

УДК 614.841.41

*С.В. Поздєєв, д.т.н., проф., нач. каф., ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ,
О.В. Некора, к.т.н., с.н.с., ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ,
Я.В. Горбаченко, ад'юнкт, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ,
І.В. Федченко, ад'юнкт, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ*

ГЕОМЕТРІЯ ЗОНИ ОБВУГЛЕННЯ У ПЕРЕРІЗАХ ВОГНЕЗАХИЩЕНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК В УМОВАХ ПОЖЕЖІ

(представлено д-ром техн. наук Андроновим В.А.)

Наведені результати визначення геометрії зони обвуглювання фрагментів дерев'яних балок з вогнезахистом.

Ключові слова: вогнестійкість, зона обвуглювання, регресія, геометрична конфігурація зони обвуглювання.

Постановка проблеми. Деревина є поширеним будівельним матеріалом, вона повинна бути захищена до ступеня, передбаченого протипожежними нормами та правилами для об'єктів, що експлуатуються. Разом з тим, одночасно зі зниженням горючості дерев'яних балок, вогнезахист повинен зберігати їх експлуатаційні, міцнісні та естетичні параметри. Вогнезахиснені дерев'яні балки повинні бути екологічнобезпечними, вогнезахисні властивості довговічними та надійними, вогнестійкі властивості відповідати міжнародним стандартам, державним будівельним нормам. Зниження пожежної небезпеки дерев'яних балок є не тільки техніко-економічною задачею, але має також експлуатаційну та екологічну спрямованість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження [1, 2] показують, що дерев'яні балки в будівлях з дерев'яними конструкціями є одним з найбільш відповідальних елементів. Згідно з будівельними нормами України [3] межі вогнестійкості дерев'яних балок в багатьох випадках мають відповідати класам R45 і R60. Враховуючи спалимість деревини для забезпечення таких класів вогнестійкості необхідне застосування вогнезахисту. Серед провідних виробників засобів вогнезахисту деревини найбільшого поширення набули вогнебіозахисні просочення [4, 5]. Механізм роботи таких засобів заснований на уповільненні процесів горіння на поверхні елементів дерев'яних конструкцій. В умовах пожежі через певний час просочений шар вигорає і процес обвуглювання поширюється на незахищені шари, внаслідок чого вогнезахиснені дерев'яні балки все одно руйнуються. З огляду на це, у документації на технічні умови вогнезахисних просочень повинні вказуватися параметри, які дозволять прогнозувати зону обвуглювання, що є одним з основних параметрів для розрахунку меж вогнестійкості дерев'яних балок згідно із стандартом [6].

Постановка завдання та його вирішення. Метою даної статті є розробка розрахункової методики прогнозування геометричної конфігурації зони обвуглювання дерев'яних балок з вогнезахисним просоченням при впливі пожежі із стандартним температурним режимом. Для досягнення цієї мети, нами були поставлені такі завдання:

- провести експериментальні дослідження фрагментів дерев'яних балок з комплексним захистом від теплового впливу пожежі та біологічного ушкодження деревини та визначити температури у внутрішніх шарах зразків і товщини їх обвугленого шару;

- на основі результатів випробувань виявити закономірності росту товщини обвугленого шару;

- розробити методику розрахунку геометричної конфігурації обвугленої зони.

Для дослідження поведінки дерев'яних балок були використані їх фрагменти, схема і вид яких показані на рис. 1. Зразки для випробувань були виготовлені із соснових брусків розміром (200×65×400) мм та фанерою розмірами (400×400×16) мм. Виготовлені зразки були просочені вогнезахисними засобами відповідно до табл. 1.

