

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ**

ЗМАГА ЯНА ВАСИЛІВНА



УДК 614. 84

**РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ ДЛЯ ОЦІНКИ
МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК З ВОГНЕГАСНИМ
ПРОСОЧЕННЯМ**

21.06.02 – пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Черкаському інституті пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, ДСНС України

- Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Поздєєв Сергій Валерійович,
Черкаський інститут пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України,
головний науковий співробітник.
- Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Бєліков Анатолій Серафимович,
Придніпровська державна академія
будівництва та архітектури,
завідувач кафедри безпеки життєдіяльності;
- кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Ніжник Вадим Васильович,
український науково-дослідний інститут
цивільного захисту ДСНС України,
начальник науково-дослідного центру
технічного регулювання.

Захист відбудеться «19» травня 2016 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.707.01 в Національному університеті цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету цивільного захисту України за адресою: 61023, м. Харків, вул. Чернишевська, 94.

Автореферат розіслано «15» квітня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., с.н.с.



А. О. Михайлюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Забезпечення пожежної безпеки є невід'ємною частиною державної діяльності щодо охорони життя та здоров'я людини, національного багатства і навколишнього природного середовища.

Серед причин, що сприяють розвитку пожеж, є широке застосування в спорудах деревини, особливі властивості якої пов'язані з легкою займистістю та здатністю підтримувати горіння. У 90% випадків пожежі, що мали найбільш тяжкі наслідки, відбувалися на об'єктах культурно-побутового та адміністративного призначення з високим ступенем використання деревини в якості несучих будівельних конструкцій, а саме балок. Згідно з чинними нормативними документами дерев'яні балки повинні бути просочені вогнезахисним просоченням для забезпечення нормованої межі вогнестійкості, та на сьогоднішній день питання впливу вогнезахисного просочення на вогнестійкі властивості дерев'яних балок досліджено недостатньо.

Значний обсяг теоретичних і експериментальних досліджень у галузі систем протипожежного захисту об'єктів різного призначення та їх елементів викладено в роботах Антонова А.В., Белікова А.С., Горшина С.М., Жартовського В.М., Знаменського Є.М., Кравченка В.І., Поздєєва С.В., Ройтмана М.Я., Сізікова О.О., Силіна В.М., Фоломіна А.І., Фоміна С.Л., Цапка Ю.В., Шналя Т.М., Яковлевої Р.А., Bartelemy B., Forauter A., Harmathy T., Kruppa G., Lie T.T., Silcock G.W.H., White R.H. та інших.

Слід зазначити, що в цих дослідженнях не розглядалися особливості зміни геометричних параметрів зони обвуглювання дерев'яних балок з вогнезахисним просоченням. Тому наукові дослідження, спрямовані на вирішення питання вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахистом, залишаються актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження проводилось відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», Постанови Кабінету Міністрів України від 1 липня 2008 року № 870 «Програми забезпечення пожежної безпеки на період до 2018 року», Програми розвитку наукової і науково-технічної діяльності Академії пожежної безпеки на 2013-2018 роки, де вказано пріоритетні напрями наукових досліджень науково-педагогічних працівників інституту за напрямом пожежної та техногенної безпеки, а саме: проведення випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій, елементів інженерних мереж та комунікацій, що пов'язано з необхідністю забезпечити задані рівні безпеки і надійність цих об'єктів.

Виконана науково-дослідна робота в Черкаському інституті пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля «Розробка методу оцінки вогнезахисної ефективності несучих дерев'яних будівельних конструкцій», номер державної реєстрації 0114U002707, в якій здобувач була відповідальним виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи полягає в підвищенні точності розрахункового методу оцінки межі вогнестійкості дерев'яних балок із вогнегасним просоченням шляхом врахування закономірностей зміни геометричних параметрів їх зони обвуглювання у залежності від часу вогневого впливу пожежі.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз сучасного стану методів нормування вогнестійкості дерев'яних балок та визначення класів їх вогнестійкості;
- розробити методику експериментального дослідження поведінки дерев'яних балок із вогнезахисними просоченнями в умовах вогневого впливу пожежі із стандартним температурним режимом та провести за розробленою методикою відповідні дослідження;
- виявити закономірності зміни геометричних характеристик зони обуглювання дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями залежно від часу вогневого впливу пожежі із стандартним температурним режимом;
- на основі виявлених закономірностей розробити методику математичного описання зони обуглювання дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями під впливом пожежі із стандартним температурним режимом;
- використовуючи розроблене математичне описання зони обуглювання обґрунтувати розрахунковий метод оцінки вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями;
- дослідити ефективність розробленого розрахункового методу оцінки вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями і встановити межі його застосування.

Об'єкт дослідження – процеси нагрівання та обуглювання дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями під час пожежі.

Предмет дослідження – вплив зміни геометричних параметрів зони обуглювання на точність оцінки вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями.

Методи дослідження. Для встановлення основних закономірностей температурних розподілів та параметрів глибини обуглювання використано експериментальні теплофізичні дослідження, результати яких було узагальнено за допомогою математичного моделювання. Під час розробки розрахункового методу оцінки вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисним просоченням застосовано стандартні методи розрахунку меж вогнестійкості. Для оцінки адекватності результатів експериментів і моделювання теплових процесів у перерізах дерев'яних балок з вогнезахисним просоченням внаслідок теплової дії пожежі застосовано методи математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше за результатами експериментальних досліджень виявлено закономірності змін геометричних характеристик зони обуглювання дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями;
- вперше отримано математичне описання зони обуглювання вогнезахисних дерев'яних балок під впливом пожежі із стандартним температурним режимом;
- обґрунтовано метод розв'язання міцнісної задачі для оцінки вогнестійкості дерев'яних вогнезахисних балок, що вперше враховує конфігурацію їх зони обуглювання;
- обґрунтовано межі застосування розробленого методу врахування

конфігурації обвугленої зони в дерев'яних балках з вогнезахисними просоченнями при використанні стандартних методик Єврокоду 5 з огляду на розміри та конфігурацію перерізів цих балок.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробці розрахункового методу підвищеної точності для оцінки вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями, які набули найбільшого поширення в Україні. Метод оцінки вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями може бути використаний як підґрунтя для удосконалення і доповнення відповідної чинної нормативної бази України або розроблення нових нормативних документів.

Розроблений метод впроваджено у технологічні процеси ПАТ «Черкаська меблева фабрики» (акт впровадження від 21.10.2015), а також використовується в діяльності ТОВ «А.М. Союз» (акт впровадження від 17.11.2015) та в навчальний процес у Черкаському інституті пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України під час викладання дисциплін «Будівлі і споруди та їх поведінка в умовах пожежі» і «Пожежна профілактика у населених пунктах» (акт впровадження від 31.08.2015).

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійною роботою автора. Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:

[1] – здобувачем проведено літературний огляд щодо врахування впливу вогнезахисних просочувальних речовин для визначення вогнестійкості дерев'яних балок; [2] – здобувачем отримано результати випробувань зразків дерев'яних балок, які пройшли 15, 30 та 60 хвилинні випробування під дією температур за режимом стандартної пожежі; [4] – здобувачем перевірено адекватність результатів, отриманих в процесі застосування експериментально-розрахункового методу оцінки вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями; [5] – здобувачем перевірено діапазон застосування розрахункового методу на дерев'яних балках різних розмірів; [9] – здобувачем досліджені питання впливу експериментальних умов вогневих випробувань вогнезахисних просочувальних речовин під час визначення вогнестійкості дерев'яних клеєних балок; [10] – здобувачем отримано значення глибини обвуглювання зразків дерев'яних балок, які експонувалися при різних часових інтервалах внаслідок дії високих температур; [11] – здобувачем проведено аналіз впливу фізико-хімічних процесів випробувань на вогнестійкість дерев'яних клеєних балок з вогнезахисними просоченнями.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися та обговорювалися на: Міжнародній науково-практичній конференції «Иновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций» (м. Мінськ, 2013); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми технічних та соціально-гуманітарних наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту» (м. Черкаси, 2013); II Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи» (м. Харків, 2013); VIII Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (м. Мінськ, 2014); 16 Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників (м. Київ, 2014); Всеукраїнській науково-практичній конференції

«Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, 2015).

Публікації. Основний зміст роботи викладено в 4 наукових статтях у виданнях, що входять до переліку ДАК України, та в 1 статті у закордонному виданні, а також у 6 доповідях на вітчизняних та іноземних наукових конференціях.

Структура дисертації. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 134 сторінки. Дисертація містить 17 таблиць, 69 рисунків і 130 найменувань використаних літературних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі проведено аналіз стану нормативної бази та наукових розробок для визначення меж вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями, та виявлено шляхи підвищення їх ефективності.

