



Ю. О. Терлецький^{1,2}, О. Ю. Пазен²

¹ТОВ «СВІСС КРОНО», ²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1633-5458> – Ю. О. Терлецький
<https://orcid.org/0000-0003-1655-3825> – О. Ю. Пазен



opazen@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ БАГАТОСТОРОННЬОГО НАГРІВАННЯ OSB/3 ПЛИТ НА ПОШИРЕННЯ ПОЖЕЖІ У СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Проблема. Пожежі на деревообробних підприємствах і складських приміщеннях характеризуються високою інтенсивністю поширення через значну кількість горючих матеріалів, зокрема деревини та плит OSB/3. Недостатня вивченість впливу різностороннього нагрівання на процес досягнення температур займання і самозаймання ускладнює прогнозування розвитку пожежі.

Мета. Метою роботи є дослідження впливу одно-, дво- та тристороннього нагрівання OSB/3 плит на процес досягнення температур займання та самозаймання в умовах стандартного температурного режиму пожежі.

Методи дослідження. У дослідженні застосовано прямий метод математичного моделювання процесів теплопровідності в плоских конструкціях. Використано підхід на основі співвідношення безрозмірних відносних температур для визначення двовимірного температурного поля шляхом накладання одновимірних температурних полів по координатах.

Основні результати. Отримано розподіли температурного поля для палети OSB/3 при різних варіантах нагрівання (одно-, дво- та тристоронньому). Встановлено, що зі збільшенням кількості нагрітих сторін значно прискорюється досягнення температур займання та самозаймання. Виявлено ефект підвищення температур у кутових зонах внаслідок накладання температурних полів. Побудовано графічні залежності зміни температури в часі.

Висновки. Проведене моделювання показало, що нагрівання палет OSB/3 плит залежить від кількості сторін нагрівання, причому зі збільшенням їх кількості інтенсивність прогріву матеріалу значно зростає за умов впливу стандартного температурного режиму пожежі. Встановлено, що при односторонньому нагріванні досягнення температур займання та самозаймання відбувається повільніше порівняно з дво- та тристороннім нагріванням. При двосторонньому та тристоронньому нагріванні виникає ефект накладання температурних полів, що призводить до локального підвищення температур, особливо в кутових зонах конструкції. Результати розрахунків в подальшому дозволять використовувати запропонований метод для визначення двовимірного температурного поля при інших температурних режимах пожежі. Отримані залежності зміни температури в часі дозволяють прогнозувати розвиток пожежі у складських приміщеннях.

Ключові слова: пожежна безпека, OSB/3 плита, математичне моделювання, двовимірне температурне поле, прямий метод.

Y. O. Terletskyi^{1,2}, O. Y. Pazen²

¹LLC SWISS KRONO, ²Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

STUDY OF THE EFFECT OF MULTIDIRECTIONAL HEATING OF OSB/3 BOARDS ON FIRE SPREAD IN WAREHOUSE FACILITIES

Problem. Fires at woodworking enterprises and warehouse facilities are characterized by a high rate of spread due to a significant amount of combustible materials, in particular timber and OSB/3 boards. The insufficient study of the influence of multidirectional heating on the process of reaching ignition and spontaneous ignition temperatures complicates the prediction of fire development.

Purpose. The aim of this work is to investigate the influence of one-, two-, and three-sided heating of OSB/3 boards on the process of reaching ignition and spontaneous ignition temperatures under standard fire temperature conditions.

Research methods. The study employed a direct method of mathematical modeling of heat conduction processes in plane structures. An approach based on the ratio of dimensionless relative temperatures was used to determine the two-dimensional temperature field by superposition of one-dimensional temperature fields along the coordinates.

Main results. Temperature field distributions were obtained for an OSB/3 pallet under different heating conditions (one-, two-, and three-sided heating). It was established that with an increase in the number of heated sides, the achievement of ignition and spontaneous ignition temperatures is significantly accelerated. An effect of temperature increase in corner zones due to the superposition of temperature fields was identified. Graphical dependencies of temperature variation over time were constructed.

