

УДК 614.842

ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДИФУЗІЇ ТА МАСОПЕРЕНОСУ ВОЛОГИ ДЕРЕВО ПОЛІМЕРНИМ МАТЕРІАЛОМ**SETTING THE DIFFUSION PARAMETERS AND MASSTRANSFER OF MOISTURE TO WOOD BY POLYMERIC MATERIAL**

Цапко Ю.В., д.т.н., проф., ORCID: 0000-0003-0625-0783, **Цапко О.Ю., PhD,** доцент, ORCID: 0000-0003-2298-068x, **Бердник О.Ю., к.т.н., доцент,** ORCID:0000-0001-5321-3518, (Київський національний університет будівництва і архітектури); **Касянчук І.О., аспірант,** ORCID: 0009-0004-3741-2903 (Національний університет біоресурсів і природокористування України)

Tsapko Yu.V., Doctor of Technical Sciences, professor, ORCID: 0000-0003-0625-0783, **Tsapko O.Yu., PhD, associate professor,** ORCID: 0000-0003-2298-068X, **Berdnyk O.Yu., associate professor,** ORCID: 0000-0001-5321-3518, (Kyiv National University of Construction and Architecture), **Kasianchuk I.O., graduate student** (National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine)

В роботі було досліджено стійкість дерево полімерних композитів до поглинання води виготовлених з тирси деревини сформованих на основі крохмалю, клею ПВА та сполімеризованої сумішами поліефірних та епоксидних смол. Запропонований метод виведення коефіцієнта дифузії, що заснований на аналітичному вирішенні диференціального рівняння масообміну, який дозволяє при незначній складності ніж числові знаходити концентраційні потоки на межі гідрофобізувальної оболонки за коефіцієнтами вихідного рівняння і умовами однозначності. Доведено, що основним регулятором стійкості до вологопоглинання є природа в'язучих речовин та щільність і пористість матеріалу. В результаті випробувань встановлено, що застосування в'язучого на основі клею ПВА зменшує процес дифузії вологи до виробу понад 100 разів, а для виробів на основі епоксиолімерної смоли понад 800 разів. Отже, дерево полімерний матеріал, який було сформовано на основі синтетичних смол, не здатний до вологопоглинання та витримує температурно вологісні коливання.

The operational reliability and durability of a wood-polymer product depends mainly on the quality and reactivity of the polymer agent, as well as on the class of operating conditions of the object where these materials are used. Over time, the durability of operation may decrease, because the processes of water absorption by wood occur, which leads to swelling and hollowing of the wood-polymer product, and over time its destruction. Therefore, the establishment of the diffusion and mass transfer of water in a wood-polymer material is relevant for establishing the scope of application of such products, which necessitated the need for research in this direction. The paper investigated the resistance of wood-polymer composites to water absorption made from wood sawdust formed on the basis of starch, PVA glue and polymerized with mixtures of polyester and epoxy resins. A method for deriving the diffusion coefficient is proposed, which is based on the analytical solution of the differential equation of mass transfer, which allows, with a slight complexity than numerical ones, to find concentration flows at the boundary of the hydrophobic shell from the coefficients of the original equation and the conditions of uniqueness. It is proved that the main regulator of resistance to moisture absorption is the nature of the binders and the density and porosity of the material. As a result of the tests, it was found that the use of a binder based on PVA glue reduces the process of moisture diffusion to the product by more than 100 times, and for products based on epoxy polymer resin by more than 800 times. Therefore, the wood-polymer material, which was formed on the basis of synthetic resins, is not capable of absorbing moisture and withstands temperature and humidity fluctuations.

Ключові слова: природні будівельні матеріали, дерево полімерні вироби, теплоізоляційні вироби, вологостійкість, експлуатаційні властивості natural building materials, wood polymer products, thermal insulation products, moisture resistance, performance properties.

Вступ. Експлуатаційна надійність і довговічність дерево-полімерного виробу залежить, головним чином, від якості та реакційної здатності полімерного засобу, а також від класу умов експлуатації об'єкта, де застосовуються ці матеріали. З часом довговічність експлуатації може зменшуватися, тому що відбуваються процеси водопоглинання деревиною, що призводить до набрякання та пошкодження дерева полімерного виробу, а з часом його руйнування.

Тому встановлення дифузії та масопереносу води у дерево полімерному матеріалі є актуальним для встановлення сфери застосування таких виробів, що і обумовило необхідність проведення досліджень у даному напрямку.

