

УДК 614.841

ГЕОМЕТРИЯ ЗОНИ ОБВУГЛЕННЯ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОЛОН З ВОГНЕЗАХИСНИМ ОБЛИЦЮВАННЯМ ТА БЕЗ НЬОГО В УМОВАХ ПОЖЕЖИ

Ю.Л. Фещук*

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 28.04.2018

Пройшла рецензування: 16.06.2018

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогнестійкість, зона обвуглювання, регресія

АНОТАЦІЯ

Здійснено опрацювання експериментальних даних по вимірюванню зони обвуглювання дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням у вигляді плит OSB в один, два шари та без нього за різні періоди часу. Встановлено закономірності зміни шару обвуглювання у вигляді регресійних поліноміальних залежностей. Визначені критичні температури обвуглювання для кожного моменту часу вогневого випробування. Здійснено моделювання зони обвуглювання фрагментів колон із вогнезахисним облицюванням та без нього, підданих випробуванням.

Постановка проблеми. З розвитком сучасних технологій, що застосовуються для оброблення деревини, розповсюдження дерев'яних конструктивних елементів, зокрема несучих, набуло великих масштабів. Зважаючи на те, що деревина являється горючим матеріалом, виникає необхідність пошуку шляхів щодо підвищення її вогнестійких властивостей. Одним з варіантів для забезпечення класу вогнестійкості конструкцій, що вимагається державними будівельними нормами, можливе використання плитного захисту, зокрема OSB. Однак, на даний час в існуючій нормативній базі й досі відсутній повноцінний розрахунковий метод визначення межі вогнестійкості дерев'яних колон із запропонованим типом вогнезахисту, зокрема табличний. Розроблений такий метод міг би доповнити існуючу будівельну документацію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз наукових праць [1, 2] показав, що одними з основних конструктивних елементів каркасу будинків зведених на основі деревини є дерев'яні колони, оскільки при пожежі найбільш тяжкі наслідки настають при втраті несучої здатності. Державні будівельні норми не забороняють використання дерев'яних будівельних конструкцій, проте вимагають забезпечення необхідних мінімальних класів вогнестійкості будівельних конструкцій в залежності від ступеня вогнестійкості будинків. Для підвищення межі вогнестійкості деревини й доведення до нормованого класу застосовують різні способи вогнезахисту, серед яких – вогнезахисне облицювання. В роботі [4] хоча й розглядався вплив вогнезахисту на процеси обвуглювання дерев'яних несучих елементів, однак дослідження дерев'яних колон, використання вогнезахисного облицювання, зокрема OSB та

його вплив на процеси обвуглювання й досі залишилося не вивченим. При проектуванні споруд, виникає необхідність прогнозування зони обвуглювання дерев'яних колон з використанням вогнезахисного облицювання в залежності від його теплофізичних властивостей та товщини, для цього необхідні певні параметри, які мають враховуватися при розрахунках меж вогнестійкості дерев'яних колон згідно з [5].

Формулювання цілей досліджень. Метою даної статті є прогнозування процесу обвуглювання дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього в умовах пожежі за стандартним температурним режимом в різних часових проміжках. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– на основі вогневих випробувань фрагментів дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього здійснити опрацювання отриманих експериментальних даних по вимірюванню зони обвуглювання за різні періоди часу та виявити закономірності зростання товщини обвугленого шару;

– визначити критичні температури обвуглювання в залежності від часу випробування та змоделювати динаміку зміни обвугленої зони фрагментів дерев'яних колон з вогнезахистом у вигляді плит OSB в один та два шари (товщина шару 10 мм) та без нього.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтування отриманих наукових результатів. При проведенні вогневих випробувань використовувалися фрагменти дерев'яних колон розмірами 200×200×300 мм, захист здійснювався плитами OSB товщиною 10 мм в один та два шари (рис. 1), закріплених за допомогою саморізів.

*E-mail: feshchuk2810@ukr.net



Рисунок 1 – Фрагменти дерев'яних колон для проведення вогневих випробувань

Дослідження обугленого шару фрагментів дерев'яних колон відбувалося після проведення вогневих випробувань. Для цього згідно з

схемою рис. 2 проводились заміри не обугленого шару фрагменту перерізу.

