

ГЛИБИНА ОБВУГЛЕННЯ ВОГНЕЗАХИЩЕНИХ СТІЙОК ДЕРЕВ'ЯНИХ КАРКАСНИХ СТІН В УМОВАХ ПОЖЕЖІ

© Була С. С., Шналь Т. М., 2019

Сучасні нормативні документи не дають вказівок щодо розрахунку дерев'яних елементів, що захищені покриттям антипіреном та облицюванням шпунтованими дерев'яними панелями одночасно. Досліджено вплив такого комбінованого вогнезахисту на глибину обвуглення стійок дерев'яних каркасних стін в умовах пожежі. Для дослідних зразків використовували дерев'яну обшивку типу "вагонка" та вогнебіозахисні розчини, що промислово випускаються в Україні. Дослідження проводили на середньорозмірних моделях у лабораторних умовах за високотемпературного впливу у вогневій печі на вогнезахисних та незахищених зразках. Під час експерименту контролювали температурні показники у конструкції стіни та виміряли глибини обвуглення перерізів після проведення експерименту. В результаті досліджень було проаналізовано вплив досліджуваного вогнезахисного розчину на глибину обвуглення стійок в умовах параметричного вогневого навантаження. Було виконано числовий аналіз відповідно до національних та європейських норм та проведено порівняння із експериментальними результатами.

Ключові слова: глибина обвуглення, антипірени, стінові конструкції каркасних дерев'яних будинків, пожежа, шпунтовані дерев'яні панелі "вагонка", стійки.

S. S. Bula, T. M. Shnal

Lviv Polytechnic National University
Department of building constructions and bridges

CHARRING DEPTH OF FIRE PROTECTED STUDS IN TIMBER FRAME WALL ASSEMBLIES EXPOSED TO FIRE

© Bula S. S., Shnal T. M., 2019

The present standards do not consider cases for timber elements covered with fire-resistant penetrating coatings and jointed claddings simultaneously. This article is focused on the influence of such combined fire protection on charring depth of studs in timber frame wall assemblies exposed to fire. A key idea was to investigate rather common in local building types of wall assemblies. Wood panels with rabbet joints as cladding with commercially available fire-coating were used for the frame specimens with loose-fill mineral wool filling. The studs were protected also with timber laths which carried the panels forming an air gap between the cladding and insulation material. Two furnace model scale fire tests were performed in the fire test laboratory of LPNU. Temperature analysis was conducted at control points inside wall assemblies. The calculations according to EN 1995-1-2 are introduced to compare with experimental results. Studies show the impact of investigated coating on the charring rate for studs (150×50 mm), but not for 12 mm wood cladding. Also, using loose-fill mineral wool for insulating tends to char accelerating for the lateral side of studs. The experimental residual cross-section shape considers a faster recession of the wide side surface due to heat transfer through the insulation. Otherwise, timber laths reduce charring of bottom surface exposed to fire. Therefore, residual cross-section shape is different than the predictable

traditional form respectively EN. Despite that, this conservative design approach covered experimental data for residual cross-section of unprotected studs. For fire-coating protected studs, experimental results charring depth is smaller against traditional calculations. That reveals the necessity of further improving computational methods. Wood cladding with rabbet joints fell off almost at the same time (unprotected and protected as well). Possible reasons could be insufficient fire-resistant coatings penetrating in the joint area (covering was performed in-situ), air gaps between wood panels due to the geometry tolerance, air gap between the cladding and insulation material (increasing heat transfer after local fall-off), etc. These issues need to be investigated additionally.

Key words: charring depth, fire coating, timber frame wall assemblies, fire, wood panels with rabbet joints, timber studs.

Вступ. Зростає популярність будівництва легких каркасних дерев'яних будинків. Поряд із такими перевагами, як швидкість зведення та зменшення витрат на будівництво, стримульовальним фактором є вогнестійкість таких споруд. У зв'язку з цим постає питання використання ефективних антипіренів та їх правильне застосування для вогнезахисту таких конструкцій. У чинних вітчизняних та європейських нормах [1, 2] застосовують консервативні підходи, що не враховують вплив покриття елементів антипіренами. Це пояснюється питаннями надійності та особливостями просочування деревини розчинами, що не дає змоги враховувати ці чинники у нормативних документах. Проте накопичення саме експериментальних даних щодо впливу вогнезахисних покриттів на глибину обвуглення деревини необхідне для подальшого розвитку розрахункових підходів. Зважаючи на недостатню вивченість цього питання, у дослідженні змодельовано ситуацію вогневого впливу на стіновий елемент каркасного дерев'яного будинку, шпунтовану дерев'яну обшивку та стійки якого просочено антипіренами (методом нанесення на поверхню).

