



DOI <https://doi.org/10.32447/20786662.48.2026.13>

Ю. О. Терлецький, О. Ю. Пазен

Львівський 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

✉ yurii.terletskyi@swisskrono.com

ДИНАМІКА ЗМІНИ ТЕМПЕРАТУРИ ПОБЛИЗУ ОСЕРЕДКУ ПОЖЕЖІ В СКЛАДСЬКОМУ ПРИМІЩЕННІ

Проблема. Пожежі у складських приміщеннях, зокрема на деревообробних підприємствах, характеризуються складною динамікою розвитку та значною інтенсивністю поширення. Використання відомих температурних режимів не дозволяє точно оцінити реальні умови нагрівання матеріалів, що ускладнює прогнозування розвитку пожежі та оцінку її небезпеки.

Мета. Метою роботи є дослідження температурного режиму пожежі в складському приміщенні з палетами OSB/3 плит, а також визначення залежності температури від часу та відстані до осередку пожежі для подальшого прогнозування її розвитку.

Методи дослідження. У роботі застосовано метод комп'ютерного моделювання з використанням програмного забезпечення Fire Dynamics Simulator (FDS). Проведено чисельне моделювання процесів теплопередачі в складському приміщенні, з урахуванням геометричних параметрів об'єкта та розташування температурних датчиків. Для аналізу отриманих даних використано методи апроксимації та побудови математичних залежностей зміни температури в часі.

Основні результати. Встановлено, що реальний температурний режим пожежі істотно відрізняється від відомих температурних режимів пожежі, зокрема на початкових етапах розвитку. Отримано часові залежності зміни температури поблизу осередку пожежі та запропоновано параметричні залежності для їх опису в різних часових інтервалах. Отримані результати дозволяють більш точно прогнозувати розвиток пожежі в складських приміщеннях.

Висновки. Комп'ютерне моделювання за допомогою FDS дозволяє визначити температурний режим пожежі поблизу осередку пожежі в складському приміщенні. Змодельований температурний режим поблизу осередку пожежі суттєво відрізняється від стандартного температурного режиму пожежі. Фактичні температури значно нижчі на початкових етапах розвитку пожежі.

Температура навколо осередку пожежі залежить від відстані, що дозволяє в подальшому визначити вплив джерела горіння на сусідні палети. Запропоновані математичні залежності (для різних інтервалів часу) дають можливість більш точно описувати динаміку нагрівання матеріалу в умовах пожежі та можуть бути використані для прогнозування поширення пожежі та визначення часу досягнення температур займання (самозаймання) сусідніх матеріалів у складських приміщеннях.

Ключові слова: пожежна безпека, OSB, температурний режим пожежі, комп'ютерне моделювання, складські приміщення.

Yu. O. Terletskyi, O. Yu. Pazen

Lviv State University of Life Safety, Lviv, Ukraine

DYNAMICS OF TEMPERATURE CHANGES NEAR THE FIRE CENTER IN A WAREHOUSE

Problem. Fires in warehouses, in particular at woodworking enterprises, are characterized by complex development dynamics and significant spread intensity. The use of known temperature regimes does not allow for an accurate assessment of the real conditions of heating of materials, which complicates the prediction of fire development and assessment of its danger.

Purpose. The purpose of the work is to study the temperature regime of a fire in a warehouse with pallets of OSB/3 boards, as well as to determine the dependence of temperature on time and distance to the fire center for further prediction of its development.

Research methods. The work uses the method of computer modeling using the Fire Dynamics Simulator (FDS) software. Numerical modeling of heat transfer processes in a warehouse was carried out, taking into account the geometric parameters of the object and the location of temperature sensors. Methods of approximation and construction of mathematical dependences of temperature changes over time were used to analyze the obtained data.

Main results. It was established that the real temperature regime of a fire differs significantly from the known temperature regimes of a fire, in particular at the initial stages of development. The time dependences of the temperature change near the fire source were obtained and parametric dependences were proposed for their description in different time intervals. The obtained results will allow for a more accurate prediction of the development of a fire in warehouses.