Огляд останніх досліджень та публікацій. У статті [1] повідомляється про простий метод побудови органічно- неорганічної гіперрозгалуженої структури в деревині тополі (WSi-Al-EP). Міцність на вигин і стиск WSi-Al-EP досягла 103,50 МПа і 80,41 МПа відповідно. Цей композитний деревний

матеріал продемонстрував високу міцність і стабільність, а також усунув недоліки традиційних неорганічних модифікованих матеріалів, такі як нестабільність розмірів і втрата модифікаторів. В роботі [2] відмічено, що деревно-мінеральні композиційні матеріали є перспективними конструкційними матеріалами, які дозволяють будувати огорожувальні конструкції з високими теплоізоляційними та екологічними показниками, вирішують проблему утилізації неякісної деревної сировини. Встановлено значний вплив факторів на загальні показники втрат теплопередачі та, відповідно, на експлуатаційні витрати. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні та експлуатації будівельних конструкцій з деревно-цементних композитів.

Про те дослідження, яке наведено у [3], зосереджено на розробці, з використанням рослинних волокон Alfa, деревних відходів та рівної суміші обох (50% Alfa, 50% деревини) з полівінілацетатом (PVAc), не забруднюючою полімерною матрицею, як сполучною речовиною, який показав що розроблені біокомпозити пропонують конкурентоспроможні теплові характеристики, водночас будучи більш екологічно стійкими. У роботі [4] розглядається останній прогрес у галузі термічних, реологічних та механічних властивостей, а також поведінки поліетилен/деревинних композитів при деградації, що можуть бути ефективним методом покращення характеристик поліетиленових матеріалів для промислового застосування.

У рамках досліджень [5] розглянуто роботи, присвячені альфа-волокнам, які вважаються одними з найбільш доступних волокон у Середземномор'ї. Було встановлено, що альфа-волокно може бути потенційним арматурою полімерних матриць у країнах Північної Африки. У роботі [6] розроблено нові звукоізоляційні біокомпозитні матеріали з використанням оброблених альфа-волокон та деревних тирсових волокон як армуючих матеріалів, а також полівінілацетату як сполучного агента. Визначено значення коефіцієнта звукопоглинання, що відповідає композитам на основі деревних волокон ялини та бука, що становить 0,98 у діапазоні частот 2048...2288 Гц та 0,98 у діапазоні частот відповідно. Результати чітко показують, що використання біокомпозитів на основі альфа-волокон та деревних волокон для звукопоглинання є розумним вибором і може бути використано як альтернатива традиційним матеріалам на основі синтетичних волокон, що використовуються для звукопоглинальних панелей.

У роботі [7] наведено дослідження нових матеріалів з покращеними звукопоглинальними та теплоізоляційними властивостями, використовуючи жорсткий або гнучкий поліуретановий пінопласт (RPUF)/, армований переробленою ялицевою тирсою з деревообробки. Отримані композитні матеріали, що містять 50% тирси, мають кращі акустичні властивості порівняно з матеріалами зі 100% FPUF у діапазоні 420–1250 Гц. Результати показують, що використання композитів на основі FS з матрицею FPUF/RPUF для звукопоглинання та теплоізоляції є бажаним вибором і може бути

застосоване як альтернатива традиційним матеріалам на основі синтетичного волокна, а також як метод переробки деревних відходів.

Дослідження, яке наведено у [8], було визначення акустичних та теплотехнічних властивостей деревно-стружкових плит, виготовлених з відходів обрізки шовковиці з використанням сечовиноформальдегідної смоли (UF) як сполучного речовини. Середні значення теплопровідності деревно-стружкових плит (0,065...0,068 Вт/мК) були нижчими, ніж у деревини, та подібними до значень коркових панелей. У всіх випадках результати дозволили нам зробити висновок, що вони є кращими звукопоглиначами, ніж комерційні дерев'яні та фанерні панелі.

Мета і задачі досліджень. Метою даної роботи була ефективність виготовлення дерево полімерних матеріалів від впливу вологи на основі синтетичних смол.

Для досягнення мети вирішувались наступні задачі:

- провести моделювання процесу вологопоглинання дерево полімерним композитом;
- встановити зміни процесу дифузії та масопереносу при вологопоглинанні з дерево полімерним композитом.

