

УДК 624.012

С. В. Поздєєв, д-р техн. наук, професор, А. Ю. Новгородченко,
Ю. Ю. Підгорецький, І. А. Неділько,
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національний університет цивільного захисту України

ОБҐРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ОБВУГЛЮВАННЯ ЗРАЗКІВ-ФРАГМЕНТІВ ДЕРЕВ'ЯНОЇ БАЛКИ З ВОГНЕЗАХИСНИМ ОБЛИЦЮВАННЯМ

Останнім часом все більш широкого поширення набувають клеєні конструкції і деталі з деревини у вигляді балок прямокутного і таврового перетину, прогонів, елементів ферм і арок. Проте слід пам'ятати, ці матеріали класифікують як матеріали підвищеної горючості, легкозаймисті, які значно поширюють полум'я поверхнею, з високою димоутворювальною здатністю. Зважаючи на спалюваність таких конструкцій, залишається актуальним гарантування їх нормованої вогнестійкості, як складової комплексного забезпечення пожежної безпеки даних об'єктів будівництва. Ефективним засобом забезпечення проектної вогнестійкості дерев'яних конструкцій залишається застосування вогнезахисного облицювання. Перспективним матеріалом для вогнезахисного облицювання є вогнестійкі плити OSB. Тому, для забезпечення нормованої межі вогнестійкості такої широко поширеної будівельної конструкції, як дерев'яна балка, було використано вогнезахисне облицювання на основі OSB (Oriented Strand Board) – орієнтовно-стружкових плит. Вогнестійкість облицювання дерев'яної балки досліджувалась експериментально в печі під впливом дії високих температур протягом 15, 30 та 60 хвилин, дотримуючись стандартного температурного режиму. Наукова новизна даного дослідження полягає у використанні експериментальної методики, на основі якої, за допомогою табличного і розрахункового методу, були створені математичні моделі. Предметом дослідження є вплив зміни отриманих геометричних параметрів зони обвуглювання на точність математичної моделі процесу обвуглювання. І розкриття закономірностей зміни товщини обвугленого шару дерев'яної балки з вогнезахисним облицюванням під впливом дії високих температур є науковим підґрунтям для створення передумов забезпечення нормованої межі вогнестійкості і забезпечення пожежної безпеки будівель і споруд з застосуванням таких будівельних конструкцій.

Ключові слова: вогнезахисне облицювання, OSB плити, математична модель.

Постановка проблеми. Пожежі є серйозною проблемою для багатьох країн світу; кількість пожеж зростає. Одночасно збільшуються економічні, екологічні, соціальні втрати від них, зростає кількість жертв вогню [1]. Серед причин, що сприяють розвитку пожеж, є широке застосування в спорудах деревини, властивості якої пов'язані з легкою займистістю та здатністю підтримувати горіння. Здебільшого, масштабні пожежі відбуваються на об'єктах культурно-побутового та адміністративного призначення з високим ступенем використання деревини, у вигляді несучих

будівельних конструкцій – зокрема балок. Можна згадати нещодавні трагічні події в м. Одеса 4 грудня, що на вулиці Троїцькій о 10:12 год. на третьому поверсі 6-ти поверхової будівлі Одеського коледжу економіки, права та готельно-ресторанного бізнесу сталася пожежа, яка швидко розповсюдилася на 4000 м². Рятувальники евакуювали близько 40 осіб та 16 осіб загинули внаслідок інциденту. Швидкому поширенню вогню старовинної будівлі сприяли горючі і незахищені будівельні конструкції. Це були перегородки, які зводились зокрема із очерету та дерев'яні міжповерхові перекриття, що призвело до

обвалу даху [2]. Тому для запобігання таких надзвичайних ситуацій, потрібно забезпечувати нормовані межі вогнестійкості дерев'яних конструкцій будівель і споруд. Це можливо з використанням нових методів вогнезахисту, одним із ефективних методів є вогнезахисне облицювання на основі вогнетривких плит.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час присвячено багато наукових праць питанню вогнестійкості дерев'яних конструкцій та їх елементів, таких вітчизняних дослідників як: Шналь Т. М. [7], Поздєєв С. В. [3-5], Новак С. В. [8], Змага Я. В. [3], Фещук Ю. Л. [4] та інші. Із зарубіжних дослідників це Schaffer E. L. [9], Korhonen E.S. [10], Wolgast R. [11], Browne F. L. [12]. Слід зазначити, що в цих дослідженнях недостатньо приділено уваги прогнозуванню поведінки дерев'яних балок з вогнезахисним облицюванням в умовах дії високих температур та навантаження, оскільки не враховуються особливості зміни геометричних параметрів зони обуглювання. З огляду на це, дослідження з питань вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисним облицюванням залишаються актуальними.

