

УДК 699.86:536.2:620.193.95

doi:10.20998/2413-4295.2026.02.08

## ДЕГРАДАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Г. І. КАНЮК<sup>1\*</sup>, О. М. ЕПІК<sup>1</sup>

<sup>1</sup> кафедра автоматизації, метрології та енергоефективних технологій, Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, УКРАЇНА

\*e-mail: mezzzer@ukr.net

**АНОТАЦІЯ** У роботі розглянуто деградацію показників якості теплоізоляційних матеріалів при тривалій дії теплових навантажень. Предметом аналізу є зміна теплопровідності, термічного опору, водопоглинання, міцності при стиску, стабільності геометричних розмірів та експлуатаційної придатності матеріалів у режимах підвищеної температури й тривалої експлуатації. Показано, що сам по собі тепловий вплив рідко діє ізольовано: у реальній огорожувальній конструкції він поєднується з дифузією вологи, циклічними коливаннями температури, старінням зв'язувальних компонентів, релаксацією пористої структури та локальними теплопровідними включеннями. Через це деградація має не лише матеріалознавчий, а й конструктивно-експлуатаційний характер. Для пінополімерних матеріалів одним із визначальних механізмів є зміна газового складу в порах і термоокиснювальне старіння полімерної матриці; для мінераловатних виробів – ущільнення волокнистої структури, втрата частини гідрофобних властивостей, зволоження та зміна ефективної теплопровідності; для фасадних систем із штукатурним шаром – накопичення пошкоджень у контактних шарів і зростання чутливості до вологісно-теплових циклів. Доведено, що оцінювати деградацію лише за початковим значенням коефіцієнта теплопровідності недостатньо. Для довготривалої оцінки потрібні або натурні спостереження, або прискорені випробування, які відтворюють теплове старіння, зволоження, кліматичну циклічність і зміну структури матеріалу. Розглянуто такі методи, як застосування теплового старіння, метод зрізування для піноматеріалів, прискорені погодні випробування та кінетичні моделі типу Арреніуса. Встановлено, що на практиці більшу увагу приділено динаміці теплопровідності в огорожувальних конструкціях, впливу вологості, експлуатаційній придатності фасадних систем і оцінюванню довговічності теплоізоляційних шарів. Запропоновано систему показників деградації для властивостей, що знижуються в часі, та окремо для коефіцієнта теплопровідності, який при старінні, як правило, зростає. Для інженерного прогнозування використано узагальнену температурно-часову модель деградації, у якій швидкість процесу залежить від температури за експоненціальним законом. На цій основі побудовано схематичні графіки залежності показника деградації від температури використання та тривалості експлуатації. Проведено порівняння методів зниження деградації: оптимізації сировинного складу, гідрофобізації, захисних покриттів, двошарових рішень, обмеження теплопровідних включень, керування вологісним режимом і моніторингу стану. Найперспективнішим визначено метод комплексного обмеження зволоження матеріалу та вузла в цілому, оскільки саме волога найчастіше переводить теплове старіння з повільного режиму в прискорений.

**Ключові слова:** теплоізоляційні матеріали; показники якості; теплопровідність; теплове старіння; деградація; довговічність

## DEGRADATION OF QUALITY INDICATORS OF THERMAL INSULATION MATERIALS UNDER THERMAL LOADS

G. KANJUK<sup>1\*</sup>, O. YEPK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Automation, Metrology, and Energy-Efficient Technologies; V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, 61022, UKRAINE.