Огляд наукових джерел і публікацій. У доробку вітчизняних та закордонних науковців є велика кількість досліджень власне складів антипіренів (хімічний склад та пропорції для нових видів, пропозиції з удосконалення існуючих тощо). Проаналізуємо роботу антипіренів (що вже випускаються у промислових масштабах) на середньорозмірних моделях конструкцій. Дослідження комбінованого вогнезахисту дерев'яних конструкцій (плитними матеріалами та антипіренами поверхневого нанесення) показують, що швидкість обвуглення (отже, і глибина обвуглення) є параметром багатофакторним. Ще більше це проявляється при розрахунку на вогнестійкість багат шарових стін каркасного типу через значну кількість комбінацій типу обшивки, утеплювача, антипірену, способу обробки, наявності незаповнених порожнин тощо.

Нещодавні експериментальні дослідження Р. Kuklík, М. Charvátová [3], проведені на несучих стінах каркасного типу (із повним заповненням порожнин мінватою) розмірами 3х3 м, що були обшиті OSB плитами, покритими вогнезахисним покриттям, виявили достатньо суттєвий вплив покриття на швидкість обвуглення стійки та вогнестійкість всієї конструкції. Подібні випробування Р. Matečková, L. Lausová [4] виконали на елементах стін (реальний масштаб) з обшиванням гіпсокартонними листами (посиленими скловолокном) та внутрішнім повітряним прошарком, утвореним рейками кріплення облицювання. Автори зазначають складність розрахунку часу початку обвуглення стійки та руйнування вогнезахисної обшивки відповідно до стандарту [2]. У роботі М. Tiso A. Just [5] наведено результати ґрунтового дослідження впливу типу теплоізоляції (заповнювача порожнин) у каркасних стінах і запропоновано його класифікацію відповідно до впливу на глибину обвуглення стійок. Непристосованість розрахункового апарату норм спонукає до розвитку методів повномасштабних досліджень на реальних моделях стін та навіть будинків [6, 7]. Значну увагу приділяють питанням вогнезахисту (як плитного, так і покриття антипіренами) і вітчизняні науковці [8, 9, 10]. Зокрема, у роботі [11] проаналізовано вплив вітчизняних вогнезахисних просочувальних рідин на глибину зони обвуглення дерев'яних балок. Однак, досліджень, що стосувалися би комбінованого вогнезахисту стійок каркасу, що були оброблені вогнебіозахисним розчином та за допомогою вогнезахисної антипіренами шпунтованої дерев'яної

обшивки стін (типу “вагонка”), виявлено не було. Враховуючи це, метою стало дослідити це питання проведенням експерименту та подальшим аналізом його результатів.

Мета дослідження. Метою роботи є вивчення впливу комбінованого способу захисту (антипірен та облицювання) на глибину обуглення деревини стійки на моделі конструкції багат шарової стіни зі шпунтованим облицюванням дерев’яними панелями (надалі – “вагонка”).

Експериментальні дослідження. Програму експериментальних випробувань розроблено відповідно до поставленої мети дослідження (табл. 1).

Таблиця 1

Програма та обсяг вогневих випробувань

Вогневе випробування	Маркування зразка	Кількість	Вогнебіозахист стійки (БС-13)	Вогнебіозахист (БС-13) обшивки (типу “вагонка”)
Тест № 1	СТ-1/1	1	+	+
	СТ-2/1	1	-	-
Тест № 2	СТ-1/2	1	+	+
	СТ-2/2	1	-	-

Відповідно до програми виготовили два однакові експериментальні зразки (рис. 1). Зразок являв собою L-подібну конструкцію, що моделювала конструкцію багат шарової стіни каркасного дерев’яного будинку. Слід зазначити, що облицювання “вагонкою” є також поширеним у конструкціях несучих дерев’яних перегородок каркасного типу в мансардних поверхах цегляних будівель.

Одна секція зразка-стіни складалася із стійки (150x50 мм) та облицювання (“вагонка” 12 мм), що були оброблені антипіренами з усіх боків. Інша секція – такої самої конструкції, проте без вогнезахисту антипіренами. Порожнини між стійками заповнили м’якою мінеральною ватою товщиною 150 мм та густиною 60 кг/м³. Матеріал стійок та обшивки з експонованої сторони – сосна вологістю (20–25)%. Середнє значення густини деревини для “вагонки” 597 кг/м³, для стійок 565 кг/м³. З неекспонованого боку зразки облицювали OSB плитою 9 мм.



