

УДК 621.643:536.2

doi:10.20998/2413-4295.2026.02.09

ВПЛИВ ВОЛОГОСТІ НА ЯКІСТЬ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ПАРОПРОВОДІВ

**А. Ю. МЕЗЕРЯ^{1*}, Н. С. АНТОНЕНКО¹, В. М. КНЯЗЄВА¹, О. М. БЛИЗНИЧЕНКО¹,
Т. Ю. ВАСИЛЕЦЬ¹**

¹ 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 вплив вологості на показники якості теплоізоляції паропроводів з урахуванням того, що для ізоляційних систем, які працюють на поверхнях з підвищеною температурою, вологовміст не зводиться лише до локального погіршення теплозахисних властивостей, а змінює теплопровідність, термічний опір, інтенсивність лінійних тепловтрат, механічну міцність і прогнозований строк нормальної експлуатації ізоляційного шару. Вихідною передумовою є те, що в пористій або волокнистій структурі теплоізоляційного матеріалу зростання вологовмісту супроводжується частковим витісненням повітря з порового простору, збільшенням частки теплопереносу через рідку фазу, зміною густини, а за тривалої дії температури паропроводу ще й прискоренням деградаційних процесів, пов'язаних зі старінням структури, циклічним перерозподілом вологи та ослабленням гідрофобних властивостей матеріалу. Показано, що ефективне вирішення цього питання знаходиться в напрямку досліджень теплопровідності теплоізоляційних матеріалів, експериментальному визначенню їхніх властивостей, тепловологісному стану огорожувальних конструкцій та деградації теплофізичних характеристик, а також детальної розробки моделі волого-залежної теплопровідності, зв'язаною тепло- і масопереносу у зволоженої мінеральній ваті, старіння ізоляції труб при високих температурах та оптимізацію теплоізоляції перегрітих паропроводів. Показано, що універсальних числових коефіцієнтів, придатних для всіх типів ізоляції та всіх режимів експлуатації відсутні. З метою теоретичних досліджень використовуються узагальнені інженерні залежності, форма яких відповідає науковій літературі, а конкретні параметри моделей мають визначатися для вибраного матеріалу експериментально. Запропоновано формули для оцінювання впливу вологості на теплопровідність, механічну міцність та час нормальної експлуатації, а також окремо подано залежності температурного впливу та сумісного впливу вологості й температури паропроводу. Побудовано розрахункові графіки нормованих залежностей, які відображають характер зміни основних показників якості ізоляції. Отримані узагальнення доцільно використовувати при виборі теплоізоляційних матеріалів для паропроводів, при оцінюванні ризику зволоження ізоляції, а також при формуванні критеріїв технічного обслуговування, де контроль вологості повинен розглядатися як складова забезпечення енергоефективності та довговічності ізоляційної системи, а не як другорядний експлуатаційний фактор.

Ключові слова: теплоізоляційні матеріали; показники якості; теплопровідність; водопоглинання; довговічність; вологостійкість.