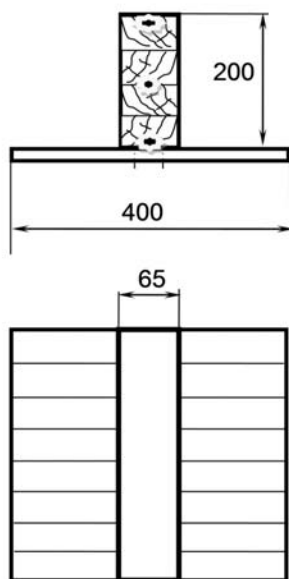


Рис. 1. Фрагмент дерев'яної балки для випробування з розміщенням термопар

Для проведення випробувань була використана нагрівальна установка, що представляє собою сталеву камеру з розмірами (500×500×500) мм. З тильного боку камера має отвір діаметром 60 мм для установки сопла пальника. З внутрішнього боку стінки камери для мінімізації втрати теплоти захищені шаром негорючої ізоляції «Conlit150» фірми «Rockwool» товщиною 100 мм, яка також захищає її від впливу високих температур.

Загальний вигляд установки для проведення вогневих випробувань фрагментів дерев'яних балок з вогнезахисним просоченням при стандартному температурному режимі наведено на рис. 2.

Табл. 1. Номенклатура випробувальних зразків

№ з/п	Номер зразка	Вид просочувальної рідини	Час експонування, хв.
1	1.1.-1.3.	Біовогнезахист «Неомід 450-1»	15
2	2.1.-2.3.	Біовогнезахист «Сенеж»	15
3	3.1.-3.3.	Біовогнезахист «Страж-2 (БС-13)»	15
4	4.1.-4.3.	Без просочення	15
5	1.4.-1.6.	Біовогнезахист «Неомід 450-1»	30
6	2.4.-2.6.	Біовогнезахист «Сенеж»	30
7	3.4.-3.6.	Біовогнезахист «Страж-2 (БС-13)»	30
8	4.4.-4.6.	Без просочення	30
9	1.7.-1.9.	Біовогнезахист «Неомід 450-1»	60
10	2.7.-2.9.	Біовогнезахист «Сенеж»	60
11	3.7.-3.9.	Біовогнезахист «Страж-2 (БС-13)»	60
12	4.7.-4.9.	Без просочення	60

**Рис. 2. Установка для проведення вогневих випробувань**

Після проведення експерименту зразки обвуглилися, типовий вигляд яких показаний на рис. 3.



а)



б)



в)

Рис. 3. Фото зразків без просочення після проведення вогневих випробувань: а) обвуглювання зразка після 15 хвилинного експонування; б) обвуглювання зразка після 30 хвилинного експонування; в) обвуглювання зразка після 60 хвилинного експонування

Для проведення випробувань були проведені заміри шару обуглювання згідно зі схемою наведеною рис. 4.