Conclusions. Computer modeling using FDS allows for the determination of the temperature regime of a fire near the fire source in a warehouse. The simulated temperature regime near the fire source differs significantly from the standard temperature regime of a fire. Actual temperatures are much lower at the initial stages of fire development.

The temperature around the fire source depends on the distance, which allows for the further determination of the impact of the combustion source on neighboring pallets. The proposed mathematical dependences (for different time intervals) make it possible to more accurately describe the dynamics of material heating under fire conditions and can be used to predict the spread of fire and determine the time of reaching the ignition (spontaneous ignition) temperatures of neighboring materials in warehouses.

Key words: fire safety, OSB, fire temperature regime, computer modeling, warehouses.

Постановка проблеми. Основна вимога щодо забезпечення пожежної безпеки стосується зведення до мінімуму можливості виникнення пожежі під час будівництва, експлуатації та ліквідації будівель і споруд. Чинниками, що негативно впливають на забезпечення пожежної безпеки об'єктів, є теплові, механічні, хімічні, біологічні та електромагнітні впливи. Тепловий вплив складається із випромінювання, конвекції і теплопровідності. Рівень теплового впливу залежно від часу визначається стадією розвитку пожежі, яку можна змоделювати розрахунковим методом або випробуванням [1].

Основним поняттям для якого проводиться моделювання пожежі в приміщенні є «межа вогнестійкості». До 2022 року в Україні дане визначення було обмежене лише стандартним температурним режимом пожежі. З набранням чинності [1], поняття температурного режиму пожежі розширилось до «додаткового», «альтернативного» температурних режимів.

Частково проблема сценарію розвитку пожежі була вирішена з прийняттям ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010, яким передбачалось, що для кожного проектного сценарію пожежі необхідно оцінити температурний режим пожежі у протипожежному відсіку, яким визначено номінальні температурні режими пожеж. Основними номінальними температурними режими пожеж визначено стандартний температурний режим, температурний режим зовнішньої пожежі та вуглеводневий температурний режим [2].

Вищеописані температурні режими пожеж можуть бути застосованими лише для оцінювання вогнестійкості елементів будівельних

конструкцій, однак їх не доцільно використовувати при дослідженні процесів поширення пожежі в різноманітних приміщеннях.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням моделювання температурних режимів пожеж висвітлено в роботах багатьох науковців. У своїй праці [3] автори аналізують зміну температури на різних висотах у приміщенні під час пожежі. Також, використовують математичні залежності для розрахунку тепломасообміну з оточуючим середовищем, що дозволяє точніше прогнозувати небезпеку для людей у житлових та громадських спорудах.

Дослідженні, спрямовані на запобігання пожежам в підземних комерційних приміщеннях чисельно змодельовано за допомогою програмного забезпечення PyroSim в роботі [4]. Сценарії моделювання пожежі розділені відповідно до різних зон пожежі шляхом аналізу температури, концентрації чадного газу (CO) та видимості в шарі диму всередині будівлі.

За допомогою інструментів обчислювальної гідродинаміки (CFD) авторами [5] було розроблено комплексну базу даних, яка в першу чергу зосереджена на основних сценаріях пожежі. Загалом було створено базу даних із 300 сценаріїв пожеж, змодельованих через CFD, і використані для навчання нейронних мереж. ІІІ навчився прогнозувати температуру та видимість у реальному часі з точністю понад 90 %. Використання ІІІ для швидкого прогнозування динаміки пожежі на складі також запропоновано авторами [6] для прогнозування напрямку поширення вогню.

Дослідження [7] присвячене специфіці горіння товарів, розміщених на багатоярусних стелажах. За допомогою програми FDS автори змоделювали вертикальне поширення полум'я та швидкість вивільнення тепла. У роботі встановлено, що за відсутності міжстелажних екранів пожежа досягає покрівлі складу за лічені хвилини. Особлива увага приділена критичному часу для спрацювання автоматичних систем пожежогасіння.

