

УДК 614.841.41

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК С ОГНЕБИОЗАЩИТОЙ ПРИ ПОЖАРЕ

Поздеев С.В., Горбаченко Я.В., Некора О.В., Кропива М.А.

Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля

e-mail: svp_countrymen@mail.ru

Статья посвящена исследованию поведения деревянных балок с огнезащитой в условиях пожара. Представлены результаты расчетов геометрии зоны обугливания фрагментов деревянных балок с огнезащитой.

Article is devoted to the behavior of wooden beams with fire protection in case of fire. The results of calculations of the rate of charring fragments of wooden beams with fire protection.

(Поступила в редакцию 6 апреля 2014 г.)

Введение. Исследования [1, 2] показывают, что деревянные балки в зданиях с деревянными конструкциями являются одним из наиболее ответственных элементов, к которым предъявляются особые требования по огнестойкости. Согласно строительным нормам Украины [3] пределы огнестойкости деревянных балок во многих случаях должны соответствовать классам R45 и R60. Учитывая сгораемость древесины для обеспечения таких классов огнестойкости необходимо применение огнезащиты. Среди наиболее распространенных средств огнезащиты древесины наибольшее распространение получили огне-, био- и биозащитные пропитки [4, 5]. Механизм таких средств основан на замедлении процессов горения на поверхности элементов деревянных конструкций. Тем не менее, с течением времени теплового воздействия пожаров пропитанный слой подвергается деструкции, и процесс обугливания распространяется на незащищенные слои, вследствие чего балка все равно разрушается.

Учитывая это в документации на технические условия огнезащитных пропиток должны указываться параметры, которые позволят спрогнозировать конфигурацию зоны обугливания, параметры которой входят в комплекс начальных данных для расчета пределов огнестойкости деревянных балок согласно стандарту [6].

Постановка задачи и ее решение. Целью данной статьи является разработка расчетной методики прогнозирования геометрической конфигурации зоны обугливания деревянных балок с огнезащитной пропиткой при воздействии пожара со стандартным температурным режимом. Для достижения этой цели, нами были поставлены следующие задачи:

- провести экспериментальные исследования фрагментов деревянных несущих балок с комплексной защитой от теплового воздействия пожара и биологического повреждения древесины и определить температуры во внутренних слоях образцов и толщины их обугленного слоя;
- на основе результатов испытаний выявить закономерности роста толщины обугленного слоя;
- разработать методику расчета геометрической конфигурации обугленной зоны.

Результаты. Для исследования поведения деревянных балок были использованы их фрагменты, схема и вид которых показаны на рис. 1. Образцы для испытаний были изготовлены из сосновых брусков размером 200×65×400 мм, и фанерой размерами 400×400×16 мм. Изготовленные образцы были пропитаны в соответствии с табл. 1.

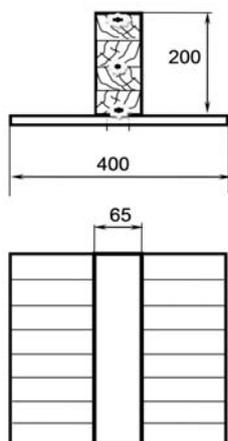


Рисунок 1 – Фрагмент деревянной балки для испытаний с расположением термонапар

Таблица 1 – Номенклатура образцов испытаний

№ п/п	Номер образца	Вид пропитывающего вещества	Время экспонирования, мин.
1	1.1-1.3	Биоогнезащита «Неомид 450-1»	15
2	2.1-2.3	Биоогнезащита «Сенеж»	15
3	3.1 - 3.3	Биоогнезащита «Страж-2 (БС-13)»	15
4	4.1 - 4.3	Без пропитки	15
5	1.4 - 1.6	Биоогнезащита «Неомид 450-1»	30
6	2.4 - 2.6	Биоогнезащита «Сенеж»	30
7	3.4 - 3.6	Биоогнезащита «Страж-2 (БС-13)»	30
8	4.4 - 4.6	Без пропитки	30
9	1.7 - 1.9	Биоогнезащита «Неомид 450-1»	60
10	2.7 - 2.9	Биоогнезащита «Сенеж»	60
11	3.7 - 3.9	Биоогнезащита «Страж-2 (БС-13)»	60
12	4.7 - 4.9	Без пропитки	60