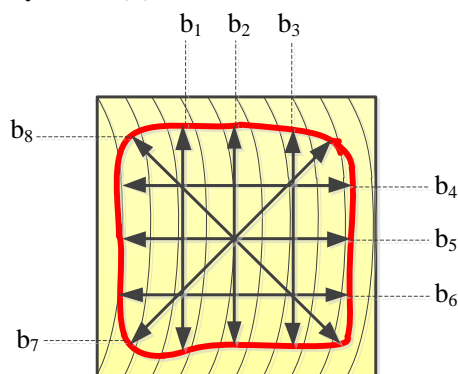


Рисунок 2 – Схема вимірювання обуглення перерізу фрагменту дерев'яної колони

Зовнішній вигляд фрагментів колон (рис. 3) навіть до проведення вимірювань підтвердив

гіпотезу, що глибина обуглення дерев'яних колон залежить від товщини вогнезахисту.

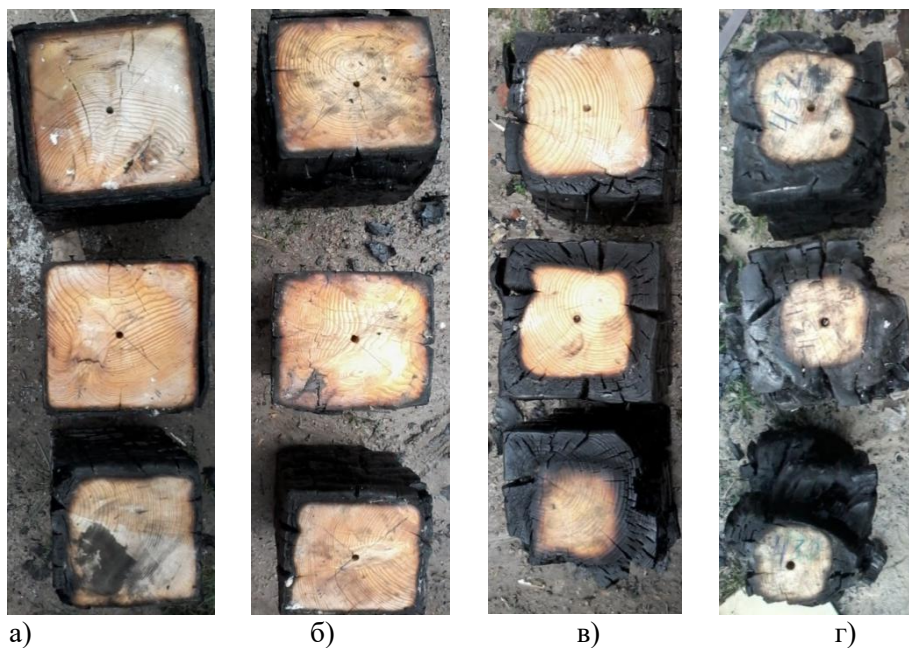


Рисунок 3 – Фото фрагментів колон після проведення вогневих випробувань (фрагменти знизу доверху: без захисту, з захистом плитою OSB в один та два шари): а) обуглення фрагментів після 15 хвилинного; б) 30 хвилинного; в) 60 хвилинного; г) 90 хвилинного випробувань.

Опрацювавши отримані результати під час проведення вогневих випробувань [6], обчислено середню товщину обвугленого шару квадратного перерізу фрагментів дерев'яних

колон з вогнезахистом та без нього (рис. 2). Залежність товщини обвуглення від часу вогневого випробування подано у вигляді графіків (рис. 4).