Матеріали і методи досліджень. Для дослідження стійкості дерево полімерних композитів з тирси деревини використовували деревні відходи лісопильного виробництва з соснових порід, на яких формували зразки, зокрема, на водорозчинних полімерних речовинах шляхом їх змішування з тирсою у різних пропорціях (табл. 1), а також на сухих сумішах поліефірних і епоксидних смол шляхом їх змішування з тирсою у пропорції 1:2.

З отриманої сумішей формували напівциліндри розмірами 120x40x24 мм та які на водній основі сушили у сухоповітряному середовищі, а на основі сухих сумішах смол спікали за температури 200 °С протягом 20 хв. та розрізали на сегменти (рис. 1).

На отриманих зразках дерево полімерного композиту визначали характеристики вологопоглинання.

Визначення кількості води, що була поглинута деревиною, проводили за робочою методикою. Суть методики полягала в експериментальному визначенні кількості води, що пройшла через покриття з гідрофобізатора при експозиції зразка у воді.

Таблиця 1

Компоненти при формуванні зразків дерево полімерних композитів на водорозчинних полімерних речовинах

Тирса + клей ПВА D4+вода, г		
Стружка	Клей	Вода
60,23	107,73	100
60,38	120,95	100
60,72	134,74	100

Тирса + клей ПВА D3+вода, г		
Стружка	Клей	Вода
Продовження табл. 1		
60,2	100,8	200
60,3	102,53	200
60,4	107,9	200
Тирса + крохмаль + вода, г		
Стружка	Крохмаль	Вода
60,57	144,3	240



Рис. 1. Зразки виробів дерево полімерних композитів для досліджень

Зразок поміщали в спеціальній кюветі за умови, щоб він був повністю занурений у воді. Через певний проміжок часу зразок зважували на вагах та визначали кількість поглинутої води [9].

Для моделювання процесу масо переносу через шар гідрофобізатора при дії води на зразок деревини використовували основні положення математичної фізики [10].

Результати досліджень. Механізм роботи захисного покриття для деревини у період експлуатації є таким: при зволоженні деревини вода поступово за рахунок дифузії потрапляє до деревини. Наявність полімерної оболонки покриття на поверхні зразка уповільнює процес водопоглинання.

Покладемо, що речовина 1 (вода) рівномірно розподілено по області $-\infty < x < +\infty$ (початкова концентрація А). З моменту часу $t > 0$ речовина 1 дифундує в область $0 < x < \infty$ і реагує з речовиною 2 (деревина з початковою концентрацією В), що не проникає через межу розділу. В якості межі маємо полімерну оболонку. Потрібно знайти масовий потік речовини 1 через межу області при $t > \infty$.

Диференціальне рівняння дифузії, що описує процес водопоглинання, має такий вигляд:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} - D \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right) C = 0, \quad (1)$$

де C – концентрація речовини, %;

D – коефіцієнт дифузії вологи, $\text{м}^2/\text{с}$;

t – час перебування зразка у вологому середовищі, с.

Начальні і граничні умови:

$$\begin{aligned} C_1|_{x \rightarrow -\infty} = A, \quad C_1|_{x=\infty} = 0, \quad C_1|_{t=0, x < 0} = A, \quad C_1|_{t=0, x > 0} = 0, \\ C_2|_{x=\infty} = B, \quad \frac{\partial C_2}{\partial x}|_{x=0} = 0, \quad C_2|_{t=0, x > 0} = B, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\varphi C_1|_{x=0} = C_1|_{x=0}, \quad D^* \frac{\partial C_1}{\partial x}|_{x=0} = D \frac{\partial C_1}{\partial x}|_{x=0},$$

де C_1, C_2 – концентрація вологи у зовнішнім середовищі та усередині зразка;

φ – коефіцієнт розподілення.

Вирішення рівняння (1) проводимо шляхом перетворення умови $x = -\infty$ нульовою, при цьому вводимо параметр вологи $A-C_1$ і отримуємо залежність:

$$\frac{\partial^{1/2}}{\partial t^{1/2}} (A - C_1) - \sqrt{D^*} \frac{\partial}{\partial x} (A - C_1) = 0. \quad (3)$$

виключаємо похідну на межі дерево полімерного матеріалу, враховуючи граничні умови (2) та записуємо рівняння (3), що справедливе при часу $t > 0$, у виді:

$$C_2|_{x=0} = \left(\frac{\sqrt{D^* / D}}{\varphi} + 1 \right) C_1|_{x=0} + B - A \cdot \sqrt{D^* / D}, \quad (4)$$