Для проведения испытаний была использована нагревательная установка, представляющая собой стальную камеру с размерами 500×500×500 мм. С тыльной стороны камера имеет отверстие диаметром 60 мм для установки сопла горелки. С внутренней стороны стенки камеры для минимизации потери теплоты защищены слоем негорючей изоляции «Conlit 150» фирмы «Rockwool» толщиной 100 мм, которая также защищает ее от воздействия высоких температур. Общий вид установки для проведения огневых испытаний фрагментов деревянных балок с огнезащитной пропиткой при стандартном температурном режиме приведен на рис. 2.



Рисунок 2 – Нагревательная установка для испытания

После проведения эксперимента образцы обуглились, типичный вид образцов после испытания показан на рис. 3.

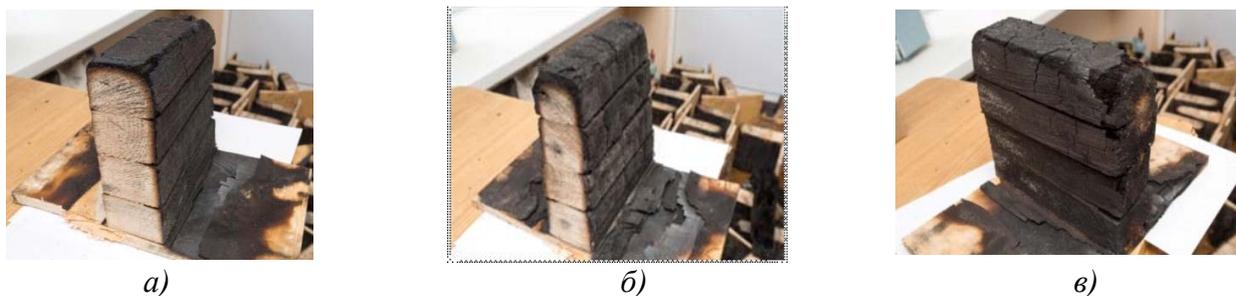


Рисунок 3 – Фото образцов без пропитки после проведения огневых испытаний: а) обугливание образца после 15 минутного экспонирования; б) обугливание образца после 30 минутного экспонирования; в) обугливание образца после 60 минутного экспонирования

Для проведения испытаний нами были проведены замеры слоя обугливания, согласно схеме на рис. 4.

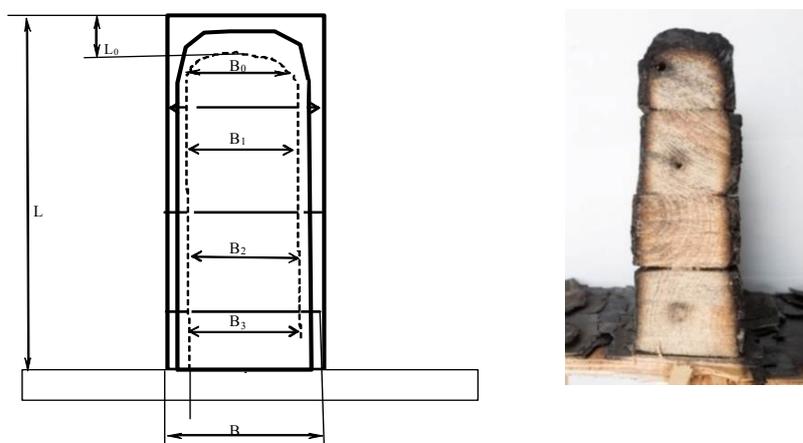


Рисунок 4 – Схема измерений геометрических параметров обугленной зоны образцов

Используя измерения, была вычислена средняя боковая толщина и средняя торцевая толщина обугленного слоя, графики зависимостей от времени экспонирования которых приведены на рис. 5.