Рис. 1. Загальний вигляд досліджуваних зразків

Як антипірен використовували просочувальну вогнебіозахисну речовину БС-13 для дерев’яних елементів ТМ “Компрозіт”. Відповідно до технічної специфікації виробника [12], обробка цим антипіреном може забезпечити I групу (деревина належить до важкогорючих матеріалів) або II групу (деревина належить до важкоспалахувальних матеріалів) вогнезахисної ефективності. Першої група вогнезахисту досягають за об’ємного просочення (з поглинанням засобу 67.1 кг/м³), а другої групи – при нанесенні засобу на поверхню декілька разів (із загальною витратою розчину 835 г/м²) [12]. У побутових умовах більшість забудовників виконують вогнезахист нанесенням розчину на поверхню, уникаючи затратних, проте ефективніших, методів (наприклад, методом “прогрів–холодна ванна” або методом просочення в автоклавах). Зважаючи на

це, відповідні частини дослідних зразків оброблено чотирикратним нанесенням антипірену (за допомогою пензлика) по поверхні із почерговим висиханням шарів.

Випробували зразки на вогневий вплив у лабораторії пожежної безпеки кафедри будівельних конструкцій та мостів. Для випробування зразків на вогневий вплив використовували піч для вогневих випробувань будівельних конструкцій [13]. Піч для випробувань складається із стін та накриття печі, термодар, установок для вентиляції та рідкопаливного пальника (рис. 2). Температуру в печі та в перерізах зразків реєстрували за допомогою хромель-алюмелевих термодар, що приєднували до термодармачів типу РТ-0102, які через відповідне програмне забезпечення передавали дані на ПК. Конструкція зразка забезпечувала однаковий температурний режим для обох секцій водночас.



Рис. 2. Загальний вигляд печі (до та після монтажу зразків)

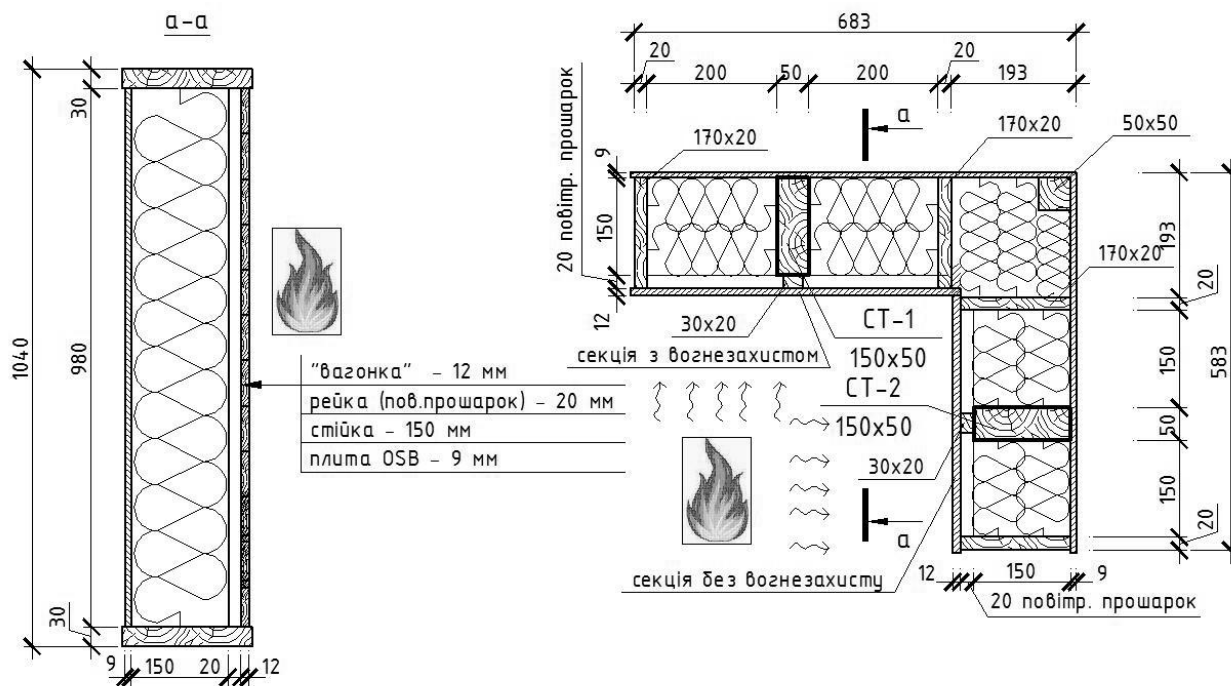


Рис. 3. Конструкція досліджуваного зразка

Після монтування зразків у вогневу піч та підключення приладів проводили високотемпературне нагрівання. Зразки піддавали вогневому впливу тривалістю 24 хв за максимальної температури середовища до 900 °С. Під час нагрівання вели спостереження за зразком (через оглядові вікна) та реєстрацію температури у контрольних точках (рис. 4). Після закінчення нагрівання зразки охолоджували та вимірювали геометричні розміри залишкового перерізу.