THE EFFECT OF MOISTURE ON THE QUALITY OF STEAM PIPELINE THERMAL INSULATION

A. MEZERYA^{1*}, N. ANTONENKO¹, V. KNIAZIEVA¹, O. BLIZNICHENKO¹, T. VASILETS¹

¹ 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 paper examines the effect of moisture on the quality indicators of steam pipeline thermal insulation, taking into account that, for insulation systems operating on elevated-temperature surfaces, moisture content is not limited to a local deterioration of heat-shielding properties, but also alters thermal conductivity, thermal resistance, the intensity of linear heat losses, mechanical strength, and the predicted period of normal service life of the insulation layer. The underlying premise is that, in the porous or fibrous structure of a thermal insulation material, an increase in moisture content is accompanied by partial displacement of air from the pore space, an increase in the share of heat transfer through the liquid phase, and a change in density, while prolonged exposure to steam pipeline temperature additionally accelerates degradation processes associated with structural ageing, cyclic moisture redistribution, and weakening of the material's hydrophobic properties. It is shown that an effective solution to this problem lies in research on the thermal conductivity of thermal insulation materials, the experimental determination of their properties, the hygrothermal state of enclosing structures, and the degradation of thermophysical characteristics, as well as in the detailed development of a moisture-dependent thermal conductivity model, coupled heat and mass transfer in wet mineral wool, ageing of pipe insulation at high temperatures, and optimization of thermal insulation for superheated steam pipelines. It is shown that universal numerical coefficients suitable for all types of insulation and all operating conditions do not exist. For the purposes of theoretical investigation, generalized engineering relationships are used, the form of which is consistent with the scientific literature, while the specific model parameters must be determined experimentally for the selected material. Formulas are proposed for assessing the effect of moisture on thermal conductivity, mechanical strength, and normal service life, and the relationships describing the effect of steam pipeline temperature alone, as well as the combined effect of moisture and temperature, are presented separately. Calculated plots of normalized relationships have been constructed, reflecting the pattern of variation in the main

insulation quality indicators. The obtained generalizations are advisable for use in the selection of thermal insulation materials for steam pipelines, in assessing the risk of insulation wetting, and in establishing maintenance criteria, where moisture control should be regarded as a component of ensuring the energy efficiency and durability of the insulation system rather than as a secondary operational factor.

Keywords: thermal insulation materials; quality indicators; thermal conductivity; water absorption; durability; moisture resistance

Вступ

Для паропроводів теплова ізоляція працює в режимі, де одночасно діють підвищена температура стінки, змінні теплові потоки, атмосферне зволоження, проникнення пари, локальні дефекти зовнішньої оболонки та цикли нагрівання й охолодження, тому навіть помірне накопичення вологи не лише збільшує тепловтрати, а й змінює умови старіння самого матеріалу. Саме тому питання вологості в таких системах пов'язане не тільки з паливною економічністю, а й з довговічністю ізоляції, стабільністю температурного режиму, безпечністю експлуатації та точністю енергетичних розрахунків. Окремі роботи показують, що зростання вологовмісту підвищує теплопровідність теплоізоляційного матеріалу, а для трубопровідних систем істотним чинником тепловтрат залишається також вологість середовища навколо труби. Нові дослідження для волокнистих ізоляцій труб і високотемпературних трубопровідних систем також підтверджують, що волага та температура повинні розглядатися як взаємопов'язані фактори, а не як дві незалежні поправки. Це безпосередньо пов'язано з практичними завданнями енергоефективної експлуатації паропроводів, вибору матеріалів, визначення допустимого строку служби ізоляції та обґрунтування міжремонтних інтервалів.

Сучасні наукові дослідження формують достатньо чітке уявлення про базові закономірності, але роботи переважно стосуються огорожувальних конструкцій, фасадних систем і теплових мереж, а не безпосередньо паропроводів. В роботах [1, 2] розроблено та апробовано підходи до експериментального визначення теплопровідності теплоізоляційних матеріалів, зокрема мінераловатних, що дає методичну основу для дослідження вологозалежних властивостей. У статтях [3, 4] систематизовано параметри, які впливають на енергоефективність теплоізоляційних систем, та запропоновано моделі їх комплексного оцінювання, що важливо для переходу від ізольованого аналізу одного показника до багатофакторного опису стану теплоізоляції. Безпосередньо впливу вологовмісту на теплопровідність присвячені праці [5–7], де вологість розглядається як один з визначальних чинників зміни термічного опору і обґрунтовується потреба в натурних експериментах та регресійних моделях. Для трубопровідної тематики важливою є робота [8], у якій показано, що на тепловтрати мереж істотно впливають вологість піску й ґрунту, спосіб прокладання та товщина ізоляції. Тепловологісний стан розглядається в контексті експлуатаційної придатності теплоізоляції [9], а вчені прямо ставлять

питання деградації теплофізичних характеристик у часі та показують, що зростання теплопровідності під час експлуатації має накопичувальний характер [10, 11].