Оскільки значення $C_2|_{x=0}$ при $t \rightarrow \infty$ прямує до сталої величини, а саме при великих значеннях t потік вологи на межі стає малим, концентрація речовини 2 за $x=0$ встановлюється до початкової величини B , а (4) для $t \rightarrow \infty$ перетворюється у значення:

$$C_1|_{x=0} = \frac{\sqrt{D^*}}{\varphi^{-1} \cdot \sqrt{D^*} + \sqrt{D}} A = \text{const}. \quad (5)$$

Тоді потік вологи (речовина 1) крізь межу розподілу знаходимо, використовуючи рівняння (5) і (3), у виді:

$$-D^* \cdot C_1|_{x=0} = \sqrt{D^*} \frac{\partial^{1/2}}{\partial t^{1/2}} (A - C_1) = \sqrt{D^*} \left[\frac{A}{\sqrt{\pi \cdot t}} - \frac{\partial^{1/2}}{\partial t^{1/2}} \left(\frac{\varphi^{-1} \cdot \sqrt{D^*}}{\varphi^{-1} \cdot \sqrt{D^*} + \sqrt{D}} \cdot A + f(t) \right) \right]. \quad (6)$$

При цьому, функція $f(t) \rightarrow 0$ постає спадною і для великих значень вимірювань потік вологи можна виразити наступною залежністю [17]:

$$-D^* \cdot C_1 \Big|_{x=0} = \frac{\sqrt{D^* \cdot D}}{\varphi^{-1} \cdot \sqrt{D^*} + \sqrt{D}} \cdot \frac{A}{\sqrt{\pi \cdot t}}, \text{ при } t \rightarrow \infty \quad (7)$$

Звідки випливає, що при великих значеннях часу швидкість масообміну визначається тільки дифузією, коли хімічна реакція на поверхні відсутня і задовільно описується рівнянням:

$$-D^* \cdot C_1 \Big|_{x=0} = \sqrt{\frac{D^*}{\pi \cdot t}} \cdot A \quad (8)$$

Отримане рівняння дозволяє розрахувати інтенсивність масо переносу у деревині за експериментальними значеннями коефіцієнта дифузії і часу експозиції зразка деревини.

Виходячи з того, що рівняння масо обмінного процесу через полімерну оболонку залежить від її товщини і описується наступним чином:

$$\frac{S \cdot D(C_o - C_1)}{\delta} = V_1 \frac{dC_1}{d\tau}, \quad (9)$$

де τ – час експозиції, с;

V_1 – об'єм зовнішнього середовища, м³;

C_o, C_1 – концентрація вологи усередині зразка і в зовнішньому середовищі відповідно.

Із залежності матеріального балансу знаходимо значення C_o і C_1 :

$$V_o C_o + V_1 C_1 = m, \quad (10)$$

де V_o – об'єм дерева полімерного матеріалу,

m – маса вологи в зразку перед початком експозиції.

З рівняння (10) розраховуємо значення:

$$C_o = C_0^* - \gamma C_1, \quad (11)$$

де $C_0^* = \frac{m}{V_o}$ – початкова концентрація вологи у зразку;

$\gamma = \frac{V_1}{V_o}$ – відношення об'ємів зовнішнього середовища та зразка.

Підставляючи (11) у (9) отримуємо залежність для розрахунку C_1 :

$$\frac{dC_1}{d\tau} = \frac{S \cdot D}{\delta \cdot V_1} (C_0^* - (1 + \gamma) C_1) \quad (12)$$

Інтегруючи залежність (12) за умови $C_1 \Big|_{\tau=0} = 0$ отримуємо наступний вираз:

$$\ln\left(\frac{C_0^* - (1 + \gamma)C_1}{C_0^*}\right) = -\frac{D \cdot (1 + \gamma)}{\delta^2 \cdot \gamma} \tau \quad (13)$$

З залежності (13) витікає, що концентрація вологи у зразку дерево полімерного матеріалу змінюється при значенні $\gamma \gg 1$ за залежністю:

$$C_1 = \frac{C_0^*}{\gamma} \left(1 - e^{-\frac{D}{\delta^2} \tau}\right). \quad (14)$$

Математичні перетворення залежності (13) уможливають отримати рівняння:

$$\ln\left(\frac{C_0^*}{C_0^* - \gamma C_1}\right) = \frac{D}{\delta^2} \tau \quad (15)$$

Результати аналітичних досліджень процесу вологопоглинання.