Оскільки предметом дослідження була глибина обвуглення стійок конструкції стіни, механічне навантаження до зразків не прикладали.

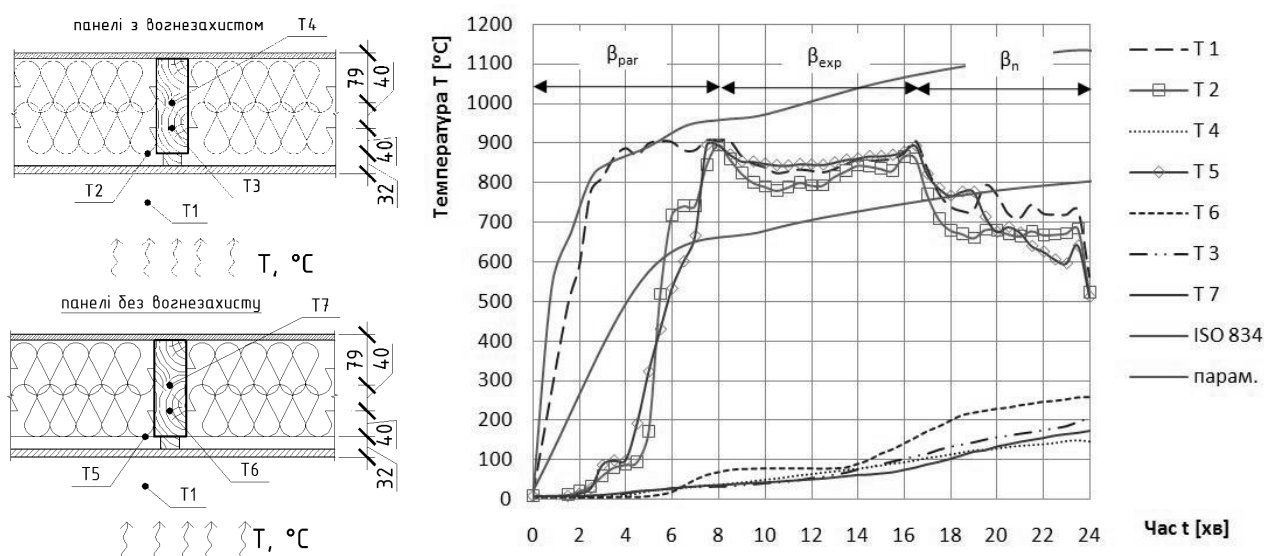


Рис. 4. Розподіл температур у товщі зразків

Аналіз результатів досліджень. У результаті проведених досліджень отримано експериментальним шляхом глибини обвуглення стійок дослідних зразків (табл. 2).

Таблиця 2

Експериментальні результати досліджень

СТ-1 (із вогнезахистом)		СТ-2 (без вогнезахисту)	
початковий переріз – 75 см ²		початковий переріз – 75 см ²	
Тест №1 (СТ-1/1)	Тест №2 (СТ-1/2)	Тест №1 (СТ-2/1)	Тест №2 (СТ-2/2)
залишковий переріз 44,08 см ²	залишковий переріз 53,28 см ²	залишковий переріз 35,6 см ²	залишковий переріз 37,9 см ²

Як видно з табл. 2, обробка антипіреном способом нанесення на поверхню дає певний ефект у вигляді меншої глибини обвуглення у стійок, що були оброблені досліджуваним розчином БС-13. Для порівняння із експериментальними даними розраховували глибину обвуглення стійки відповідно до [1]: основні етапи наведено у табл. 3. Не вдаючись надмірно у пояснення стандартних алгоритмів розрахунку, зупинимось лише на важливих аспектах щодо розрахунку у конкретній досліджуваній ситуації.

Для зіставлення експериментальних та розрахункових значень глибини обвуглення був виконаний розрахунок умовної глибини обвуглення відповідно до ДСТУ-Н-П Б В.2.6-157:2010 (EN 1995-1-2:2004, MOD) [1]. Основні етапи розрахунку наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Основні етапи розрахунку