Автори у роботі [8] застосовували FDS-моделювання для виявлення вплив конструктивних параметрів фасадних протипожежних карнизів на ефективність запобігання поширенню пожежі вертикальними будівельними конструкціями у висотних будівлях. Для цього використовувалася комп'ютерна система Pyrosim, яка є оболонкою для програми FDS і використовує чисельні алгоритми розв'язку повної системи диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса для визначення температури та інших небезпечних факторів під час пожежі. За допомогою FDS моделювання побудовано типову модель висотної будівлі, відтворено пожежне навантаження всередині приміщень та обґрунтовано критерії руйнування зовнішніх світлових прорізів (вікон), як невід'ємного чинника поширенню пожежі зовнішніми вертикальними будівельними конструкціями висотних будівель.

Виходячи з аналізу останніх публікацій використання FDS (Fire Dynamics Simulator) для прогнозування динаміки розвитку пожежі є популярним серед науковців.

Мета дослідження. У даній статті розглядається процес розвитку пожежі палети OSB/3 плити та температурні показники на відстані від 20 до 80 см з використанням комп'ютерної програми FDS. Дане дослідження дасть змогу оцінити вплив осередку пожежі на її поширення під час складування та визначити залежність температури від відстані.

Виклад основного матеріалу. Для математичного моделювання температурного режиму поблизу осередку пожежі під час горіння палети OSB/3 плити використано комп'ютерну програму FDS. Для моделювання обрано склад з геометричними розмірами 42 на 120 м та висотою до покрівлі від 6,97 м до 8,97 м (двосхила похила покрівля). Прийнято що одна з палет OSB/3 є осередком пожежі. Схематичне зображення моделі в середовищі FDS наведено на рис. 1

Для визначення температурних показників на відстані 20, від осередку пожежі розташовано чотири датчики температури з різних сторін палети OSB/3 плит (осередку пожежі) відповідно. Висота розташування датчиків становить 3 м (половина висоти складування). Дані комп'ютерного моделювання наведено на рис. 2.

Результати моделювання показують, що реальний температурний режим пожежі відрізнитиметься від стандартизованих. Так, наприклад на 300 с температура навколо палети становитиме в районі від 150 до 200 °С, тоді як стандартний температурний режим даватиме температуру 576 °С. Зведений графік порівняння стандартного температурного режиму пожежі та середньої температури на відстані 20 см від осередку пожежі наведено на рис. 3.

Для апроксимації даних та отримання середньої температури навколо осередку пожежі було використано програмне середовище Microsoft Exel та за показниками температури накладено лінію Тренда. Для середньої температури приймався узагальнений показник чотирьох датчиків температури, які розташовані навколо осередку пожежі на відстані 20 см. Доступні параметри лінії Тренда дають низький коефіцієнт детермінації (найкращий показник коефіцієнта детермінації R^2 для полінома 6 степеня становить 0,4105), тому для відображення зміни середньої температури навколо палети OSB/3 плити прийнято рішення ввести параметричну

