

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

ФЕЩУК ЮРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ



УДК 614.841.45

**ПРОГНОЗУВАННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОЛОН З
ВОГНЕЗАХИСНИМ ОБЛИЦЮВАННЯМ**

21.06.02 – пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту (УкрНДІЦЗ) ДСНС України (м. Київ).

Науковий керівник: кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Ніжник Вадим Васильович**, начальник науково-дослідного центру технічного регулювання УкрНДІЦЗ ДСНС України (м. Київ)

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор **Демчина Богдан Григорович**, професор кафедри «Будівельні конструкції і мости» Національного університету «Львівська політехніка»

кандидат технічних наук, доцент **Швиденко Андрій Валерійович**, начальник кафедри організації заходів цивільного захисту Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

Захист відбудеться 27 грудня 2018 р. об 11 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.874.01 у Львівському державному університеті безпеки життєдіяльності ДСНС України (79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (79007, м. Львів, вул. Клепарівська, 35).

Автореферат розіслано «27» листопада 2018 р.

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



В.М. Баланюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Аналіз статистичних даних про пожежі за останні 5 років в Україні свідчить, що за цей період відбулось 366911 пожеж, внаслідок яких загинуло 10478 осіб, у тому числі 335 дітей.

Кожна четверта пожежа від загальної їх кількості виникає в спорудах, зведених із застосуванням дерев'яних конструкцій. У 33,3 % випадках таких пожеж конструкції втрачали несучу здатність, що призводило до їх руйнування. Одним із шляхів забезпечення нормованих значень класів вогнестійкості дерев'яних колон є їх вогнезахисне облицювання, зокрема деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB за міжнародною класифікацією).

Аналіз наукових праць, присвячених питанням вогнестійкості дерев'яних конструкцій таких дослідників як: Беліков А.С., Демчина Б.Г., Змага Я.В., Круковський П.Г., Макішев Ж.К., Новак С.В., Пелех А.Б., Поздєєв С.В., Ройтман М.Я., Семерак М.М., Шналь Т.М., Barder D., Bartelemy V., Nordheim E., Janssens M.L., White R. та інших, свідчить, що інформація щодо вогнестійкості вогнезахисних облицюванням плитами OSB дерев'яних колон як будівельних конструкцій є обмеженою. Це стримує застосування зазначених будівельних конструкцій або призводить до помилкових рішень при проектуванні та будівництві споруд з їх використанням, що у свою чергу негативно впливає на пожежну статистику.

Розкриття закономірностей впливу конструктивних параметрів, а також навантаження дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням за умов впливу стандартного температурного режиму пожежі на їх вогнестійкість є актуальною науковою задачею, розв'язання якої є науковим підґрунтям створення методології її прогнозування, що створить передумови забезпечення нормованих значень класів вогнестійкості зазначених будівельних конструкцій та підвищення ефективності забезпечення пожежної безпеки споруд з їх застосуванням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційне дослідження проводилось на виконання «Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої» від 27.06.2014, розпорядження Кабінету Міністрів України від 19.08.2015 N 844-р "Про схвалення Стратегії розвитку системи технічного регулювання на період до 2020 року", під час виконання науково-дослідної роботи в УкрНДЦЗ: «Провести дослідження та встановити загальні положення системи управління пожежною безпекою об'єкта» (№ держреєстрації 0118U003463), в якій здобувач був виконавцем.

Ідея роботи полягає у створенні передумов забезпечення нормованої вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням шляхом застосування методології прогнозування меж їх вогнестійкості, яка враховує закономірності впливу конструктивних параметрів, а також навантаження таких колон за умов впливу стандартного температурного режиму пожежі.

Мета роботи – розкриття закономірностей впливу конструктивних параметрів, а також навантаження дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням за умов впливу стандартного температурного режиму пожежі на межі їх вогнестійкості як наукове підґрунтя методології прогнозування їх значень.

Для досягнення поставленої мети визначено до розв'язку наступні задачі досліджень:

- провести аналіз статистики пожеж, сучасного стану забезпечення вогнестійкості дерев'яних колон, методів їх оцінювання та виявити шляхи їх удосконалення;

- розробити методику та провести експериментальні дослідження з виявлення залежності швидкості обвуглювання дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB) та без нього від часу вогневого впливу стандартного температурного режиму пожежі;

- розробити методику інтерполяції розподілу температур в перерізі дерев'яних колон, визначити з її застосуванням відповідні температурні поля та перевірити адекватність результатів інтерполяції;

- розробити методику математичного описування зони обвуглювання дерев'яних колон з різними шарами вогнезахисного облицювання плитами типу OSB за впливу стандартного температурного режиму пожежі;

- розробити розрахункову методику та з її застосуванням виявити залежності межі вогнестійкості дерев'яної колони з вогнезахисним облицюванням плитами типу OSB від розмірів перерізу дерев'яної колони, товщини плит та прикладеного навантаження;

- розробити розрахунковий табличний метод для оцінювання вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB).

Об'єкт дослідження – вогнестійкість дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та процес її прогнозування.

Предмет дослідження – вплив конструктивних параметрів, а також навантаження за умов температурного впливу пожежі дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням на прогнозовані значення межі їх вогнестійкості.

Методи дослідження. При проведенні аналізу статистики пожеж та літературного огляду використано аналітичний метод. Для виявлення основних закономірностей температурних розподілів та параметрів глибини обвуглювання використано експериментальні теплофізичні дослідження, результати яких узагальнено математичним моделюванням. Під час розробки розрахункового табличного методу оцінки вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням застосовані стандартні методи розрахунку меж вогнестійкості. Для розробки довідникової таблиці визначення класу вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням проведено повний факторний експеримент. Вивчення достовірності та адекватності результатів експериментів і моделювання поведінки дерев'яних колон з вогнезахистом у вигляді плит OSB за впливу стандартного температурного режиму пожежі

використані методи математичного моделювання, а також методи математичної статистики.

Основні наукові положення та їхня новизна.

Наукова новизна роботи полягає у розкритті закономірностей впливу конструктивних параметрів, а також навантаження дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням за умов впливу стандартного температурного режиму пожежі на межі їх вогнестійкості як наукове підґрунтя методології прогнозування їх значень. При цьому *уперше*:

– встановлено, що залежність швидкості обвуглювання $v(t)$ дерев'яних колон від тривалості впливу стандартного температурного режиму пожежі t описується формулою, $v(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$ та визначені коефіцієнти даної регресії для таких колон з вогнезахисним облицюванням деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB) в один, два шари та без нього;

– встановлено, що залежність межі вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB) (y) від розмірів перерізу дерев'яної колони (x_1), товщини вогнезахисного шару (x_2) та прикладеного на дерев'яну колону навантаження (x_3) описується формулою $y = 55,625 + 40,625x_1 + 15,125x_2 - 5,625x_3 + 8,625x_1x_2 - 2,625x_1x_3 + 1,375x_2x_3 + 1,875x_1x_2x_3$;

– з урахуванням виявлених закономірностей впливу конструктивних параметрів, а також навантаження дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням за умов впливу стандартного температурного режиму пожежі на межі їх вогнестійкості, обґрунтовано та запропоновано табличний метод їх прогнозування шляхом створення довідникових таблиць з вимогами щодо необхідних геометричних параметрів, товщини облицювання, розмірів перерізу колони та механічного навантаження.

Набуло подальшого розвитку застосування розрахункових табличних методів прогнозування вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням для визначення відповідних вихідних даних для проектування споруд з їх застосуванням.

Удосконалено науково-методичну базу забезпечення нормованої вогнестійкості дерев'яних будівельних конструкцій з вогнезахисним облицюванням.

Практичне значення і реалізація отриманих результатів полягає у розробці табличного методу оцінювання вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB) в умовах пожежі за стандартним температурним режимом, що дозволяє встановити необхідну товщину вогнезахисту в залежності від розмірів перерізу колони та рівня навантаження з метою забезпечення необхідного класу вогнестійкості. Це дозволяє знизити трудомісткість робіт порівняно з іншими методами на стадії проектування. Розроблена таблиця розмірів дерев'яних колон квадратного перерізу із вогнезахисним облицюванням для забезпечення заданого класу вогнестійкості може доповнити нормативну базу з оцінки вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням у вигляді плит OSB.