\*e-mail: mezzzer@ukr.net

**ABSTRACT** The article examines the degradation of quality indicators of thermal insulation materials under prolonged thermal loads. The analysis focuses on changes in thermal conductivity, thermal resistance, water absorption, compressive strength, dimensional stability, and serviceability of materials operating under elevated temperatures and long-term use. It is shown that thermal exposure by itself rarely acts in isolation: in a real building envelope, it is combined with moisture diffusion, cyclic temperature fluctuations, aging of binder components, relaxation of the porous structure, and local thermal bridges. For this reason, degradation has not only a materials-science dimension but also a structural and operational one. For foamed polymer materials, one of the governing mechanisms is the change in gas composition within the pores and the thermo-oxidative aging of the polymer matrix; for mineral wool products, it is the densification of the fibrous structure, partial loss of hydrophobic properties, moisture accumulation, and changes in effective thermal conductivity; for facade systems with a plaster layer, it is the accumulation of damage at layer interfaces and increased sensitivity to hygrothermal cycles. It is demonstrated that assessing degradation solely on the basis of the initial value of the thermal conductivity coefficient is insufficient. Long-term evaluation requires either field observations or accelerated tests that reproduce thermal aging, moisture exposure, climatic cyclic loading, and changes in material structure. The following methods are considered: thermal aging, the slicing method for foam materials, accelerated weathering tests, and Arrhenius-type kinetic models. It has been established that, in practice, greater attention is paid to the dynamics of thermal conductivity in building envelope structures, the influence of moisture, the serviceability of facade systems, and the assessment of the

*durability of thermal insulation layers. A system of degradation indicators is proposed for properties that decrease over time, as well as a separate indicator for the thermal conductivity coefficient, which generally increases during aging. For engineering prediction, a generalized temperature-time degradation model is used, in which the process rate depends on temperature according to an exponential law. On this basis, schematic graphs were constructed to show the dependence of the degradation indicator on service temperature and duration of operation. A comparison was made between methods for reducing degradation, including optimization of raw material composition, hydrophobization, protective coatings, two-layer solutions, limitation of thermal bridges, moisture regime control, and condition monitoring. The most promising approach was identified as the integrated limitation of moisture accumulation in both the material and the assembly as a whole, since moisture is the factor that most often shifts thermal aging from a slow mode to an accelerated one.*

**Keywords:** thermal insulation materials; quality indicators; thermal conductivity; thermal aging; degradation; durability

## Вступ

Для теплоізоляційного матеріалу початково низька теплопровідність ще не означає стабільного результату при експлуатації. У процесі експлуатації змінюються температура матеріалу, його вологісний стан, мікроструктура пор, контакт шарів і стан поверхневого захисту. Усе це впливає на фактичний термічний опір огороження. Якщо деградація не врахована на етапі проектування або вибору матеріалу, розрахункові теплотехнічні показники виявляються завищеними, а енергоспоживання, ризик конденсації та локальних пошкоджень – недооціненими. Для фасадних систем проблема ускладнюється дією температурних циклів, зволоженням, штукатурним шаром і вузлами кріплення; для пінополімерів – старінням газонаповненої пористої структури; для волокнистих утеплювачів – зміною ефективної структури при нагріванні та зволоженні [1, 4, 6, 9, 10].

Практичне значення задачі визначається тим, що нормативні вимоги до теплоізоляції будівель спираються на показники, які мають зберігатися не лише в момент введення конструкції в експлуатацію, а й впродовж розрахункового строку служби. Тому наукове завдання полягає не в разовому вимірюванні властивостей, а в побудові придатної моделі деградації, яка поєднує температуру, час та експлуатаційні чинники.

У наукових публікаціях простежується перехід від опису окремих теплотехнічних параметрів до аналізу їх зміни в часі. У роботі А. Данішевського наведено експоненційну інтерпретацію деградації теплопровідності фасадних теплоізоляційних матеріалів та показано, що для ряду поширених утеплювачів приріст  $\lambda$  у тривалому періоді може бути істотним [1]. Близький за логікою підхід подано в дослідженні динаміки теплопровідності пінополіуретанової ізоляції в складі огорожувальної конструкції, де зміна теплотехнічних характеристик розглянута не ізольовано, а через загальний опір теплопередачі системи [2]. В наукових працях також приділено велику увагу до ролі вологості: А. Лялюк досліджує вплив вологовмісту на теплопровідність теплоізоляційного матеріалу методами багатофакторного планування [3], а в роботі А. Постолєнка та А. Величка експлуатаційна придатність фасадної системи пов'язується з вологісно-тепловими впливами та рішенням межі між шарами [4].