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає в підвищенні точності описання математичної моделі обуглювання дерев'яної балки з вогнезахисним облицюванням, шляхом врахування закономірностей зміни геометричних параметрів їх зони обуглювання у залежності від часу вогневого впливу пожежі. Для досягнення мети необхідно визначити наступні завдання:

- дослідити поведінку зразків-фрагментів дерев'яної балки під дією високих температур і вогнезахисні властивості облицювального матеріалу орієнтовно-стружкових плит (OSB-3 Kronospan), відповідно стандартного температурного режиму протягом 15, 30 та 60 хвилин;

- виявити закономірності зміни геометричних характеристик зони обуглювання дерев'яних балок з вогнезахисним облицюванням у залежності від часу вогневого впливу пожежі із стандартним температурним режимом;

- на основі виявлених закономірностей, розробити математичну модель обуглювання дерев'яних балок з вогнезахисним облицюванням під впливом пожежі із стандартним температурним режимом, в залежності від часу експонування.

Виклад основного матеріалу. У даній роботі вогневі випробування і дослідження межі вогнестійкості дерев'яних балок з вогнезахисним облицюванням та без нього проводилися в установці для вогневих випробувань зразків-фрагментів за стандартним температурним режимом протягом 15, 30 та 60 хвилин експонування. Для проведення експерименту було обрано суцільний сосновий брус розміром 70×50×350 мм, клеєна фанера розмірами 350×350 мм з товщиною 16 мм; вогнезахисне облицювання з одним та з подвійним шаром орієнтовно-стружкових плит OSB-3 Kronospan розміром 2500×1250×12мм [3]. Детально зразки-фрагменти до випробування представлені на рис. 1.



Рисунок 1 – Готові зразки-фрагменти дерев'яної балки без вогнезахисту та з вогнезахисним облицюванням

Після закінчення експерименту були отримані заміри глибини обвуглювання зразків-фрагментів, на основі яких був розроблений табличний метод. Використовуючи табличний і розрахунковий методи оцінки вогнестійкості дерев'яних конструкцій [4], були визначені температурні розподіли у перерізі зразків-фрагментів дерев'яних

балок, що піддавались впливу вогню. Аналізуючи експериментальні дані, отримано параметри регресійних залежностей, які наведені в таблиці 1 [5]. Параметри регресійних залежностей бокової і торцевої товщини були розраховані за допомогою математичного програмного забезпечення Mathcad.

Таблиця 1 – Параметри регресійних залежностей бокової і торцевої товщини обвуглювання від часу експонування для зразків-фрагментів

Коефіцієнти регресії $d(t) = b_1 + b_2t + b_3t^2 + b_4t^3$	b_1 , мм	b_2 , мм·хв ⁻¹	b_3 , мм·хв ⁻²	b_4 , мм·хв ⁻³
бокової товщини				
Без вогнезахисту	0	- 0,522	0,048	- 5,715·10 ⁻⁴
3 1-м шаром вогнезахисного облицювання	0	- 0,211	0,016	-1,42·10 ⁻⁴
3 2-м шаром вогнезахисного облицювання	0	0,064	- 6,412·10 ⁻³	1,425·10 ⁻⁴
торцевої товщини				
Без вогнезахисту	0	- 0,985	0,087	- 9,053·10 ⁻⁴
3 1-м шаром вогнезахисного облицювання	0	- 0,576	0,048	-4,156·10 ⁻⁴
3 2-м шаром вогнезахисного облицювання	0	0,048	- 5,926·10 ⁻³	1,811·10 ⁻⁴

Для детального дослідження зміни швидкостей обвуглювання зразків-фрагментів дерев'яних балок, отримані дані використовувались в подальших розрахунках бічних і торцевих товщин шару обвуглювання, які показані на рис. 2. Результати визначення швидкостей обвуглювання подано у вигляді математичної моделі, що зображені на рис. 3.