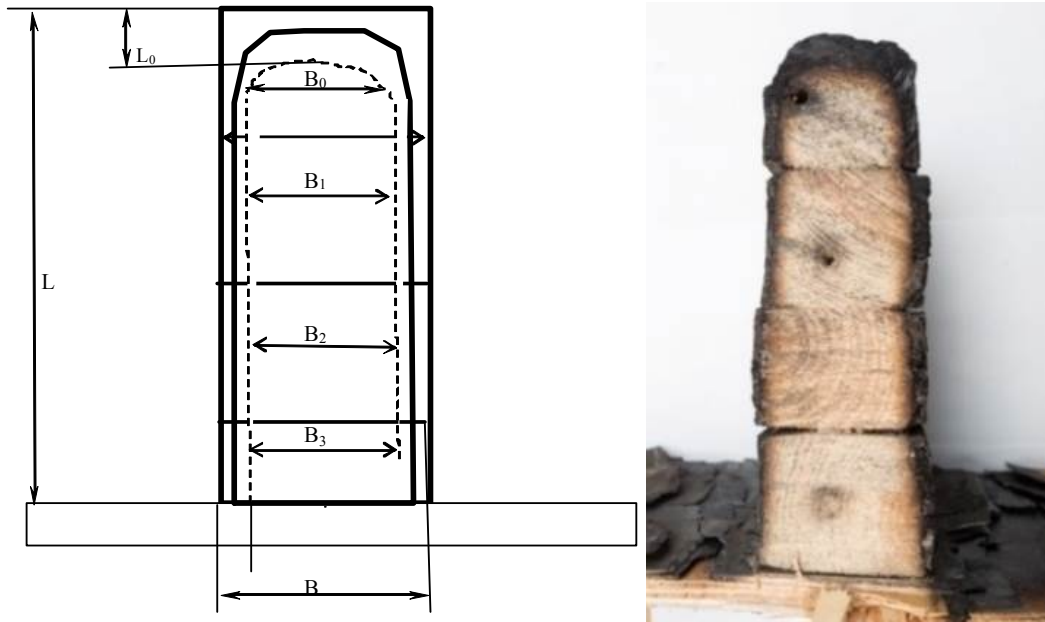


Рис. 4. Схема вимірювання геометричних параметрів обуглювання зони фрагменту

Використовуючи вимірювання, була обчислена середня бічна товщина і середня торцева товщина обугленого шару, графіки залежностей від часу експонування яких наведено на рис. 5 і рис. 6.

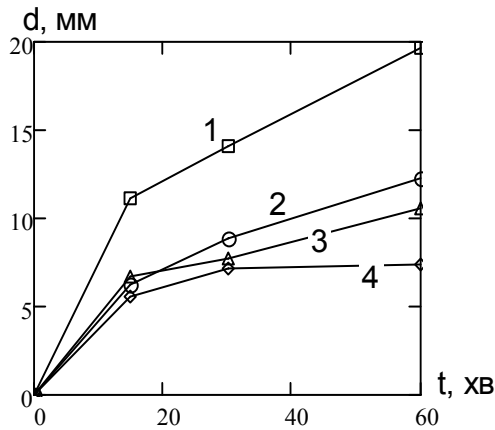


Рис. 5. Залежності бічних товщин обугленого шару від часу експонування зразків: 1 – без просочення; 2 – з просоченням Неомід 450-1; 3 – з просоченням Сенеж; 4 – з просоченням Страж-2 (БС-13)

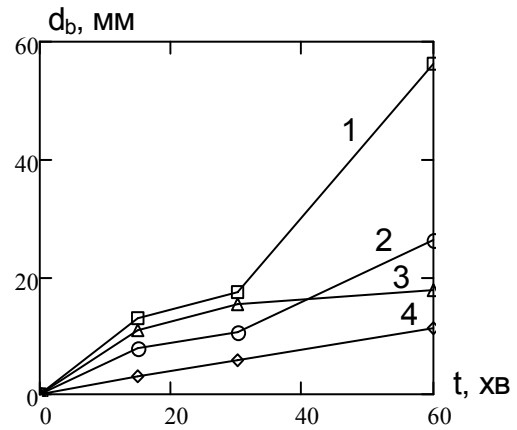


Рис. 6. Залежності торцевих товщин обугленого шару від часу експонування зразків: 1 – без просочення; 2 – з просоченням Неомід 450-1; 3 – з просоченням Сенеж; 4 – з просоченням Страж-2 (БС-13)

На рис. 7 і рис. 8 показані графіки швидкості обуглювання зразків.

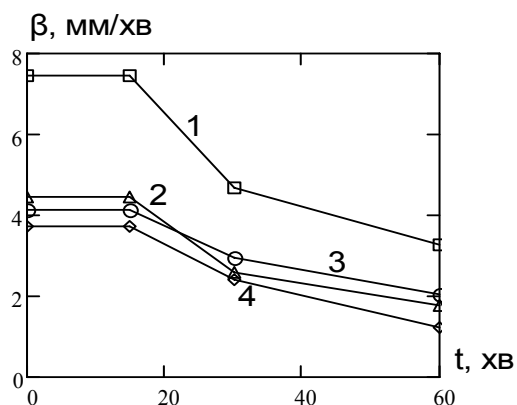


Рис. 7. Залежність бічних швидкостей обуглювання від часу експонування зразків: 1 – без просочення; 2 – з просоченням Неомід 450-1; 3 – з просоченням Сенеж; 4 – з просоченням Страж-2 (БС-13)