№ з/п	Параметр	Формула за ДСТУ-Н-П Б В.2.6-157:2010		Примітки
1	2	3	4	5
1	Визначення швидкості обвуглювання за <i>стандартною</i> температурною кривою (незахищені елементи обшивки): а) <i>дерев'яні панелі</i> («вагонка»): $h_p = 9$ мм $\rho = 597$ кг/м ³ $\beta_0 = 0,9$ б) <i>дерев'яна рейка кріплення</i> $h = 20$ мм $\rho = 565$ кг/м ³	а) <i>дерев'яні панелі</i> («вагонка») $k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}} = \sqrt{\frac{20}{9}} = 1,49$ $k_p = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} = \sqrt{\frac{450}{597}} = 0,868$ $\beta_{o,p,t} = \beta_0 k_p k_h =$ $= 0,9 \cdot 0,868 \cdot 1,49 = 1,16$ мм/хв б) <i>дерев'яна рейка кріплення</i> $\beta_n = 0,8$	табл. 3.1 ф-ла (3.4) ф-ла (3.6) ф-ла (3.5)	для інших характеристик цих значень густини та товщини панелі (п. 3.4.2.9) $h_p = 9$ мм в найтоншому місці стику (шпунта) «вагонки»
2	Визначення швидкості обвуглювання для <i>параметричної</i> температурної кривої (початок нагріву) а) <i>дерев'яні панелі</i> б) <i>дерев'яна рейка кріплення</i>	$\beta_{par} = 1,5 \cdot \frac{0,2\sqrt{T}-0,04}{0,16\sqrt{T}+0,08} \cdot \beta_n$ $\beta_{par} = 1,5 \cdot \frac{0,2\sqrt{10}-0,04}{0,16\sqrt{10}+0,08} \cdot \beta_n = 1,51 \cdot \beta_n$ $O=0,1$ м ² , $b=1000$ Дж/м ² сК з врахуванням <i>параметричного</i> кривої нагріву: а) $\beta_{o,p,t,par} = 1,51 \cdot \beta_{o,p,t} = 1,51 \cdot 1,16$ $= 1,75$ мм/хв $t_f = \frac{h_p}{\beta_{o,p,t}} - 4 = \frac{9}{1,75} - 4 = 1,14$ хв б) $\beta_{n,par} = 1,51 \cdot 0,8 = 1,2$ мм/хв $t_f = \frac{h}{\beta_{n,par}} = \frac{15}{1,2} = 12,5$ хв	п. А.2.1 дод. (А)	температурний режим в печі інтенсивніший ніж за кривою ISO 834 а) «вагонка» <u>альтернативно за ф. 3.10</u> $t_f = \frac{h_p}{\beta_{o,p,t}} = \frac{9}{1,75} = 5,14$ хв
3	Визначення умовної швидкості обвуглювання для елементів, захищених покриттям на обігрівній поверхні (стійки) за <i>стандартною</i> кривою	$\beta_0 = 0,65$ – (м'які сорти дерева) $k_3 = 0,036 \cdot t_f + 1$ $k_3 = 0,036 \cdot 1,14 + 1 = 1,04$ $k_s = 1,23$ $k_n = 1,5$ – коефіцієнт переходу до прямокутного перерізу. $\beta_n = k_s k_3 k_n \beta_0 =$ $= 1,23 \cdot 1,04 \cdot 1,5 \cdot 0,65 = 1,91$ мм/хв	табл. 3.1 ф-ла (С.2) ф-ла (С.5) табл. С.1	в кінці нагріву із 18 хв до 24 хв
4	Те саме, за <i>параметричною</i> кривою	$\beta_{par} = 1,51 \cdot 1,91 = 2,88$ мм/хв на початку нагріву із 0 хв до 8 хв		на початку нагріву із 0 до 8 хв
5	Те саме, за <i>усередненими</i> значеннями	$\beta_{exp} = \frac{\beta_{par} + \beta_n}{2} = \frac{2,88 + 1,91}{2} = 2,4$ мм/хв * для дослідної температурної кривої		в процесі нагріву із 9 хв до 17 хв
6	Визначення проміжку часу t_a , (менше з двох значень)	а) <i>дерев'яних панелей</i> $t_a = 2 \cdot t_f = 2 \cdot 1,14 = 2,28$ хв $t_a = \frac{25}{k_3 \beta_n} + t_f = \frac{25}{2 \cdot 1,75} + 1,14 = 8,28$ хв б) <i>дерев'яна рейка кріплення</i> $t_a = 2 \cdot t_f = 2 \cdot 12,5 = 25$ хв $t_a = \frac{25}{k_3 \beta_n} + t_f = \frac{25}{2 \cdot 1,2} + 25 = 35,41$ хв	ф-ла (3.8а) ф-ла (3.8б)	п. 3.4.3.2.5 а) «вагонка» <u>альтернативно за ф. 3.10</u> $t_a = 2 \cdot t_f =$ $= 2 \cdot 5,14 =$ $= 10,28$ хв