Окремий напрям формують праці, присвячені довговічності фасадних теплоізоляційних систем. Так стійкість систем із штукатурним шаром визначається не тільки властивостями самого утеплювача, а й сукупною дією кліматичних циклів, станом покриття, адгезією та локальними включеннями [5–8]. Це зміщує акцент від матеріалу як такого до вузла і системи в цілому. Нормативну рамку для такого підходу задають ДБН В.2.6-31:2021 та ДСТУ 9191:2022, у яких фіксуються теплотехнічні та експлуатаційні показники, що мають враховуватися під час вибору теплоізоляційного матеріалу, зокрема гранична температура застосування, вологість, водопоглинання, морозостійкість і паропроникність [9, 10].

В існуючих дослідженнях цього питання переважає експериментально-модельний підхід. Для пінних утеплювачів придатність прискореного старіння визначається шляхом теплового впливу і зрізування як засобу оцінки довготривалої теплотехнічної поведінки [11]. Досліджено порівняння лабораторних підходів ISO 11561 та EN 13166 та встановлено, що оцінка довготривалої зміни теплопровідності суттєво залежить від методу випробування [14]. Існують експериментальні підтвердження зростання теплопровідності поширених утеплювачів зі збільшенням температури та вологості [12], та підкреслюється, що паспортне значення термічного опору R за стандартної температури часто не відтворює поведінку в реальних умовах [13]. У роботі [15] зміна довготривалої теплопровідності та біоколонізація теплоізоляційних штукатурок досліджені з використанням прискорених схем старіння, де застосовано моделі Арреніуса, Пека і Коффіна-Менсона. Сукупно ці праці показують, що адекватна оцінка деградації вимагає поєднання матеріалознавчого експерименту, тепловологісного аналізу та моделювання швидкості старіння [11–15].

## Мета роботи

Метою роботи є узагальнення сучасних підходів до оцінювання деградації показників якості теплоізоляційних матеріалів при теплових навантаженнях і формування придатної для інженерного використання системи відповідних показників та залежностей.

**Виклад основного матеріалу**

**1. Основні показники якості теплоізоляційних матеріалів**

Для теплоізоляційних матеріалів базовим показником є коефіцієнт теплопровідності:

$$\lambda = \frac{q\delta}{\Delta T}, \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}, \quad (1)$$

де  $q$  – щільність теплового потоку, Вт/м<sup>2</sup>;  $\delta$  – товщина шару матеріалу, м;  $\Delta T$  – перепад температур на шарі, К.

Термічний опір однорідного шару, м<sup>2</sup>·К/Вт:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}. \quad (2)$$

Для багатошарової конструкції загальний опір теплопередачі доцільно записати так:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{з}}, \quad (3)$$

де  $\alpha_{в}$  і  $\alpha_{з}$  – коефіцієнти тепловіддачі відповідно з внутрішнього та зовнішнього боку, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\delta_i$  – товщина  $i$ -го шару, м;  $\lambda_i$  – коефіцієнт теплопровідності  $i$ -го шару, Вт/(м·К);  $n$  – кількість шарів [2].

Коефіцієнт теплопередачі:

$$U = \frac{1}{R_{\Sigma}}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}. \quad (4)$$

Щільність матеріалу:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (5)$$

де  $m$  – маса зразка, кг;  $V$  – об'єм, м<sup>3</sup>.

Водопоглинання за масою:

$$W_m = \frac{m_{вл} - m_{сух}}{m_{сух}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

де  $m_{вл}$  – маса зволоженого зразка, кг;  $m_{сух}$  – маса сухого зразка, кг.

Міцність при стиску:

$$\sigma_{ст} = \frac{F_{max}}{A}, \text{ Па}, \quad (7)$$

де  $F_{max}$  – максимальне навантаження, Н;  $A$  – площа навантаження, м<sup>2</sup>.

Для практичної оцінки якості саме теплозахисної функції матеріалу визначальними є  $\lambda$ ,

$R$ ,  $U$ ,  $W_m$ , стабільність геометрії та збереження механічної цілісності. Такий набір узгоджується з нормативним вибором матеріалу, де поряд із теплопровідністю враховуються вологість, водопоглинання, морозостійкість, паропроникність і гранична температура застосування [9, 10].

**2. Показник деградації**

Оскільки різні властивості змінюються в протилежних напрямках, універсальний показник доцільно задавати в нормованій формі.