Під час забезпечення вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій відповідно до вимог чинних будівельних норм України пріоритетними є питання щодо методів, які дозволяють прогнозувати та оцінювати вогнестійкість запроектованих та реальних конструкцій. На основі прогнозних даних застосовуються технологічні засоби для підвищення вогнестійкості. До основних технологій, що використовують, щодо забезпечення вимог вогнестійкості та поширення полум'я, належать вогнезахисні просочення, тому основні аспекти цієї технології також представляють чималий інтерес з огляду на те, що вплив таких просочень на вогнестійкість дерев'яних конструкцій, зокрема дерев'яних балок, вивчений недостатньо. Ці обставини мали вплив на систему розрахункових методів щодо оцінки вогнестійкості дерев'яних конструкцій, що входять в систему стандартів, які є чинними в Україні (EN 1995-1-2:2004 Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-2).

Проведений аналіз дозволив обґрунтувати необхідність розробки розрахункового методу для оцінки вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями, що враховують зміни геометричних параметрів їх зони обвуглювання залежно від часу вогневого впливу пожежі, та сформулювати задачі досліджень.

У другому розділі виконано розробку методики експериментального дослідження поведінки дерев'яних балок із вогнезахисними просоченнями в умовах вогневого впливу пожежі із стандартним температурним режимом, описано особливості проведення випробувань на вогнестійкість зразків-фрагментів дерев'яних балок з вогнезахисним просоченням. Контроль температур здійснювався в трьох внутрішніх точках за час експонування за умови стандартного температурного режиму протягом 15, 30, та 60 хвилин експонування на установці, що зображена на рис. 1. Конфігурація зони обвуглювання контролювалася візуальним оглядом і вимірюванням товщини шару після розпилювання зразків, які були піддані вогневому впливу.

Для проведення випробування було обрано соснові бруски розміром 50×65×200 мм, клеєна фанера розміром 400×400 мм та товщиною 16 мм (рис. 2).

На основі аналізу масиву карток пожежогасіння було визначено, що найбільше використовуються вогнезахисні просочувальні речовини Страж-2, Сенеж, Неомід 450-1, оскільки вони забезпечують найбільший час вогнезахисної дії і економічно вигідні для забудовників.

На рис. 3 показані зразки після просочення.

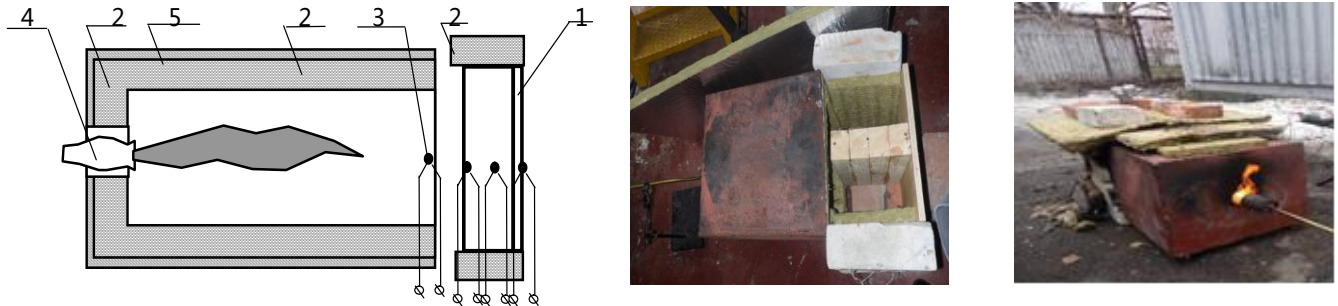


Рис. 1. Схема та зовнішній вигляд установки для випробувань:
1 – зразок для випробування; 2, 5 – теплоізоляційний матеріал; 3 – термопари і місця їх розташування; 4 – пальник

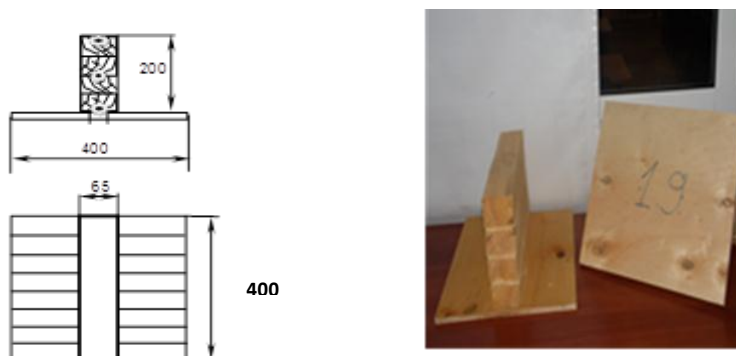


Рис. 2. Схематичний вигляд експериментального зразка

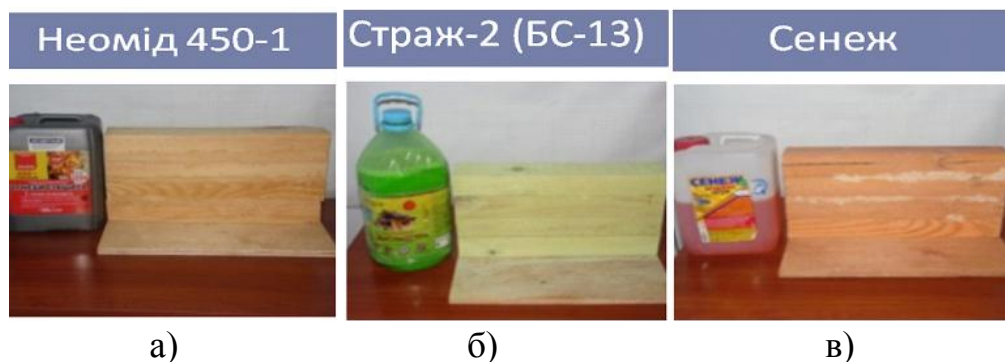


Рис. 3. Загальний вигляд зразка після просочення: а) вогнезахисна речовина «Неомід 450-1» (вогнезахисне просочення I типу); б) вогнезахисна речовина «Страж-2 (БС-13)» (вогнезахисне просочення III типу); в) вогнезахисна речовина «Сенеж» (вогнезахисне просочення II типу)

У третьому розділі подано результати експонування зразків-фрагментів дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями і без них в умовах вогневого впливу пожежі із стандартним температурним режимом для часових проміжків у 15, 30, 60 хвилин. Після проведення випробувань вивчався зовнішній вигляд зразків, і проводилися заміри обвугленої зони (рис.4).

На рис. 5, рис. 6 висвітлені графіки залежності температури в установці, а також у фрагментах-зразках дерев'яних балок від часу експонування під час вогневого впливу за стандартним температурним режимом (для 15 хв. і 60 хв.) В подальшому вони використовувались для відтворення розподілення температурного поля в перерізі балок.

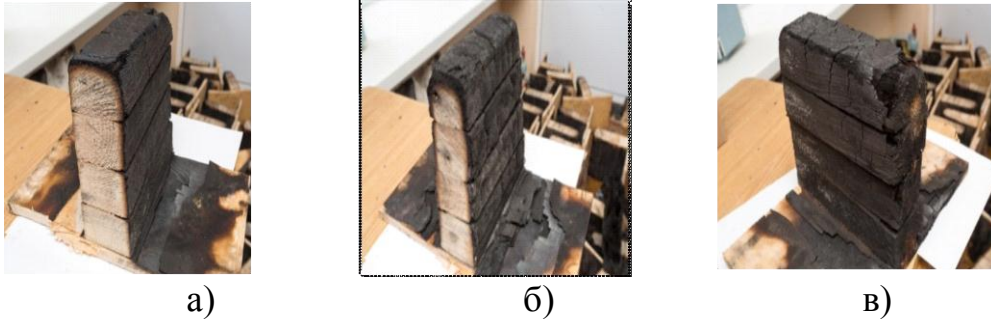


Рис. 4. Фото зразків без просочення після проведення вогневих випробувань: а) обвуглювання зразка після 15 хв. експонування; б) обвуглювання зразка після 30 хв. експонування; в) обвуглювання зразка після 60 хв. експонування

Було визначено температурні розподілення у перерізі фрагменту дерев'яної балки, який був підданий вогневим випробуванням з використанням рекомендацій відповідного стандарту щодо розрахункових методів оцінки вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій.