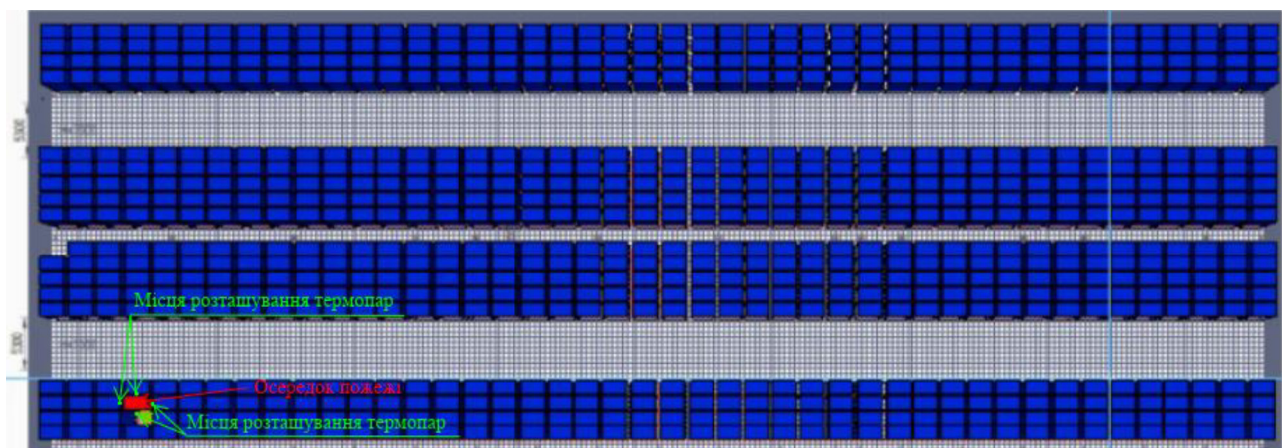
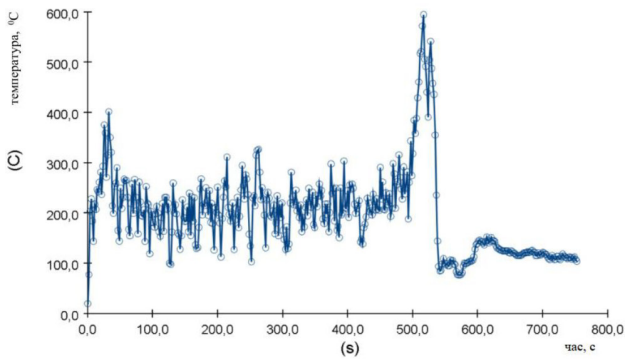
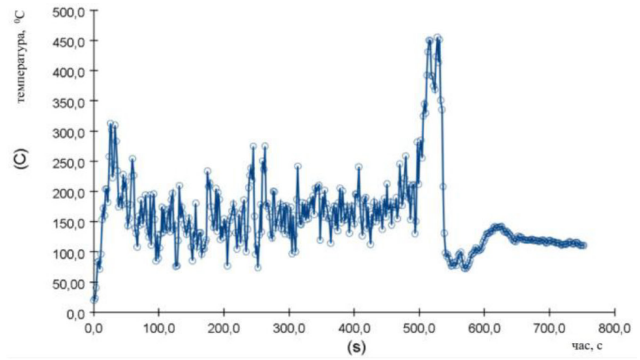


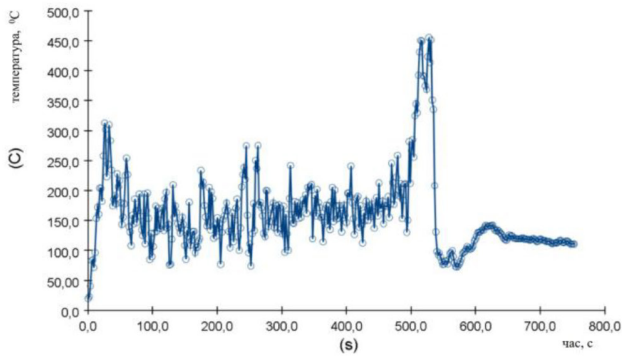
Рис. 1. Схематичне зображення моделі складування OSB/3 плит



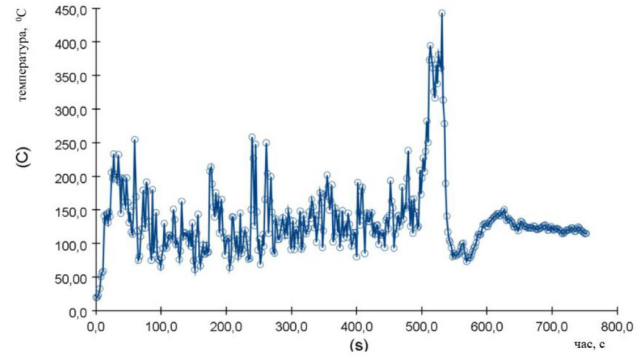
а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Часові залежності зміни температури на відстані 20 см від осередку пожежі: а) датчик розташований внизу відносно осередку пожежі; б) датчик розташований ліворуч відносно осередку пожежі; в) датчик розташований праворуч відносно осередку пожежі; г) датчик розташований вгорі відносно осередку пожежі