Розроблений табличний метод впроваджено в технологічні процеси у Випробувальній лабораторії ТОВ «Пожтест» та в навчальний процес Черкаського

інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України під час викладання навчальних дисциплін «Будівлі і споруди та їх поведінка в умовах надзвичайних ситуацій» та «Стійкість будівель та споруд при пожежі».

Особистий внесок здобувача полягає в проведенні літературного огляду щодо стану питання вогнестійкості дерев'яних колон; розробці методики експериментальних досліджень та їх проведення; обробці отриманих даних, розробці способу інтерполяції температур у вузлових точках перерізу дерев'яних колон, здійсненні моделювання процесу обуглювання на основі визначених значень критичних температур в залежності від часу вогневого впливу; розробленні таблиці з розмірами дерев'яних колон квадратного перерізу із вогнезахисним облицюванням для забезпечення заданого класу вогнестійкості. Участь автора в роботах, наведено в списку опублікованих праць за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались та обговорювались на:

- 18 Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників «Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до європейського простору» (м. Київ, 2016 р.);
- 19 Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку» (м. Київ, 2017 р.);
- VII Всеукраїнській науково-практичній конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист» (м. Черкаси, 2017 р.);
- Всеукраїнській науково-практичній конференції «Пожежна безпека: проблеми та перспективи» (м. Харків, 2018 р.);
- XIII Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності» (м. Львів, 2018 р.);
- XII международной научно-практической конференции молодых ученых «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (г. Минск, 2018 г.);
- Міжнародній науково-технічній конференції «Технології та інфраструктура транспорту» (м. Харків, 2018 р.).

Публікації. Основний зміст роботи викладено в 5 наукових статтях, віднесених до переліку фахових, в тому числі в одній статті у виданні, що входить до наукометричних баз Index Copernicus, Google Scholar, Open Academic Journals Index та інших.

Результати досліджень також висвітлено у 7 доповідях на вітчизняних та іноземних наукових конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел з 114 найменувань, містить 162 сторінки друкованого тексту, 30 таблиць, 55 рисунків, 2 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, ідею дисертаційної роботи, задачі, об'єкт і предмет досліджень, відображено наукову

новизну отриманих результатів та практичне значення проведених досліджень, зазначені дані щодо апробації, а також публікації її результатів.

У першому розділі проведено аналіз даних про пожежі за останні 5 років, встановлено, що тенденція до зростання їх кількості зберігається. Відзначено, що в третині споруд зведених на основі дерев'яних конструкцій причиною руйнування є втрата несучої здатності колонами.

Проведено аналіз сучасного стану забезпечення і методів оцінювання вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та виявлено, що недостатньо приділено уваги поверхневому оброблянню, зокрема облицюванню деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB).

На основі аналітичних досліджень щодо методів з визначення межі вогнестійкості дерев'яних конструкцій виділено два основних: метод за Ройтманом М.Я. та метод визначений в Єврокодї 5. В першому – сутність розрахунку зводиться до визначення часу, після закінчення якого при даній швидкості обуглювання деревини площа перерізу елемента зменшиться до критичної позначки. Однак, даний метод не враховує можливий плитний вогнезахист. Другий метод – більш досконалий та враховує ряд коефіцієнтів. Метод з визначення межі вогнестійкості конструкцій представлений в Єврокодї 5 хоча й враховує плитний вогнезахист, однак містить не всі дані необхідні для розрахунку вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB). Недоліком даного методу є відсутність довідкових таблиць прогнозування межі вогнестійкості конкретних конструкцій в залежності від розмірів перерізу конструкцій, діючого навантаження та необхідної товщини вогнезахисту.

Проведені аналітичні дослідження створили передумови для удосконалення методів оцінювання вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням.

У другому розділі розроблено методику проведення експериментальних досліджень поведінки дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням в умовах пожежі за стандартним температурним режимом. В методиці визначено процедуру виготовлення досліджуваних зразків дерев'яних колон. В якості досліджуваних зразків обрано суцільні соснові бруси розмірами 200×200×300 мм (рис. 1 а). Брус захищався 2 типами захисту. Здійснено облицювання по периметру плитою OSB товщиною 10 мм в один (рис. 1 а), два шари (рис. 1 б).

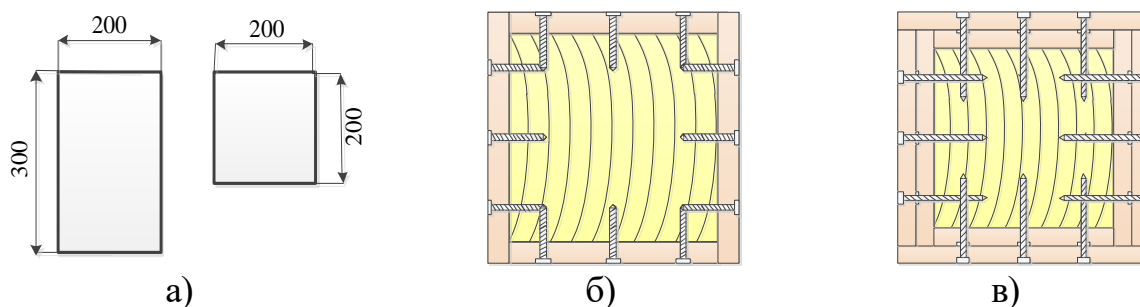


Рисунок 1 – Схеми: а) розміри досліджуваного зразка, б) захист зразка плитою OSB в один шар, в) захист зразка плитою OSB в два шари

Встановлено обладнання необхідне для проведення наукових досліджень, а також визначена схема встановлення зразків у спеціальній вогневій печі (рис. 2).

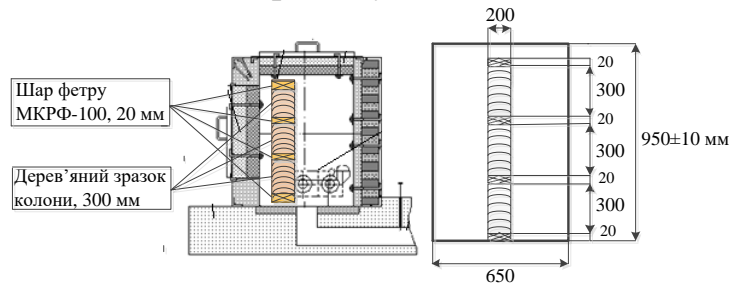


Рисунок 2 – Схема розташування зразків з ізоляцією торців в печі

Для отримання температурних показників використовуються термопари ТХА, що розташовуються в зразках таким чином, щоб забезпечити наближення ізотерм, які відтворюють температурне поле у перерізі зразка, з метою проведення відтворення температурного розподілення у перерізі під тепловим впливом пожежі за стандартним температурним режимом (рис. 3 а). Контроль температур здійснюється в такі періоди часу: 15, 30, 60, 90 хв.

Геометричні параметри зони обвуглювання отримуються шляхом вимірювання залишкового перерізу за допомогою лінійки та лупи згідно із схемою, що представлена на рис. 3 б після розпилювання досліджуваних зразків. Кожний досліджуваний зразок випробовувався три рази.