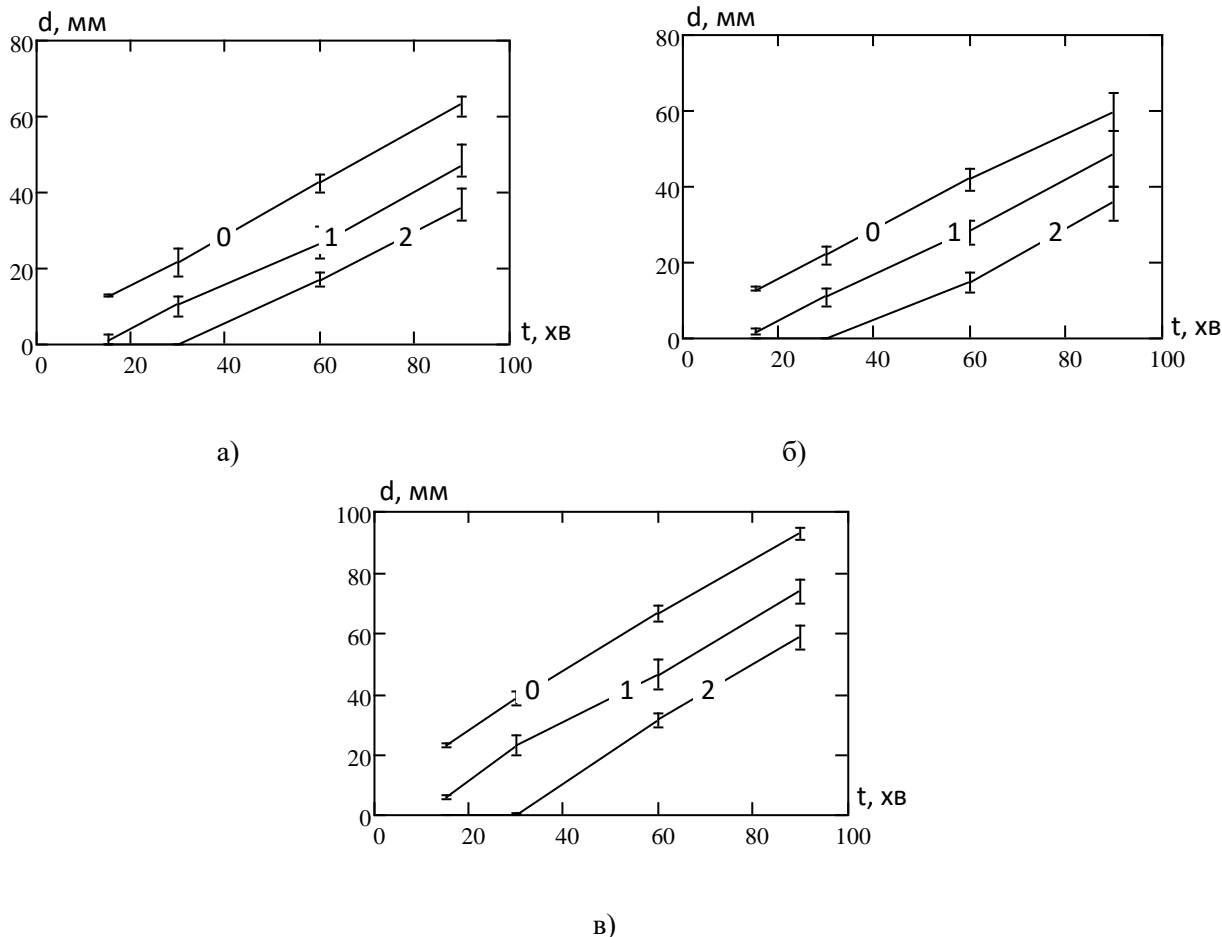


Рисунок 4 – Графіки залежностей бічних товщин обвугленого шару від часу вогневого випробування фрагментів колон (дивись рис. 2):

а) обвуглення сторони b_{1-3} , б) обвуглення сторони b_{4-6} , в) обвуглення 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

З графіків рис. 4 видно, що при вогневій дії на фрагменти дерев'яних колон, їх обвуглювання по периметру відбувалося не повністю рівномірно, чітко спостерігається різниця між захищеними та не захищеними від вогню зразками.

Обчислена товщина обвугленої зони була апроксимована у вигляді поліномів. Коефіцієнти регресії наведено в табл. 1 – 3.

Таблиця 1 – Параметри регресійних залежностей бокової товщини обвуглювання від часу випробування фрагментів дерев'яних колон сторони b_{1-3} фрагменту

Коефіцієнти регресії $d(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$	a_0 , мм	a_1 , мм/хв ¹	a_2 , мм/хв ²	a_3 , мм/хв ³
Без захисту	5.188	0.423	5.269×10^{-3}	-3.099×10^{-5}
ОСБ в 1 шар	-11.522	0.962	-9.468×10^{-3}	6.666×10^{-5}
ОСБ в 2 шари	-2.86	0.042	4.366×10^{-3}	–

Таблиця 2 – Параметри регресійних залежностей бокової товщини обвуглювання від часу випробування фрагментів дерев'яних колон сторони b_{4-6} фрагменту

Коефіцієнти регресії $d(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$	a_0 , мм	a_1 , мм/хв ⁻¹	a_2 , мм/хв ⁻²	a_3 , мм/хв ⁻³
Без захисту	5.369	0.417	5.782×10^{-3}	-4.173×10^{-5}
ОСБ в 1 шар	-10.699	0.904	-7.289×10^{-3}	5.061×10^{-5}
ОСБ в 2 шари	-0.525	-0.103	5.679×10^{-3}	–