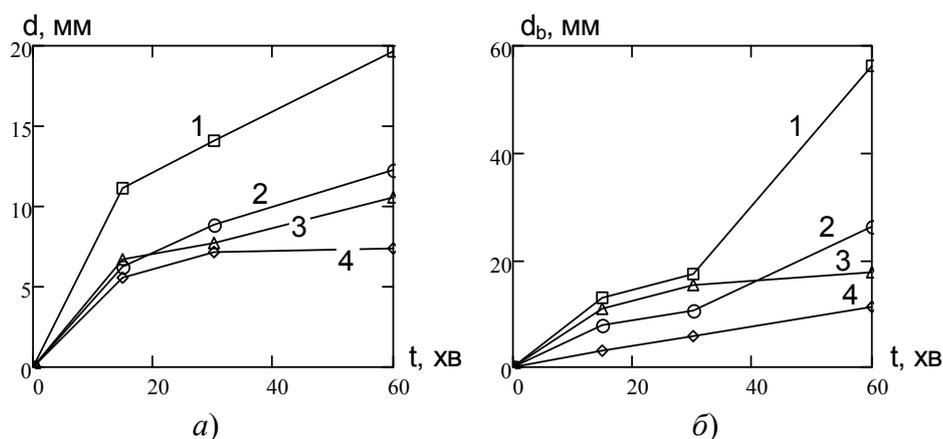


Рисунок 5 – Зависимости боковой (а) и торцевой толщины (б) обугленного слоя от времени экспонирования образцов: 1 – без пропитки; 2 – с пропиткой Неомид 450-1; 3 – с пропиткой Сенж; 4 – с пропиткой Страж-2 (БС-13)

На рис. 6 показаны графики скорости обугливания образцов.

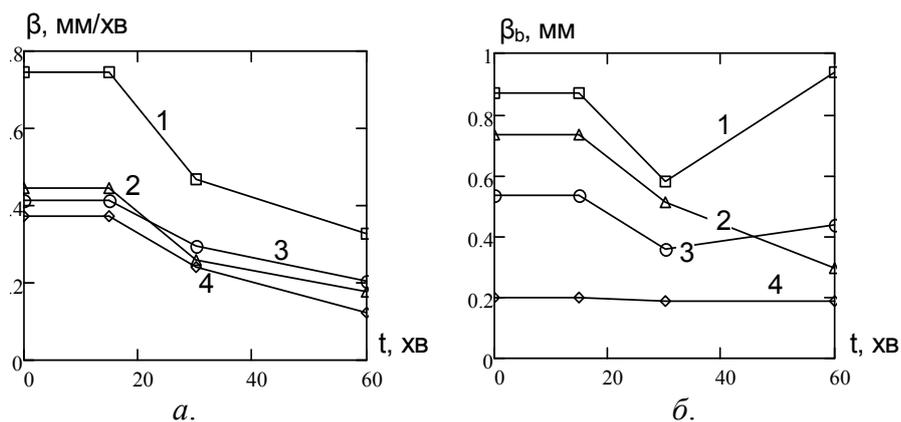


Рисунок 6 – Зависимости боковой (а) и торцевой (б) скоростей обугливания от времени экспонирования образцов: 1 – без пропитки; 2 – с пропиткой Неомид 450-1; 3 – с пропиткой Сенеж; 4 – с пропиткой Страж-2 (БС-13)

Анализируя графики на рис. 5 и рис. 6 можно заметить, что зависимости толщин обугливания от времени являются похожими. Обугливание древесины с пропиткой происходит гораздо медленнее. Наилучшие показатели по скорости обугливания дает пропитка 4 типа.