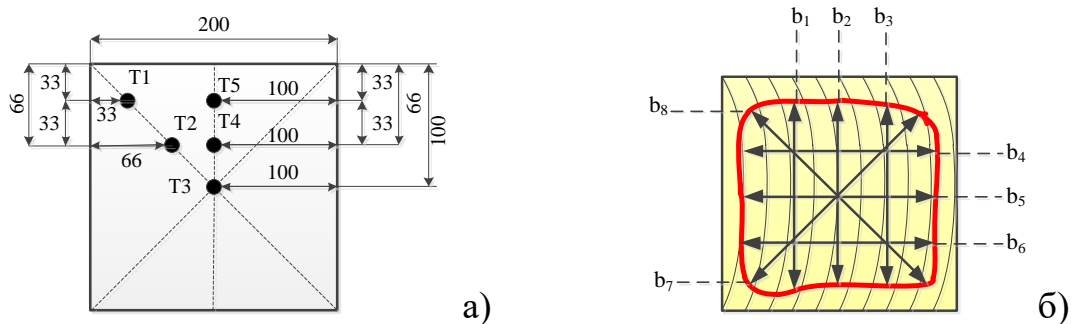


Рисунок 3 – Схеми: а) встановлення термопар у досліджуваному зразку, б) вимірювання геометричних параметрів зони обвуглювання

У **третьому розділі** представлені результати експериментальних досліджень поведінки досліджуваних зразків дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього (рис. 4) в умовах пожежі за стандартним температурним режимом для часових проміжків: 15, 30, 60, 90 хвилин у спеціальній вогневій печі.



Рисунок 4 – Зразки для проведення експерименту

На рис. 5 показано графіки залежності температури у спеціальній вогневій печі та досліджуваних зразках дерев'яних колон від часу вогневої дії за стандартним температурним режимом (для 90 хвилин). Отримані температурні показники використано для відтворення розподілення температурного поля в перерізі колон.

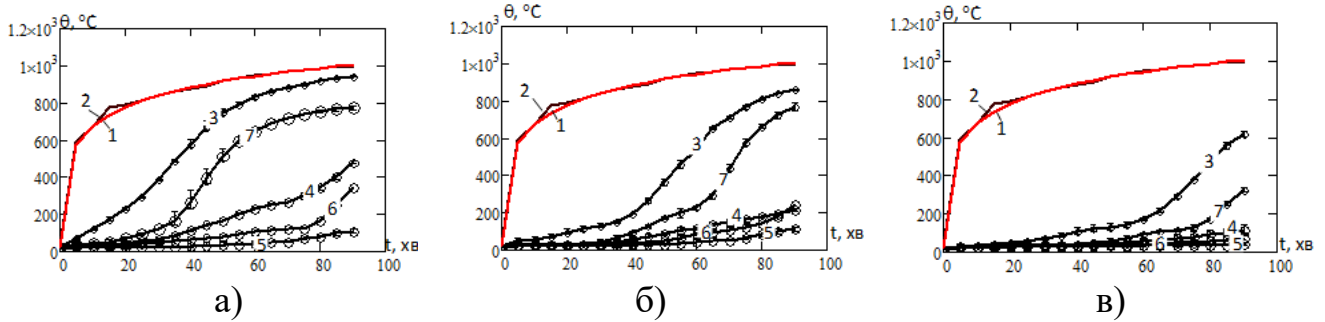


Рисунок 5 – Графіки 90-хвилинних випробувань: 1 – стандартна температурна крива; 2 – середня температура в печі; середні значення: 3 – 1-ї термопари, 4 – 2-ї термопари, 5 – 3-ї термопари, 6 – 4-ї термопари, 7 – 5-ї термопари; а) зразки без захисту, б) зразки з захистом плитою OSB в один шар, в) зразки з захистом плитою OSB в два шари

Достовірність даних отриманих температур перевірено шляхом математичного розрахунку із залученням спеціальних програмних комплексів. Зокрема проведені розрахунки режимів прогріву зразків із встановленими термопарами та у тих же контрольних точках зразків без термопар. Результати розрахунку даних температурних режимів наведені на рис. 6.

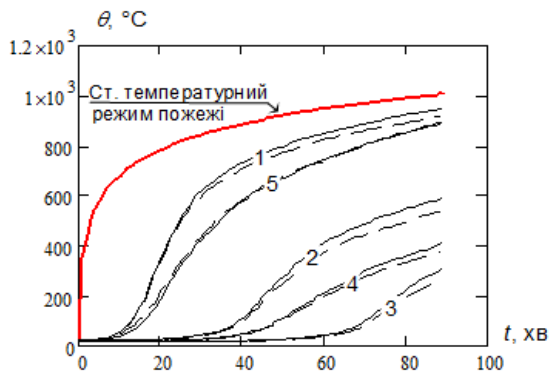


Рисунок 6 – Графік температурних режимів прогрівання зразку без вогнезахисту розрахованих для зразка з термопарами (суцільна лінія) та без них (пунктирна лінія): 1 – у контрольній точці 1 термопари; 2 – у контрольній точці 2 термопари; 3 – у контрольній точці 3 термопари; 4 – у контрольній точці 4 термопари; 5 – у контрольній точці 5 термопари

Результати перевірки показали, що отримані температурні показники є адекватними, оскільки відносна похибка складає всього 4,5 %, а критерій Фішера – 0,553, що не перевищує табличного значення.

Отримано показники заміру зони обвуглювання (рис. 7) згідно із схемою (рис. 3 б). та підтверджено гіпотезу, що товщина зони обвуглювання дерев'яних колон залежить від товщини вогнезахисту та часу вогневої дії.

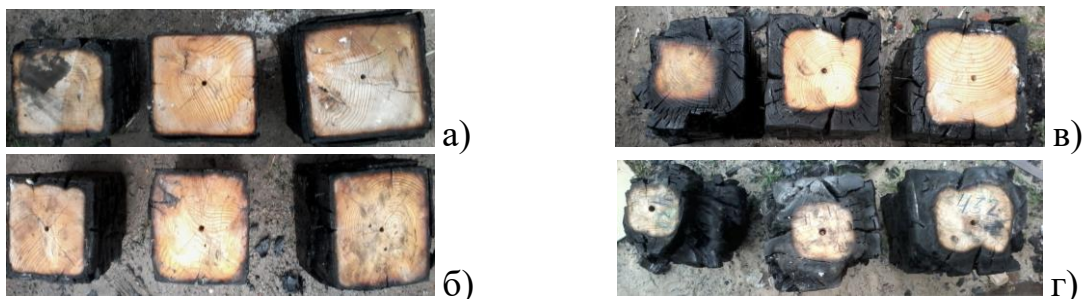


Рисунок 7 – Фото зразків після проведення випробувань (зразки зліва направо: без захисту, з захистом плитою OSB в один та два шари): а) обвуглювання зразків після 15 хв; б) 30 хв; в) 60 хв; г) 90 хв випробувань

За отриманими показниками заміру зони обуглювання побудовано графіки регресійних залежностей швидкостей обуглювання від часу вогневої дії (рис. 8).

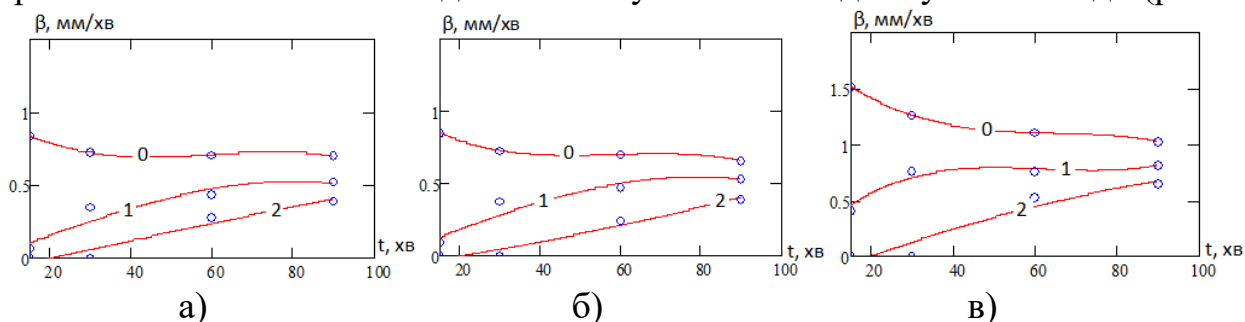


Рисунок 8 – Регресійні залежності бічних швидкостей обуглювання від часу вогневої дії (рис. 3 б): а) обуглювання сторони b_{1-3} зразка, б) обуглювання сторони b_{4-6} зразка, в) обуглювання по діагоналях перерізу b_{7-8} ; 0 – без захисту, 1 – з захистом плитою OSB в один шар, 2 – з захистом плитою OSB в два шари

Отримані регресійні залежності бічних швидкостей обуглювання від часу вогневої дії описуються залежностями типу $d(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$. Також в роботі виявлені коефіцієнти регресії для колон з вогнезахисним облицюванням у вигляді плит OSB в один, два шари та без нього.