Таблиця 3 – Параметри регресійних залежностей бокової товщини обвуглювання від часу випробування фрагментів дерев'яних колон по діагоналях перерізу b_{7-8} фрагменту

Коефіцієнти регресії $d(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$	a_0 , мм	a_1 , мм/хв ⁻¹	a_2 , мм/хв ⁻²	a_3 , мм/хв ⁻³
Без захисту	7.348	1.044	-7.266×10^{-4}	-3.677×10^{-6}
ОСБ в 1 шар	-17.934	1.906	-0.022	1.395×10^{-4}
ОСБ в 2 шари	-8.877	0.334	4.747×10^{-3}	–

На рис. 5 відображено графіки регресійних залежностей обвугленого шару по сторонам перерізу квадрата, а також його діагоналях для фрагментів дерев'яних колон без захисту, з захистом за допомогою плити ОСБ в один та два шари.

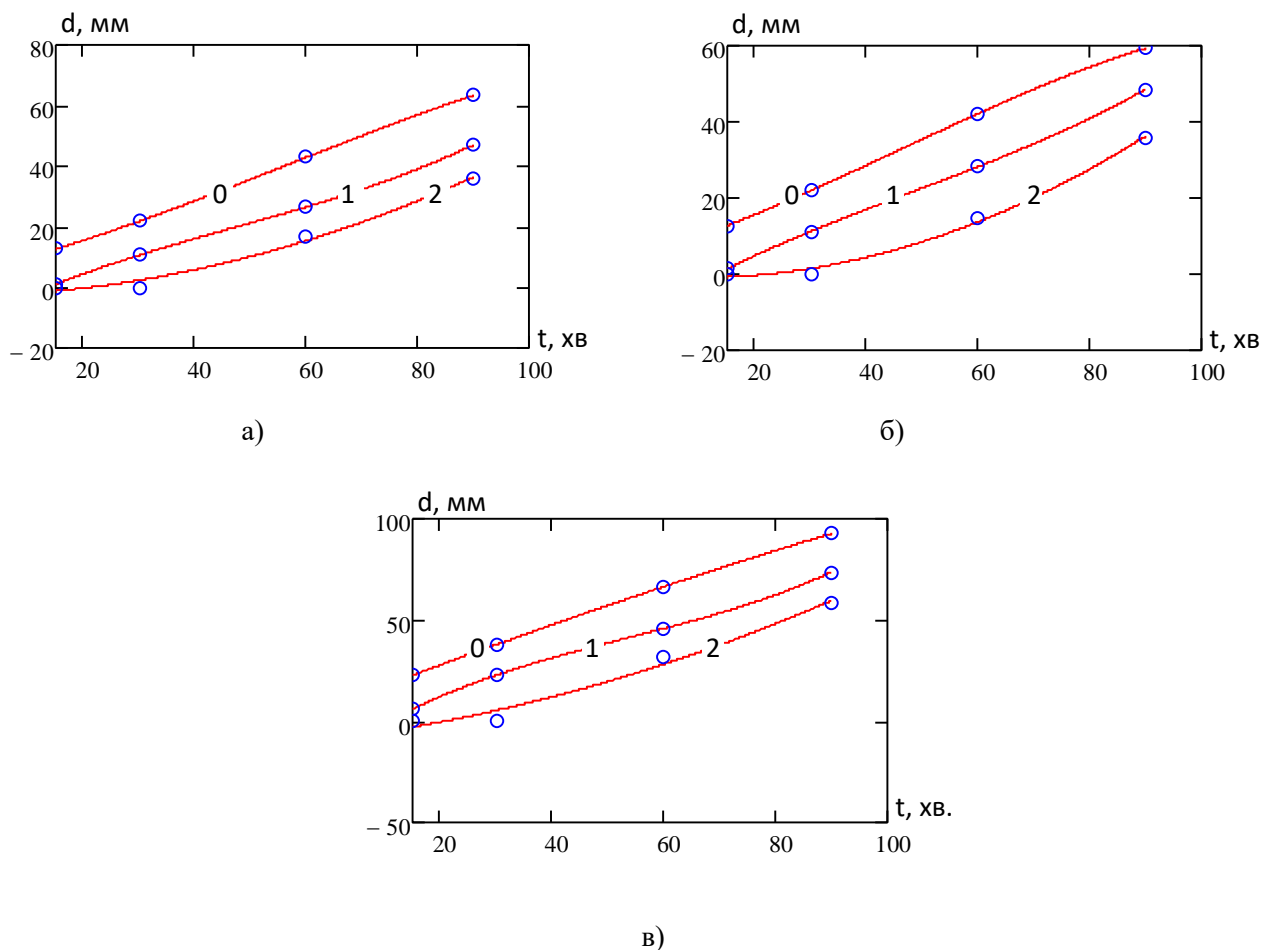
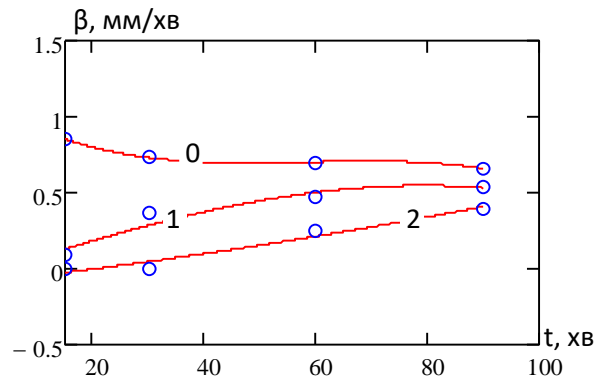
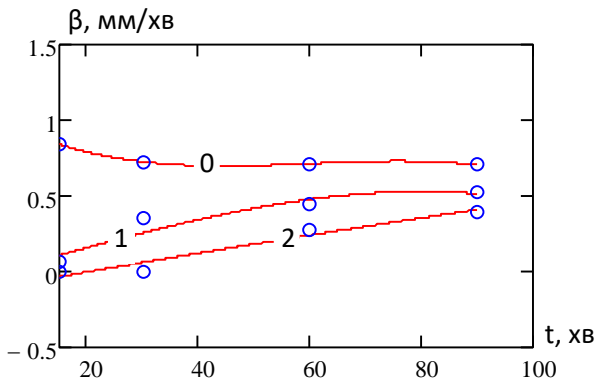