Для показників, що зменшуються внаслідок старіння, наприклад міцності чи термічного опору:

$$D_p(T, t) = 1 - \frac{P(T, t)}{P_0}, \quad (8)$$

де  $D_p$  – безрозмірний показник деградації;  $P(T, t)$  – поточне значення показника при температурі використання  $T$  і часі експлуатації  $t$ ;  $P_0$  – початкове значення показника.

Для теплопровідності, де погіршення пов'язане зі зростанням  $\lambda$ :

$$D_{\lambda}(T, t) = \frac{\lambda(T, t) - \lambda_0}{\lambda_0}, \quad (9)$$

де  $\lambda_0$  – початкове значення коефіцієнта теплопровідності.

Для інженерного прогнозування зручно застосувати узагальнену температурно-часову модель:

$$D(T, t) = 1 - \exp[-k(T)t], \quad (10)$$

де

$$k(T) = B \exp\left(-\frac{E_a}{R_g T}\right). \quad (11)$$

Тут  $B$  – множник;  $E_a$  – енергія активації процесу старіння, Дж/моль;  $R_g$  – універсальна газова стала. За малих значень деградації ця залежність переходить у наближення  $D(T, t) = k(T)t$ . Така форма не є універсальним стандартом для всіх матеріалів, але добре узгоджується з двома групами підходів, підтверджених у сучасній літературі: експоненційним описом погіршення теплопровідності та кінетичними моделями прискореного старіння на основі температурного прискорення [1, 11, 14, 15].

**3. Механізми деградації при теплових навантаженнях та методи визначення показника деградації**

При підвищенні температури змінюється не лише миттєве значення  $\lambda$ , а й сама структура матеріалу. Для газонаповнених пінополімерів значення мають дифузія газів крізь комірки,

релаксація полімерної матриці та старіння зв'язків у матеріалі. Для мінераловатних утеплювачів тепловий вплив зазвичай виявляється через зміну вологості, ущільнення структури та втрату частини функціональних добавок, а для штукатурних теплоізоляційних систем – через взаємодію утеплювача, клейового шару, армування і покриття. У реальній огорожувальній конструкції саме комбінація температури та вологи найчастіше прискорює деградацію сильніше, ніж температура окремо [3–8, 12, 13, 15].

Перша група визначення деградації – натурні довготривалі спостереження. Їхня перевага полягає в тому, що вони відтворюють реальний режим роботи конструкції. Недолік очевидний: для отримання достовірної динаміки потрібні роки спостережень. Саме тому такі дані цінні, але дорогі та повільні [1, 2].

Друга група – прискорені лабораторні випробування. Для піноматеріалів застосовують теплове старіння і метод зрізування; для систем із зовнішнім шаром – циклічні температурно-вологісні режими; для фасадних штукатурних систем – погодні та кліматичні цикли. Перевага цих методів у швидкому отриманні еквівалентної довготривалої відповіді, однак результат чутливий до вибраної схеми випробувань [6, 8, 11, 14, 15].

Третя група – експериментально-розрахункові моделі, де результати вимірювань  $\lambda$ ,  $W_m$ ,  $R$ ,  $\sigma_{ст}$  обробляють регресійно або через кінетичні залежності. Для суто теплового старіння доречні моделі типу Арреніуса; для поєднання температури й вологості – моделі, споріднені з підходом Пека; для циклічних впливів – моделі, аналогічні Коффіну-Менсону [3, 15].

Четверта група – оцінка деградації через конструктивну поведінку системи. У цьому випадку відстежують не лише зміну властивостей матеріалу, а й наслідок для всієї огорожувальної конструкції: зменшення  $R_{\Sigma}$ , появу зон ризику конденсації, локальних теплопровідних включень та дефектів примикань [2, 4, 7, 9].

#### 4. Методи зниження показника деградації

Найбільш розповсюджені підходи до зниження деградації такі (рис. 1):

- зменшення зволоження матеріалу за рахунок гідрофобізації, керування дифузією пари, герметизації примикань;
- використання термостабільних матриць, волокон і добавок;
- двошарові теплоізоляційні рішення зі зміщенням швів;
- зменшення точкових теплопровідних включень і дефектів кріплення;
- застосування захисних паропроникних покриттів і штукатурних систем зі стабільною адгезією;
- контроль експлуатаційного стану та своєчасний ремонт локальних ушкоджень [3, 10, 12, 15].