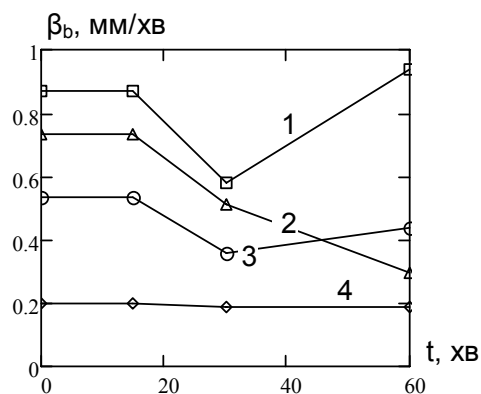


Рис. 8. Залежність торцевих швидкостей обуглювання від часу експонування зразків: 1 – без просочення; 2 – з просоченням Неомід 450-1; 3 – з просоченням Сенеж; 4 – з просоченням Страж-2 (БС-13)

Аналізуючи графіки, наведені на рис. 5, рис. 6, рис. 7 і рис. 8, можна помітити, що залежності товщини обуглювання від часу є схожими. Обуглювання деревини з просоченням відбувається набагато повільніше. Найкращі показники за швидкістю обуглювання дає просочення 4 типу. При прогнозуванні геометричної конфігурації обугленої зони була прийнята гіпотеза, яка полягає в допущенні, що при залежності обуглювання від температури зона обуглювання повинна обмежуватися певною ізотермою. Для перевірки цієї гіпотези необхідно побудувати ізотерми в перерізі фрагмента. При цьому можна використати два способи: за допомогою розв'язання рівняння теплопровідності, або наближенням ізотерм за допомогою інтерполяційних поліномів. Для розв'язання задачі теплопровідності потрібні теплофізичні характеристики деревини з вогнезахистом, які невідомі, тому був використаний другий спосіб. Для наближення ізотерм був використаний функціонал виду

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

де x_0 і y_0 – координати на осях x і y при їх перетині апроксимуючою кривою; p – показник ступені визначеної апроксимуючої кривої.

На рис. 9 показано сімейство кривих, побудованих за виразом (1).

Використовуючи такий підхід і виміри температури в контрольних точках перерізу при проведенні випробувань (рис. 1), була проведена інтерполяція температурних розподілів. Результат представлений на рис. 10.