Відповідно до стандарту [1], глибина обуглення β_{char} залежить від температурного режиму вогневого навантаження. Зокрема, у [1] всі величини вказано для температурного режиму “стандартної” пожежі [14]. Як видно з графіка (рис. 4), температурний режим печі (Т 1) був змінним, що в принципі характерно для реального пожежного навантаження. Окрім реальних температурних кривих, на рис. 4 показано температурні криві вогневого впливу: стандартного [14] та параметричного (характерного для житлових будівель) [15]. Параметричну криву побудовано за такими даними [15]:

- коефіцієнт врахування отворів $O=0,1 \text{ м}^2$;
- теплопоглинання для всіх огорожувальних конструкцій $b=1000 \text{ Дж}/(\text{м}^2\text{сК})$;
- загальна площа отворів граничних поверхонь відсіку $A=100 \text{ м}^2$;
- загальна площа підлог, стін та стель відсіку $A=300 \text{ м}^2$;
- розрахункова густина потоків на повну площу підлог, стін, стель $g=800 \text{ МДж}/\text{м}^2$.

Експериментальний температурний режим на початку нагрівання відповідав параметричній кривій, в кінці – “стандартній” кривій, в процесі нагрівання – кривій, що відповідає середнім значенням цих двох кривих. Для теоретичних розрахунків було прийняті значення швидкості обуглення, що відповідали зазначеним етапам (рис. 4). Відповідно до п. 3.4.3.2.4 [1] на стадії, що настає після руйнування вогнезахисту $t_f \leq t \leq t_a$ швидкість обуглення слід множити на коефіцієнт $k_3=2$. За відповідними швидкостями обуглення побудовано теоретичний графік залежності глибини обуглення від часу вогневого впливу (рис. 5). Отже, збільшені розрахункові швидкості обуглення стійки будуть такими: $2\beta_{par} = 5.76 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}$ (із 0 хв до 8 хв), $2\beta_{exp} = 4.8 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}$ (із 9 хв до 17 хв), $2\beta_n = 3.82 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}$ (із 18 хв до 24 хв). Для проміжків часу $t \geq t_a$ швидкість обуглення визначають без коефіцієнта k_3 .

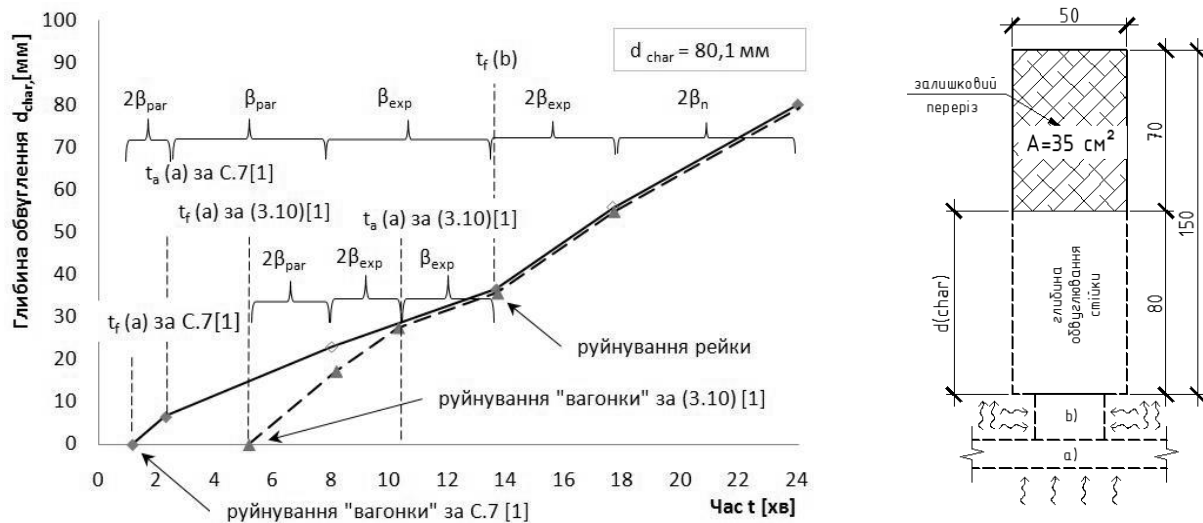


Рис. 5. Залежність глибини обуглення від часу (розрахунок за [1])

Особливістю цієї розрахункової ситуації є те, що вогнезахистом для стійки були як “вагонка” (а), так і дерев’яна рейка кріплення (б). Але, оскільки рейка не повністю покриває переріз стійки, то вона не повністю захищає цю стійку і після руйнування панелей “вагонки” починається обуглення кутів стійки та рейки кріплення *одночасно* (рис. 5).