При прогнозировании геометрической конфигурации обугленной зоны была принята гипотеза, которая заключается в допущении, что при зависимости обугливания от температуры зона обугливания должна ограничиваться определенной изотермой. Для реализации данной гипотезы необходимо построить изотермы в сечении фрагмента. При этом можно использовать два способа: при помощи решения уравнения теплопроводности, или приближением изотерм при помощи интерполяционных функций. Для решения задачи теплопроводности необходимы теплофизические характеристики древесины с огнезащитой, которые неизвестны, поэтому был использован второй способ.

Для приближения изотерм был использован функционал вида:

$$y(x) = y_0 \left(1 - \left(\frac{x}{x_0} \right)^p \right)^{1/p}, \quad (1)$$

где x_0 и y_0 – координаты на осях x и y при их пересечении аппроксимирующей кривой; p – показатель степени определяемой аппроксимирующей кривой.

На рис. 7 показано семейство кривых, построенных по выражению (1)

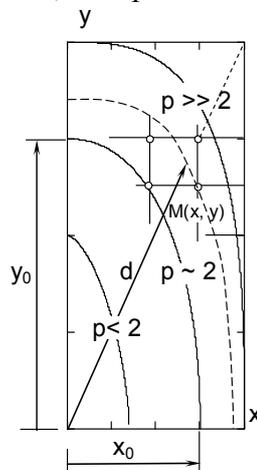


Рисунок 7 – Схема аппроксимации изотерм в сечении фрагмента деревянной балки

Используя такой подход и измерения температуры в контрольных точках сечения при проведении испытаний (рис. 1), была проведена интерполяция температурных распределений. Результат представлен на рис. 8.

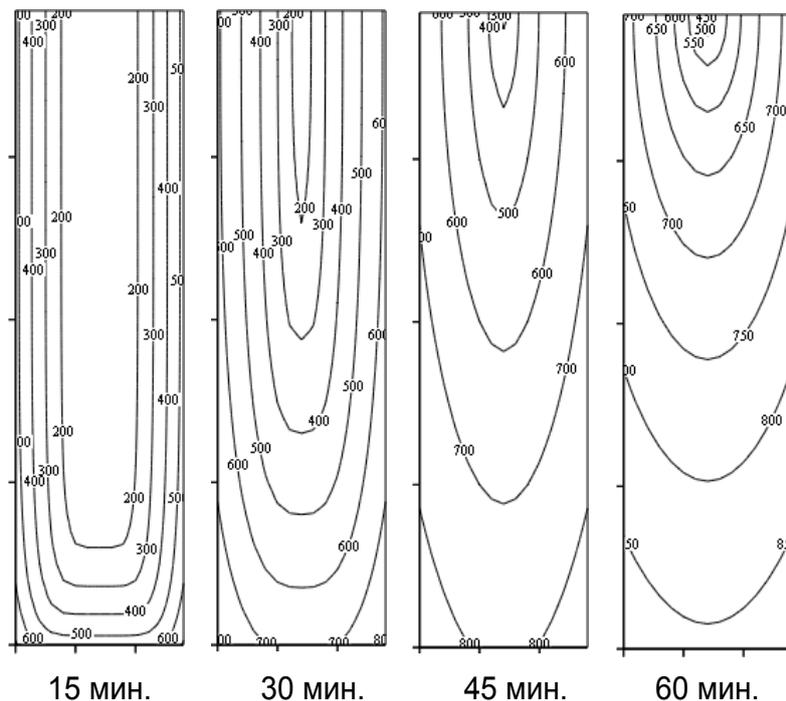


Рисунок 8 – Температурные распределения в сечении фрагмента деревянной балки без пропитки

Для прогнозирования обугленной зоны фрагментов балки были использованы измерения толщин обугливания, приведенные на рис. 5. Сопоставляя измеренные толщины обугленного слоя и найденные температурные распределения, были определены критические температуры обугливания по формуле:

$$T_{кр,i} = T_{0i} + (T_{gi} - T_{0i}) \left[\frac{0,5a - d(i)}{0,5a} \right]^{Q_{gi}}, \quad (2)$$

где T_{0i} , T_{gi} – температура первой и последней точек контрольной линии сечения в i -тый момент времени; a – ширина сечения; Q_{gi} – показатель степени аппроксимирующей параболы в i -тый момент времени; $d(i)$ – зависимость боковой толщины от времени экспонирования.