Conclusions. The modeling showed that the heating of OSB/3 pallet boards depends on the number of heated sides, and as their number increases, the intensity of material heating significantly rises under standard fire temperature conditions. It was established that under one-sided heating, the attainment of ignition and spontaneous ignition temperatures occurs more slowly compared to two- and three-sided heating. In the case of two- and three-sided heating, a superposition effect of temperature fields occurs, leading to a local increase in temperature, especially in the corner zones of the structure. The obtained calculation results will further allow the proposed method to be used for determining a two-dimensional temperature field under other fire temperature regimes. The derived temperature–time dependencies enable forecasting of fire development in warehouse facilities.

Keywords: fire safety, OSB/3 board, mathematical modeling, two-dimensional temperature field, direct method.

Вступ. Як свідчить статистика, за останні 5 років в Україні трапилось 434 тис. 536 пожеж, на яких загинуло 8 225 осіб, а прямі збитки від цих пожеж становлять 156 млрд грн. Кількість осіб, які загинули внаслідок цих пожеж, становить 8 225 осіб. 3 316 – це пожежі в будівлях виробничого призначення.

Однією з масштабних пожеж на деревообробних підприємствах є пожежа на деревообробному підприємстві в с. Деражне Рівненського району, яка виникла 13 листопада 2024 року. Вогонь встиг знищити виробниче обладнання, 49 м³ деревини, покриття та перекриття сушарні, покриття та перекриття столярного цеху.

Пожежі на деревообробних підприємствах характеризуються великою кількістю деревини як горючого матеріалу, виділеного в процесі обробки деревини пиломатеріалу тощо. Середня температура самозаймання деревини від 375 до 405 °С (при вологості 9 %), залежно від породи деревини.

Висока швидкість поширення полум'я по поверхні деревини, яка залежить від багатьох факторів, але в загальному вона може варіюватися приблизно від 0,2 до 2,0 метрів за хвилину.

Основні чинники, що впливають на швидкість поширення полум'я по деревині: тип деревини, вологість матеріалу, форма та обробка поверхні, конфігурація об'єкта — горизонтальна чи вертикальна поверхня, та умови горіння — доступ кисню, температура навколишнього середовища.

Зважаючи на високу пожежну небезпеку деревообробних підприємств дослідження закономірностей розвитку пожежі на таких підприємствах є актуальною задачею сьогодення.

Дослідження поширення пожеж у складських приміщеннях відображені у працях багатьох авторів. Так у роботі [1] автори розробляли метод визначення оптимальних розмірів захищених об'ємів приміщень складу закритих виробничо-

складських об'єктів шляхом застосування протипожежних завіс для обмеження швидкості розповсюдження пожежі. Аналіз досягнень у сфері протипожежного захисту складів логістичної інфраструктури з метою знаходження оптимального, економічно доцільного складу організаційно-технічного забезпечення логістичних складів і зменшення ризиків виникнення пожеж здійснено у роботі [2]. Експериментальним дослідженням поширення пожежі на швейно-виробничих ділянках, екранованих захисними панелями в умовах пожежі займалися автори [3]. Автори [4] у своєму дослідженні застосовували моделювання динаміки пожежі (FDS) для оцінки поширення пожежі на хімічному складі за наявності та за відсутності вентиляційної системи. Після цього поширення пожежі на складі оцінювалося на основі методів доміно. Для встановлення швидкості поширення пожежі була використана байєсівська мережа (BN). Прогнозування зміни температури та концентрації диму на високотелажних складах з використанням програмного забезпечення для обчислювальної гідродинаміки, зокрема FDS здійснено у праці [5]. Автори [6], також використовували FDS для дослідження динаміки пожежі та поведінку сталевих каркасних конструктивних елементів складських стелажних систем за різних сценаріїв пожежі, підкреслюючи критичну важливість заходів пожежної безпеки для зменшення пошкоджень конструкцій.

Зважаючи на значну увагу науковців до дослідження поширення пожеж у виробничих, складських та логістичних приміщеннях, а також розробки та проектування систем протипожежного захисту для даних об'єктів, дослідження процесів поширення пожежі є актуальною задачею сьогодення.