Рисунок 5 – Регресійні залежності обвугленого шару від часу вогневого випробування фрагментів колон (дивись рис. 2):
 а) обвуглення сторони b_{1-3} , б) обвуглення сторони b_{4-6} , в) обвуглення по діагоналях перерізу b_{7-8} ;
 0 – без захисту, 1 – з захистом плитою ОСБ в один шар, 2 – з захистом плитою ОСБ в два шари

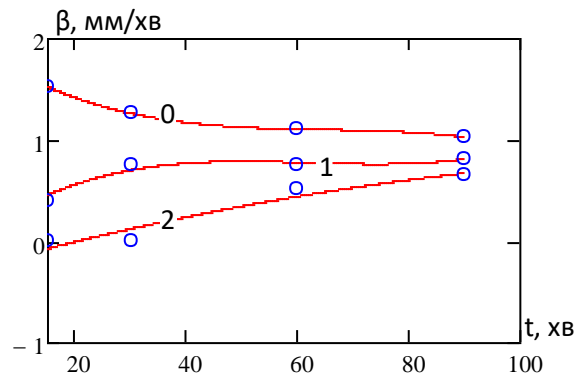
Диференціювавши регресійні залежності в табл. 1 – 3, отримано залежності швидкості

обуглювання по сторонам перерізу квадрата, результати подано у вигляді графіків (рис. 6).



а)

б)



в)

Рисунок 6 – Регресійні залежності бічних швидкостей обуглення від часу вогневого випробування фрагментів колон (дивись рис. 2):

а) швидкість обуглення сторони b_{1-3} , б) швидкість обуглення сторони b_{4-6} , в) швидкість обуглення 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

При моделюванні обуглювання фрагментів дерев'яних колон за основу була взята гіпотеза про те, що обуглена частина перерізу повинна залежати від його прогрівання до критичної температури. Тому зона обуглювання має бути обмежена ізотермою, відповідною критичній температурі, при якій відбувається 80% – 90% перетворення деревина на вугілля.