З графіків можна зробити висновки, що при дослідженні зразків дерев'яної балки на вогнестійкість, зміна швидкості відбувалась нерівномірно. В незахищених зразках спостерігалось стрімке збільшення температури з 15 по 30 хвилин. Деяко кращі показники були в зразках з 1-м шаром OSB

плити. Незначне підвищення швидкості спостерігалось також з 15 хвилин і продовжувало поступово наростати до закінчення випробувань. Тоді як в зразках-фрагментах з 2-м шаром вогнезахисного облицювання швидкість обвуглювання почала зростати з 30 хвилин, з подальшим зростанням, але із значно нижчими показниками.

Стосовно регресійних залежностей бічної і торцевої товщини шарів обвуглювання зразків-фрагментів показано на рис. 4 та рис. 5. Залежності швидкості обвуглювання від часу експонування були отримані шляхом диференціювання регресійних залежностей, наведених в табл. 1.

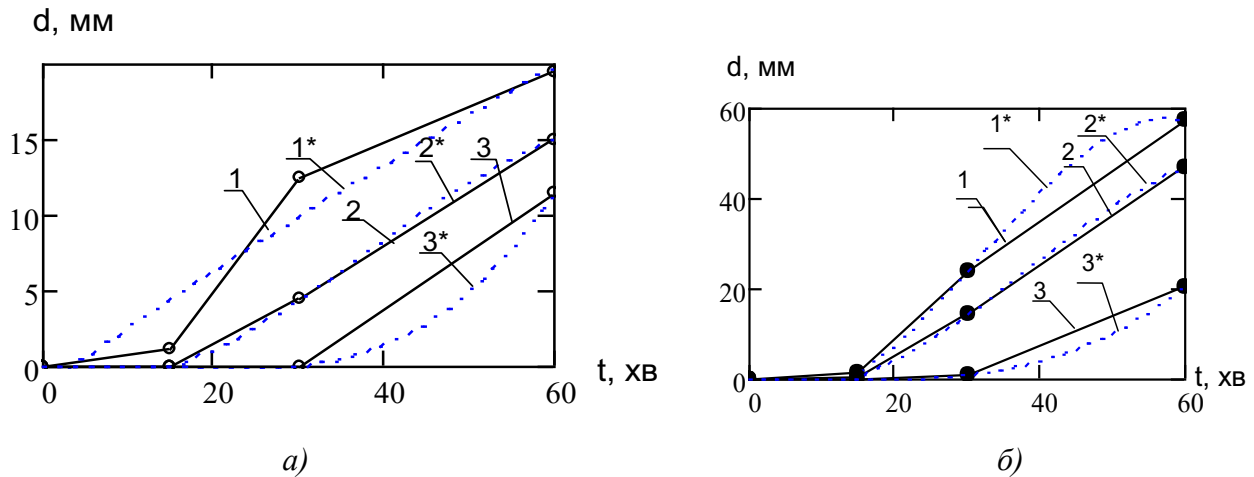


Рисунок 2 – Графіки залежностей бічних (а) і торцевих (б) товщин обвугленого шару в залежності від часу експонування зразків-фрагментів: 1 – без вогнезахисту; 1* - регресійна залежність без вогнезахисту; 2 – з 1-м шаром вогнезахисних OSB-3 плит; 2* - регресійна залежність для 1-го шару вогнезахисту; 3 – з 2-м шаром вогнезахисних OSB-3 плит; 3* - регресійна залежність для 2-го шару вогнезахисту