У цій статті розглядається дослідження впливу одно-, дво- та тристороннього нагрівання OSB/3 плит на поширення пожежі у складських приміщеннях шляхом досягнення палетою для

складування температури самозаймання та температури займання.

Методи дослідження. У роботі використано прямий метод математичного моделювання процесів теплообміну в плоских конструкціях з використанням методу співвідношення безрозмірних відносних температур. Цей метод адаптовано до нагрівання палети OSB/3 розмірами 2500 мм на 1150 мм.

Результати. Для дослідження процесу нагрівання прямокутної палети OSB/3 плити розмірами 2500 мм на 1150 мм за умов одно- двота тристороннього впливу стандартного температурного режиму пожежі необхідно знайти розв'язок рівняння теплопровідності

$$c\rho \frac{\partial t(x, y)}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 t(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t(x, y)}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

у якому температура залежить не лише від координати x , а також від координати y .

До рівняння (1) необхідно додати крайові умови третього роду

$$\begin{cases} \alpha t(x_0, y, \tau) - \lambda \frac{\partial t(x_0, y, \tau)}{\partial x} = \alpha t_{cm}(\tau), \\ \alpha t(x_a, y, \tau) - \lambda \frac{\partial t(x_a, y, \tau)}{\partial x} = \alpha t_{cm}(\tau), \\ \alpha t(x, y_0, \tau) - \lambda \frac{\partial t(x, y_0, \tau)}{\partial y} = \alpha t_{cm}(\tau), \\ \alpha t(x, y_b, \tau) - \lambda \frac{\partial t(x, y_b, \tau)}{\partial y} = \alpha t_{cm}(\tau) \end{cases} \quad (2)$$

та початкову умову

$$t(x, y, 0) = \varphi(x, y), \quad (3)$$

Тут позначено $t(x, y)$ – температура яка залежить від координати x та y ; c – питома теплоємність OSB/3 плити; ρ – густина OSB/3 плити; λ – коефіцієнт теплопровідності OSB/3 плити; $t_{cm}(\tau)$ – закон зміни температури середовища по периметру палети OSB/3 плити (стандартний температурний режим пожежі), α – коефіцієнт теплообміну між середовищем та периметром палети, $\varphi(x, y)$ – початковий розподіл температурного поля по товщині палети OSB/3 плити.

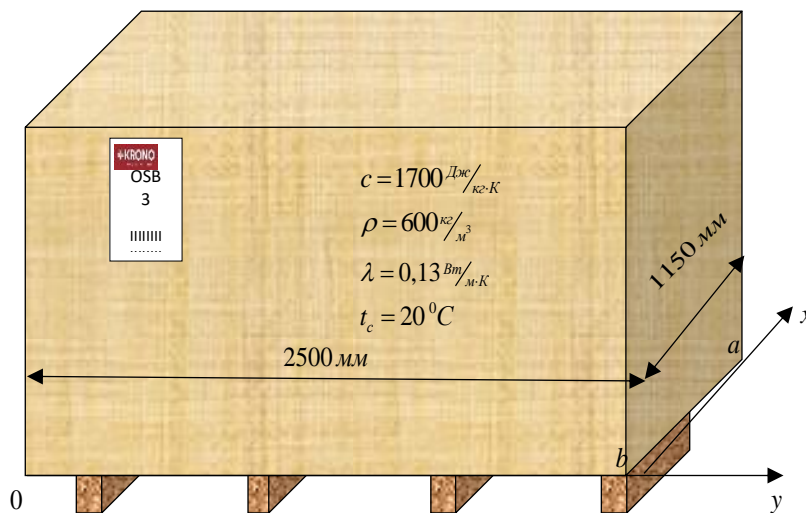


Рисунок 1 – Схематичне зображення палети OSB/3 плити

У роботі [7] встановлено, що розрахунок нестационарного температурного поля прямокутного поперечного перерізу з достатньою точністю може бути знайдений за допомогою відомого в теорії теплопровідності співвідношення безрозмірних відносних температур:

$$\frac{t_{cm}(\tau) - t(x, y, \tau)}{t_{cm}(\tau) - t(x, y, 0)} = \frac{t_{cm}(\tau) - t(x, \tau)}{t_{cm}(\tau) - t(x, 0)} \cdot \frac{t_{cm}(\tau) - t(y, \tau)}{t_{cm}(\tau) - t(y, 0)}, \quad (4)$$