Найперспективнішим підходом слід вважати комплексне обмеження зволоження теплоізоляційного матеріалу та вузла, тобто поєднання гідрофобізації, паропроникного зовнішнього шару, правильного розташування шарів за пародифузійним опором і усунення водопровідних дефектів. Підвищення температури саме по собі часто збільшує  $\lambda$  помірно, тоді як сумісна дія температури та вологості дає значно сильніший ефект. Це підтверджують і теоретичні дослідження впливу вологовмісту, і експерименти, де вологість різко підсилює ріст теплопровідності [3, 4, 12, 15].

При  $t = \text{const}$ , зі зростанням температури швидкість деградації збільшується, як це показано на рис. 2. До певного діапазону температур зміна може бути відносно повільною, але після переходу через межу, чутливу для конкретної структури матеріалу або його зв'язувального, деградація прискорюється. Для різних класів утеплювачів ця межа неоднакова, тому графік відображає тенденцію, а не значення для конкретного виробу [10–15].



Рис. 1 – Структура методів зниження показника деградації

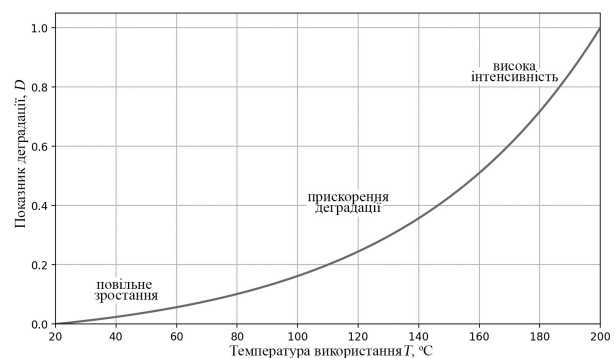


Рис. 2 – Залежність показника деградації від часу експлуатації

Для випадку  $T=\text{const}$  та моделі  $D(T,t) = 1 - \exp[-k(T)t]$ , залежність деградації буде мати вигляд, як показано на рис. 3.

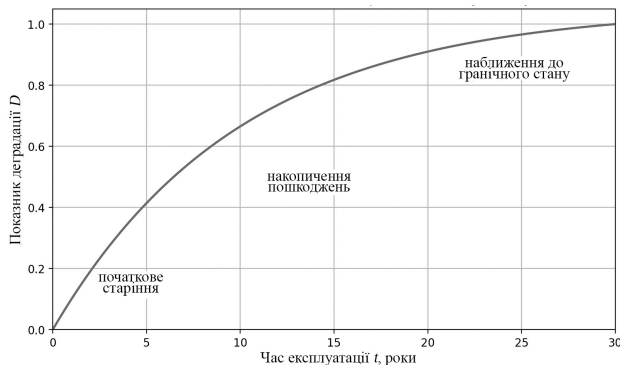


Рис. 3 – Залежність показника деградації від часу експлуатації

На початковому етапі зміна може бути помірною, далі проявляється накопичення пошкоджень, а при наближенні до граничного стану темп приросту деградації зменшується через нормування показника. Така форма відповідає експоненційній залежності накопичення змін та узгоджується з довготривалими й прискореними моделями старіння [1, 11, 14, 15].

Порівняльний графік деградації без захисту і з методом обмеження зволоження, наведено на рис. 4. На схемі крива із захистом відповідає комплексному керуванню вологісним режимом. Її нахил менший, бо зменшується інтенсивність зволоження, а разом із нею – приріст ефективної теплопровідності та ризик структурних пошкоджень. Це не універсальна модель для всіх матеріалів, а якісне відображення, яке демонструє те, що саме волога часто виступає множителем деградації [3, 4, 12, 15].