Зависимости толщины обугливания от времени были получены на основе регрессионного анализа. Параметры регрессионных зависимостей приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры регрессионных зависимостей боковой толщины обугливания от времени экспонирования

Коэффициенты регрессии $d(t) = b_1 + b_2t + b_3t^2 + b_4t^3$	b_1	b_2	b_3	b_4
Образец без пропитки	0	1,153	-0,032	$2,997 \cdot 10^{-4}$
Образец с пропиткой «Неомид 450-1»	0	0,585	-0,013	$1,111 \cdot 10^{-4}$
Образец с пропиткой «Сенеж»	0	0,725	-0,022	$2,126 \cdot 10^{-4}$
Образец с пропиткой «Страж-2» (БС13)	0	0,561	-0,014	$1,145 \cdot 10^{-4}$

Зависимости скорости бокового обугливания от времени были получены путем дифференцирования регрессионных зависимостей, описанных в табл. 2. Параметры полученных зависимостей приведены в табл. 3

Таблица 3 – Параметры регрессионных зависимостей скорости бокового обугливания от времени экспонирования

Коэффициенты регрессии $\beta = \frac{d}{dt} d(i) = b_2 + 2b_3t + 3b_4t^2$	b_2	$2b_3$	$3b_4$
Образец без пропитки	1,153	-0,064	$8,992 \cdot 10^{-4}$
Образец с пропиткой «Неомид 450-1»	0,585	-0,026	$3,333 \cdot 10^{-4}$
Образец с пропиткой «Сенеж»	0,725	-0,044	$6,379 \cdot 10^{-4}$
Образец с пропиткой «Страж-2» (БС13)	0,561	-0,028	$3,436 \cdot 10^{-4}$

Используя данные табл. 2 и разработанную расчетную методику были построены зоны обугливания для испытанных фрагментов. Результаты представлены на рис. 9.