Використовуючи регресійні залежності, що визначені у табл. 1 – 3, можна визначити середньоквадратичне відхилення розрахованих параметрів у зразках для серединної горизонталі перерізу та його діагоналі, використовуючи метод покрокового спуску (рис. 7)

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

$$\theta_{g_{кр,i}} = \theta_{0i} + (\theta_{gi} - \theta_{0i}) \left[\frac{0,5a - \beta_g \cdot t}{a} \right]^{Q_{gi}}$$

$$\theta_{d_{кр,i}} = \theta_{0i} + (\theta_{di} - \theta_{0i}) \left[\frac{0,5a - \beta_d \cdot t}{a} \right]^{Q_{di}} \quad (1)$$

$$\theta_{кр,i} = 0,5(\theta_{d_{кр,i}} + \theta_{g_{кр,i}})$$

Використовуючи формули (1) була визначена середня температура обуглювання для зразків, що були піддані випробуванням. На рис. 8 показані графіки залежності критичної температури від часу випробування з огляду на створені моделі швидкості обуглювання деревини фрагментів дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього.

Аналізуючи графіки, подані на рис. 8, можна побачити, що критична температура для

фрагментів колон без вогнезахисту змінюється не так помітно, як вона змінюється для фрагментів дерев'яних колон із вогнезахисним облицюванням.

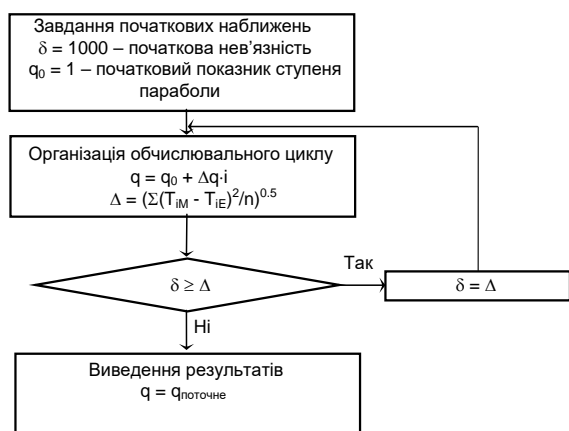


Рисунок 7 – Блок-схема алгоритму визначення апроксимуючого поліному

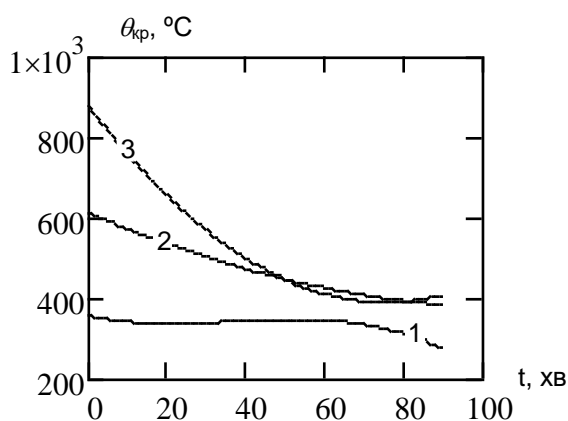


Рисунок 8 – Залежності критичної температури обуглювання у залежності від часу випробування: 1 – без вогнезахисту; 2 – вогнезахисне облицювання у один шар; 3 – вогнезахисне облицювання у два шари

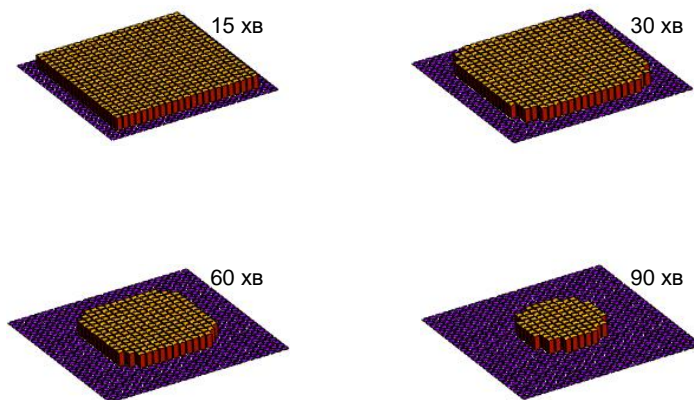


Рисунок 9 – Динаміка зміни обугленої зони фрагменту без вогнезахисного облицювання

Для визначення зони обуглювання використано значення критичної температури. Це значення має фізичний зміст тільки для фрагменту колони без вогнезахисного облицювання, оскільки поверхня даного фрагменту відразу відчуває тепловий вплив пожежі і починає відповідним чином обуглюватися. Ці значення відповідають численним експериментальним даним щодо обуглювання незахищеної деревини різних дослідників, наведеним у роботі [5]. Згідно із цим температура обуглювання складає 250 – 350 °С. Температура першої кривої на рис. 8 відповідає цьому інтервалу. Стосовно інших двох кривих великі значення температур обуглювання зумовлені наявністю вогнезахисного облицювання з іншими теплофізичними властивостями та властивостями щодо температури обуглювання. Тому дана температура носить умовний характер і використовується тільки для будування зон обуглювання саме для квадратних колон з подібним вогнезахисним облицюванням.