В четвертому розділі розроблений метод інтерполяції в перерізі зразків дерев'яних колон за результатами вимірювання температури під час їх випробувань.

На основі отриманих температурних показників (рис. 5) здійснено апроксимацію температур в перерізах зразків колон по лініям розташування термопар (рис. 3 а). Взято припущення, що вигляд температурних розподілень по лініям розташування термопар відповідає параболічним залежностям, що можуть бути апроксимовані за виразом, що має такий загальний вигляд:

$$\theta(i) = \theta_0 + (\theta_{\max} - \theta_0) \left[\frac{i}{n} \right]^q \quad (1)$$

Варіювання показника ступеня параболі q апроксимуючого виразу типу (1) за умови мінімізації середньоквадратичної нев'язності дозволяє отримати його у вигляді, що найбільш точно відтворює результати вимірювань.

Для розв'язку даної задачі пропонується використовувати метод покрокового спуску (рис. 9). Після проведення розрахунків були знайдені означені залежності у вигляді виразу (1), за якими побудовані графіки температурних розподілень, подані на рис. 10. Можна побачити, що графіки на рис. 10 достатньо точно відтворюють показники температури, які були отримані у результаті експериментальних досліджень

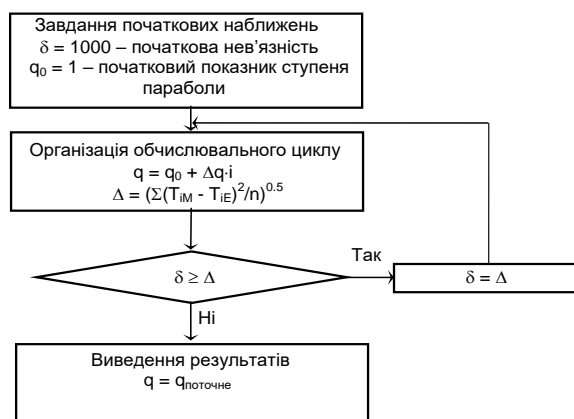


Рисунок 9 – Блок-схема алгоритму визначення апроксимуючого поліному

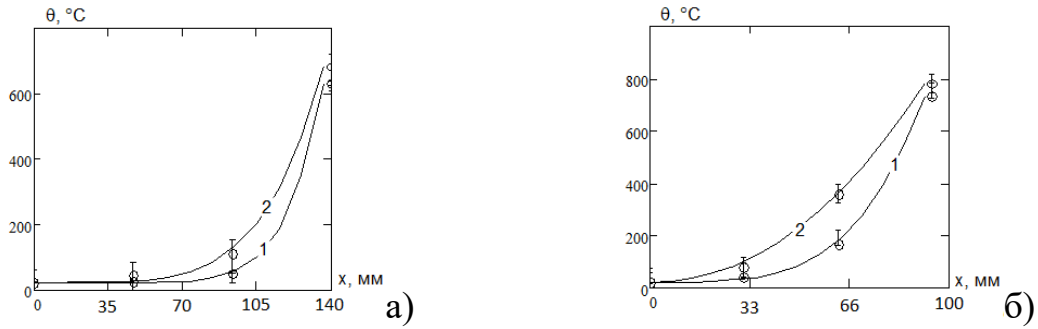


Рисунок 10 – Результати апроксимації температурного розподілення по діагональній лінії розташування термопар а) та по горизонтальній лінії розташування термопар б) у різні моменти часу пожежі: 1 – 15 хв; 2 – 30 хв

Температура на границі перерізу зразка дерев'яної колони була визначена з використанням формули для задання ГУ III роду (2). Дана формула записується при наближенні похідною за допомогою кінцевої різниці температур у вигляді:

$$\lambda \left(\frac{\theta_w + \theta_1}{2} \right) \frac{\theta_w - \theta_1}{\Delta x} - \alpha_k (\theta_p - \theta_w) - \varepsilon_c \sigma (\theta_p^4 - \theta_w^4) \quad (2)$$

Даний вираз розглядається як нелінійне рівняння по відношенню до величини θ_w температури поверхні зразка. Дане рівняння вирішується методом простих ітерацій.

Проведено адекватність результатів апроксимації та встановлено, що температурні розподіли у зразках по лініям розташування термопар є адекватними, оскільки середнє відносне відхилення складає 5,1 %, а критерій Фішера – 0,889, що не перевищує табличного значення.

При проведенні інтерполяції по фронтальним січним площинам поверхні, що утворена температурним полем припущено, що лінія перетину січної площини та поверхні поля є також параболою (рис. 11). Інтерполяція проводилася з використанням формул (3).

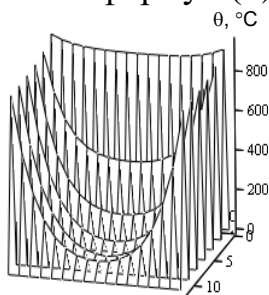


Рисунок 11 – Вигляд фронтальних січних площин температурних розподілів у перерізі колони 200×200 мм у різні моменти часу дії «стандартної» пожежі

де θ_g , θ_v , θ_d – температури головної діагоналі, перших стовбчика та рядка матриці температурного поля;

$$\begin{aligned} \theta_{g_{k,i,j}} &= \theta_{0_k} + (\theta_{g \max_k} - \theta_{0_k}) \left[\frac{j}{n} \right]^{Q_{gk}} \quad \text{при } i = 0, j \neq 0 \\ \theta_{g_{k,i,j}} &= \theta_{0_k} + (\theta_{g \max_k} - \theta_{0_k}) \left[\frac{j}{n} \right]^{Q_{gk}} \quad \text{при } i \neq 0, j = 0 \\ \theta_{d_{k,i,j}} &= \theta_{0_k} + (\theta_{d \max_k} - \theta_{0_k}) \left[\frac{i}{n} \right]^{Q_{dk}} \quad \text{при } k = j \neq 0 \\ \theta_{1_{k,i,j}} &= \theta_{g_{k,j}} + (\theta_{sv_{k,j}} - \theta_{g_{k,j}}) \left[\frac{i}{n} \right]^{Q_{1k,j}} \quad \text{при } i \neq 0, j \neq 0 \\ \theta_{2_{k,i,j}} &= \theta_{v_{k,i}} + (\theta_{sv_{k,i}} - \theta_{v_{k,i}}) \left[\frac{j}{n} \right]^{Q_{2k,i}} \quad \text{при } j \neq 0, i \neq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

θ – перша точка нульової строки та нульового стовбчика;

θ_1, θ_2 – температури, що визначаються окремо для стовбчиків і окремо для строк матриці температурного поля;

Qg, Qv, Qd – показники ступеня параболи, що визначаються за алгоритмом, поданим на рис. 9;

Qtg, Qtv – показники ступеня параболи, що відповідно апроксимує поверхню за стовбчиками та строками окремо, які визначаються для кожного стовбчика або строчки за алгоритмом, що поданий на рис. 9.

У результаті проведених розрахунків побудовані температурні розподіли для зразків з вогнезахисним облицюванням плитами типу OSB (рис. 12).