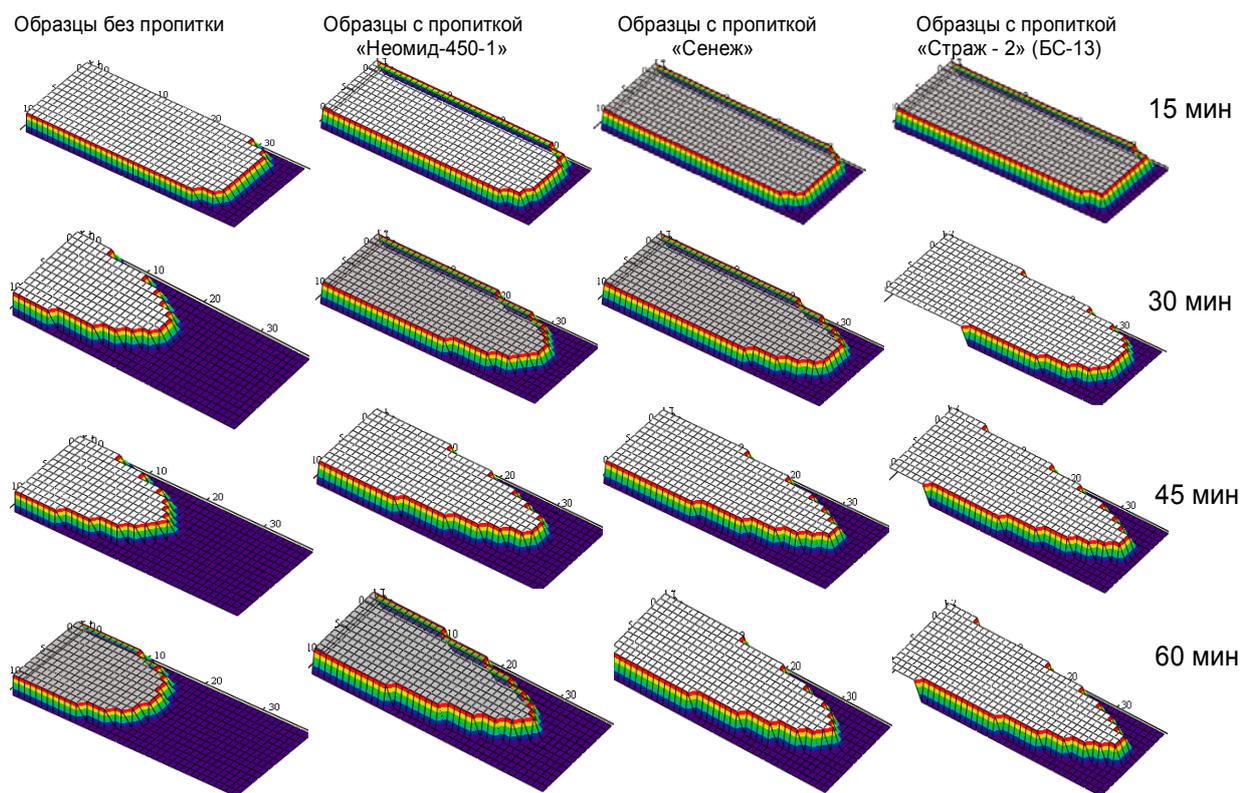


Рисунок 9 – Результаты построения зоны обугливания образцов-фрагментов деревянных балок

Согласно полученным данным наиболее эффективно работает огнезащитная пропитка «Страж-2» (БС-13).

Выводы

1. Были проведены огневые испытания образцов-фрагментов деревянных балок без огнезащиты и с огнезащитной пропиткой, в результате которых определены температуры в их внутренних слоях и толщины их обугленного слоя.
2. На основе проведенных измерений установлены закономерности изменения конфигурации обугленной зоны в виде регрессионных полиномиальных зависимостей.
3. Разработана методика интерполяции температурных распределений в сечении фрагментов, подвергнутых испытаниям на основе специально подобранных функционалов, аппроксимирующих изотермы.
4. Разработана методика построения обугленной зоны в исследуемых фрагментах на основе ее ограничения изотермой, соответствующей критической температуре, которая определяется на основе сопоставления температурных распределений и толщины обугленного слоя.

5. Используя разработанную методику, исследованы конфигурации обугленных зон для изучаемых фрагментов в промежуточные моменты времени, на основе чего установлен наиболее эффективный огнезащитный состав, им оказался «Страж-2» (БС-13).

ЛИТЕРАТУРА

1. Таубкин, С.И., Пожар и взрыв, особенности их экспертизы / С.И. Таубкин. – Москва: ВНИИГЮ МВД России, 1999. – 599 с.
2. Тычино, Н.А. Особенности практического применения огне- и биозащитных средств для пропитки древесины [Текст] / Н.А. Тычино // Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Вып. 6. – М.: ВНИИПО, 2002. – С. 38-43. – 3000 пр. – ISSN 0869-7493.
3. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. ДБН В.1.1-7-2002 [Чинний від 2003-05-01.]. – К.: Видавництво «Лібра», 2003. – 87 с – (Національний стандарт України).
4. Шналь, Т.М., Вогнестійкість та вогнезахист дерев'яних конструкцій: Навчальний посібник / Тарас Шналь. – Львів. Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2006. – 220 с.
5. Вогнегасні речовини: посібник / [А.В. Антонов, О.В. Борисов, В.П. Орел та ін.] – К.: Пожінформтехніка. 2004. – 176 с.
6. EN 1995-1-2:2005 Eurocode 5: Design of wood structures. Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.