Визначивши критичні температури обуглювання деревини були змодельовані зони обуглювання для фрагментів колон із вогнезахисними облицюванням і без нього, підданих випробуванням. На рис. 9 – 11 показана динаміка зміни обугленої зони фрагментів дерев'яних колон, підданих випробуванням, що визначена за результатами моделювання.

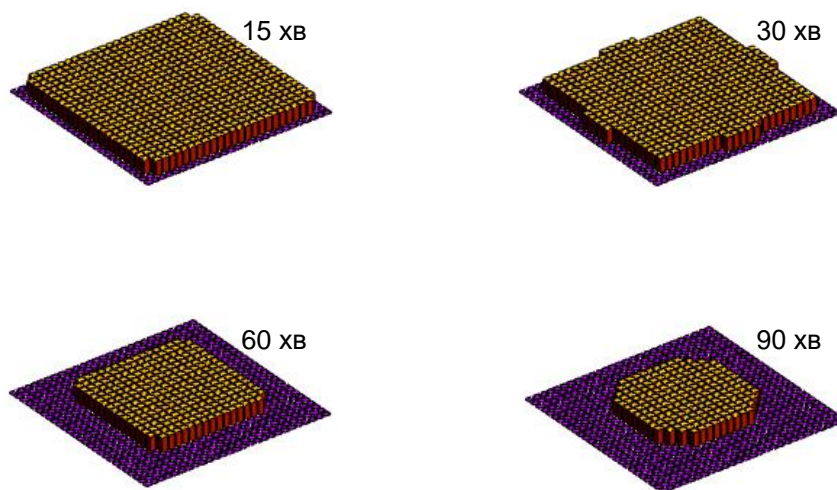


Рисунок 10 – Динаміка зміни обвугленої зони фрагменту із вогнезахисним облицюванням в один шар

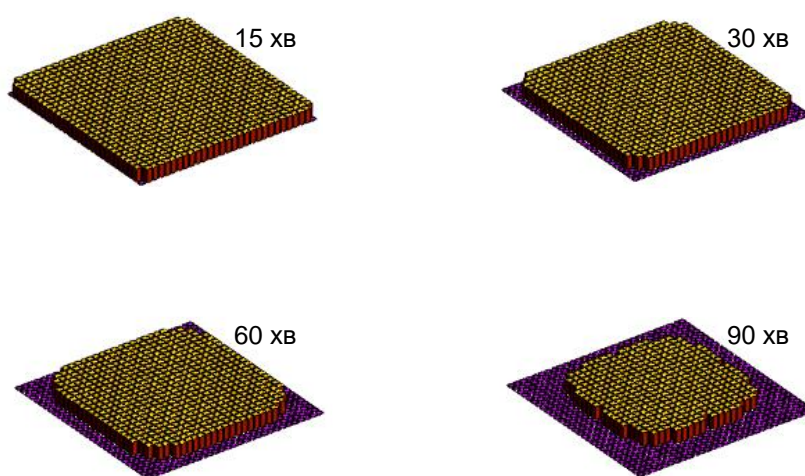


Рисунок 11 – Динаміка зміни обвугленої зони фрагменту із вогнезахисним облицюванням в два шари

Вивчення динаміки обвуглювання фрагментів дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього показує, що на початку вогневої дії пожежі найбільший опір обвуглюванню має фрагмент із двошаровим вогнезахисним облицюванням, дещо менший опір має фрагмент із одношаровим облицюванням, і цей опір помітно більший за опір фрагменту без вогнезахисного облицювання. Зважаючи на фізичні умови процесу обвуглювання це очікуваний результат. На певному етапі швидкість поширення обвугленої зони фрагменту без облицювання стає набагато більшою за фрагменти інших двох типів. Це може бути пояснено тим, що запропоноване вогнезахисне облицювання має істотну вогнезахисну ефективність у порівнянні з фрагментом без вогнезахисту. На це також вказують графіки критичної температури нагріву на рис. 8. Це свідчить про перспективність запропонованого технічного

рішення щодо вогнезахисного облицювання на основі плит OSB.