Висновки. У результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Обробка стійки біовогнезахистом (БС-13) методом поверхневого просочування порівняно з необробленими зразками має вогнезахисний ефект. Розрахунковий залишковий переріз $A^{teor}=35 \text{ см}^2$ відповідає експериментальним даним для необробленої деревини $A^{exp} = 35,6 (37,9) \text{ см}^2$. Оброблені антипіреном зразки мали залишковий переріз $A^{exp} = 44,08 (53,28) \text{ см}^2$. Це підтверджує дані, отримані іншими науковцями [3,11], щодо наявності вогнезахисного ефекту та неврахування його в

нормативних документах. Проте розкид даних A^{exp} не знімає питання щодо статистичного забезпечення надійності цього типу вогнезахисту.

2. Біовогнезахист “вагонки” відтермінував її руйнування на 1 хв (див. рис. 4, крива T2 та T5) порівняно із необробленими дерев’яними панелями. Це свідчить про незначний вогнезахисний ефект для такого типу оздоблення. Причиною може бути недостатнє просочення антипіреном у місцях стиків. Розрахунковий час руйнування за формулою (3.10) [1] “вагонки” $t_f^{leor}=5.14$ хв (табл. 3 та рис. 5), експериментальний $t_f^{exp}=5.3$ хв (рис. 4). Слід зауважити, що використання формули (С.7) рекомендованого додатка С норм [1] для визначення t_f дає суттєву розбіжність з результатами експерименту (рис. 5).

3. Форма обвуглення стійки у досліджуваній конструкції стіни (табл. 2) відрізняється від класичного варіанта для стійок каркасних стін із заповненими мінватою пустотами [16]. Причиною цього є використання м’якої мінвати, щільність якої дає змогу боковим граням стійки обвуглюватися із більшою швидкістю та наявність кріпильної рейки з експонованого боку стійки, що, своєю чергою, зменшує швидкість обвуглення деревини лише посередині торця стійки. Окрім того, кути стійки обвуглюються інтенсивніше через те, що рейка не закриває повністю торець стійки (рис. 5).

1. ДСТУ-Н-П Б. В.2.6-157:2010 Настанова з проектування дерев’яних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. [Чинний від 15.11.2010]. Мінрегіонбуд України. Київ, 2010. 34 с. 2. EN 1995-1-2:2004 Design of timber structures-Part 1-2: General – Structural fire design, 2004 3. P. Kuklík, M. Charvátová. The behaviour of special OSB boards under fire conditions. The influence of OSB board’s fire coating on the fire resistance of light timber frame assemblies. Applications of Structural Fire Engineering, Dubrovnik, October 2015. (DOI: 10.14311/asfe.2015.044). 4. P. Matečková, L. Lausová. Contribution to fire resistance analysis of statically indeterminate structures. Perspectives in Science. Volume 7. 2016. P. 272-276. 5. P. Roszkowski, P. Sulik, B. Sędlak. Fire resistance of timber stud walls. Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology. No 92. 2015. pp. 368-372. 6. Jessop D., Abu A., Wade C., Spearpoint M., Gerlich M., Buchanan A. Full-scale fire test of a laterally loaded light timber-framed compartment. Conference: 9th International Conference on Structures in Fire (SiF’16) At: Princeton University, Princeton. USA, 8-10 June 2016. 7. M. Tiso, A. Just. Behaviour of insulation materials in timber frame assemblies exposed to fire. Conference: World Conference on Timber Engineering 2016 at: Vienna, Austria. 22-25 August 2016. 8. Фецул Ю. Л. Геометрія зони обвуглення дерев’яних колон з вогнезахисним облицюванням та без нього в умовах пожежі. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2018. вип. 1(5). С. 4–12. 9. Змага Я. В. Розрахунковий метод підвищеної точності для оцінки межі вогнестійкості дерев’яних балок з вогнезахисним просоченням: автореф. дис... канд. тех. наук.: 21.06.02. Харків, 2018. 25 с. 10. Пелех А. Б., Демчина Б. Г., Шналь Т. М., Була С. С., Крошак О. В. Натурні випробування конструкції дерев’яної рами на вогнестійкість в умовах реальної пожежі // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2008. – № 627. – С. 167–171. 11. Поздєєв С. В., Некора О. В., Горбаченко Я. В., Федченко І. В. Геометрія зони обвуглення у перерізах вогнезахисних дерев’яних балок в умовах пожежі: Сб. научн. тр. 2015. – Вип. 37. – С. 168–177. 12. Вогнебіозахист для деревини БС-13. Технічна специфікація. [Електронний ресурс]/URL: <https://kompozit.ua/drevesina/ognebiozaschita-dlja-drevesiny-kompozitr.html>. (дата звернення 22.04.2019) 13. Була С. С., Бойко Р. О. Піч для вогневих випробувань будівельних конструкцій та теплофізичних випробувань матеріалів”: патент на корисну модель, опубліковано: 27.10.2014 | Номер патенту: 93911. 14. ISO 834-1:1999. Fire resistance test – Elements of building constructions – Part 1: General requirements. 1999. 15. Шналь Т. М. Вогнестійкість та вогнезахист дерев’яних конструкцій: навч. посібник. – Львів: В-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2006. – 220 с. 16. Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe. SP Report 2010:19. [Електронний ресурс]/URL: www.jrc.ec.europa.eu (дата звернення 22.04.2019).