Товщина полімерної оболонки відповідала значенню близько 10...11 мкм вологість в ексикаторі становила 100 %, а відношення об'ємів зовнішнього середовища до зразка приймали 5:1. В табл.1 приведено приріст маси зразків при їх експозиції у вологому середовищі.

Таблиця 1

Результати визначення приросту маси зразків при вологопоглинанні дерево полімерним матеріалом (ДПМ)

Зв'язуюча речовина ДПМ	Зміна маси зразків під час витримання у вологому середовищі, г								
	Час витримки в ексикаторі, діб								
	0	1	2	3	6	9	10	20	30
Крохмаль	42,01	49,78	50,15	50,72	51,18	51,86	52,52	53,07	54,13
Клей ПВА	37,93	42,30	42,47	42,69	42,86	43,11	43,60	43,98	44,22
Поліефірна смола	41,96	42,15	42,99	43,21	43,36	43,64	44,13	44,49	44,78
Епоксиполімерна смола	35,98	36,25	36,98	37,49	37,63	38,73	39,44	39,47	39,98

На рис. 2 наведена залежність:

$$A = \ln\left(\frac{C_0^*}{C_0^* - \gamma C_1}\right) \quad (16)$$

від часу експозиції τ для зразка дерево полімерного матеріалу.

Тангенс кута нахилу цієї прямої дає залежність для розрахунку коефіцієнта дифузії:

$$(tg \alpha) = \frac{D}{\delta^2} \quad (17)$$

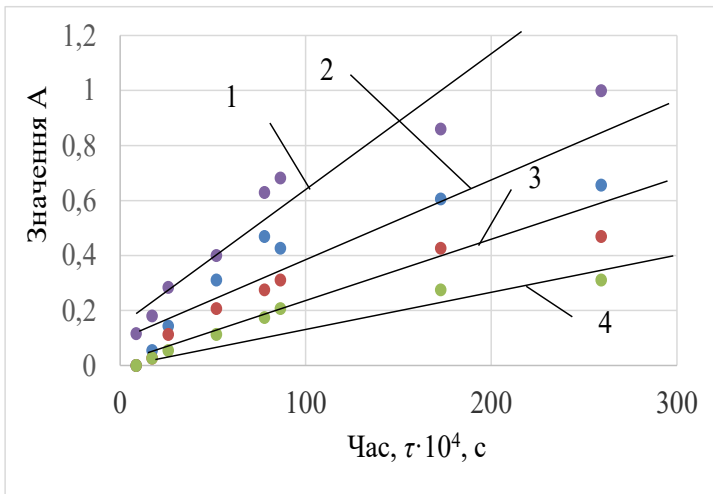


Рис. 2. Динаміка зміни частки вологи в деревно полімерному матеріалі залежно від зв'язуючої речовини: 1 – крохмаль, 2 – клей ПВА, 3 – поліефірна смола, 4 – епоксіполімерна смола

У табл. 3 наведено коефіцієнти дифузії вологи дерево полімерних матеріалів.

Розраховано коефіцієнт інтенсивності масопереносу вологи через полімерну плівку до деревини за залежністю:

$$\beta = \frac{D}{\delta}, \tag{18}$$

де δ – товщина полімерної плівки на деревині, м.

Таблиця 3

Значення коефіцієнта дифузії при вологопоглинанні дерево полімерним виробом

Показник	Зв'язуюча речовина деревополімерного матеріалу			
	крохмаль	клей ПВА	поліефірна смола	епоксіполімерна смола
Коефіцієнт дифузії вологи, $10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$	0,744	0,0062	0,0012	0,0009
Коефіцієнт інтенсивності масопереносу вологи, $10^{-3} \text{ м}/\text{с}$	0,676364	0,005636	0,001091	0,000818

Таким чином, отримані математичні співвідношення що дають можливість здійснювати розрахунки коефіцієнта дифузії вологи у дерево полімерного матеріалу за наявності полімерної оболонки покриття деревини. Встановлено, що застосування в'язучого на основі клею ПВА зменшує процес дифузії вологи до виробу понад 100 разів, а для виробів на основі епоксіполімерної смоли понад 800 разів.

