OSB плиты составляет $9,56 \times 1 \times 0,7 = 6,69 \text{ мин.}$

Базовое значение второго слоя конструкции – теплоизоляции Rockwool Scandic рассчитывали по формуле:

$$t_{prot,0,2} = 0,3 h_2^{[(0,75 \log_p) - \rho/400]} = 0,3 \times 100^{[(0,75 \times \log 36) - 36/400]} = 41,4 \text{ мин.}$$

Позиционные коэффициенты для второго слоя – теплоизоляции:

$$k_{prot,exp,2} = 1 - 0,6 \times (t_{prot,1}/t_{prot,0,2}) = 1 - 0,6 \times (6,69/41,4) = 1 - 0,162 = 0,838.$$

$$k_{prot,unexp,2} = 1 \text{ (необогреваемая сторона теплоизоляции – плита OSB).}$$

Таким образом, вклад теплоизоляции в огнестойкость конструкции равен: $41,4 \times 0,838 = 34,69 \text{ мин.}$

Наконец, базовое значение последнего слоя ограждающей конструкции – OSB плиты: $t_{ins,0,3} = 16(h_3/20)^{1,4} = 16(9/20)^{1,4} = 5,23 \text{ мин.}$

Коэффициент позиции последнего слоя:

$$k_{ipos,exo,3} = 0,5 \sqrt{\frac{t_{prot,0,3}}{\sum t_{prot,1,2}}} = 0,5 \sqrt{\frac{5,23}{(6,7 + 34,7)}} = 0,5 \times 0,35 = 0,126.$$

Вклад в огнестойкость ограждающей конструкции OSB плиты составит время: $5,23 \times 0,126 = 0,66$ мин.

Расчётный предел огнестойкости конструкции с соответствующими вкладами её элементов равен: $6,7$ мин + $34,7$ мин + $0,7$ мин = $42,1$ мин. Это значение практически не отличается от фактического, хотя не учтен вклад металлического узла соединения, отрицательно сказывающийся на огнестойкости ограждающей конструкции в целом. Таким образом, при наличии в качестве первого элемента конструкции горючей плиты OSB главный вклад в огнестойкость конструктивной системы № 1 (82 %) вносит теплоизолирующий слой, наименьший вклад – последний элемент ограждающей конструкции.

В системе № 2 каркас был выполнен из еловой древесины. В конструкции в качестве первого слоя, подвергаемого действию стандартного пожара, применена 10 мм огнестойкая негорючая стекломагнезитовая плита. Вводные данные для расчёта предела огнестойкости этого элемента ограждающей конструкции пока отсутствуют. Поэтому на данном этапе фактический предел огнестойкости конструкции второй системы в целом и вклады отдельных элементов в него определены экспериментально по температурным измерениям.

На рис. 1 обозначены номера температурных измерений в окружающей среде печи, а также на поверхности элементов конструкций, подвергаемых нагреву, и с обратной стороны.

По температурным измерениям фактический предел огнестойкости этой ограждающей конструкции составил 52 мин (рис. 2). При оценке вкладов отдельных элементов в огнестойкость ограждающей деревянной конструкции принимали, что температура начала обугливания древесины составляет 270 °С [9]. Эта температура взята в качестве контрольной для определения теплозащитной способности элементов конструкции, предшествующих последнему слою.

Из рис. 2 следует, что вклады отдельных элементов конструкции в общий фактический предел её огнестойкости (считая от начала испытания) составляют соответственно: $\Pi_{\phi} = \sum \Pi_i = 15$ мин + 30 мин + 7 мин = 52 мин.

Полученные результаты показывают важное влияние на теплопередачу и прогрев ограждающей конструкции теплофизических свойств первого элемента и особенно теплоизолирующего слоя. Следует отметить, что наличие негорючего, неразрушающегося при огневом воздействии, стекломагнезитового элемента существенно повышает общий предел огнестойкости ограждающей конструкции, защищает стойку деревянного каркаса от начала обугливания. Она сохраняет свою целостность свыше 52 мин (рис. 2, кривая 7). Таким образом, особенности комбинации разных материалов в ограждающей каркасной деревянной конструкции определяют предел её огнестойкости.