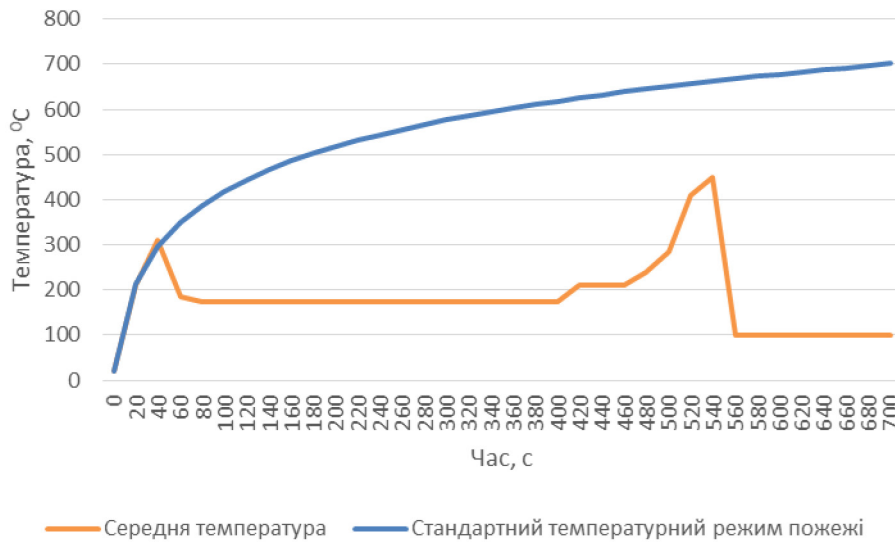


Рис. 3. Співставлення стандартного температурного режиму пожежі та середньої температури навколо палети OSB/3 плити

складову, тобто описати процес зміни температури для окремих проміжків часу.

Для часу до 60 с температура описується рівнянням

$$t = -22,5\tau^3 + 90\tau^2 + 77,5\tau - 125, \quad R^2 = 1 \quad (1)$$

в діапазоні 60–540 с

$$t = 2E-05\tau^6 - 0,001\tau^5 + 0,0225\tau^4 - 0,3012\tau^3 + 2,3945\tau^2 - 10,093\tau + 190,92, \quad R^2 = 0,9757 \quad (2)$$

і для діапазону 540–700 с

$$t = 0,1296\tau^6 - 4,3376\tau^5 + 58,134\tau^4 - 397,25\tau^3 + 1450,4\tau^2 - 2663,1\tau + 2005,6, \quad R^2 = 0,9895. \quad (3)$$

Вищенаведені результати дозволять більш точно прогнозувати нагрівання OSB\3 плит в умовах пожежі, визначати час нагрівання сусідніх палет до температур займання (самозаймання) [9], що в свою чергу дозволить точніше прогнозувати поширення пожежі в приміщеннях складування OSB\3 плит.

Висновок. Комп'ютерне моделювання за допомогою FDS дозволяє визначити температурний режим пожежі поблизу осередка пожежі в складському приміщенні. Змодельований температурний режим поблизу осередку пожежі суттєво відрізняється від стандартного температурного режиму пожежі. Фактичні температури значно нижчі на початкових етапах розвитку пожежі.

Температура навколо осередку пожежі залежить від відстані, що дозволяє в подальшому визначити вплив джерела горіння на сусідні палети. Запропоновані математичні залежності (для різних інтервалів часу) дають можливість більш точно описувати динаміку нагрівання матеріалу в умовах пожежі та можуть бути використані для прогнозування поширення пожежі та визначення часу досягнення температур займання (самозаймання) сусідніх матеріалів у складських приміщеннях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.2-7:2021. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека.. На заміну ДБН В.1.2-7:2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека ; чинний від 01.09.2022. Київ : Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2022. 17 с.

2. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010. Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі ; чинний від 01.07.2013. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2012. 171 с.

3. Гуліда Е. М., Ренкас А. А. Моделювання пожежі в приміщеннях житлових та громадських споруд з урахуванням тепломасообміну з оточуючим середовищем. *Пожежна безпека: теорія і практика*. 2012. № 11. С. 16–24.