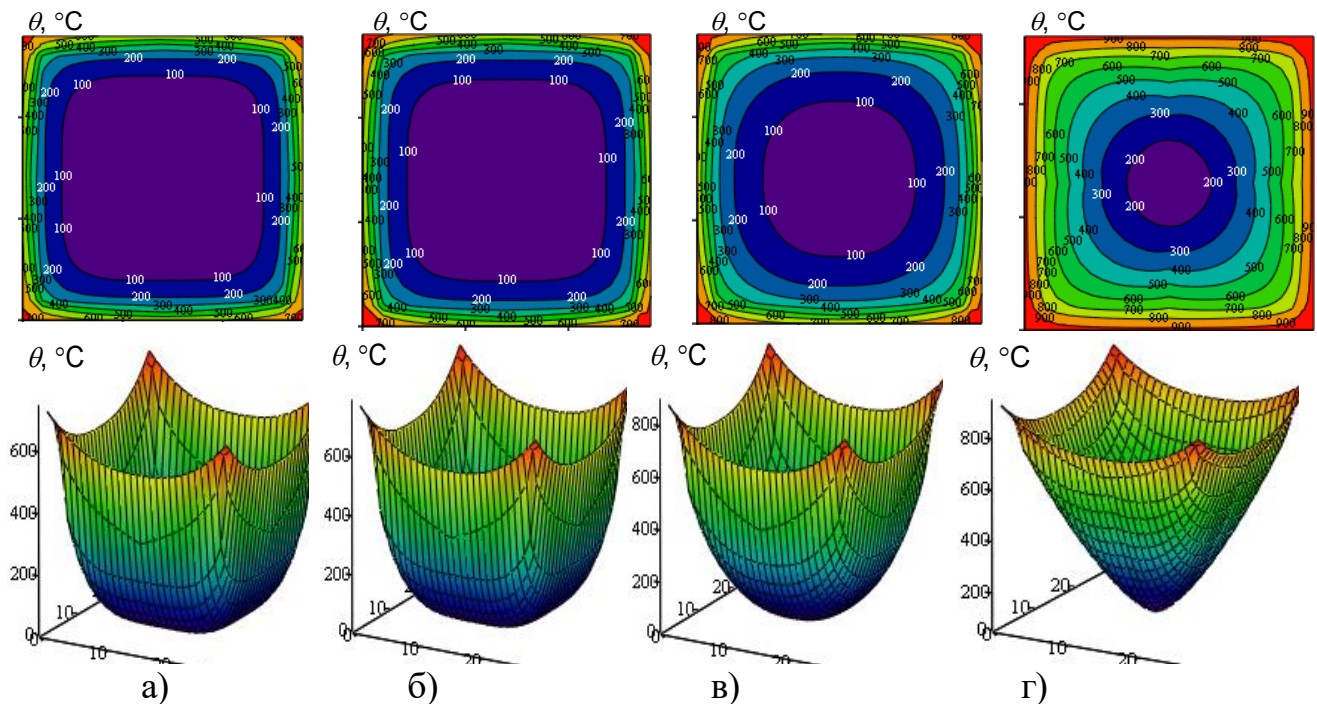


Рисунок 12 – Температурні розподіли у перерізі зразків із вогнезахисним облицюванням в два шари у різні моменти часу вогневої дії, визначені за запропонованим методом інтерполяції: а – 15 хв; б – 30 хв; в – 60 хв; г – 90 хв.

На основі проведеного порівняння температурних розподілів отриманих у результаті апроксимації температур за експериментальними даними та отриманих на основі вирішення теплотехнічної задачі, встановлено що вони є схожими, відносна похибка складає не більше 15 %, а критерій Фішера – 0,996, що не перевищує табличного значення. Це підтверджує адекватність досліджень.

Проведено моделювання обуглювання зразків дерев'яних колон. За основу взято гіпотезу про те, що обуглена частина перерізу повинна залежати від його прогрівання до критичної температури. З огляду на це, зона обуглювання має бути обмежена ізотермою, відповідною критичній температурі, при якій відбувається 80 % – 90 % перетворення деревини на вугілля.

Використовуючи дані регресійних залежностей (рис. 8) можна визначити середньоквадратичне відхилення розрахованих параметрів у зразках для

серединної горизонталі перерізу та його діагоналі, використовуючи метод покрокового спуску (рис. 9).

Критична температура обуглювання може бути визначена як середнє значення її величин, що отримуються за формулами:

$$\begin{aligned}\theta_{\text{гкр},i} &= \theta_{0i} + (\theta_{gi} - \theta_{0i}) \left[\frac{0,5a - \beta_g \cdot t}{a} \right]^{Q_{gi}} \\ \theta_{\text{дкр},i} &= \theta_{0i} + (\theta_{di} - \theta_{0i}) \left[\frac{0,5a - \beta_d \cdot t}{a} \right]^{Q_{di}} \\ \theta_{\text{кр},i} &= 0,5(\theta_{\text{дкр},i} + \theta_{\text{гкр},i})\end{aligned}\quad (4)$$

Використовуючи формули (4) визначена середня температура обуглювання для зразків, що піддані випробуванням.

На рис. 13 показані графіки залежності критичної температури від часу випробування з огляду на створені моделі швидкості обуглювання деревини зразків дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього.

Аналізуючи графіки, подані на рис. 13, можна побачити, що критична температура для зразків колон без вогнезахисного облицювання змінюється не так помітно, як вона змінюється для зразків дерев'яних колон із вогнезахисним облицюванням плитами типу OSB.

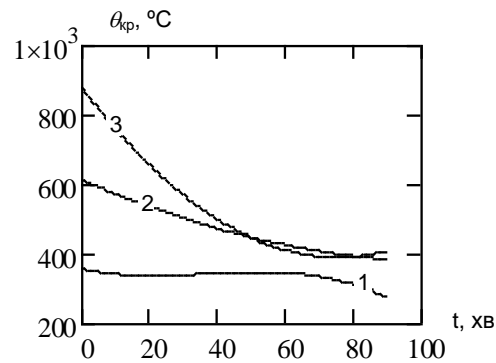


Рисунок 13 – Залежності критичної температури обуглювання у залежності від часу випробування: 1 – без вогнезахисту; 2 – вогнезахисне облицювання в один шар; 3 – вогнезахисне облицювання у два шари

Визначивши критичні температури обуглювання деревини змодельовані зони обуглювання для зразків колон з вогнезахисними облицюванням і без нього, підданих випробуванням (рис. 14).

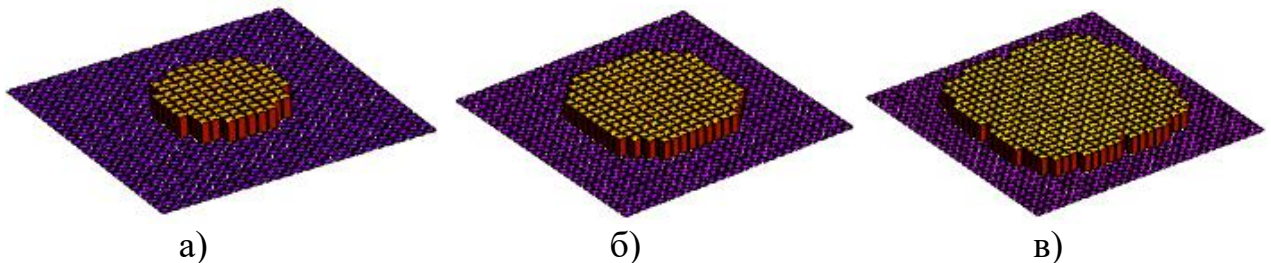


Рисунок 14 – Динаміка зміни зони обуглювання зразка дерев'яної колони при 90 хвилинній вогневій дії: а) без вогнезахисту; б) з захистом плитою OSB в один шар; в) з захистом плитою OSB в два шари

У п'ятому розділі для визначення геометричних параметрів приведеного перерізу дерев'яних колон з врахуванням обвугленої зони запропоновано метод з використанням величини «критичної температури обвуглювання».

Схема визначення ширини приведеного перерізу дерев'яної колони із квадратним перерізом із використанням величини «критичної температури обвуглювання» наведена на рис. 15.

Для проведення розрахунку достатньо розглянути лише 1/8 частину перерізу колони, оскільки умова симетрії її перерізу повністю відтворює отримані результати для інших його частин.