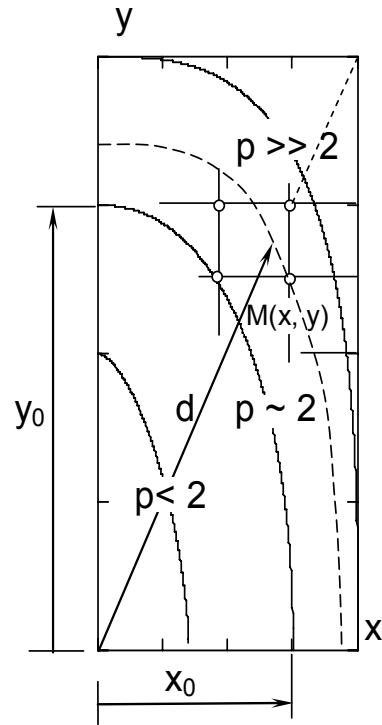


Рис. 9. Схема апроксимації ізотерм в перерізі фрагмента дерев'яної балки

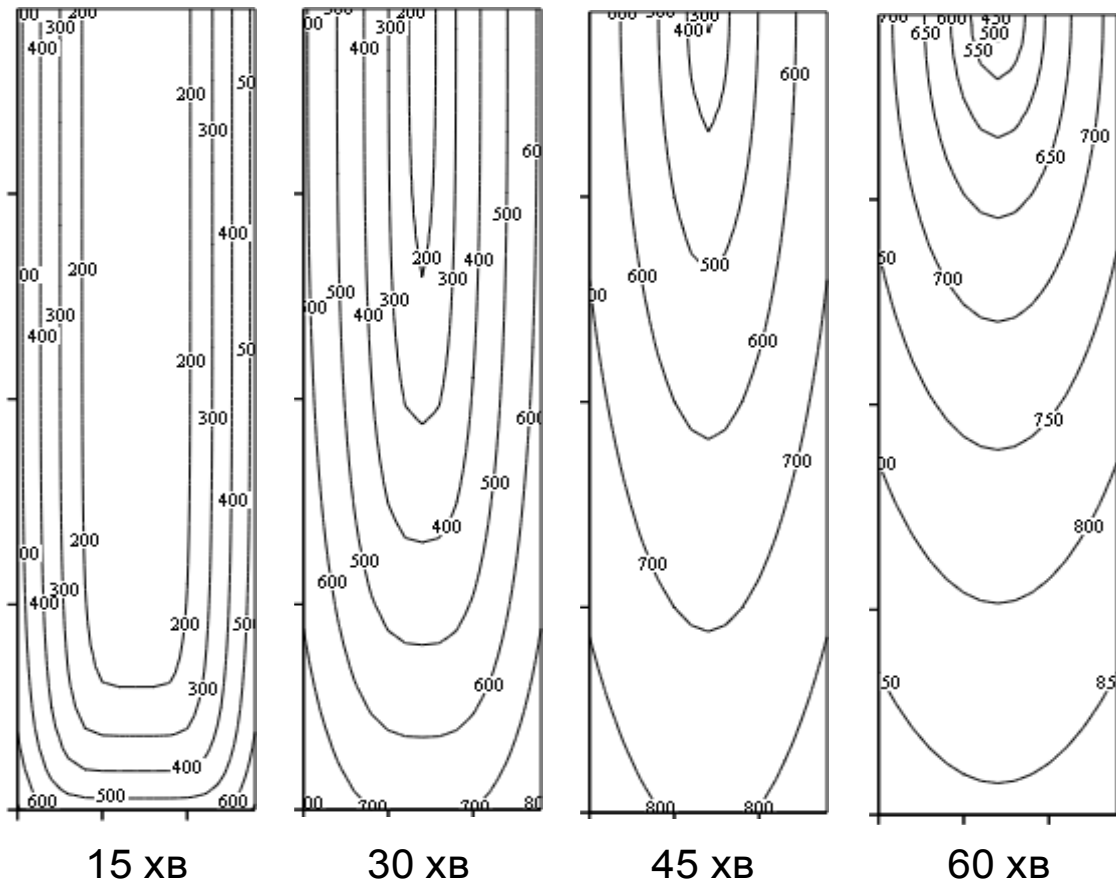


Рис. 10. Температурні розподіли в перерізі фрагмента дерев'яної балки без просочення

Для прогнозування обвугленої зони фрагментів балки були використані виміри товщини обвуглювання, приведені на рис. 5. Зіставляючи виміряну товщину обвугленого шару і знайдені температурні розподіли, були визначені критичні температури обвуглювання за формулою

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

де T_{0i} , T_{gi} – температура першої і останньої точок контрольної лінії перетину в i -тий момент відповідно часу; a – ширина перетину; Q_{gi} – показник ступеня апроксимуючої параболи в i -тий момент часу; $d(i)$ – залежність бокової товщини від часу експонування.

Залежності товщини обвуглювання від часу були отримані на основі регресійного аналізу. Параметри регресійних залежностей наведено в табл.2.

Табл. 2. Параметри регресійних залежностей бічної товщини обвуглювання від часу експонування

Коефіцієнти регресії $d(i) = b_1i + b_2i^2 + b_3i^3$, мм	b_1 , мм·хв. ⁻¹	b_2 , мм·хв. ⁻²	b_3 , мм·хв. ⁻³
Зразки без просочення	1,153	-0,032	$2,997 \cdot 10^{-4}$
Зразки з просоченням «Неомід 450-1»	0,585	-0,013	$1,111 \cdot 10^{-4}$
Зразки з просоченням «Сенеж»	0,725	-0,022	$2,126 \cdot 10^{-4}$
Зразки з просоченням «Страж-2» (БС13)	0,561	-0,014	$1,145 \cdot 10^{-4}$

Залежності швидкості бічного обвуглювання від часу були отримані шляхом диференціювання регресійних залежностей, описаних в табл. 2. Параметри отриманих залежностей наведено в табл. 3.