де $t(x, y, \tau)$ – температура двовимірного температурного поля;

$t(x, \tau)$ і $t(y, \tau)$ – температура одновимірних температурних полів;

$t(x, y, 0)$ – початкова температура.

Із співвідношення (4) знаходимо формулу для визначення двовимірного температурного поля палети поперечного перерізу

$$t(x, y, \tau) = t_{cm} - \frac{(t_{cm} - t(x, \tau)) \cdot (t_{cm} - t(y, \tau))}{t_{cm} - t(x, y, 0)}. \quad (5)$$

Співвідношення (5) відображає результат накладання одновимірних температурних полів $t(x, \tau)$ і $t(y, \tau)$ одне на одне. Тому для знаходження двовимірного температурного поля необхідно і достатньо знайти розподіл одновимірного температурного поля по напрямку осі x та по напрямку осі y .

Для знаходження розподілу одновимірного температурного поля по товщині прямокутника, використаємо алгоритм, який детально вивчений та описаний у роботі [7, 8].

Випадок 1 – одностороннє нагрівання. Розглянемо вплив стандартного температурного режиму на нагрівання палети OSB3 плити при односторонньому нагріванні. Вихідні дані наведено в таблиці 1

Таблиця 1

Теплофізичні характеристики та геометричні параметри моделювання

Параметр	Значення
Довжина, м	2,5
Ширина, м	1,25
Коефіцієнт теплопровідності, $\frac{Вт}{м \cdot К}$	0,13
Масова питома теплоємність $\frac{Дж}{кг \cdot К}$	1700
Густина, $\frac{кг}{м^3}$	600
Коефіцієнти тепловіддачі обігрівасмої поверхні $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	25
Коефіцієнти тепловіддачі необігрівасмої поверхні $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	4

Провівши відповідні математичні обчислення з використанням прямого методу дослідження процесів теплообміну [7, 8] та застосуванням системи комп'ютерної алгебри

Maple 13, отримано графіки нагрівання палети OSB/3 плити до температур займання та самозаймання при односторонньому впливі пожежі рис. 2.