Аналіз рис. 9 – 11 показує, що найбільшою вогнезахисною здатністю має володіти вогнезахисне облицювання у два шари оскільки при їх застосуванні зона обвуглювання є істотно меншою за інші фрагменти, що також є очікуваним результатом. Відповідно менша зона обвуглювання розуміє більшу межу вогнестійкості для дерев'яних колон із запропонованим вогнезахисним облицюванням.

Висновки. 1. На основі опрацювання отриманих експериментальних даних по вимірюванню зони обвуглювання за різні періоди часу встановлені закономірності зміни шару обвуглювання у вигляді регресійних поліноміальних залежностей.

2. З огляду на отримані закономірності швидкості обвуглювання деревини фрагментів колон із вогнезахисним облицюванням та без нього були визначені критичні температури

обвуглювання для кожного моменту часу вогневого випробування.

3. На основі отриманих залежностей були визначені зони обвуглювання фрагментів колон із вогнезахисним облицюванням та без нього, підданих випробуванням.

4. Визначені критичні температури обвуглювання дають змогу знайти приведену

ширину поперечного перерізу дерев'яної колони з вогнезахисним облицюванням, що необхідна для розрахунку несучої здатності перерізу колони при розробленні табличного розрахункового методу оцінювання вогнестійкості дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням на основі плит OSB.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шналь Т.М. Вогнестійкість та вогнезахист дерев'яних конструкцій: Навчальний посібник /Т.М. Шналь.// – Львів. Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2006. – 220 с.
2. Lie T.T. A method of assessing the fire resistance of laminated timber beams and columns / Canadian J. of Civil Eng 4:161-169, 2008.
3. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. ДБН В.1.1-7:2016 [Чинний від 2017-06-01]. – К.: Видавництво «Укрархбудінформ», 2017. – 41 с. – (Національний стандарт України).
4. Змага Я.В. Розрахунковий метод підвищеної точності для оцінки межі вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисним просоченням: автореф. дис. на

здобуття наук. ступеня канд. тех. наук: спец. 21.06.02 «Пожежна безпека»/ Я.В. Змага. – Харків 2016.

5. Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1995-1-2:2004) ДСТУ-Н Б EN 1995-1-2:2012. [Чинний від 2013-07-01]. – Мінрегіон України, 2012. – 90 с. – (Національний стандарт України).

6. Фещук Ю.Л. Експериментальні дослідження поведінки дерев'яних колон з вогнезахисним облицюванням в умовах пожежі [Електронний ресурс] / Ю.Л. Фещук, С.В. Поздєєв, В.В. Ніжник // Проблемы пожарной безопасности. – Харків: НУЦЗУ, 2017. – Вип. 42. – С. 155-164. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol42/feshchuk.pdf>.

GEOMETRY OF THE CHARRING ZONE OF WOODEN COLUMNS WITH MEMBRANE FIREPROOFING AND WITHOUT IN FIRE CONDITIONS

Y. Feshchuk

The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

KEYWORDS

fire resistance, charring zone, regression

ANNOTATION

The processing of experimental data on the measurement of charring zone of wooden columns with membrane fireproofing in the form of OSB plates in one and two layers for different periods of time has been performed. The regularities of the charring layer change in the form of regression polynomial dependencies are established. Critical charring temperatures for each time point of fire test are determined. Modeling of the charring zone of fragments of columns with and without membrane fireproofing subjected to test was carried out.

ГЕОМЕТРИЯ ЗОНЫ ОБУГЛИВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОЛОНН С ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБЛИЦОВКОЙ И БЕЗ НЕЕ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

Ю.Л. Фещук

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

огнестойкость, зона обугливания, регрессия

АННОТАЦИЯ

Выполнена обработка экспериментальных данных по измерению зоны обугливания деревянных колонн с огнезащитной облицовкой в виде плит OSB в один и два слоя за различные периоды времени. Установлены закономерности изменения слоя обугливания в виде регрессионных полиномиальных зависимостей. Определены критические температуры обугливания для каждого момента времени огневого испытания. Осуществлено моделирование зоны обугливания фрагментов колонн с огнезащитной облицовкой и без него, подвергнутых испытаниям.