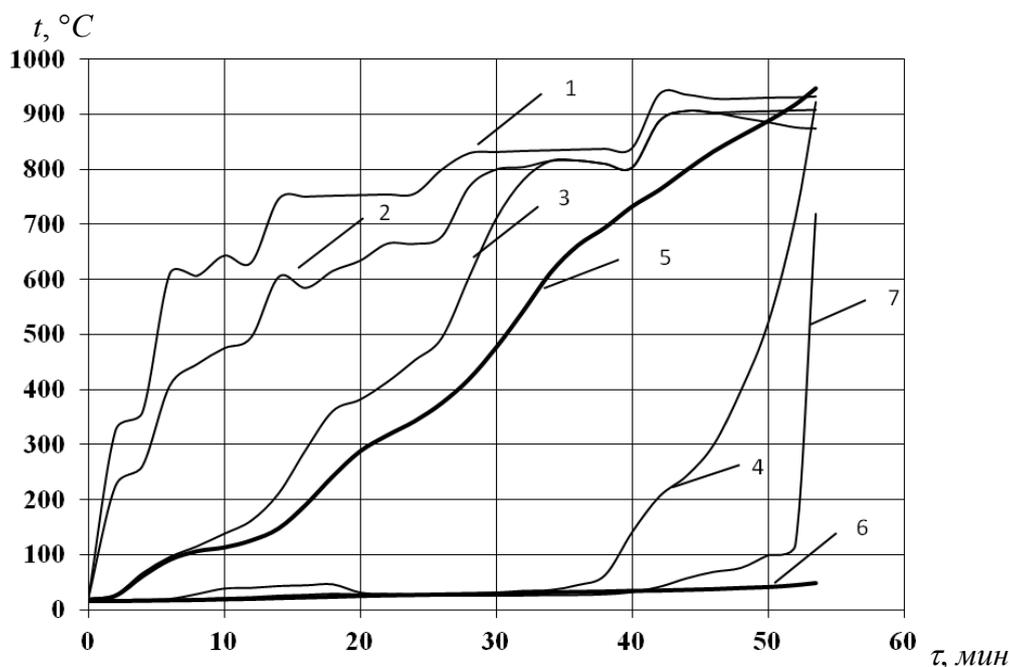


Рис. 1. Схема порядка температурных измерений в ограждающей деревянной каркасной конструкции системы № 2 при воздействии стандартного режима пожара: 1 – температура в печи; 2 – температура на поверхности СМЛ; 3 – температура на тыльной поверхности СМЛ; 4 – температура на обогреваемой поверхности OSB; 5 – температура на поверхности стойки; 6 – температура на необогреваемой поверхности стойки; 7 – температура на тыльной поверхности OSB

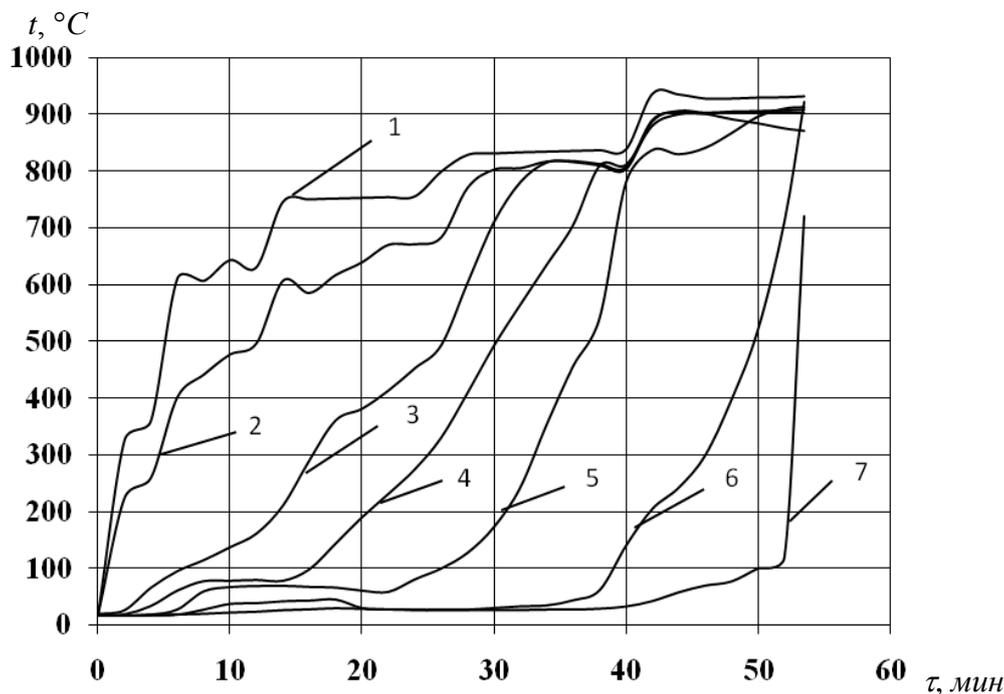


Рис. 2. Динамика изменений температуры в огневой печи и на поверхности элементов ограждающей деревянной каркасной конструкции системы № 2: 1 – температура в печи; 2 – температура на поверхности СМЛ; 3 – температура на внутренней стороне поверхности СМЛ, на поверхности утеплителя; 4 – температура утеплителя при $\delta = 50$ мм "Rockwool scandic"; 5 – температура утеплителя при $\delta = 100$ мм "Rockwool scandic"; 6 – температура утеплителя при $\delta = 150$ мм "Rockwool scandic" на внутренней поверхности OSB; 7 – температура на тыльной поверхности OSB

Представляло интерес в этом плане сравнить пределы огнестойкости исследуемой ограждающей каркасной деревянной конструкции и конструкции, близкой по комбинации сочетания негорючих материалов и OSB плиты.

Так, по результатам крупномасштабных стандартных испытаний [10], деревянная каркасная конструкция, включающая колонны сечением 140×38 мм из хвойной древесины С16 сорта, лист гипсовой штукатурки толщиной 12,5 мм, стекловолоконистую теплоизоляцию с толщиной 140 мм и теплопроводностью 0,035 Вт/м·К, 11 мм плиту OSB, по признакам EI показала предел огнестойкости 31 мин.

Литература

1. **ГОСТ** 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.
2. **ГОСТ** 30247.1-94. Методы испытания на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.
3. **Сравнительная** характеристика OSB и хвойной фанеры. <http://www.geliostd.ru>.
4. **Страхов В.Л., Крутов А.М., Давыдкин Н.Ф.** Огнезащита строительных конструкций. М.: Информационно-издательский центр "ТИМР", 2000. 433 с.
5. **Уголев Б.Н.** Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: изд-во МГУЛ, 2001. 340 с.
6. **СМЛ** премиум-эталон. <http://fireprotec.ru>.
7. **EN** 1995-1-2-2004. Eurocode 5 – Design of timber structure. Part 1-2. General Structural Fire Design.
8. **Fire** safety in timber buildings / Technical guideline for Europe (2010). <http://www.jrc.ec.europa.eu>
9. **СП** 64.13330.2011. Деревянные конструкции Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М., 2011.
10. **PU** Europe, Factsheet n° 20, February 2013.