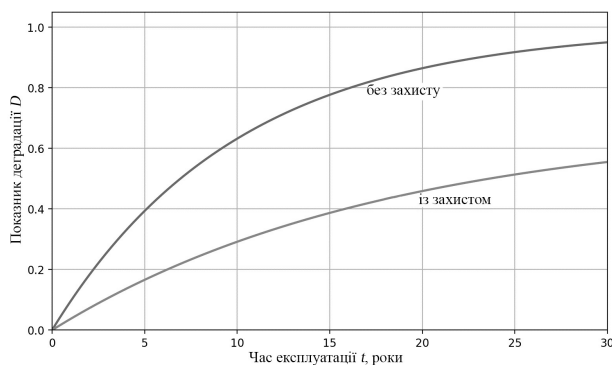


Рис. 4 – Залежність показника деградації від температури використання

### Обговорення результатів

Аналіз показав, що поняття деградації для теплоізоляційних матеріалів не можна зводити лише до старіння матеріалу в лабораторному сенсі. Для частини утеплювачів вирішальною є внутрішня

еволюція структури, але для фасадних і багатошарових систем не менше значення мають межі шарів, кріплення, зволоження та погодні цикли. Тому один і той самий матеріал може демонструвати різну швидкість деградації в залежності від системи, де він працює. Це пояснює, чому лабораторні методи прискореного старіння корисні, але не дають повної картини без конструктивної інтерпретації [2, 4, 6, 14, 15].

З методичної точки зору найбільш надійною виглядає комбінація трьох рівнів оцінки: пряме вимірювання властивостей, прискорене відтворення старіння і подальше моделювання деградації через температуру та час. Саме така зв'язка дає можливість переносити дані з лабораторії в експлуатаційний прогноз. Водночас для коректного прогнозу потрібно уникати формального перенесення однієї кінетичної моделі на всі матеріали. Для пінополімерів і волокнистих теплоізоляторів визначальні механізми різні, а тому параметри моделі мають встановлюватися окремо.

Для інженерного опису деградації доцільно використовувати нормовані показники  $D_p(T,t)$  та  $D_z(T,t)$ , а для прогнозування – узагальнену температурно-часову залежність  $D(T,t) = 1 - \exp[-k(T)t]$ .

Найбільш інформативними методами визначення деградації є поєднання натурних спостережень, прискорених лабораторних випробувань і експериментально-розрахункових моделей. Окреме застосування будь-якого одного методу дає обмежений результат.

### Висновки

Деградація показників якості теплоізоляційних матеріалів при теплових навантаженнях проявляється насамперед через зростання коефіцієнта теплопровідності, зменшення термічного опору, зміну вологісного стану, втрату міцності та стабільності структури.

Оцінювання стану теплоізоляційного матеріалу лише за початковим значенням теплопровідності є недостатнім. Для довготривалої оцінки слід враховувати температуру використання, час експлуатації, зволоження та конструктивні умови роботи матеріалу.

Найперспективнішим способом зменшення деградації є комплексне керування вологісним режимом матеріалу та вузла: гідрофобізація, паропроникний захисний шар, контроль примикань і зменшення надходження вологи. Саме цей підхід найпоєднованіше знижує інтенсивність погіршення теплотехнічних характеристик при тривалій дії теплових навантажень.