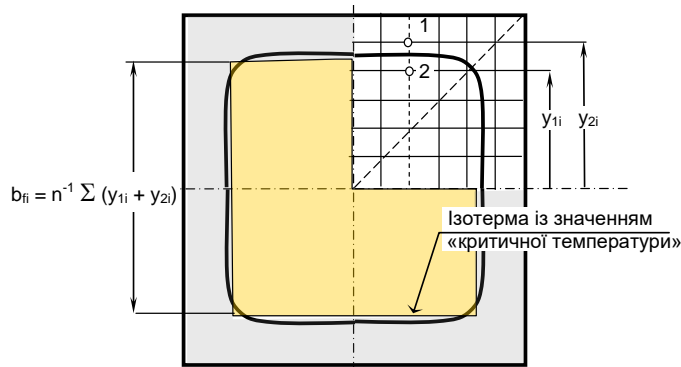


Рисунок 15 – Схема визначення ширини приведених перерізів дерев'яних колон із вогнезахисним облицюванням та без нього із використанням величини «критичної температури обвуглювання»

Критична ширина перерізу дозволяє визначити інші його геометричні параметри та використати їх для розрахунку несучої здатності дерев'яних колон із вогнезахисним облицюванням та без нього.

Для несучої здатності дерев'яних колон в умовах пожежі із стандартним температурним режимом з врахуванням обвугленої зони пропонується метод рекомендований ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010 та ДСТУ-Н Б EN 1995-1-2:2012.

Створення таблиць для запропонованого інженерного методу оцінки класів вогнестійкості дерев'яних колон квадратного перерізу із вогнезахисним облицюванням запропоновано здійснювати за методикою, що розуміє виконання таких процедур.

1. Вибираються найбільш значущі параметри дерев'яних колон квадратного перерізу із вогнезахисним облицюванням, що впливають на їх вогнестійкість.

2. Будуються універсальні апроксимаційні моделі з метою розв'язку теплотехнічної та міцнісної задач для дерев'яних колон квадратного перерізу з вогнезахисним облицюванням із змінними параметрами, які є значущими щодо впливу на клас вогнестійкості.

3. Створюється математична модель на основі прийнятої регресійної залежності.

4. Складається план повного факторного обчислювального експерименту.

5. Проводиться повний факторний обчислювальний експеримент з використанням створених плану експерименту та апроксимаційних моделей із змінними параметрами.

6. Визначаються коефіцієнти регресійної залежності та будується математична модель залежності межі вогнестійкості дерев'яних колон квадратного перерізу із вогнезахисним облицюванням від вибраних параметрів.

7. На основі побудованої математичної моделі складається відповідна таблиця типу стосовно мінімальних проектних параметрів дерев'яних колон квадратного

перерізу із вогнезахисним облицюванням для забезпечення потрібного класу вогнестійкості.

Найбільш значущими параметрами дерев'яних колон квадратного перерізу із вогнезахисним облицюванням, що впливають на їх вогнестійкість є залежність вогнестійкості: від ширини перерізу колони без вогнезахисту товщини шару вогнезахисного облицювання $w = d \cdot n$ (n – кількість шарів вогнезахисного облицювання, d – товщина одного шару), коефіцієнту діючого навантаження по відношенню до руйнуючого навантаження μ .

В якості критерію настання граничного стану розглядалися втрата несучої здатності. Аналіз графіків на рис. 8 показує, що межа вогнестійкості наростає за законом, що є близьким до лінійної залежності. Це дозволяє припустити, що регресійна залежність межі вогнестійкості за граничним станом втрати несучої здатності також буде лінійною.

Математична модель за зробленим нами припущенням відповідає лінійній залежності межі вогнестійкості за граничним станом втрати несучої здатності та факторами, яка має такий вигляд:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3, \quad (5)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$ – коефіцієнти регресії.

Для проведення повного факторного експерименту розроблені апроксимаційні моделі для вирішення теплової та міцнісної задач. Варіюючи параметри згідно прийнятою методикою і проводячи розрахунки згідно методу з використанням величини «критичної температури обуглювання» даної роботи та методу визначення несучої здатності дерев'яних колон за умов пожежі за стандартним температурним режимом з врахуванням обугленої зони ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010 та ДСТУ-Н Б EN 1995-1-2:2012 (за розробленими апроксимаційними моделями) отримані класи вогнестійкості досліджуваних дерев'яних колон квадратного перерізу із вогнезахисним облицюванням. Отримані дані наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Межі вогнестійкості дерев'яних колон квадратного перерізу із вогнезахисним облицюванням, отримані в умовах повного факторного експерименту згідно із прийнятою матрицею планування

Експериментальна ситуація	1	2	3	4	5	6	7	8
Межа вогнестійкості дерев'яних колон квадратного перерізу із вогнезахисним облицюванням, y_i , в	115	18	61	6	125	25	84	11

Використовуючи дані табл. 1 визначені коефіцієнти регресійної залежності (5) за формулами (6):

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i ; b_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 y_i ; b_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_2 y_i ; b_3 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_3 y_i ; \quad (6)$$

$$b_4 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 x_2 y_i ; b_5 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 x_3 y_i ; b_6 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_2 x_3 y_i ; b_7 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_1 x_2 x_3 y_i$$

Таким чином математична модель, яка описує залежність межі вогнестійкості дерев'яної колони з вогнезахисним облицюванням на основі плит OSB (y) від розмірів перерізу (x_1), товщини захисного шару (x_2) та прикладеного навантаження (x_3) має вигляд (7):

$$y = 55,625 + 40,625x_1 + 15,125x_2 - 5,625x_3 + 8,625x_1x_2 - 2,625x_1x_3 + 1,375x_2x_3 + 1,875x_1x_2x_3 \quad (7)$$

Використовуючи отриману регресійну залежність, побудовані відповідні поверхні залежності межі вогнестійкості від вибраних найбільш значущих параметрів дерев'яної колони при завданні різних значень діючого навантаження, які показані на рис. 16. На побудованих поверхнях показані рівні, що відповідають різним значенням межі вогнестійкості.

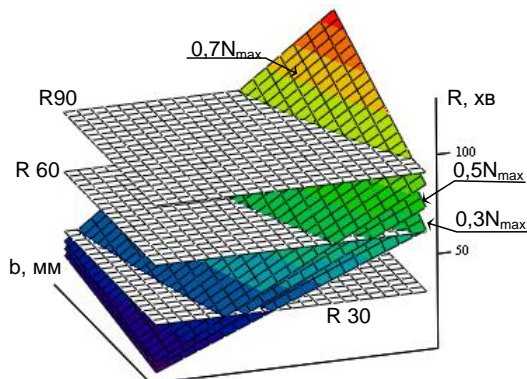


Рисунок 16 – Поверхні залежності межі вогнестійкості від найбільш значущих параметрів дерев'яної колони із вогнезахисним облицюванням для різних значень діючого навантаження

Для аналізу впливу найбільш значущих параметрів дерев'яної колони з вогнезахисним облицюванням на межу вогнестійкості побудовані взаємні залежності даних геометричних параметрів в умовах дії навантажень із різним рівнем. На рис. 17 наведені побудовані відповідні графіки.