References

1. DSTU-N-P B. V.2.6-157:2010 (2010), *Nastanova z proektuvannia derevianykh konstruksii. Chastyna 1-2. Zahalni polozhennia. Rozrakhunok konstruksii na vohnestiikist. Chynnyi vid 15.11.2010.* Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, p.34.
2. EN 1995-1-2:2004 (2004), *Design of timber structures-Part 1-2: General – Structural fire design*
3. P. Kuklik M. Charvátová (2015), *The behaviour of special OSB boards under fire conditions. The influence of OSB board's fire coating on the fire resistance of light timber frame assemblies, Applications of Structural Fire Engineering, Dubrovnik, October 2015, (DOI: 10.14311/asfe.2015.044).*
4. P. Matečková, L. Lausová (2016), *Contribution to fire resistance analysis of statically indeterminate structures, Perspectives in Science, Volume 7, March 2016, p. 272–276.*
5. P. Roszkowski, P. Sulik, B. Sędlak (2015), *Fire resistance of timber stud walls, Annals of Warsaw University of Life Sciences –SGGW Forestry and Wood Technology, No 92, pp. 368–372.*
6. Jessop D., Abu A., Wade C., Spearpoint M., Gerlich M., Buchanan A. (2016), *Full-scale fire test of a laterally loaded light timber-framed compartment, Conference: 9th International Conference on Structures in Fire (SiF'16) At: Princeton University, Princeton, USA, 8-10 June 2016.*
7. M. Tiso A. Just (2016), *Behaviour of insulation materials in timber frame assemblies exposed to fire, Conference: World Conference on Timber Engineering 2016 At: Vienna, Austria, August 22–25, 2016.*
8. Feshchuk Yu. L. (2018), *Heometriia zony obvuhlennia derevianykh kolon z vohnezakhysnym oblytsiuvanniam ta bez noho v umovakh pozhezhi*, *Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezha bezpeka*, Kyiv, vyp. 1(5), pp. 4–12 [in Ukraine].
9. Zmaha Ya. V. (2016) *Rozrakhunkovi metod pidvyshchenoi tochnosti dlia otsinky mezhi vohnestiikosti derevianykh balok z vohnezakhysnym prosochenniam*, *avtoref. dys. kand. tekhn. nauk: 21.06.02, Kharkiv. [in Ukraine]*
10. Pelekh A. B., Demchyna B. H., Shnal T. M., Bula S. S., Krochak O. V. (2008), *Naturni vyprovuvannia konstruksii derevianoï ramy na vohnestiikist v umovakh realnoi pozhezhi*, *Visn. NU "Lvivska politekhnika"*, No. 627, pp. 167–171. [in Ukraine]
11. Pozdieiev S. V., Nekora O. V., Horbachenko Ya. V., Fedchenko I. V. (2015), *Heometriia zony obvuhlennia u pererizakh vohnezakhysnykh derevianykh balok v umovakh pozhezhi*, *Sbornyk nauchnykh trudov*, vyp. 37, pp. 168–177. [in Ukraine].
12. *Vohnebiozakhyst dlia derevyny BS-13. Tekhnichna spetsyfikatsiia. [Elektroni resurs]/URL: <https://kompozit.ua/drevesina/ognebiozaschita-dlja-drevesiny-kompozitr.html> (accessed 22.04.2019) [in Ukraine].*
13. Bula S. S., Boiko R. O., (2014), *Pich dlia vohnevykh vyprovuvan budivelnnykh konstruksii ta teplofizychnykh vyprovuvan materialiv, patent na korysnu model, opublikovano: 27.10.2014 | Nomer patentu: 93911. [in Ukraine].*
14. ISO 834-1:1999 (1999), *Fire resistance test – Elements of building constructions – Part 1: General requirements.*
15. Shnal T. M. (2006), *Vohnestiikist ta vohnezakhyst derevianykh konstruksii*. *Navch. posibny*, NU "LP", 220 p. [in Ukraine].
16. *Fire safety in timber buildings. Technical guideline for Europe.(2010) SP Report 2010:19. URL: www.jrc.ec.europa.eu (accessed 22.04.2019).*