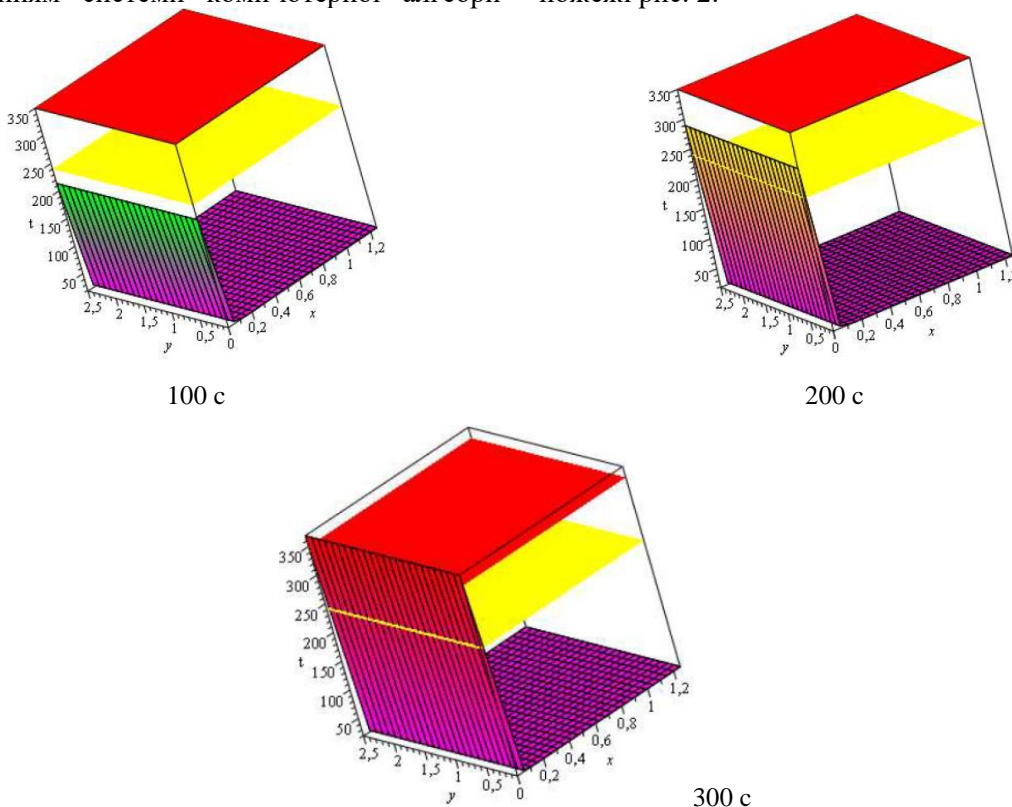


Рисунок 2 – Нагрівання палети при односторонньому нагріванні за умов пожежі

На рисунку 2 представлено результати у вигляді 3D графіка, де нижня площина (температура 240 °С) – значення температури займання, верхня площина (температура 350 °С) – значення температури самозаймання. Відповідно до отриманих результатів на 100 с прогрів не відбувається, на 200 с сторона нагрівається до температури займання, а на 300 с температура

поверхні палети OSB/3 плити нагрівається понад температуру самозаймання.

Випадок 2 – двостороннє нагрівання.

Наступним етапом розглянуто аналогічну задачу, але за умов двостороннього впливу стандартного температурного режиму пожежі на нагрівання палети OSB/3 плити за умов, коли здійснюється вплив двох суміжніх сторін (по довжині та ширині).

Результати моделювання наведено на рис 3.