Висновки. За результати визначення приросту маси зразків при вологопоглиннанні дерево полімерним матеріалом встановлено інтенсивний приріст для зразка сформованого на крохмалі, що відповідає значенню поглинання у 22,4% про те для зразка на основі ПВА інтенсивність зменшується до 14,2%, а для зразка сформованого на поліефірній смоли становить 6,3% та зразка на основі епоксіполімерної смоли – 10%. Таким чином, встановлено, що застосування в'язучого на основі клею ПВА зменшує процес дифузії вологи до виробу понад 100 разів, а для виробів на основі епоксіполімерної смоли понад 800 разів. Отже, дерево полімерний матеріал, який було сформовано на основі синтетичних смол, не здатний до вологопоглинання та витримує температурно вологісні коливання.

1. Sun Z., Zuo Y., Li P., Li X., Lyu J. Hyperbranched organic-inorganic co-modification improves the strength, dimensional stability, and thermal stability of poplar wood, *Industrial Crops and Products*. 2023. Vol. 191. 115923.

2. Dolmatov S.N., Kolesnikov P.G., Tihonov E.A., Ivanov A.A., Orekhovskaya A.A. Factors that Determine the Thermal Insulation Performance of Enclosing Structures Made of Wood-Mineral Composites, *AIP Conference Proceedings*. 2022. Vol. 2767. 020007.

3. Cherradi Y., Ennaya O., Alouan Y., Cherif S., El Qarnia H., Sadouri R., Benyoucef M. Sustainable Thermal Insulation Composites Based on Alfa Plant Fibers and Wood Waste, *Eng. Proc.* 2025. Vol. 112, 27. <https://doi.org/10.3390/engproc2025112027>.

4. Kaseem M., Hamad K., Deri F. et al. Material properties of polyethylene/wood composites: A review of recent works, *Polym. Sci. Ser. A*. 2015. Vol. 57. P. 689-703. <https://doi.org/10.1134/S0965545X15070068>.

5. El-Abbassi F.E., Assarar M., Ayad R., Bourmaud A., Baley C. A review on alfa fibre (*Stipatenacissima L.*): From the plant architecture to the reinforcement of polymer composites, *Compos. Part A. Appl. Sci. Manuf.* 2020. Vol. 128. 105677.

6. Cherradi Y., Rosca I.C., Cerbu C., Kebir H., Guendouz A., Benyoucef M. Acoustic properties for composite materials based on alfa and wood fibres, *Appl. Acoust.* 2021. Vol. 174. 107759.

7. Tiuc A.-E., Borlea S.I., Nemeş O., Vermeşan H., Vasile O., Popa F., Pintoi R. New Composite Materials Made from Rigid/Flexible Polyurethane Foams with Fir Sawdust: Acoustic and Thermal Behavior, *Polymers*. 2022. Vol. 14. 3643. <https://doi.org/10.3390/polym14173643>.

8. Ferrandez-Villena M., Ferrandez-Garcia A., Garcia-Ortuño T., Ferrandez-Garcia M.T. Acoustic and Thermal Properties of Particleboards Made from Mulberry Wood (*Morus alba L.*) Pruning Residues, *Agronomy*. 2022. Vol. 12. 1803. <https://doi.org/10.3390/agronomy12081803>.

9. Tsapko Y., Likhnyovskiy R., Horbachova O., Mazurchuk S., Tsapko A., Sokolenko K., Matviichuk A., Sukhanevych M. Identifying parameters for wood protection against water

absorption, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. Vol. 6 (10 (120)). P. 71-81. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.268286>.

10. Janna W.S. Engineering Heat Transfer. Boca Raton. Florida: CRC Press. 2010. Vol. 692 p. <https://www.routledge.com/Engineering-Heat-Transfer/Janna/p/book/9781420072020>.

Відомості про статтю:		Article information	
Отримано	10.03.2026	Received	10.03.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді	24.03.2026	Received in revised form	24.03.2026
Прийнято	15.04.2026	Accepted	15.04.2026
Опубліковано	31.05.2026	Published	31.05.2026

Політика відкритого доступу

Політика відкритого доступу збірника передбачає безкоштовний та безперешкодний доступ до наукових матеріалів. Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Open access policy

The open access policy of the collection provides free and unhindered access to scientific materials. All data is available in digital or graphical form in the main text of the article.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the current study, including financial, personal, authorial or any other that could be included in the study, as well as the results presented in this document.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

Use of Artificial Intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies in the creation of the current work.