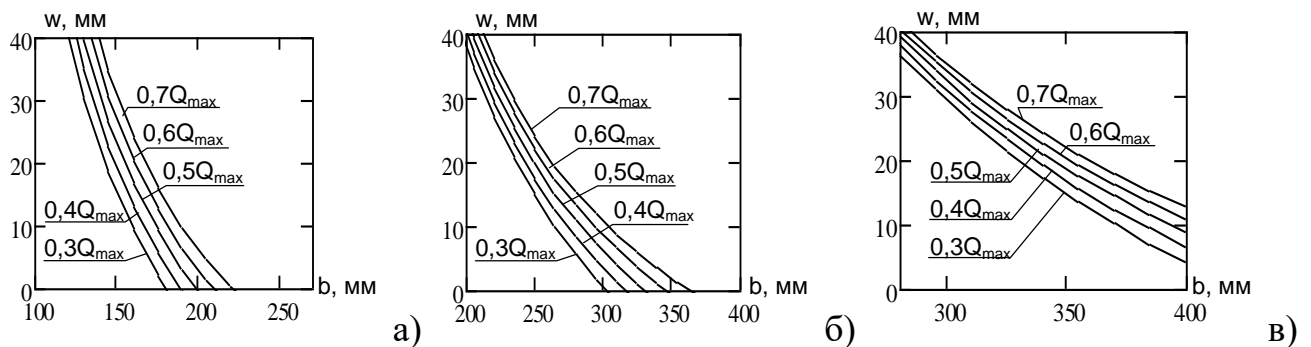


Рисунок 17 – Залежності захисного шару вогнезахисного облицювання від товщини вогнезахисту, ширини дерев'яної вогнезахищеної колони для забезпечення межі вогнестійкості: а) – R 30; б) – R 60; в) – R 90

Адекватність результатів, отриманих за регресійною залежністю перевірена за абсолютним та відносним відхиленням. Встановлено, що зазначені відхилення складають не більше 15%.

Використовуючи побудовані регресійні залежності створено таблицю мінімальних розмірів дерев'яних колон квадратного перерізу із вогнезахисним облицюванням для забезпечення необхідної вогнестійкості (табл. 2).

Таблиця 2

Розміри дерев'яних колон квадратного перерізу із вогнезахисним облицюванням для забезпечення заданого класу вогнестійкості

		Умови застосування Колона ширина $b \geq 100$ мм Вогнезахисне облицювання плита OSB товщина з.ш. $0 \leq w \leq 40$ мм	Класи вогнестійкості			
			R 30	R 60	R 90	R 120
1	Мінімальні розміри перерізу для рівня навантаження $\eta_{fi,t} \leq 0,3$ ширина/товщина захисного шару (мм)	100/40 200/0 300/0 400/0	200/20 300/0 400/0	300/30 400/4	300/40 400/25	
	Мінімальні розміри перерізу для рівня навантаження $\eta_{fi,t} \leq 0,5$ ширина/товщина захисного шару (мм)	200/0 300/0 400/0	200/35 300/8 400/0	300/34 400/9	400/28	
	Мінімальні розміри перерізу для рівня навантаження $\eta_{fi,t} \leq 0,7$ ширина/товщина захисного шару (мм) (мм)	200/4 300/0 400/0	200/40 300/12 400/0	300/38 400/13	400/30	

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, наведено розв'язання актуального наукового завдання розкриття закономірностей впливу конструктивних параметрів, а також навантаження дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням за умов впливу стандартного температурного режиму пожежі на межі їх вогнестійкості як наукове підґрунтя методології прогнозування їх значень. При цьому:

1. За результатами проведеного аналізу статистики пожеж і літературних джерел щодо сучасного стану забезпечення вогнестійкості дерев'яних колон та методів їх оцінювання встановлено, що у 33,3 % випадках пожеж дерев'яні колони будівельних споруд втрачали свою несучу здатність, що призводило до руйнування будівель з їх застосуванням. Використання вогнезахисного

облицювання дерев'яних колон деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB) є одним із шляхів забезпечення нормованих значень класів їх вогнестійкості, але поширення обсягів використання таких будівельних конструкцій стримується відсутністю методології та методики прогнозування їх вогнестійкості.

2. Розроблено методику і проведено експериментальні дослідження поведінки дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього в умовах впливу стандартного температурного режиму пожежі з метою отримання температурних показників та геометричних параметрів зони обвуглювання за різні проміжки часу. Виявлено залежності швидкості обвуглювання $v(t)$ дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB) в один і два шари та без нього від тривалості впливу стандартного температурного режиму пожежі t , що описуються формулою $v(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$ та визначені коефіцієнти даної регресії для таких колон.

3. Здійснено перевірку адекватності отриманих температурних розподілень в перерізі досліджуваних зразків підданих вогневій дії при проведенні експериментальних досліджень, шляхом математичного моделювання. Встановлено, що різниця між значеннями температур у зразку із реальними конструктивними особливостями та значеннями температур у зразках без таких особливостей відрізняються не більше за 30 °C за максимального відхилення. При цьому відносна похибка складає всього 4,5 %, а критерій Фішера не перевищує табличного значення.

4. Розроблено методику інтерполяції температурних розподілень в перерізі досліджуваних зразків дерев'яних колон та з її застосуванням визначено відповідні температурні поля. Здійснено порівняння отриманих температурних розподілів у результаті апроксимації температур за експериментальними даними та отриманих на основі вирішення теплотехнічної задачі, встановлено, що відносна похибка складає не більше 15 %. Це підтверджує адекватність досліджень.

5. Розроблено методику математичного описання зони обвуглювання, що дало можливість знайти величини критичної температури обвуглювання та приведенного поперечного перерізу дерев'яної колони, необхідного для проведення міцнісного розрахунку.

6. Розроблено розрахункову методику та з її застосуванням виявлено залежності межі вогнестійкості дерев'яної колони з вогнезахисним облицюванням деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB) (y) від розмірів перерізу (x_1), товщини захисного шару (x_2) та прикладеного навантаження (x_3), що виражається формулою $y = 55,625 + 40,625x_1 + 15,125x_2 - 5,625x_3 + 8,625x_1x_2 - 2,625x_1x_3 + 1,375x_2x_3 + 1,875x_1x_2x_3$;

7. Обґрунтовано та запропоновано розрахунковий табличний метод для оцінювання вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням деревинностружковими плитами з орієнтованою стружкою (OSB) шляхом створення довідникової таблиці з регламентованими вимогами щодо необхідних геометричних параметрів, товщини облицювання, розмірів перерізу колони та

механічного навантаження, що спрощує проведення розрахунків та удосконалює існуючу нормативну базу у цій сфері.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У наукових фахових виданнях:

1. Фещук Ю.Л. Вогнестійкість дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздєєв, В.В. Ніжник, О.П. Борис // Пожежна безпека: збірник наукових праць ЛДУБЖД. – Львів, 2017 – № 30. – С. 159 – 167.

2. Фещук Ю.Л. Методика експериментальних досліджень поведінки дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього в умовах пожежі / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздєєв, В.В. Ніжник, О.П. Борис, Ю.В. Долішній // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – Київ, 2017 – №1 (3). – С. 98 – 103.

3. Фещук Ю.Л. Експериментальні дослідження поведінки дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням в умовах пожежі / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздєєв, В.В. Ніжник // Проблемы пожарной безопасности: сборник научных трудов. – Харків, 2017 – Вип. 42. – С. 155 – 164.

4. Фещук Ю.Л. Геометрія зони обвуглення дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього в умовах пожежі // Ю.Л. Фещук // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – Київ, 2018 – №1 (5). – С. 4 – 12.

5. Фещук Ю.Л. Методология прогнозирования пределов огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздєєв, В.В. Ніжник // Международный научный журнал "Интернаука". – 2018. – № 14. – С. 74 – 81. DOI 10.25313/2520-2057-2018-14-4089.

Особистий внесок здобувача у роботах, які опубліковані у співавторстві:

[1] – здобувач провів літературний огляд щодо впливу вогнезахисного оброблення на геометричні параметри зони обвуглювання колон, а також здійснив аналіз існуючих методів визначення вогнестійкості дерев'яних колон та вияв недоліки.

[2] – здобувач розробив методику експериментальних досліджень поведінки дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням в умовах пожежі та науково обґрунтував її основні положення.

[3] – здобувач опрацював отримані дані в ході проведення експериментальних досліджень поведінки дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього в умовах пожежі та виявив основні закономірності температурного відклику у поперечному перерізі колон, а також встановив зв'язок між геометричною конфігурацією зони обвуглювання та температурними показниками.

[5] здобувач розробив методологію прогнозування вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням.