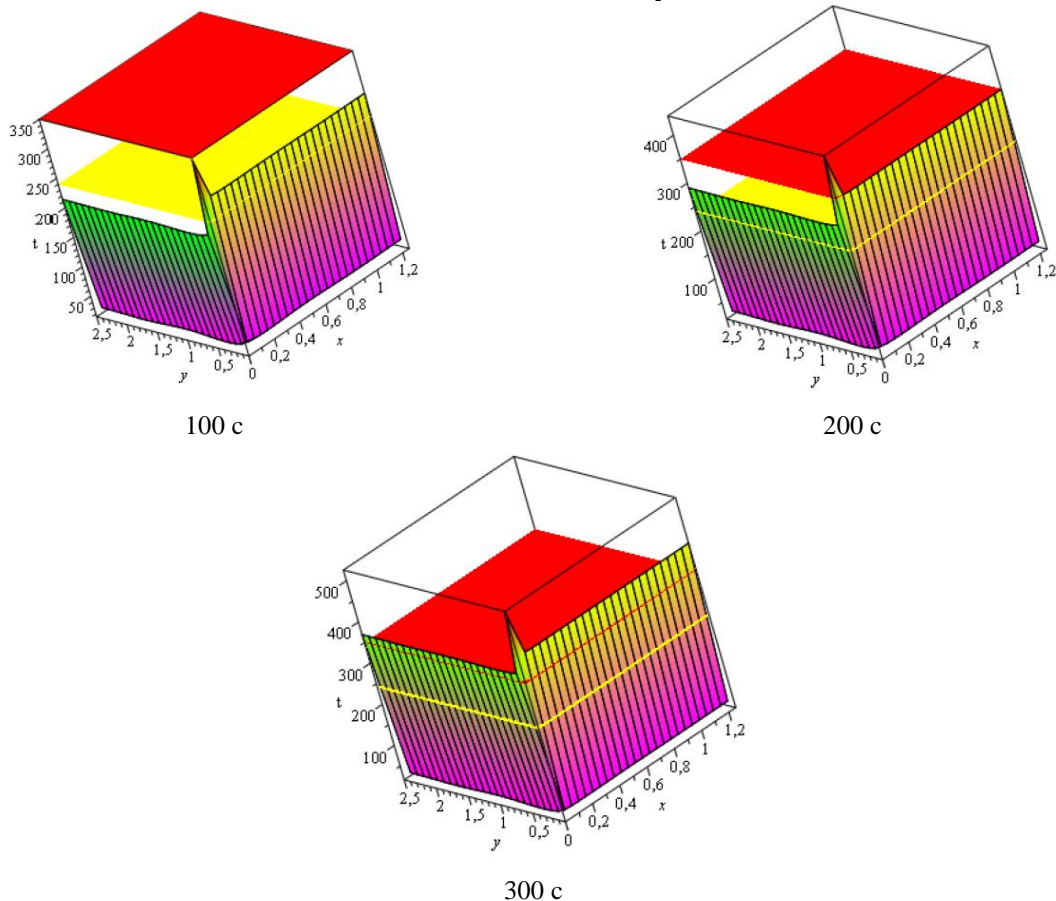


Рисунок 3 – Нагрівання палети при двосторонньому нагріванні за умов пожежі

Результати моделювання двостороннього нагрівання показують, що на 100 с одна з сторін прогріється до температури займання, на 200 с одна з сторін нагрівається до температури займання а інша до температури самозаймання, а на 300 с дві сторони прогріваються понад температуру самозаймання.

Слід звернути увагу на те, що на одному з кутів температура є вищою ніж на стороні. Це

пояснюється накладенням температурних полів що діють з однієї та іншої сторони.

Випадок 3 – тристороннє нагрівання. Далі розглянуто задачу тристороннього впливу стандартного температурного режиму пожежі на нагрівання палети OSB/3 плити за умов, коли здійснюється вплив трьох сторін.

Результати моделювання наведено на рис 3.