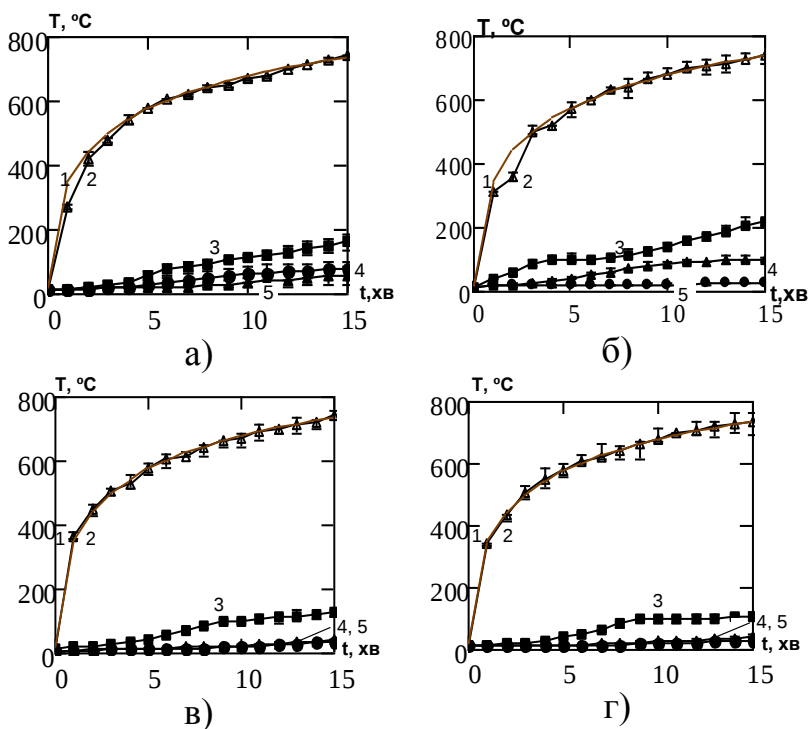


Рис. 5. Графіки залежності температури від часу експонування при 15 хвилинних вогневих випробувань: 1 – стандартна температурна крива; 2 – середнє значення термопари для визначення режиму температури в установці; 3 – середнє значення першої термопари; 4 – середнє значення другої термопари; 5 – середнє значення третьої термопари; а) зразки, без просочування; б) зразки, просочені речовиною І; в) зразки, просочені речовиною ІІ; г) зразки, просочені речовиною ІІІ

Виявлення закономірності зміни геометричних характеристик зони обвуглювання дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями залежно від часу вогневого впливу пожежі із стандартним температурним режимом дозволило пізніше розробити ефективний метод інтерполяції температурних полів.

Залежності товщини обвуглювання від часу були отримані на основі регресійного аналізу. Параметри регресійних залежностей наведено в табл. 1 та табл. 2.

Залежності швидкості обвуглювання від часу були отримані шляхом диференціювання регресійних залежностей, описаних в табл. 1 та табл. 2.

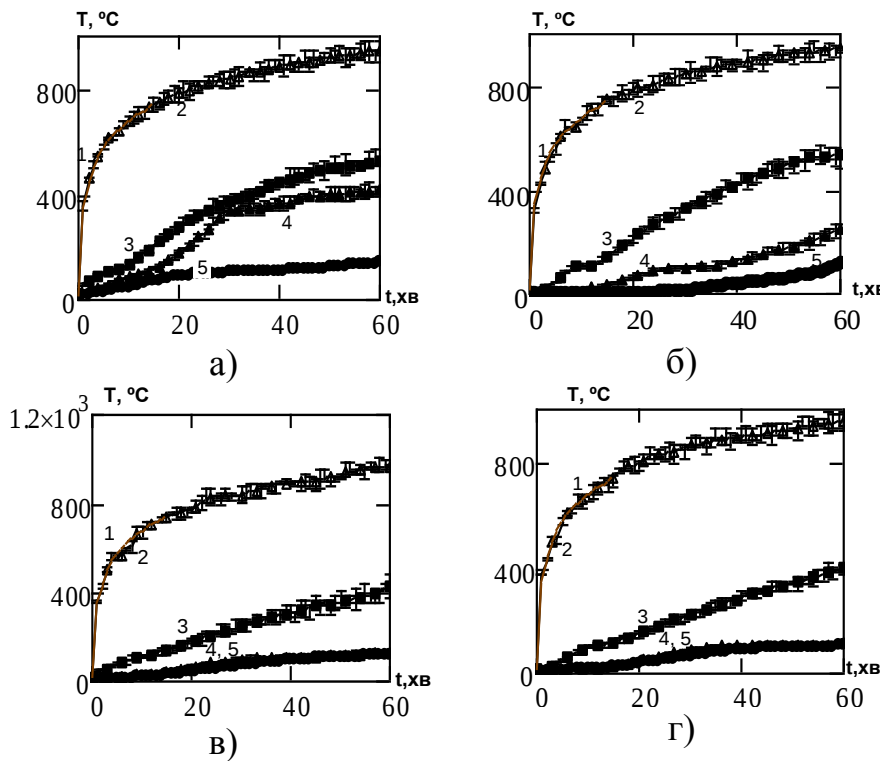


Рис. 6. Графіки залежності температури від часу експонування під час 60 хвилинних вогневих випробувань. Позначення ідентичні рис. 5

Таблиця 1

Параметри регресійних залежностей бокової товщини обвуглювання від часу експонування для зразків

Коефіцієнти регресії $d(t) = b_1 + b_2t + b_3t^2 + b_4t^3$	b_1 , мм	b_2 , мм·хв. ⁻¹	b_3 , мм·хв. ⁻²	b_4 , мм·хв. ⁻³
без просочення	0.662	0.673	$-6.01 \cdot 10^{-3}$	0
з просоченням І типу	0	0,585	-0,013	1,111
з просоченням ІІ типу	0.47	0.384	$-3.648 \cdot 10^{-3}$	0
з просоченням ІІІ типу	0	0,561	-0,014	$1,145 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 2

Параметри регресійних залежностей торцевої товщини обвуглювання від часу експонування для зразків

Коефіцієнти регресії $d(t) = b_1 + b_2t + b_3t^2 + b_4t^3$	b_1 , мм	b_2 , мм·хв. ⁻¹	b_3 , мм·хв. ⁻²	b_4 , мм·хв. ⁻³
без просочення	1.536	0.353	$9.192 \cdot 10^{-3}$	0
з просоченням І типу	0.718	0.336	$1.448 \cdot 10^{-3}$	0
з просоченням ІІ типу	0	1.031	-0.022	$1.687 \cdot 10^{-4}$
з просоченням ІІІ типу	0.036	0.192	$-6.73 \cdot 10^{-5}$	0

У четвертому розділі розроблено методику математичного описання зони

обвуглювання дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями під впливом пожежі із стандартним температурним режимом.

Вивчення розподілень температури по перерізу несучих балок під час вогневих випробувань засновувалося на розв'язанні рівняння теплопровідності вигляду:

$$C_v(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad (1)$$

де T – температура, °C; t – час, с; $C_v(T)$ – питома об'ємна теплоємність, залежна від температури, Дж/(м³·°C); $\lambda(T)$ – коефіцієнт теплопровідності, залежний від температури, Вт/(м·°C).

Для розв'язання теплової задачі (1) застосовуються граничні умови (ГУ) III роду:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} = \alpha(T_p - T_w), \quad (2)$$

де α – коефіцієнт теплообміну, Вт/(м²·°C); T_p , T_w – відповідно температури пожежного середовища і поверхні балки, °C; r – поточна просторова координата.

Температура оточуючого простору визначається за стандартною температурною кривою пожежі. Розглядається прямокутний переріз дерев'яної балки із тристороннім обігрівом, схема якого показана на рис. 7.

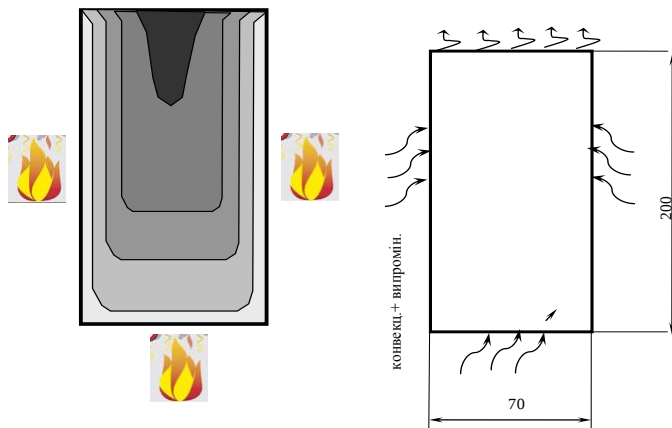


Рис. 7. Геометрія та граничні умови до теплового розрахунку дерев'яних балок

Для вивчення розподілень температури по перерізу несучих балок під час вогневих випробувань був використаний метод кінцевих різниць.