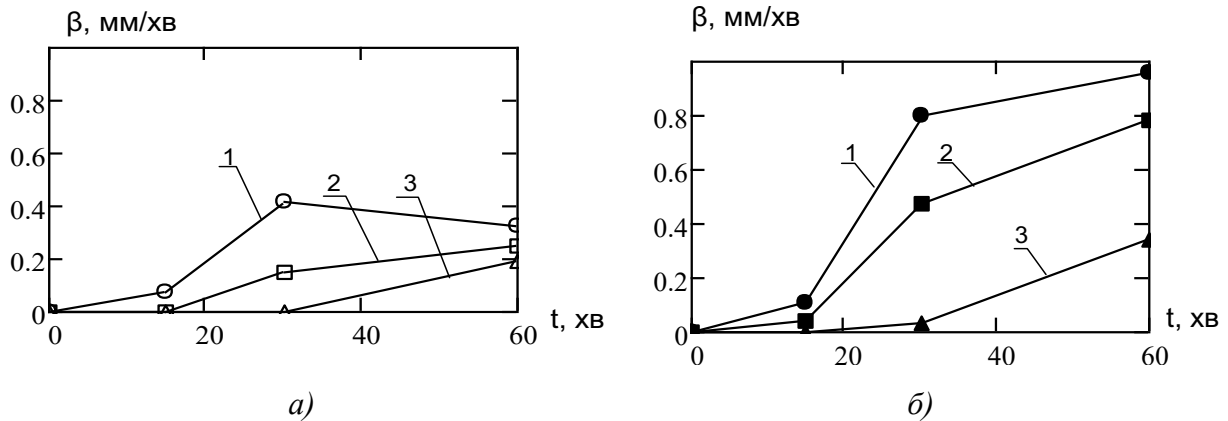


Рисунок 3 – Залежність бічних (а) і торцевих (б) швидкостей обвуглювання від часу експонування зразків: 1) – без вогнезахисту; 2 – з 1-м шаром вогнезахисного облицювання; 3 – з 2-м шаром вогнезахисного облицювання

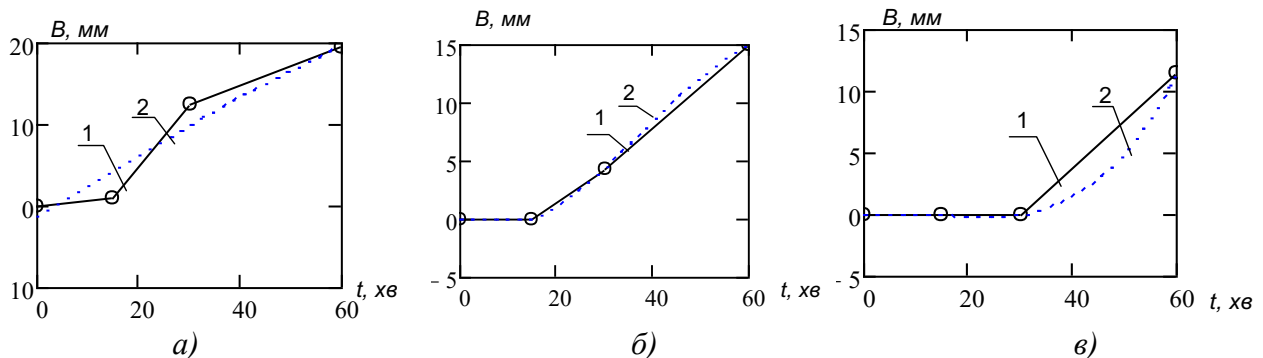


Рисунок 4 – Залежності бічної товщини обвугленого шару зразків-фрагментів без вогнезахисту (а), зразків-фрагментів із 1-м шаром вогнезахисного облицювання(б), зразків-фрагментів із 2-м шаром вогнезахисного облицювання(г): 1 – експериментальна залежність; 2 – регресійна залежність

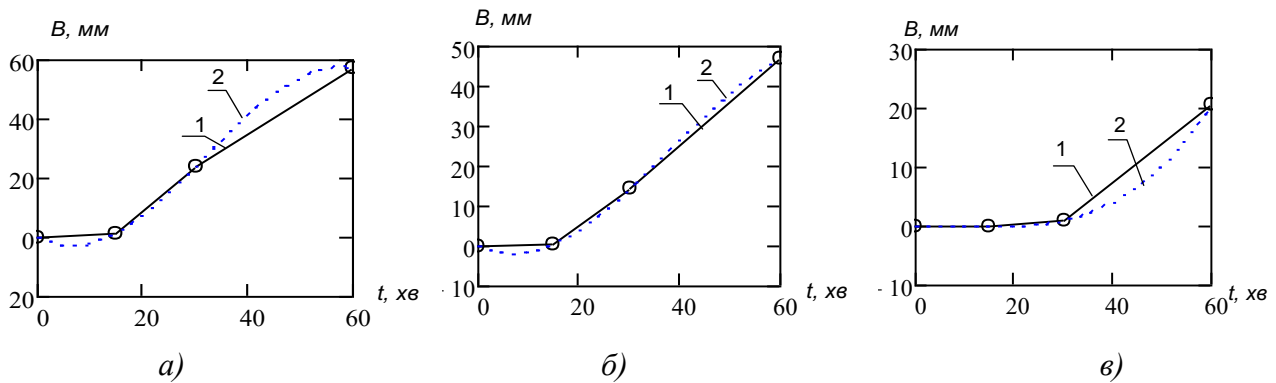


Рисунок 5 – Залежності торцевої товщини обугленого шару зразків-фрагментів без вогнезахисту (а), зразків-фрагментів із 1-м шаром вогнезахисного облицювання (б), зразків-фрагментів із 2-м шаром вогнезахисного облицювання: 1 – експериментальна залежність; 2 – регресійна залежність