Табл. 3. Параметри регресійних залежностей швидкості бічного обвуглювання від часу експонування

Коефіцієнти регресії $\beta = \frac{d}{di} d(i) = b_1 + 2b_2i + 3b_3i^2$, мм/хв.	b_1 , мм·хв. ⁻¹	$2b_2$, мм·хв. ⁻²	$3b_3$, мм·хв. ⁻³
Зразки без просочення	1,153	-0,064	$8,992 \cdot 10^{-4}$
Зразки з просоченням «Неомід 450-1»	0,585	-0,026	$3,333 \cdot 10^{-4}$
Зразки з просоченням «Сенеж»	0,725	-0,044	$6,379 \cdot 10^{-4}$
Зразки з просоченням «Страж-2» (БС13)	0,561	-0,028	$3,436 \cdot 10^{-4}$

Використовуючи дані табл. 2 і розроблену розрахункову методику, були побудовані зони обвуглювання для випробуваних фрагментів. Результати представлені на рис. 11.

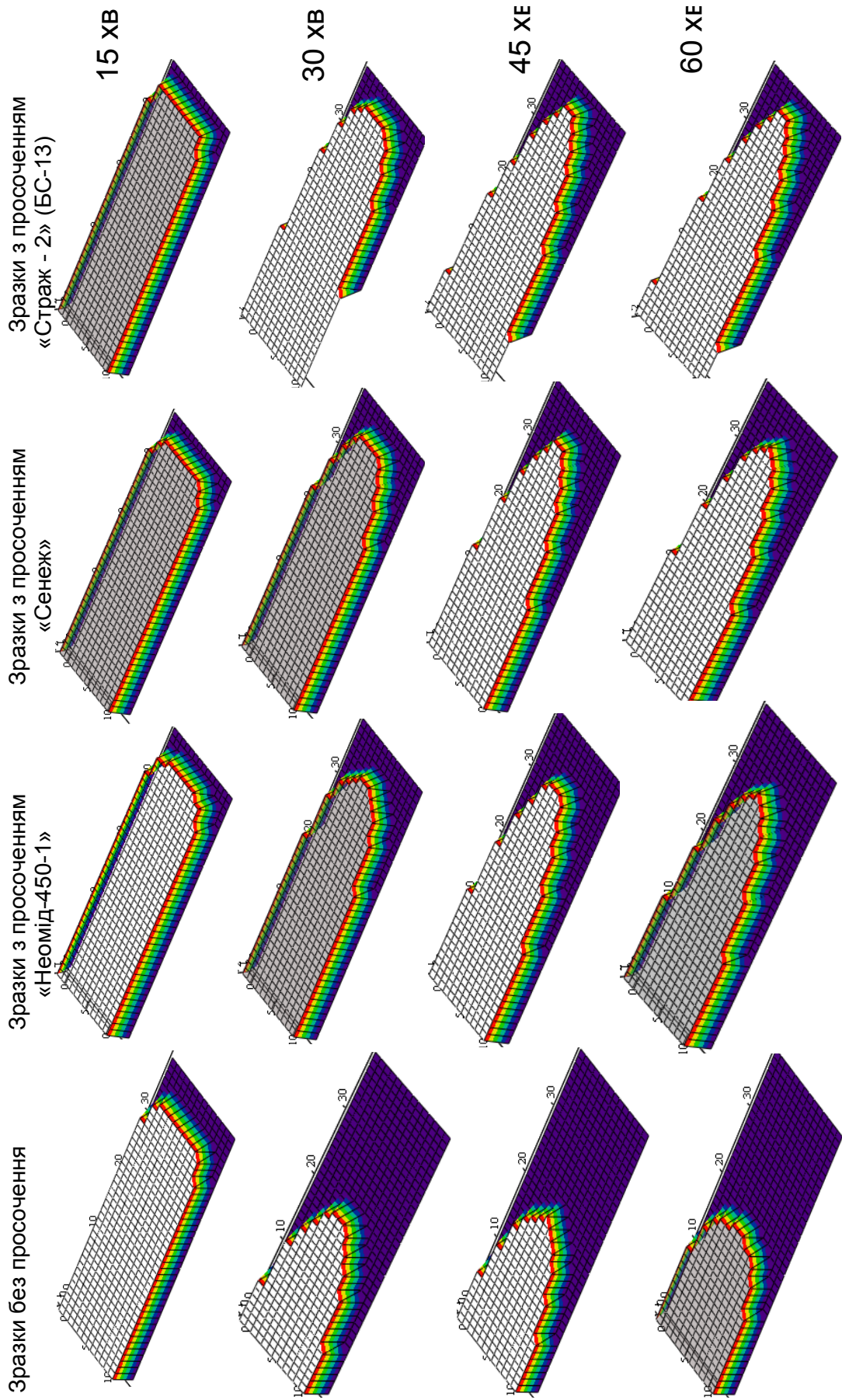


Рис. 11. Результати побудови зони обвуглювання зразків-фрагментів дерев'яних балок

Згідно з отриманими даними найбільш ефективно працює вогнезахисне просочення «Страж-2» (БС-13). З огляду на результати проведених досліджень нами була розроблена розрахункова методика

прогнозування геометричної конфігурації зони обуглювання дерев'яних балок з вогнезахисним просоченням при впливі пожежі із стандартним температурним режимом. Для її реалізації потрібно виконувати такі процедури.

1. Проводяться вогневі випробування фрагментів відповідних дерев'яних балок із вимірюванням температури у внутрішніх контрольних точках їх перерізу;

2. Виконуються вимірювання геометричних параметрів обугленої зони перерізу фрагментів згідно з вищевказаними рекомендаціями.

3. Використовуючи результати вимірювань, визначаються середня бічна і середня торцева товщини обугленого шару;

4. З використанням розробленого нами математичного апарату визначається температурний розподіл у перерізі фрагменту, підданого вогневим випробуванням.

5. Використовуючи запропоновані регресійні залежності швидкості бічного обуглювання та середньої бічної товщини обугленого шару визначається критична температура обуглювання та будується зона обуглювання.

Висновки. 1. Були проведені вогневі випробування зразків-фрагментів дерев'яних балок без вогнезахисту і з вогнезахисним просоченням, в результаті яких визначені температури в їх внутрішніх шарах і товщина їх обугленого шару.