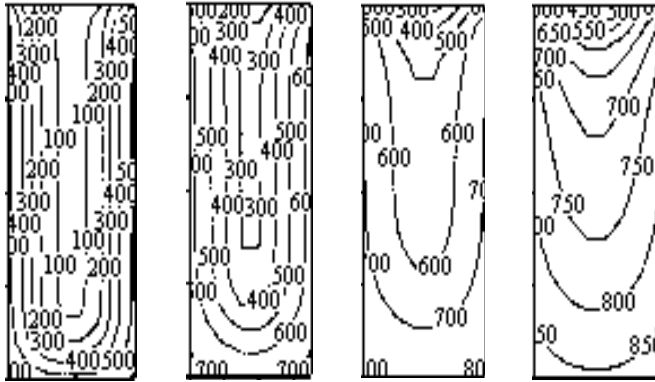
Після розв'язку задачі теплопровідності були отримані температурні розподілення, які показані на рис. 8.

Використовуючи вимірювання, була обчислена середня бічна товщина і середня торцева товщина обвугленого шару, графіки залежностей від часу експонування яких наведено на рис. 9.

Для апроксимації температурних розподілень вздовж ліній перерізу будівельних конструкцій в момент дії на них пожежі із стандартним температурним режимом зручно застосовувати номограмний метод. При цьому температурні розподілення зображені подібними кривими, які описуються виразом, у яких

відрізняються тільки їх відповідні параметри. Аналізуючи криві, подані на рис. 9, можна припустити, що вони можуть бути апроксимовані за схемою, що наведена на рис. 10.

Для їх апроксимації застосуємо алгоритм, заснований на зображенні температурних кривих узагальненим виразом:

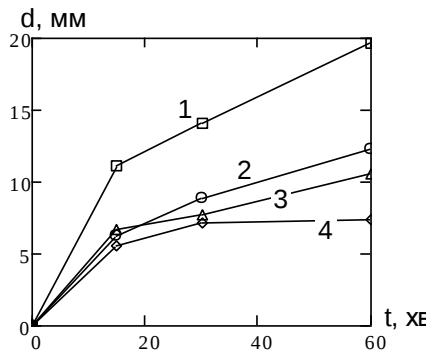


а) б) в) г)

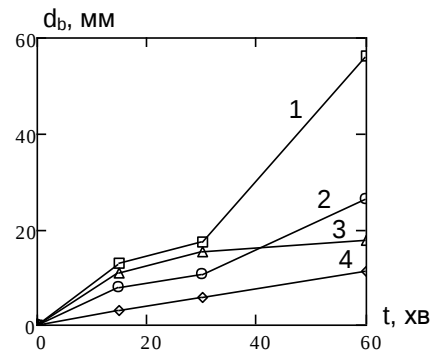
Рис. 8. Температурні розподіли у перерізі фрагменту дерев'яної балки та відповідні шкали у моменти часу: а) 15 хв; б) 30 хв; в) 45 хв; г) 60 хв.

$$T_{k,i} = T_{0k} + (T_{maxk} - T_{0k}) \left[\frac{i}{n} \right]^{Q_k}, \quad (3)$$

де $T_{k,i}$ – температура i -тої точки даної лінії перерізу у k -тий момент часу; T_{0k} , T_{maxk} – температура першої та останньої точок вказаної лінії перерізу у k -тий момент часу; n – кількість інтервалів між контрольними точками; Q_k – показник ступеня параболи у k -тий момент часу, що визначається за алгоритмом, поданим на рис. 11.



а)



б)

Рис. 9. Залежності бічних (а) і торцевих товщин (б) обвугленого шару від часу експонування зразків: 1 – без просочення; 2 – з вогнезахисним просоченням І типу; 3 – з вогнезахисним просоченням ІІ типу; 4 – з вогнезахисним просоченням ІІІ типу

На рис. 12 наведено результати розрахунку температурних розподілів, отриманих у результаті розв'язання задачі (1)-(2), та результати, отримані із застосуванням виразу типу (3).

На зазначених температурних розподілах також показана похибка вимірювань (яка складає 38°C), що визначена з огляду на похибку температурних датчиків та похибку їх розташування у перерізі.

З графіків на рис. 12 видно, що майже у всіх випадках відхилення температурних розподілів, отриманих за виразом (3) шляхом інтерполяції, від вихідних температурних розподілів не перевищують експериментальної похибки.

Для інтерполяції температурних полів у проміжних вузлових точках перерізу фрагментів дерев'яних балок, що вивчаються, використовується метод, заснований у

наближені ізотерм спеціальними кривими.

Застосовуючи такий підхід, було запропоновано вираз, що має вигляд:

$$y(x) = y_0 \left(1 - (x/x_0)^p \right)^{1/p}, \quad (4)$$

де x_0 і y_0 – координати на осях ОХ та ОУ точок їх перетину апроксимуючою кривою; p – показник ступеня апроксимуючої кривої, що підлягає визначенню у випадку наближення ізотерм.

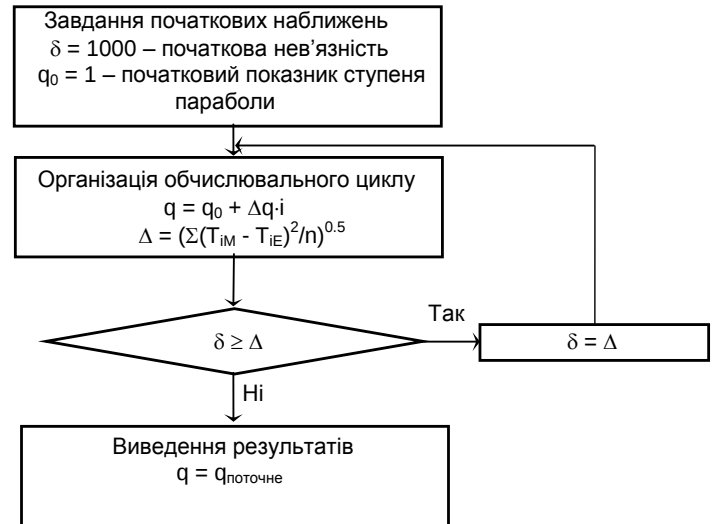
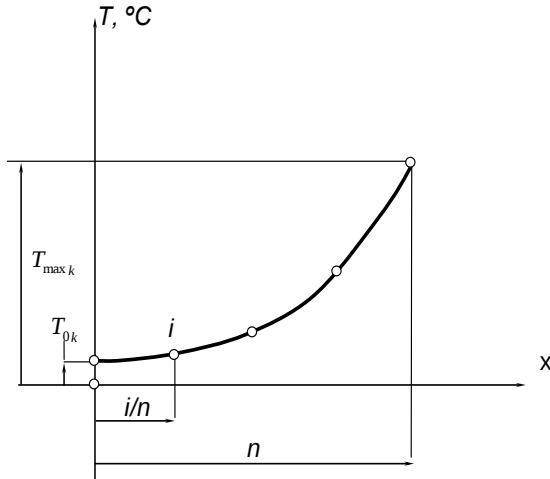
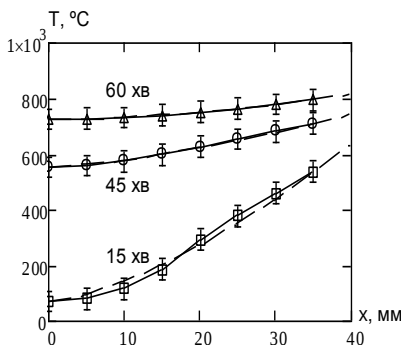
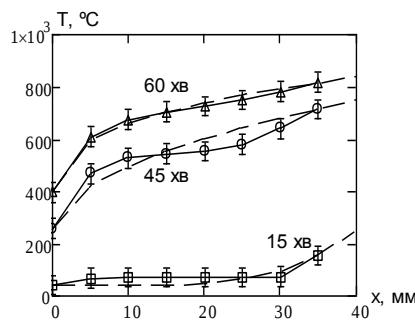


Рис. 10. Схема апроксимації температурних розподілів балки під час випробувань на вогнестійкість

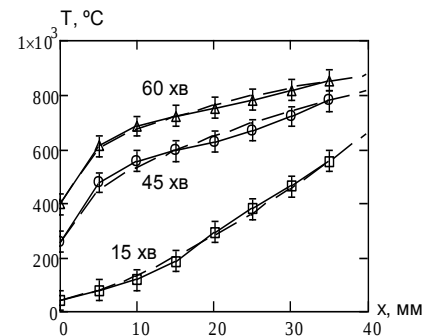
Рис. 11. Блок-схема алгоритму визначення апроксимуючого поліному



а)



б)



в)

Рис. 12. Температурні розподіли по лініям перерізу фрагменту дерев'яної балки у різні моменти часу вздовж ліній: а) по середній горизонталі; б) по середній вертикалі; в) по головній діагоналі симетричної половини перерізу

На рис. 13. показано вигляд сімейства кривих, побудованих за виразом (4).