### Список літератури

1. Данишевський А. Інтенсивність деградації теплопровідності теплоізоляційних матеріалів фасадів будівель. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2026. № 1. С. 96–102. DOI: 10.20535/1813-5420.1.2026.355379.
2. Данишевський А. С., Басок Б. І. Динаміка теплопровідності пінополіуретанової ізоляції огорожувальної конструкції будівлі. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2025. № 2. С. 30–34. DOI: 10.20535/1813-5420.2.2025.327137.
3. Лялюк А. О. Планування багатofакторного експерименту при дослідженні впливу вологовмісту теплоізоляційного матеріалу на його теплопровідність. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2025. № 2. С. 149–155. DOI: 10.31649/2311-1429-2025-2-149-155.
4. Постоленко А. М., Величко А. М. Експлуатаційна придатність конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками при застосуванні двшарової теплоізоляції. *Наука та будівництво*. 2024. № 3(41). С. 25–34. DOI: 10.33644/2313-6679-3-2024-4.
5. Сердюк В. Р., Рудик А. В., Гоголь Т. В. Аналіз сучасного ринку теплоізоляційних матеріалів для енергоефективних будівель. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. 2024. № 1. С. 41–51. DOI: 10.31649/2311-1429-2024-1-41-51.
6. Олексієнко О. Б. Наукові основи забезпечення стійкості фасадних систем з штукатурним шаром до кліматичних впливів. *Наука та будівництво*. 2022. № 1(31). С. 42–50. DOI: 10.33644/2313-6679-16-2022-5.
7. Олексієнко О. Б. 3D-модельовання точкових теплопровідних включень у фасадних теплоізоляційних системах. *Наука та будівництво*. 2023. № 2(36). С. 74–82. DOI: 10.33644/2313-6679-2-2023-8.
8. Фаренюк Г. Г., Олексієнко О. Б. Аналіз критеріїв оцінки фасадних конструктивних систем зі штукатурним шаром // *Наука та будівництво*. 2020. № 4(26). С. 3–14. DOI: 10.33644/scienceandconstruction.v26i4.1.
9. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ, 2021. Чинний від 01.09.2022.
10. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ, 2022.
11. Bae M., Ahn H., Kang J., Choi G., Choi H. Determination of the Long-Term Thermal Performance of Foam Insulation Materials through Heat and Slicing Acceleration. *Polymers*. 2022. Vol. 14, No. 22. Art. 4926. DOI: 10.3390/polym14224926.
12. Wang Y., Zhang S., Wang D., Liu Y. Experimental Study on the Influence of Temperature and Humidity on the Thermal Conductivity of Building Insulation Materials. *Energy and Built Environment*. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 386–398. DOI: 10.1016/j.enbenv.2022.02.008.
13. Tariku F., Shang Y., Molleti S. Thermal Performance of Flat Roof Insulation Materials: A Review of Temperature, Moisture and Aging Effects. *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 76. Art. 107142. DOI: 10.1016/j.job.2023.107142.
14. Kim J.-H., Kim S.-M., Kim J.-T. Comparison of Thermal Conductivity and Long-Term Change of Building Insulation Materials According to Accelerated Laboratory Test Methods of ISO 11561 and EN 13166 Standard. *Energies*. 2024. Vol. 17. Art. 6105. DOI: 10.3390/en17236105.
15. Pinchard L., Parracha J. L., Veiga R., Matias L., Santos Silva A., Duarte S., Nunes L. Weather Ageing Effects on the Long-

Term Thermal Conductivity and Biological Colonisation of Thermal Insulating Mortars with EPS, Cork and Aerogel. *Energy and Buildings*. 2024. Vol. 315. Art. 114403. DOI: 10.1016/j.enbenv.2024.114403.