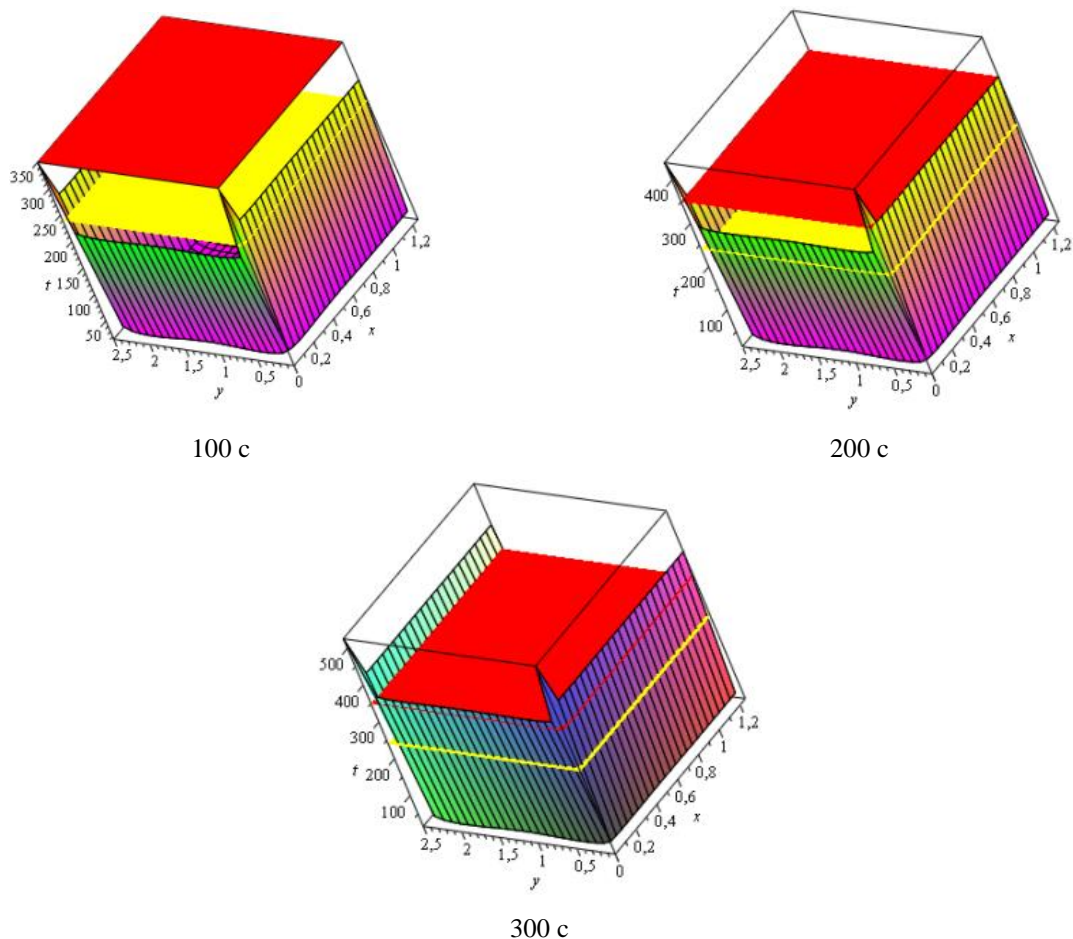


Рисунок 4 – Нагрівання палети при двосторонньому нагріванні за умов пожежі

Результати показують, що аналогічно, як у випадку двостороннього нагрівання, на 100 с дві протилежні сторони прогріються до температури займання, на 200 с дві протилежні сторони нагріваються до температури займання а інша до температури самозаймання, а на 300 с всі три сторони прогріваються понад температуру самозаймання і займання.

Висновок. Проведене моделювання показало, що нагрівання палет OSB/3 плит залежить від кількості сторін нагрівання, причому зі збільшенням їх кількості інтенсивність прогріву матеріалу значно зростає за умов впливу стандартного температурного режиму пожежі.

Встановлено, що при односторонньому нагріванні досягнення температур займання та самозаймання відбувається повільніше порівняно з дво- та трестороннім нагріванням.

При двосторонньому та тресторонньому нагріванні виникає ефект накладання температурних полів, що призводить до локального підвищення температур, особливо в кутових зонах конструкції.

Результати розрахунків надалі дадуть змогу використовувати запропонований метод для визначення двовимірного температурного поля при інших температурних режимах пожежі.

Отримані результати, зміни температури в часі, надалі дадуть змогу прогнозувати розвиток пожежі у складських приміщеннях.

Список літератури:

1. Гуліда Е., Шарій В. Вплив протипожежних завіс на швидкість розповсюдження пожежі в закритих приміщеннях виробничо-складських об'єктів. *Пожежна безпека*. 2019. №35. С. 23-29. <https://doi.org/10.32447/20786662.35.2019.04>
2. Шаповалов О., Вовк С., Ференц Н., Оношко І., Кіндратський Ю. Аналіз та шляхи вдосконалення систем протипожежного захисту логістичних складів. *Пожежна безпека*. 2024. №44. С. 81-97. <https://doi.org/10.32447/20786662.44.2024.09>
3. Адольф І., Товарянський В., Петровський В. Дослідження впливу пожежі на експериментальні швейно-виробничі ділянки, екрановані захисними панелями. *Пожежна безпека*. 2023. №43. С. 6-12. <https://doi.org/10.32447/20786662.43.2023.01>
4. Hanifi, S. M., Laal, F., Ghashghaei, M., & Mandali, H. Providing a model to evaluate the spread of fire in a chemical warehouse using numerical simulation and Bayesian network. *Process Safety and Environmental Protection*. 2024. №183, P. 124-137. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.12.055>

5. Suhaimi, N. S., & Idris, M. F. M. Prediction of Smoke Temperature in a Warehouse Using Fire Dynamic Simulator. *Current Science and Technology*. 2024. №4(2), P. 5-10. DOI: 10.15282/cst.v4i2.11101.