У параметризованому вигляді вираз (4) можна записати як рівняння:

$$y^p x_0^p + x^p y_0^p - x_0^p y_0^p = 0, \quad (5)$$

у якому кожний член залежить від параметру d , що визначає відстань, яку відсікає апроксимуюча крива на головній діагоналі перерізу.

Змінюючи параметр d , було визначено залежність показника ступеня рівняння (5) для кожної хвилини впродовж дії стандартної пожежі протягом 60 хв.

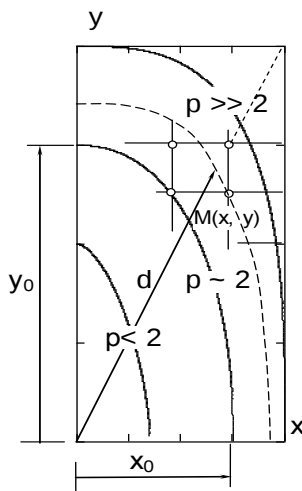


Рис. 13. Схема апроксимації ізотерм в перерізі фрагмента дерев'яної балки

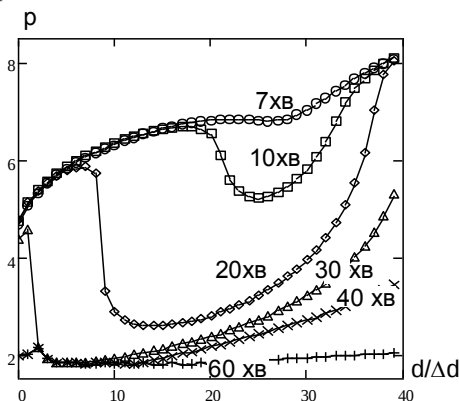


Рис. 14. Залежності показника p ступеня рівняння (5) від параметру d для різних моментів часу дії стандартної пожежі

Для проведення інтерполяції також було побудовано залежності коефіцієнта співвідношення $k_{xy} = x_0 / y_0$ координат точок перетину апроксимаційною кривою осей координат.

Для прогнозування обвугленої зони фрагментів балки було використано виміри товщини обвуглювання, наведені на рис. 9. Зіставляючи виміряну товщину обвугленого шару і знайдені температурні розподіли, було визначено критичні температури обвуглювання за формулою:

Рівняння (5) розв'язувалося методом ітерацій. На рис. 14 показано графіки залежності показника p ступеня рівняння (5) від параметру d для різних моментів часу дії стандартної пожежі.

Знаючи показник ступеня виразу (4), легко побудувати температурні розподіли для дерев'яної балки. Використовуючи такий підхід і виміри температури в контрольних точках перерізу під час проведення випробувань, була проведена інтерполяція температурних розподілів.

Результати розрахунку подано на рис. 15.

Для проведення інтерполяції використано температурні залежності, що наведені на рис. 14.

За цими залежностями можна визначити криві розподілів температури вздовж серединної вертикалі перерізу балки.

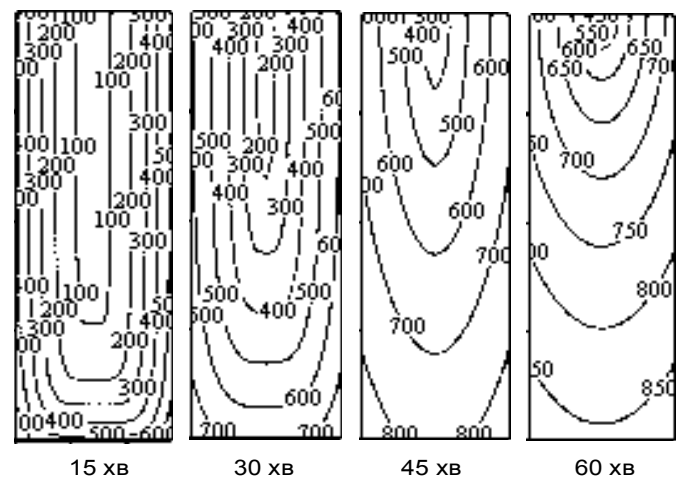


Рис. 15. Температурні розподіли в перерізі фрагмента дерев'яної балки без просочення

$$T_{кр,i} = T_{0i} + (T_{gi} - T_{0i}) \left[\frac{0,5a - d(i)}{a} \right]^{Q_{gi}}, \quad (6)$$

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

У п'ятому розділі на основі розробленого математичного опису зони обвуглювання обґрунтовано та розроблено розрахунковий метод оцінки вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисними просоченнями. Для цього використано підхід, що ґрунтується на поступовому збільшенні кривизни нейтральної лінії балки у кожний контрольний момент часу випробування із одночасним визначенням згинального моменту на кожному кроці збільшення прогину.

У випадку досягнення критичного значення прогину, який визначається як

$$D = \frac{L^2}{400 \cdot b}, \quad (7)$$

де L та b – довжина прольоту та висота перерізу балки відповідно, розрахунок припиняється. Із отриманих значень моменту вибирається найбільше значення $M_{Rd,fi}$, яке і буде вважатися несучою здатністю балки, що досліджується.

При цьому балка розглядається як шарнірно оперта. Момент у небезпечному перерізі балки визначається шляхом розбиття перерізу на ділянки прямокутної форми. При цьому вважається, що в кожній ділянці розташований стрижень, у якому зв'язок між силовим фактором і деформацією відповідає визначеній діаграмі деформування. Для розв'язання міцнісної задачі за запропонованим методом напруження визначаються за допомогою зв'язку між напруженнями та деформацією визначеної зони, на які розбитий переріз балки.

Для побудування діаграм деформування взято середня міцність і середнє значення модуля пружності. Використовуючи ці дані, було побудовано діаграми деформування, що наведені на рис. 16.

В процесі визначення відносної деформації певного шару за кривизною балки застосовується гіпотеза плоских перерізів.

Згідно з розрахунками, міцнісна задача розв'язувалася для п'яти випадків – теоретичного розподілу температур у балці, що визначений запропонованим нами способом, для балки без вогнезахисту та балок із трьома типами вогнезахисного просочення.

Для оцінки вогнестійкості було побудовано залежності моментів від кривизни балки. На рис. 17 наведено графіки таких залежностей для дерев'яної балки без вогнезахисту.

Дані на рис. 17 показують, що графіки залежностей моментів від кривизни балки під час поступового її збільшення є подібними і помітно починають відрізнятися з 15 хвилини вогневих випробувань.

За експериментальними даними міцність балки зменшується повільніше за міцність такої ж самої балки згідно з теоретичними розрахунками. Аналогічні дослідження були проведені і для трьох видів вогнезахисних просочень.

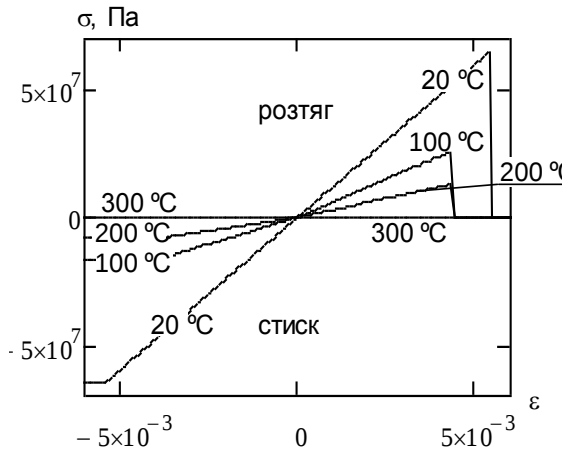


Рис. 16. Діаграми деформування деревини при різних температурах нагріву

Для визначення межі вогнестійкості були побудовані залежності несучої здатності дерев'яної балки від часу вогневої дії стандартної пожежі. На рис. 18 та рис. 19 показано значення діючого моменту для теоретичних температурних розподілень без урахування зони обвуглювання та з її урахуванням.

Межі вогнестійкості, що визначені за графіками на рис. 18, зведені до табл. 3.

Дані табл. 3 показують, що вогнезахисні просочення мають помітний ефект для підвищення вогнестійкості дерев'яних балок, але цей ефект є недостатнім, оскільки не дозволяє забезпечити необхідну межу вогнестійкості, яка необхідна для класів вогнестійкості R 45 та R 60.