4. Numerical Simulation of Fire in Underground Commercial Street / Yao X. et al. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2022. Vol. 2022. Art. 4699471. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/4699471>

5. Data-Driven Prediction Methods for Real-Time Indoor Fire Scenario Reconstruction / J. Kim et al. *Fire*. 2023. Vol. 6, iss. 10. Art. 401. DOI: <https://doi.org/10.3390/fire6100401>

6. Deep Learning-based Fire Evolution Prediction in Logistics Warehouses / Wu X. et al. *Advanced Engineering Informatics*. 2022. Vol. 53. Art. 101669. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.109897>

7. Wang J., Wang H., Zhou X. Numerical Simulation of Fire Development and Sprinkler Response in High-Rack Storage. *Fire*. 2022. Vol. 5, iss. 4. Art. 112. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.11-1170

8. Яковчук Р. С., Балло Я. В., Кузик А. Д., Кігітін О. І., Ковальчук В. М. FDS моделювання ефективності протипожежних карнизів на запобігання поширенню пожежі фасадними конструкціями висотних будівель. *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*, 2021. № 23, С. 39–45. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.23.2021.06>

9. Терлецький Ю. О., Пазен О. Ю., Тацій Р. М., Лин А. С. Дослідження впливу параметрів пожежі на нагрівання орієнтовано-стружкових плит. *Збірник наукових праць Пожежна безпека*. 2025. № 46. С. 126–131. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.13>

REFERENCES

1. DBN V.1.2-7:2021. (2022). *Osnovni vymohy do budivel i sporud. Pozhezhna bezpeka* [Basic requirements for buildings and structures. Fire safety]. Kyiv : Ukrarkhbuildinform. [in Ukrainian].

2. DSTU-N B EN 1991-1-2:2010. (2012). *Yevrokod 1. Dii na konstruktzii. Chastyna 1–2. Zahalni dii. Dii na konstruktzii pid chas pozhezhi* [Eurocode 1: Actions on structures. Part 1–2. General actions. Actions on structures exposed to fire]. Kyiv: Ministry for Regional Development and Construction of Ukraine. [in Ukrainian].

3. Hulida, E. M., & Renkas, A. A. (2012). Modeliuvannia pozhezhi v prymyshchenniakh zhytlovykh ta hromadskykh sporud z urakhuvanniam teplomasoobminu z otouchuiuchym seredovyshchem [Fire modeling in residential and public buildings considering heat and mass exchange]. *Pozhezhna bezpeka: teoriia i praktyka*, (11), 16–24. [in Ukrainian].

4. Yao, X., et al. (2022). Numerical simulation of fire in underground commercial street. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, 4699471. <https://doi.org/10.1155/2022/4699471>

5. Kim, J., et al. (2023). Data-driven prediction methods for real-time indoor fire scenario reconstruction. *Fire*, 6(10), 401. <https://doi.org/10.3390/fire6100401>

6. Wu, X., et al. (2022). Deep learning-based fire evolution prediction in logistics warehouses. *Advanced Engineering Informatics*, 53, 101669. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.109897>
7. Wang, J., Wang, H., & Zhou, X. (2022). Numerical simulation of fire development and sprinkler response in high-rack storage. *Fire*, 5(4), 112. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.11-1170>
8. Yakovchuk, R. S., Ballo, Ya. V., Kuzyk, A. D., Kyhityn, O. I., & Kovalchuk, V. M. (2021). FDS modeling of fire-prevention cornices efficiency for preventing fire spread along facade structures of high-rise buildings. *Visnyk Lvivskoho derzhavnoho universytetu bezpeky zhyttiediialnosti*, (23), 39–45. <https://doi.org/10.32447/20784643.23.2021.06>
9. Terletsyky, Yu. O., Pazen, O. Yu., Tatsii, R. M., & Lyn, A. S. (2025). Investigation of fire parameters influence on heating of oriented strand boards. *Pozhezhna bezpeka*, (46), 126–131. <https://doi.org/10.32447/20786662.46.2025.13>

© Ю. О. Терлецький, О. Ю. Пазен

Науково-методична стаття

Дата першого надходження статті до видання: 15.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 27.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026