Аналізуючи графіки регресійних залежностей визначаємо, що товщини обугленого шару бічних та торцевих сторін в незахищених зразках почали поступово зростати з 15 хв випробування, а з 25 хв досягли таких значень (із подальшим стрімким збільшенням): для бічної товщини 15 мм; для торцевої товщини 25 мм. Зразки з одним шаром вогнезахисного облицювання мали значно кращі показники, товщини почали зростати лише з 15 хв і поступово збільшувалися протягом всього випробування. Найкращі результати показали зразки з подвійним шаром вогнезахисного облицювання. Утворення обугленого шару для бічних сторін почалося з 30 хв випробування, а для торцевих - з 22 хв. По закінченню випробування максимальна бічна товщина дорівнювала 11 мм, а торцева – 20 мм. Стосовно швидкості обуглювання, то у зразків без вогнезахисту швидкість почала також одразу зростати і досягла максимального значення 0,5 мм/хв для бічних сторін, а для торцевих більше 0,8 мм/хв. В зразках з одним шаром швидкість почала зростати з 15 хв для бічних сторін і досягла таких максимальних значень, як 0,3 мм/хв. Однак, для торцевої товщини швидкість обуглювання почала зростати з 5 хв і досягла 0,8 мм/хв. Найстійкішими були зразки з подвійним шаром, адже швидкість для бічних сторін почала зростати з 30 хв. і досягла лише

0,2 мм/хв. А в торцевих сторін зразків з 18 хв, але на 60 хв випробування мала найменше значення 0,38 мм/хв.

Висновки. Досліджено процес обуглювання дерев'яної балки з вогнезахисним облицюванням і показано даний процес у вигляді математичної моделі, яка допомагає розрахувати допустиму швидкість і товщину обуглювання дерев'яної балки, що зможе сприймати граничне зусилля і зберігати свою несучу здатність.

Встановлено залежності зміни товщини торцевих і бічних шарів обуглювання зразків-фрагментів, за допомогою експериментального методу та шляхом побудови регресійних залежностей. Графічно зображено залежності бічної і торцевої товщини обугленого шару і швидкості обуглювання відповідно до часу експонування. Отримані результати показали, що величина швидкості обуглювання для зразків з одинарним та подвійним шаром відповідають рекомендованим швидкостям, які знаходяться в межах від 0,6-0,8 мм/хв. [6]. Найбільш стійкими до вогневого впливу (відповідно стандартного температурного режиму) виявилися зразки дерев'яної балки з подвійним шаром вогнезахисного облицювання на основі орієнтовно-стружкових плит OSB-3.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Кодекс цивільного захисту України: за станом на 02 жовтня 2012 р. / Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 2012. – 124 с.

2. https://tsn.ua/ukrayina/odna-zagibla-i-14-zniklih-bezvisti-golovne-pro-prichini-i-naslidki-pozhezhi-v-odeskomu-koledzhi-1454862.html?utm_source=page&utm_medium=readmore.

3. Поздеев С. В., Змага Я. В., Новгородченко А. Ю., Луценко Ю. В. «Методика дослідження зразків-фрагментів дерев'яних балок з вогнезахисним облицюванням». IX Міжнародна науково-практична конференція «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідація надзвичайних ситуацій», ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2018.

4. Фещук Ю.Л., Поздеев С.В., Нижник В.В., Новгородченко А.Ю. «Метод интерполяции температурных полей в сечении фрагментов деревянных колонн с огнезащитной облицовкой»// Журнал «Вестник Кокшетауского технического института» № 3 (31) 2018 г., сентябрь.- 100 с.

5. Новгородченко Аліна Юріївна, Поздеев Сергій Валерійович, Некора Ольга Валеріївна// Аналіз параметрів обвуглення дерев'яної балки з вогнезахисним облицюванням// Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» № 16 1 том, (78) листопад 2019, с – 98.

6. Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-2.

Загальні правила. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1995-1-2:2004, IDT) ДСТУ-Н Б EN 1995-1-2:2012 [Чинний від 01.07.2013] Мінрегіонбуду України від 21.12.2012 р. № 652 – 90 с – (Національний стандарт України).

7. Шналь Т. М. «Вогнестійкість та вогнезахист дерев'яних конструкцій: Навч. Посібник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2006. - 220 с.

8. Новак С. В., Григор'ян Б. Б., Нефедченко Л. М., Абрамов О. О. ОЦІНЮВАННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ВИРОБІВ. МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ: Навч. посібник. – Черкаси: АПБ, 2011. – 124 с.

9. Shaffer E. I. Charring rate of selected woods – transverse to grain / Research Paper FPL-69. USDA Forest Products Laboratory (Madison, Wisconsin, USA? April 1967).

10. Korhonen E.S. Natural fire modeling of large spaces / Helsinki University of Technology.-2000.

11. Wolgast R. Flame retarding building materials / VFDB Zeitschrift Forschung und Technik im Brandschutz, 10 (2,4) (Stuttgart, 1961).

12. Browne F. L. Theories of the combustion of Wood and its Control: A Survey of the Literature/ FRL Report No. 2136. – 1958. – 69 p.

REFERENCES:

1. Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrainy: za stanom na 02 zhovtnia 2012 r. / Verkhovna Rada Ukrainy. – Ofits. vyd. – K.: Parlam. vyd-vo, 2012. – 124 s.

2. https://tsn.ua/ukrayina/odna-zagibla-i-14-zniklih-bezvisti-golovne-pro-prichini-i-naslidki-pozhezhi-v-odeskomu-koledzhi-1454862.html?utm_source=page&utm_medium=readmore.

3. Pozdieiev S. V., Zmaha Ya. V., Novhorodchenko A. Yu., Lutsenko Yu. V. «Metodyka doslidzhennia zrazkiv-frahmentiv derevianykh balok z vohnezakhysnym oblytsiuvanniam». IX Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia «Teoriia i praktyka

hasinnia pozhezh ta likvidatsiia nadzvychainykh sytuatsii», ChIPB im. Heroiv Chornobylia NUTsZ, 2018

4. Feschuk Yu.L., Pozdeev S.V., Nizhnik V.V., Novgorodchenko A.Yu. «Metod interpolyatsii temperaturnih poley v sechenii fragmentov derevyannyih kolonn s ognegaschitnoy oblitsovkoj»// Zhurnal «Vestnik Kokshetauskogo tehniceskogo instituta» # 3 (31) 2018 g., sentyabr.- 100 s.

5. Novhorodchenko Alina Yuriivna, Pozdieiev Serhii Valeriiovych, Nekora Olha Valeriivna// Analiz parametriv obvuhlennia derevianoii balky z vohnezakhysnym oblytsiuvanniam// Mizhnarodnyi naukovyi

zhurnal «Internauka» № 16 1 tom, (78) lystopad 2019, s – 98.

6. Eurocode 5. Proektuvannia derev`ianykh konstrukttsii. Chastyna 1-2. Zahalni pravyla. Rozrakhunok konstrukttsii na vohnestiikist (EN 1995-1- 2:2004, IDT) DSTU-N B EN 1995-1-2:2012 [Chynnyi vid 01.07.2013] Minrehionbudu Ukrainy vid 21.12.2012 r. № 652 – 90 s – (Natsionalnyi standart Ukrainy).

7. Shnal T. M. «Vohnestiikist ta vohnезakhyst derevianykh konstrukttsii: Navch. Posibnyk. – Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnikha», 2006. - 220 s.

8. Novak S. V., Hryhorian B. B., Nefedchenko L. M., Abramov O. O. OTsINuVANNIa VOHNESIİKOSTI BUDIVELNYKh KONSTRUKTsII TA

VYROBIV. METODY VYPROBUVAN: Navchalnyi posibnyk. – Cherkasy: APB, 2011. – 124 s.

9. Shaffer E. I. Charring rate of selected woods – transverse to grain / Research Paper FPL-69. USDA Forest Products Laboratory (Madison, Wisconsin, USA? April 1967).