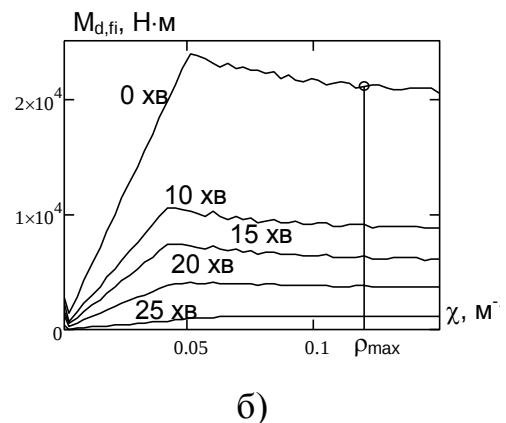
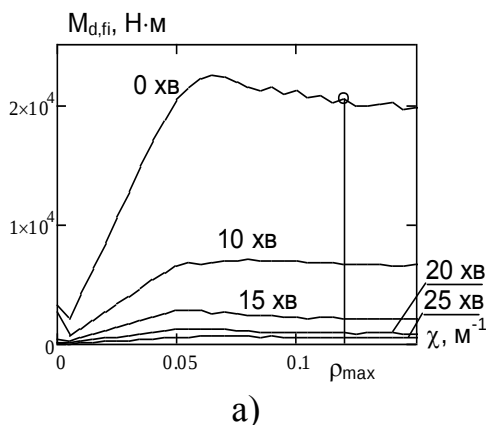


Рис. 17. Залежності моменту у небезпечному перерізі балки без вогнезахисту від її кривизни під час поступового збільшення за теоретичними розрахунками температур (а), за експериментальними даними (б)

В процесі визначення меж вогнестійкості не була врахована зона обвуглювання, оскільки у рекомендаціях згідно із стандартами та відомими роботами щодо відповідних розрахунків за температури 300 °C міцність та модуль пружності в момент стискання та розтягу дорівнюють нулю.

Аналіз показав, що у разі порівняння зон нульової міцності та зон обвуглювання ці зони не збігаються, і зона, де міцність зберігається, може потрапити у зону обвуглювання. Тому розподіли відповідних міцнісних характеристик потрібно обмежувати зоною обвуглювання.

Дані показують, що межа вогнестійкості помітно зменшується, якщо зона обвуглювання враховується. Як впливає з проведеного аналізу результатів, похибка у разі неврахування реальної конфігурації зони обвуглювання може

досягати значення 58%.

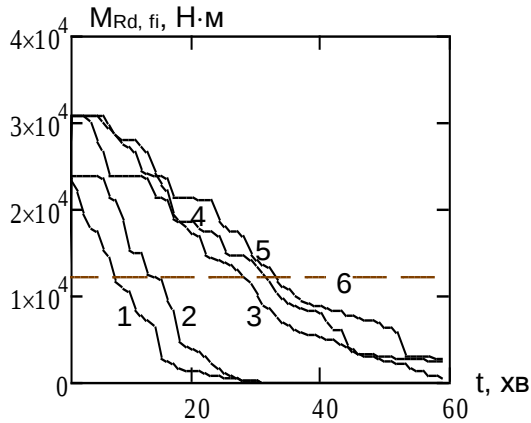


Рис. 18. Залежності максимального моменту від часу вогневого впливу пожежі без врахування зони обуглювання: 1 – дерев'яної балки із теоретичними температурними розподілами; 2 – дерев'яної балки із експериментальними температурними розподілами; 3 – дерев'яної балки із вогнезахисним просоченням I типу; 4 – дерев'яної балки із вогнезахисним просоченням II типу; 5 – дерев'яної балки із вогнезахисним просоченням III типу; 6 – діючий момент у небезпечному перерізі балки

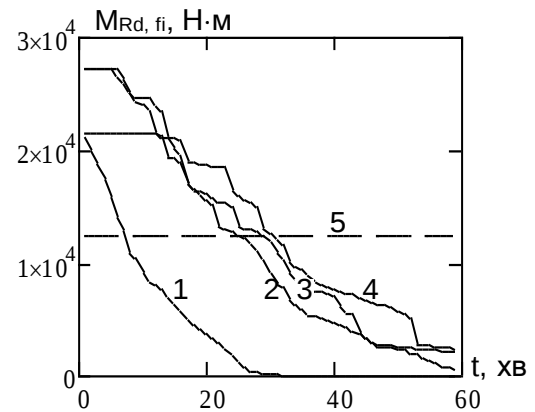


Рис. 19. Залежності максимального моменту від часу вогневого впливу пожежі з врахування зони обуглювання: 1 – дерев'яної балки із експериментальними температурними розподілами; 2 – дерев'яної балки із вогнезахисним просоченням I типу; 3 – дерев'яної балки із вогнезахисним просоченням II типу; 4 – дерев'яної балки із вогнезахисним просоченням III типу; 5 – діючий момент у небезпечному перерізі балки

Таблиця 3

Межі вогнестійкості для дерев'яних балок без врахування зони обуглювання

Тип дерев'яної балки	Межа вогнестійкості, хв.
Балка без вогнезахисту із теоретичним розподілом температури по перерізу	9
Балка без вогнезахисту із розподілом температури, за експериментальними даними	17
Балка із вогнезахисним просоченням I типу	28
Балка із вогнезахисним просоченням II типу	31
Балка із вогнезахисним просоченням III типу	33

Проведені дослідження показали можливість розробки розрахункового методу оцінки вогнестійкості за допомогою розкритих закономірностей зміни конфігурації зони обуглювання на основі визначення критичної температури щодо обуглювання деревини балки на основі формули (6) та даних типу залежностей,

визначених експериментальним шляхом, які наведені у табл. 2.

З огляду на проведені дослідження можна сформулювати основні положення розрахункового методу оцінки вогнестійкості дерев'яних балок із вогнезахисними просоченнями. Для реалізації запропонованого методу необхідно виконання таких процедур.

1. Визначення температурних розподілів у кожний контрольний момент часу розвитку пожежі за допомогою розв'язку рівняння теплопровідності (1)-(2) одним з чисельних методів – кінцевих різниць або кінцевих елементів.

2. У кожний контрольний момент часу розвитку пожежі за формулою (6) для того чи іншого виду вогнезахисного просочення визначається критична температура.

3. У кожний контрольний момент часу розвитку пожежі за ізотермою, яка відповідає визначеній критичній температурі, визначається конфігурація зони обуглювання, що відсікається цією ізотермою.

4. У кожний контрольний момент часу розвитку пожежі за температурним полем у зоні, що не піддалася обуглювання, визначаються міцнісні та деформативні характеристики деревини.

5. У кожний контрольний момент часу розвитку пожежі за методом збільшення деформації визначається несуча здатність дерев'яної балки із вогнезахистом.

6. За отриманими значеннями будується крива зниження несучої здатності балки від часу розвитку пожежі.

7. У кожний момент часу розвитку пожежі шляхом порівняння несучої здатності балки і діючого навантаження визначається час, коли діюче навантаження стає рівним або більшим за несучу здатність, який і буде часом настання граничного стану її втрати.

Для відпрацювання процедур методу була розглянута дерев'яна балка квадратного перерізу 200 x 200 мм.

Згідно із алгоритмом запропонованого методу, були отримані температурні розподіли, наведені на рис. 20.

Застосовуючи запропонований підхід для визначення конфігурації зони обуглювання, були розраховані обуглені зони для перерізу балок з вогнезахисними просоченнями та без них.

Використовуючи отримані конфігурації обугленої зони можна визначити розподіли механічних характеристик по перерізу дерев'яної балки, вогнестійкість якої піддається оцінці запропонованим методом. На рис. 21 показано типовий розподіл міцності деревини відповідно до температури прогріву внутрішніх шарів перерізу.

Розрахунки показують, що межа вогнестійкості з вогнезахистом дозволяє підвищити межу вогнестійкості лише на 5 хв., тобто вогнезахисне просочення слабо впливає на межу вогнестійкості масивних дерев'яних балок. Тому для подібних балок вогнезахисні просочення є неефективним вогнезахисним засобом. Також можна зазначити, що розроблений розрахунковий метод оцінки вогнестійкості є ефективним тільки для дерев'яних балок із перерізом з малою товщиною, було проведене дослідження щодо впливу товщини балки на

ефективність вогнезахисних просочень із застосуванням запропонованого методу.