6. Okur, F. Y. (2025). Fire-Induced Collapse Analysis of Warehouse Structures Using FDS and Thermomechanical Modeling. *Buildings*. 2025. 15(15). 2635.

<https://doi.org/10.3390/buildings15152635>

7. Тацій Р.М., Пазен О.Ю. Моделювання розподілу температурного поля в колоні прямокутного поперечного перерізу за умов стандартного температурного режиму пожежі. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2017. №16. С. 27-33. journal.ldubgd.edu.ua/index.php/Visnuk/article/view/58

8. Тацій Р. М., Пазен О.Ю. Прямий метод розрахунку нестационарного температурного поля за умов пожежі. *Збірник наукових праць Пожежна безпека*. 2015. №26 С. 135-141.

References:

1. Gulida E., Shary V. (2019). Vplyv protypozhezhnykh zavis na shvydkist' rozpovsyudzhennya pozhhezhi v zakrytykh prymishchennyakh vyrobnycho-sklads'kykh ob''yektiv [The influence of fire curtains on the rate of fire spread in closed rooms of production and warehouse facilities]. *Fire Safety*, 35, PP. 23-29. <https://doi.org/10.32447/20786662.35.2019.04> [in Ukrainian].

2. Shapovalov O., Vovk S., Ferenc N., Onoshko I., Kindratskyi Y. (2024). Analiz ta shlyakhy vdoskonalennya system protypozhezhnoho zakhystu lohistrychnykh skladiv. [Analysis and ways to improve fire protection systems of logistics warehouses]. *Fire Safety*, 44, PP. 81-97. <https://doi.org/10.32447/20786662.44.2024.09> [in Ukrainian].

3. Adolf I., Tovaryanskyi V., Petrovskyi V. (2023). Doslidzhennya vplyvu pozhhezhi na

eksperymental'ni shveyno-vyrobnychi dilyanky, ekranovani zakhysnymi panelyamy. [Research on the impact of fire on experimental sewing and production areas shielded by protective panels]. *Fire Safety*, 43, PP. 6-12.

<https://doi.org/10.32447/20786662.43.2023.01> [in Ukrainian].

4. Hanifi, S. M., Laal, F., Ghashghaei, M., & Mandali, H. (2024). Providing a model to evaluate the spread of fire in a chemical warehouse using numerical simulation and Bayesian network. *Process Safety and Environmental Protection*, 183, PP. 124-137. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2023.12.055>

5. Suhaimi, N. S., & Idris, M. F. M. (2024). Prediction of Smoke Temperature in a Warehouse Using Fire Dynamic Simulator. *Current Science and Technology*, 4(2), PP. 5-10. DOI: 10.15282/cst.v4i2.11101

6. Okur, F. Y. (2025). Fire-Induced Collapse Analysis of Warehouse Structures Using FDS and Thermomechanical Modeling. *Buildings*, 15(15), 2635. <https://doi.org/10.3390/buildings15152635>

7. Tatsii R.M., Pazen O.Yu. (2017). Modelyuvannya rozpodilu temperaturnoho polya v koloni pryamokutnoho poperechnoho pererizu za umov standartnoho temperaturnoho rezhymu pozhhezhi [Modeling the distribution of the temperature field in a column of rectangular cross-section under the conditions of a standard temperature regime of fire]. *Bulletin of the Lviv State University of Life Safety*, 16. PP. 27-33. <https://journal.ldubgd.edu.ua/index.php/Visnuk/article/view/58> [in Ukrainian].

8. Tatsii R. M., Pazen O. Yu. (2015). Pryamyi metod rozrakhunku nestatsionarnoho temperaturnoho polya za umov pozhhezhi [Direct method for calculating the non-stationary temperature field under fire conditions]. *Fire Safety*, 26, PP. 135-141 [in Ukrainian].

© Ю. О. Терлецький, О. Ю. Пазен, 2026.

Науково-методична стаття.

Надійшла до редакції 24.03.2026.

Прийнята до друку 29.04.2026.

Опублікована 25.05.2026.