Опубліковано в інших виданнях:

1. Фещук Ю.Л. Актуальність використання розрахункових методів для оцінки вогнестійкості будівельних конструкцій / Ю.Л. Фещук // Матеріали 18 Всеукраїнської науково-практичної конференції рятувальників «Сучасний стан цивільного захисту України: перспективи та шляхи до європейського простору». – Київ. – 2016. – С. 305 – 306.

2. Фещук Ю.Л. Актуальність дослідження вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахистом / Ю.Л. Фещук // Матеріали 19 Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасний стан цивільного захисту України та перспективи розвитку». – Київ. – 2017. – С. 446 – 448.

3. Фещук Ю.Л. Експериментальні дослідження поведінки дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням в умовах пожежі / Ю.Л. Фещук // Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». – Черкаси. – 2017. – С. 51 – 54.

4. Фещук Ю.Л. Залежність глибини обвуглювання дерев'яних колон з вогнезахистом та без нього від часу вогневого впливу / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздєєв, В.В. Ніжник, О.П. Борис. // Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції «Пожежна безпека: проблеми та перспективи». – Харків. – 2018. – С. 75 – 77.

5. Фещук Ю.Л. Зміна температури в шарах дерев'яної колони з вогнезахисним облицюванням та без нього від часу вогневого впливу / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздєєв // Збірник наукових праць XIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів «Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності». – Львів. – 2018. – С. 75 – 77.

6. Фещук Ю.Л. Скорость обугливания деревянных колонн с огнезащитной облицовкой и без нее / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздеев // Сборник материалов XII международной научно-практической конференции молодых ученых «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы». – Минск. – 2018. – С. 91 – 92.

7. Фещук Ю.Л. Адекватність вимірювання у фрагментах дерев'яних колон під час вогневих випробувань / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздєєв, В.В. Ніжник // Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Технології та інфраструктура транспорту». – Харків. – 2018. – С. 311 – 313.

АНОТАЦІЯ

Фещук Ю.Л. Прогнозування вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека. Український науково-дослідний інститут цивільного захисту ДСНС України, Київ – 2018.

На основі проведеного аналізу будівельної документації встановлено, що в сучасних розрахункових методах з визначення межі вогнестійкості дерев'яних колон при розрахунках не враховуються всі можливі типи плитного вогнезахисту, зокрема OSB, його вплив на процеси обвуглювання. Це ускладнює роботи при проектуванні. За результатами аналізу висунуто ідею щодо розроблення табличного методу з визначення межі вогнестійкості для такого типу конструкцій.

Розроблено методика проведення експериментальних досліджень поведінки дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням, в якій обґрунтовано технічні вимоги до проведення комплексу випробувань. Проведено експериментальні дослідження та здійснено опрацювання отриманих даних у вигляді регресійних поліноміальних залежностей. Перевірено адекватність даних отриманих під час проведення експерименту.

Розроблений метод інтерполяції температурних розподілень в перерізі зразків дерев'яних колон за результатами вимірювання температури під час їх випробувань за різні проміжки часу та здійснено перевірку його адекватності.

На основі визначених критичних температур обуглювання деревини змодельовані зони обуглювання для зразків колон із вогнезахисними облицюванням і без нього, підданих випробуванням.

Побудована математична модель залежності межі вогнестійкості від геометричних параметрів, товщини вогнезахисту та рівня розрахункового навантаження колони. За отриманою моделлю створена довідникова таблиця для визначення класу вогнестійкості за параметрами досліджуваної дерев'яної колони.

Ключові слова: вогнестійкість, дерев'яна колона, облицювання, зона обуглювання, товщина вогнезахисту, критична температура, повний факторний експеримент.

АНОТАЦІЯ

Фещук Ю.Л. Прогнозирование огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02 – пожарная безопасность. Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты ГСЧС Украины, Киев – 2018.

На основе проведенного анализа строительной документации установлено, что в современных расчетных методах по определению предела огнестойкости деревянных колонн при расчетах не учитываются все возможные типы плитной огнезащиты, в частности OSB, ее влияние на процессы обугливание. Это затрудняет работы при проектировании. По результатам анализа выдвинута идея в необходимости разработки табличного метода по определению предела огнестойкости для такого типа конструкций.

Разработана методика проведения экспериментальных исследований поведения деревянных колонн с огнезащитной облицовкой, в которой обоснованно технические требования к проведению комплекса испытаний. Проведены экспериментальные исследования, осуществлена обработка полученных данных в виде регрессионных полиномиальных зависимостей.

Проверена адекватность измерения температур термометрами. Установлено, что разница между значениями температур в образце с реальными конструктивными особенностями и значениями температур в образцах без таких особенностей отличаются не более 30 °С при максимальном отклонении. При этом относительная погрешность составляет всего 4,5%, а критерий Фишера не превышает табличного значения.

Разработан метод интерполяции температурных распределений в сечении образцов деревянных колонн по результатам измерения температуры во время их испытаний за различные промежутки времени. Проведено сравнение полученных температурных распределений в результате аппроксимации температур по экспериментальным данным и полученных на основе решения теплотехнической задачи, установлено, что они являются похожими, а относительная погрешность составляет не более 15 %. Это подтверждает адекватность исследований.

На основе обработки полученных экспериментальных данных по измерению зоны обугливания за различные периоды времени установлены закономерности изменения слоя обугливание. Проведено моделирование процессов обугливания образцов деревянных колонн с огнезащитой и без нее за разные промежутки времени.

Для определения геометрических параметров приведенного сечения деревянных колонн с учетом обугленной зоны предложен метод с использованием величины «критической температуры обугливания».

Для создание таблиц предложенного инженерного метода оценки классов огнестойкости деревянных колонн квадратного сечения с огнезащитной облицовкой и без нее предложено выполнение комплекса процедур.

Обнаружены зависимости предела огнестойкости деревянных колонн с огнезащитной облицовкой плитами типа OSB от их геометрических параметров, толщины огнезащиты и расчетной нагрузки и построена математическая модель, проведен полный факторный эксперимент, создана справочная таблица для определения класса огнестойкости таких конструкций.

Показана адекватность результатов оценки огнестойкости деревянных колонн при применении такого табличного метода.

Ключевые слова: огнестойкость, деревянная колонна, облицовка, зона обугливания, толщина огнезащиты, критическая температура, полный факторный эксперимент.

ANNOTATION

Feshchuk Y.L. Prediction of fire resistance of wood columns covered with fire resistant coating. - Manuscript.

Dissertation for the competition of the scientific degree of Candidate of sciences by specialty of 21.06.02 – Fire safety. The Ukrainian Civil Protection Research Institute (UkrCPRI), Kyiv – 2018.

It was revealed based on analysis of the construction documentation that today's calculation methods used for the determination of fire resistance rating of wood columns do not provide taking into account all possible fire retardant treatment types using slabs, in particular, OSB, as well as its influence on charcoal formation processes. This makes more difficult appropriate works when performing designing. Based on the results of this analysis an idea was set forth for the development of a tabular method for the determination of fire resistance rating for this type of construction.

A method was developed for the performing of experimental researches of the behaviour of wood columns with fire retardant coating; the former substantiates technical requirements for the performing of a complex of proper tests. Experimental studies were conducted and processing of the data obtained was realized in the form of regression polynomial relationships. Adequacy of the data derived when conducting experiment was checked.

A method used for the interpolation of temperature distribution within the sections of the specimens of wood column samples was developed due to results of temperature measuring when performing their testing for various time intervals and check-up of its adequacy was done.

Based on critical charcoal formation temperatures of wood appropriate charcoal formation areas were simulated for samples of columns both with fire retardant coating applied and without the latter which had been subjected to tests.

A mathematical model was created to reflect dependency of fire resistance rating upon geometrical parameters, thickness of fire retardant coating and design column loading level. Using the model derived a reference table was developed for the determination of fire resistance class using parameters of the wood column under study.

Key words: Fire resistance, wood column, coating, charcoal formation area, thickness of fire retardant coating, critical temperature, complete factorial.