### References (transliterated)

1. Danishevskij A. Intensivnist degradaciyi teploprovodnosti teploizolyacijnih materialiv fasadiv budivel. *Energetika: ekonomika, tehnologiyi, ekologiya*. 2026. № 1. S. 96–102. DOI: 10.20535/1813-5420.1.2026.355379.
2. Danishevskij A. S., Basok B. I. Dinamika teploprovodnosti pinopoliuretanovoyi izolyaciyi ogorodzhualnoyi konstrukciyi budivli. *Energetika: ekonomika, tehnologiyi, ekologiya*. 2025. № 2. S. 30–34. DOI: 10.20535/1813-5420.2.2025.327137.
3. Lyalyuk A. O. Planuvannya bagatofaktornogo eksperimentu pri doslidzhenni vplivu vologovmistu teploizolyacijnogo materialu na jogo teploprovodnist. *Suchasni tehnologiyi, materialy i konstrukciyi v budivnictvi*. 2025. № 2. S. 149–155. DOI: 10.31649/2311-1429-2025-2-149-155.
4. Postolenko A. M., Velichko A. M. Ekspluataciyna pridatnist konstrukcij zovnishnih stin iz fasadnoyi teploizolyaciyeyu ta oporyadzhennyam shtukaturkami pri zastosuvanni dvsharovoyi teploizolyaciyi. *Nauka ta budivnictvo*. 2024. № 3(41). S. 25–34. DOI: 10.33644/2313-6679-3-2024-4.
5. Serdyuk V. R., Rudik A. V., Gogol T. V. Analiz suchasnogo rinku teploizolyacijnih materialiv dlya energoefektivnih budivel. *Suchasni tehnologiyi, materialy i konstrukciyi v budivnictvi*. 2024. № 1. S. 41–51. DOI: 10.31649/2311-1429-2024-1-41-51.
6. Oleksiyenko O. B. Naukovi osnovi zabezpechennya stijkosti fasadnih sistem z shtukaturnim sharom do klimatichnih vpliviv. *Nauka ta budivnictvo*. 2022. № 1(31). S. 42–50. DOI: 10.33644/2313-6679-16-2022-5.
7. Oleksiyenko O. B. 3D-modelyuvannya tochkovih teploprovodnih vkluchchen u fasadnih teploizolyacijnih sistemah. *Nauka ta budivnictvo*. 2023. № 2(36). S. 74–82. DOI: 10.33644/2313-6679-2-2023-8.
8. Farenjuk G. G., Oleksiyenko O. B. Analiz kriteriyiv ocinki fasadnih konstruktivnih sistem zi shtukaturnim sharom // *Nauka ta budivnictvo*. 2020. № 4(26). S. 3–14. DOI: 10.33644/scienceandconstruction.v26i4.1.
9. DBN V.2.6-31:2021. Teplova izolyaciya ta energoefektivnist budivel. Kiyiv, 2021. Chinnij vid 01.09.2022.
10. DSTU 9191:2022. Teploizolyaciya budivel. Metod viboru teploizolyacijnogo materialu dlya uteplennya budivel. Kiyiv, 2022.
11. Bae M., Ahn H., Kang J., Choi G., Choi H. Determination of the Long-Term Thermal Performance of Foam Insulation Materials through Heat and Slicing Acceleration. *Polymers*. 2022. Vol. 14, No. 22. Art. 4926. DOI: 10.3390/polym14224926.
12. Wang Y., Zhang S., Wang D., Liu Y. Experimental Study on the Influence of Temperature and Humidity on the Thermal Conductivity of Building Insulation Materials. *Energy and Built Environment*. 2023. Vol. 4, No. 4. P. 386–398. DOI: 10.1016/j.enbenv.2022.02.008.
13. Tariku F., Shang Y., Molleti S. Thermal Performance of Flat Roof Insulation Materials: A Review of Temperature, Moisture and Aging Effects. *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 76. Art. 107142. DOI: 10.1016/j.job.2023.107142.
14. Kim J.-H., Kim S.-M., Kim J.-T. Comparison of Thermal Conductivity and Long-Term Change of Building Insulation Materials According to Accelerated Laboratory Test Methods

of ISO 11561 and EN 13166 Standard. Energies. 2024. Vol. 17. Art. 6105. DOI: 10.3390/en17236105.  
15. Pinchard L., Parracha J. L., Veiga R., Matias L., Santos Silva A., Duarte S., Nunes L. Weather Ageing Effects on the Long-

Term Thermal Conductivity and Biological Colonisation of Thermal Insulating Mortars with EPS, Cork and Aerogel. Energy and Buildings. 2024. Vol. 315. Art. 114403. DOI: 10.1016/j.enbuild.2024.114403.

#### Відомості про авторів (About authors)

**Канюк Геннадій Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна. ORCID: 0000-0003-1399-9039; e-mail: mezzzer@ukr.net;

**Kanjuk Gennadii** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Automation, Metrology, and Energy-Efficient Technologies; V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine. ORCID: 0000-0003-1399-9039; e-mail: kanjuk77@gmail.com;

**Єпик Олександр Михайлович** – аспірант кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна. ORCID: 0009-0005-4909-6431; e-mail: oleksandrepik0@gmail.com;

**Yepik Oleksandr** – Postgraduate student of the Department of Automation, Metrology, and Energy-Efficient Technologies; V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine. ORCID: 0009-0005-4909-6431; e-mail: oleksandrepik0@gmail.com;

*Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

Канюк Г.І., Єпик О.М. Деградація показників якості теплоізоляційних матеріалів при теплових навантаженнях. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2026. № 4 (22). С. 60-66. doi:10.20998/2413-4295.2026.02.08.

*Please cite this article as:*

Kanjuk G., Yepik O. Degradation of quality indicators of thermal insulation materials under thermal loads. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2026, no. 4(22), pp. 60–66, doi:10.20998/2413-4295.2026.02.08.

*Надійшла (received) 17.04.2026*  
*Прийнята (accepted) 08.05.2026*  
*Опублікована (published) 05.06.2026*