10. Korhonen E.S. Natural fire modeling of large spaces / Helsinki University of Technology.-2000.

11. Wolgast R. Flame retarding building materials / VFDB Zeitschrift Forschung und Technik im Brandschutz, 10 (2,4) (Stuttgart, 1961).

12. Browne F. L. Theories of the combustion of Wood and its Control: A Survey of the Literature/ FRL Report No. 2136. – 1958. – 69 p.

*С. В. Поздеев, д-р техн. наук, профессор, А. Ю. Новгородченко,
Ю. Ю. Подгорецкий, И. А. Недилько,*

*Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля
Национальный университет гражданской защиты Украины*

ОБОСНОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ОБУГЛИВАНИЯ ОБРАЗЦОВ-ФРАГМЕНТОВ ДЕРЕВЯННЫХ БАЛОК С ОГНЕЗАЩИТНОЙ ОБЛИЦОВКОЙ

В последнее время все более широкое распространение получают клееные конструкции и детали из древесины в виде балок прямоугольного и таврового сечения, прогонов, элементов ферм и арок. Однако следует помнить, что эти материалы классифицируют как материалы повышенной горючести, легковоспламеняющиеся, значительно распространяют пламя по поверхности, с высокой дымообразующей способностью. Учитывая сгорания таких конструкций, остается актуальным обеспечение их нормируемой огнестойкости, как составляющей комплексного обеспечения пожарной безопасности данных объектов строительства. Эффективным средством обеспечения проектной огнестойкости деревянных конструкций остается применение огнезащитной облицовки. Перспективным материалом для огнезащитной облицовки является огнестойкие плиты OSB. Поэтому, для

обеспечения нормированного предела огнестойкости такой широко распространенной строительной конструкции, как деревянная балка, была использована огнезащитная облицовка на основе OSB (Oriented Strand Board) - ориентировочно-стружечных плит. Огнестойкость облицовки деревянной балки исследовалась экспериментально в печи под воздействием высоких температур 15, 30 и 60 минут, следуя стандартному температурному режиму. Научная новизна данного исследования заключается в использовании экспериментальной методики, на основе которой, с помощью табличного и расчетного метода, были созданы математические модели. Предметом исследования является влияние изменения полученных геометрических параметров зоны обугливания на точность математической модели процесса обугливания. Раскрытие закономерностей изменения толщины обугленного слоя

деревянной балки с огнезащитной облицовкой под воздействием высоких температур является научным основанием для создания предпосылок обеспечения нормированных пределов огнестойкости и обеспечения пожарной безопасности зданий

и сооружений с применением таких строительных конструкций.

Ключевые слова: *огнезащитная облицовка, OSB плиты, математическая модель.*

S. Pozdieiev, Doctor of Engineering, A. Novgorodchenko, Yu. Pidgorecky, I. Nedilko, Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Defence of Ukraine

THE SUBSTANTIATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS OF CHARRING OF THE SAMPLE FRAGMENTS OF WOODEN BEAMS WITH FIREPROOF REVETMENT

The glued wooden structures and details are often used in construction. They have the looking beams with a rectangular and a tee section, a stinger, an element truss and arches. But this materials have an increased flammability and they can spread flames very quickly with lots of smoke. Due to the flammability of these structures it is important to guarantee their normalized fire resistance, as part of the comprehensive fire safety of construction objects. The use of fire protection lining remains an effective means of achieving the designed fire resistance of wooden frames. Fire resistant OSB panels are a promising material for fire protection. For fire retardant wooden beams, that is widespread in construction, we use fire protection lining remains based on OSB (Oriented Strand Board). The fire resistance of these plates was investigated using the experimental method. The research was conducted in an experimental furnace under the action of high temperatures and the influence of the standard temperature

regime of the fire for 15, 30 and 60 minutes. The scientific novelty is to use methods such us: experimental, tabular and calculation method. This will allow to create mathematical models for predicting the geometry of the charcoal zone of wooden beams laminated with OSB panels. The subject of the scientific is the impact of change the geometry of the charcoal zone of wooden beams, this affects the accuracy of the mathematical model of the charcoal process. The constructed mathematical models can be considered as a scientific basis for the creation of new engineering calculation methods for estimating the fire resistance of wooden beams with flame retardant lining of OSB panels. Such engineering and design methods allow to improve the normative basis for the design of fire resistant wooden structures.

Key words: *fire resistance of wooden beams, flame retardant lining, OSB panels, standard temperature regime, mathematical models, charred layer thickness.*