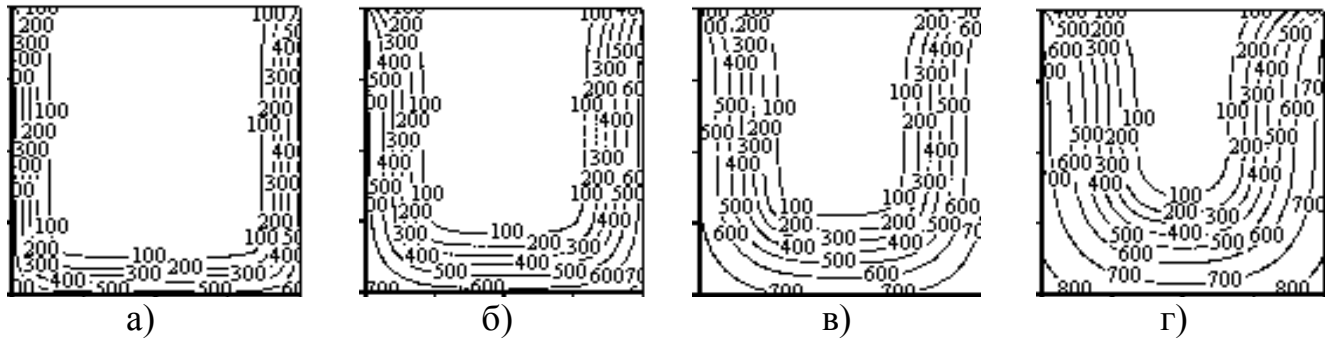


Рис. 20. Температурні розподіли у перерізі дерев'яної балки та відповідні шкали у моменти часу: а) 15 хв; б) 30 хв; в) 45 хв; г) 60 хв.

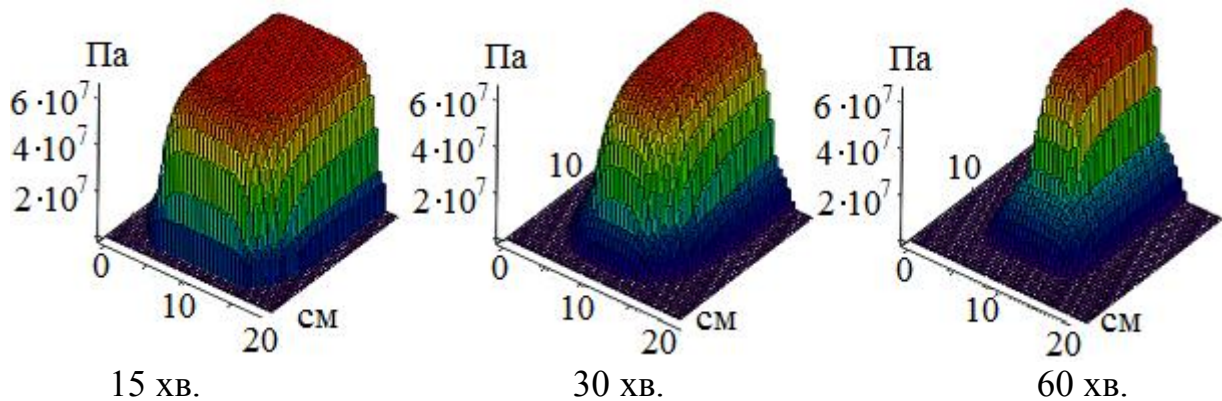


Рис. 21. Типові розподіли міцності деревини у перерізі балок з вогнезахисним просоченням і без нього у різні моменти часу вогневого впливу стандартної пожежі

Ефективність вогнезахисної дії просочень, що вивчаються, визначається часом підвищення межі вогнестійкості завдяки застосуванню цих просочень. Вказаний час розраховується за допомогою запропонованого методу оцінки вогнестійкості вогнезахисних дерев'яних балок.

Застосовувавши описаний підхід, було вивчено три типи соснових балок із змінною товщиною перерізу. На рис. 22 проілюстровано залежності часу, на який підвищується межа вогнестійкості дерев'яної балки у випадку застосування вогнезахисного просочення, від її товщини.

Аналіз графіків на рис. 22 показує, що із збільшенням ширини перерізу дерев'яної балки до 200 мм вогнезахисні просочення для підвищення межі вогнестійкості є малоефективними, оскільки її підвищення відбувається максимум на 2-3 хв. Це означає також, що і застосування запропонованого методу з врахуванням зони обвуглювання для балок із перерізами такої ширини, не є ефективним. Таким чином, запропонований метод оцінки вогнестійкості вогнезахисних дерев'яних балок найбільш ефективно застосовується для балок із шириною поперечного перерізу не більше за 200 мм.

Для того, щоб визначити величину можливої похибки під час розрахунку межі вогнестійкості дерев'яних балок із вогнезахистом запропонованим методом можна застосувати метод збурень.

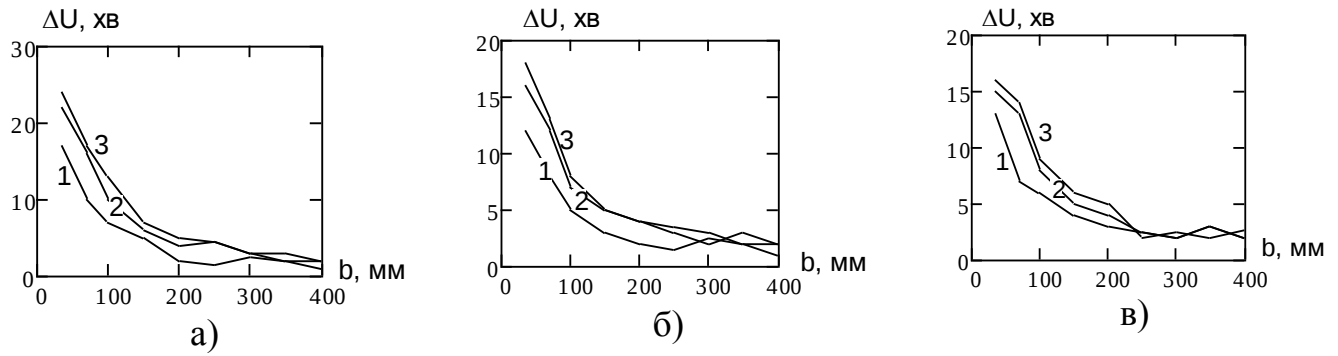


Рис. 22. Залежності часу, на який підвищується межа вогнестійкості дерев'яної балки висотою перерізу 200 мм (а), 300 мм (б) та 400 мм (в) від її товщини у разі застосування вогнезахисного просочення: 1 – I типу; 2 – II типу; 3 – III типу

Проведення з цими параметрами відповідних розрахунків і порівняння отриманих результатів з результатами, які отримані для початкових даних без «збурення», свідчать, що точність запропонованого методу є достатньою, оскільки відносне відхилення результатів складає 11.7%.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, наведені результати розв'язання актуальної науково-практичної задачі щодо підвищення точності розрахункового методу оцінки межі вогнестійкості дерев'яних балок із вогнегасним просоченням шляхом урахування закономірностей зміни геометричних параметрів їх зони обвуглювання залежно від часу вогневого впливу пожежі. При цьому одержані такі основні результати:

1. Проведено аналіз сучасного стану щодо нормування вогнестійкості дерев'яних балок та методів визначення класів їх вогнестійкості розрахунковим шляхом, у результаті чого виявлено, що існуючий метод розрахунку має суттєвий недолік, який полягає у неможливості повною мірою відтворити умови зміни геометричних параметрів зони обвуглювання, оскільки при цьому не враховується вплив вогнезахисного просочення на геометрію обвугленої зони.

2. На основі експериментальних досліджень поведінки дерев'яних балок із вогнезахисними просочуваннями в умовах вогневого впливу пожежі із стандартним температурним режимом визначені розподіли температури у перерізі фрагментів дерев'яних балок, їхнє значення для теоретичних розрахунків має максимальну температуру для 15 хв. – 500 °C, 30 хв. – 700 °C, 45 хв. – 800 °C та 60 хв. – 850 °C в порівнянні зі зразками без вогнезахисного просочення: 15 хв. – 600 °C, 30 хв. – 700 °C, 45 хв. – 800 °C та 60 хв. – 850 °C, що свідчить про достовірність отриманих розрахункових значень, а також основі температурних даних виявлено закономірності змінення геометричних характеристик зони обвуглювання дерев'яних балок із вогнезахисними просочуваннями залежно від часу експонування вогневого впливу пожежі із стандартним температурним режимом протягом 60 хв.

3. На основі виявлених закономірностей розроблено методику математичного

описання зони обвуглювання дерев'яних балок із висотою перерізів 100 мм, 200 мм, 400 мм та з шириною у діапазоні від 35 мм до 400 мм із вогнезахисними просоченнями під впливом пожежі із стандартним температурним режимом.

4. Розвинено математичний апарат інтерполяції температурних полів дерев'яних балок за вимірюваннями температури у контрольних точках, заснований на представленні інтерполяційної функції у вигляді параболічної залежності із ступенем, показник якого залежить від часу експонування балок під час вогневої дії в умовах випробувань на вогнестійкість за стандартним температурним режимом пожежі протягом 60 хв.

5. Отримано математичне описання зони обвуглювання, на основі чого було обґрунтовано розрахунковий метод оцінки вогнестійкості дерев'яних балок із вогнезахисними просоченнями. Це дало змогу підвищити точність оцінки вогнестійкості на 58%.