2. На основі проведених вимірів встановлені закономірності зміни конфігурації обугленої зони у вигляді регресійних поліноміальних залежностей.

3. Розроблена методика інтерполяції температурних розподілів в перерізі фрагментів, підданих випробуванням на основі спеціально підібраних функціоналів, що апроксимують ізотерми.

4. Розроблена методика побудови обугленої зони в досліджуваних фрагментах на основі її обмеження ізотермою, відповідній критичній температурі, яка визначається на основі зіставлення температурних розподілів і товщини обугленого шару.

5. Використовуючи розроблену методику, досліджені конфігурації обуглених зон для фрагментів, що вивчаються, в проміжні моменти часу, на основі чого встановлений найбільш ефективний.

ЛІТЕРАТУРА

1. Таубкин С.И. Пожар и взрыв, особенности их экспертизы / Таубкин С.И. – 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 /Т.М.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.

6. EN 1995-1-2:2005 Eurocode 5: Design of wood structures. Part 1-2: General rules – Structural fire design, Brussels, 2004.

С.В. Поздеев, О.В. Некора, Я.В. Горбаченко, И.В. Федченко

Геометрия зоны обугливания в сечении огнезащитных деревянных балках в условиях пожара

Приведены результаты определения геометрии зоны обугливания фрагментов деревянных балок с огнезащитой. И описана расчетная методика прогнозирования геометрической конфигурации зоны обугливания деревянных балок с огнезащитной пропиткой при воздействии пожара со стандартным температурным режимом.

Ключевые слова: огнестойкость, зона обугливания, регрессия, геометрическая конфигурация зоны обугливания.

S.V. Pozdeev, O.V. Nekora, Y.V. Gorbachenko, I.V. Fedchenko

The geometry of the cross-sectional area of charring flame retardant wooden beams in fire

The results of the geometry area charring fragments of wooden beams with fire protection. And describe the calculation method for predicting the geometrical configuration of the zone of charring wood beams with fire retardant impregnation when exposed to fire with a standard temperature conditions.

Keywords: fire, charring zone, regression, geometric configuration of the zone of charring.