6. Обґрунтовано розрахунковий метод визначення межі вогнестійкості на основі розв'язку міцнісної задачі за температурними даними випробувань та зоною обвуглювання дерев'яних балок з вогнезахисними просочуваннями, який дає точніші результати, оскільки обчислені із застосуванням цього методу межі вогнестійкості мають похибку не більше 12,9%. При врахуванні вогнезахисного просочення для балки 70×200 точність збільшилася у середньому на 77,6%, а для балки 200×200 – на 17,6 % порівняно із існуючим методом, описаним в Eurocode 5.

7. Досліджено ефективність розробленого розрахункового методу оцінки вогнестійкості дерев'яних балок із вогнезахисними просоченнями і встановлено, що межі його застосування лежать в інтервалі до 200 мм товщини балки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Горбаченко Я.В. Вогнестійкість дерев'яних балок з вогнезахистом / Я.В. Горбаченко, С.В. Поздєєв, О.В. Некора, О.М. Тищенко, В.М. Гвоздь // Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2013 – № 15. – С. 63-68.

2. Горбаченко Я.В. Дослідження поведінки дерев'яних балок при впливі пожежі / Я.В. Горбаченко, О.М. Тищенко // Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2014 – № 17. – С. 4-11.

3. Горбаченко Я.В. Метод математичного моделювання геометрії обвугленої зони при пожежі дерев'яних балок з вогнезахисним просоченням / Я.В. Горбаченко // Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2014 – № 18. – С. 47-54.

4. Горбаченко Я.В. Геометрія зони обвуглювання у перерізах вогнезахищених дерев'яних балок в умовах пожежі / Я.В. Горбаченко, С.В. Поздєєв, О.В. Некора, І.В. Федченко // Проблеми пожежної безпеки. – Харків: НУЦЗ України, 2015. – Вип. 37. – С. 168-177.

5. Горбаченко Я.В. Исследования поведения деревянных балок с огнезащитой при пожаре / Я.В. Горбаченко, С.В. Поздеев, О.В. Некора, М.А. Кропива // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики

Беларусь. – Минск: КИИ, 2015. – №2 (22). – С. 12-19.

6. Горбаченко Я.В. Теоретическое исследования эффективности огнестойкости деревянных конструкций / Я.В. Горбаченко // Инновационные технологии защиты от чрезвычайных ситуаций: Междунар. науч.-практ. конф., 26-27 сентября 2013 г., Минск: тез. докл. – Минск: КИИ МЧС Республики Беларусь, 2013. – С. 223-224.

7. Горбаченко Я.В. Існуючі методи випробувань для дерев'яних будівельних конструкцій / Я.В. Горбаченко // Актуальні проблеми технічних та соціально-гуманітарних наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту: Міжнар. наук.-практ. конф., 4-5 квітня 2013 р., Черкаси: тези доп. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2013. – С. 109-112.

8. Горбаченко Я.В. Порівняння SIP-панелей з іншими будівельними матеріалами за теплотехнічною характеристикою / Я.В. Горбаченко // Проблеми цивільного захисту: управління, попередження, аварійно-рятувальні та спеціальні роботи: II Всеукр. наук.-практ. конф., 25 жовтня 2013 р., Харків: тези доп. – Харків: НУЦЗ України, 2013. – С. 153-154.

9. Горбаченко Я.В. Актуальные вопросы огнестойкости деревянных балок с огнезащитой // Я.В. Горбаченко, С.В. Поздеев // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: VIII Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, 3-4 апреля 2014 г., Минск: тез. докл. – Минск: КИИ МЧС Республики Беларусь, 2014. – С. 29.

10. Горбаченко Я.В. Дослідження обвуглювання вогнезахисних дерев'яних балок при вогневій дії під час пожежі/ Я.В. Горбаченко, С.В. Поздеев, О.В. Некора, М.О. Кропива // 16 Всеукр. наук.-практ. конф. рятувальників, 24-25 вересня 2014 р., Київ: тези доп. - Київ: ІДУЦЗ, 2014. – С. 232-233.

11. Горбаченко Я.В. Залежність швидкості обвуглювання від властивостей вогнезахисту дерев'яних балок / Я.В. Горбаченко, О.В. Некора, О.М. Тищенко // Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Всеукр. наук.-практ. конф., 9-10 жовтня 2015 р., Черкаси: тези доп. – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2015. – С. 97-100.

АНОТАЦІЯ

Змага Я. В. Розрахунковий метод підвищеної точності для оцінки межі вогнестійкості дерев'яних балок з вогнегасним просоченням – рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека. – Національний університет цивільного захисту України, Харків, 2016.

Розкрито питання щодо удосконалення розрахункового методу визначення межі вогнестійкості дерев'яних балок із вогнезахисним просоченням, що враховує закономірності зміни геометричних параметрів зони обвуглювання дерев'яних балок із вогнезахисним просоченням залежно від часу вогневого впливу пожежі із стандартним температурним режимом.

Здійснено вибір вогнезахисних просочень та експериментально підтверджено ефективність їх використання під час вогнезахисту дерев'яних балок, а також

отримано математичне описання зони обуглювання вогнезахисних дерев'яних балок під впливом пожежі.

Обґрунтовано межі застосування розробленого методу врахування конфігурації обугленої зони в дерев'яних балках з вогнезахисними просоченнями в процесі використання стандартних методик з огляду на розміри та конфігурацію перерізів цих балок.

Показано, що удосконалений розрахунковий метод дозволяє підвищити точність оцінки вогнестійкості на 58%.

Ключові слова: вогнестійкість, дерев'яна балка, вогневі випробування, несуча здатність, інтерполяція температур, міцнісні властивості дерев'яних балок.

АННОТАЦИЯ

Змага Я. В. Расчетный метод повышенной точности для оценки предела огнестойкости деревянных балок с огнетушащей пропиткой. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02 – пожарная безопасность. – Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, 2016.

Определение предела огнестойкости деревянных балок возможно как экспериментальными методами, так и расчетными, причем последние являются более дешевыми и производительными, но имеют существенную погрешность, обусловленную ограниченностью данных по теплофизическим и механическим свойствам древесины. Поведение деревянных балок с огнезащитной пропиткой в условиях пожара изучено недостаточно, что существенно сужает диапазон использования расчетных методов оценки огнестойкости для балок, поскольку отсутствуют математические модели, позволяющие прогнозировать границы зоны обугливания.

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить закономерности изменения температуры во внутренних слоях фрагментов деревянных балок в зависимости от времени их экспонирования при стандартном температурном режиме пожара. Определены закономерности изменения боковой и торцевой толщины обугленного слоя фрагментов деревянных балок. Разработан метод интерполяции температурных полей в сечении фрагментов балок, подверженных огневому испытанию.

С применением разработанного метода интерполяции определены распределения температуры в сечении фрагментов деревянных балок с учетом температурных измерений, выполненных во время проведения испытаний.

Учитывая полученные закономерности скорости обугливания древесины фрагментов с огнезащитой и без неё, были определены критические температуры обугливания для каждого момента времени огневого испытания. Уменьшение зоны обугливания при пропитке древесины приводит к повышению предела огнестойкости балок.

Обоснованы пределы применения разработанного метода при использовании стандартных методик, учитывающие размеры и конфигурацию сечений этих балок.

Показано, что усовершенствованный расчетный метод позволяет повысить точность оценки огнестойкости на 58%.

Ключевые слова: огнестойкость, деревянная балка, огневые испытания, несущая способность, интерполяция температур, прочностные свойства деревянных балок.

ANNOTATION

Zmaga Y.V. Computational method of improved precision for estimating the fire resistance limit of wooden beams with extinguishing impregnation – manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 21.06.02 – fire safety. – National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The problem of improving the computational method of estimating the fire resistance limit of wooden beams with extinguishing impregnation is considered. It takes into account changing the regularity of charring zone geometric parameters for wooden beams impregnated by extinguishing impregnation depending on the time of fire exposure and standard fire temperature regime.

It is selected the extinguishing impregnations and experimentally verified the efficiency of their using for wooden beams. It is obtained the mathematical description of charring zone in wooden beams with extinguishing impregnation in terms of fire impact.

It is grounded the limits of using the proposed method when standard technique are used and size and configuration of beam sections are taken into account.

It is shown that improved computational method allows raise precision for estimating the fire resistance limit by 58%.

Keywords: fire resistance limit, wood beams, fire tests, bearing capacity, temperature interpolation, strength properties of wooden beams.

Підписано до друку 06.04.2016 р. Формат 60x90/16.

Папір Технік соріг. Друк офсетний. Ум. др. арк. __

Тираж 100 прим. Замовлення № 28.

Друкарня Черкаського інституту пожежної безпеки
імені Героїв Чорнобиля Національного університету
цивільного захисту України ДСНС України.

18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8.