Багато наукових робіт істотно деталізують фізику процесу саме для зволених і високотемпературних ізоляційних систем [12–16]. Так у статті [12] запропоновано модель теплопровідності теплоізоляційних матеріалів з урахуванням вологості, а в роботі [13] досліджено зв'язаний тепло-, масо- та імпульсоперенос у зволеній мінеральній ваті, що працює на циліндричній поверхні. Доведено, що високотемпературне старіння змінює теплопровідність ізоляцій труб [14]. Проводяться дослідження щодо питання експериментального аналізу поведінки вологої мінераловатної ізоляції труб із різними гідрофобними обробками [15] та оптимізації теплоізоляції перегрітих паропроводів з урахуванням температури, тиску, діаметра та життєвого циклу [16]. Разом з тим, існуючі дослідження не дають універсальних коефіцієнтів, які можна безпосередньо перенести на будь-який теплоізоляційний матеріал паропроводу, оскільки числові параметри істотно залежать від структури волокон, гідрофобізації, щільності, температурного діапазону і режиму зволоження. Саме це і формує дослідницьку прогалину: для інженерного аналізу потрібні не декларативні висновки про зростання теплопровідності, а система узагальнених залежностей, яка одночасно пов'язує вологість, температуру паропроводу, втрату міцності та скорочення строку служби.

Мета роботи

Метою даної роботи є узагальнення закономірностей впливу вологості на якість теплоізоляції паропроводів та побудова системи інженерних залежностей, придатної для подальшого експериментального калібрування під конкретний теплоізоляційний матеріал.

Виклад основного матеріалу

Для циліндричного паропроводу з ізоляцією визначальним енергетичним показником є лінійна щільність тепловтрат, яку доцільно записувати через ефективну теплопровідність зволеної ізоляції:

$$q_l = \frac{2\pi(\theta_{\text{тп}} - \theta_3)}{\ln(r_2/r_1)/\lambda_{\text{эф}} + 1/(\alpha_3 r_2)}, \quad (1)$$

де q_1 – лінійні тепловтрати, Вт/м; $\theta_{\text{тр}}$ – температура зовнішньої поверхні труби під ізоляцією, °С; θ_3 – температура зовнішнього середовища, °С; r_1 – зовнішній радіус труби, м; r_2 – зовнішній радіус ізоляції, м; α_3 – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ізоляції в навколишнє середовище, Вт/(м²·К); $\lambda_{\text{еф}}$ – ефективна теплопровідність ізоляції, Вт/(м·К).

Для оцінювання власне теплозахисної здатності ізоляційного шару зручно також використовувати циліндричний термічний опір:

$$R_{\text{ц}} = \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi\lambda_{\text{еф}}}, \quad (2)$$

з якого безпосередньо видно, що будь-яке зростання $\lambda_{\text{еф}}$ веде до зменшення опору і зростання тепловтрат.

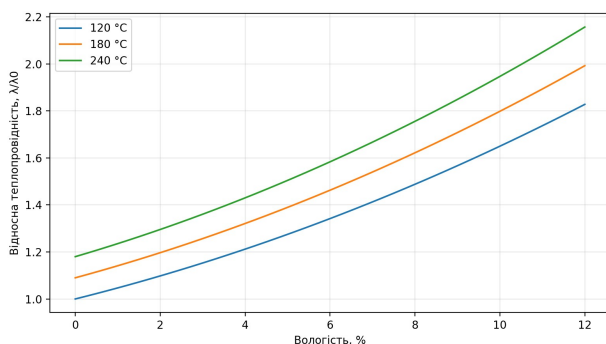


Рис. 1 – Модель впливу вологості на теплопровідність теплоізоляції

Вплив вологості на теплопровідність у робочому інтервалі доцільно описувати квадратичною регресійною залежністю (рис 1.):

$$\lambda(w) = \lambda_0(1 + a_w w + b_w w^2), \quad (3)$$

де λ_0 – теплопровідність сухого матеріалу за еталонної температури θ_0 ; w – масовий вологовміст, частки одиниці або %; a_w, b_w – експериментально визначені коефіцієнти чутливості до вологи.

Якщо діапазон вологості вузький, достатньою лінеаризації:

$$\lambda(w) = \lambda_0(1 + a_w w). \quad (4)$$

Для термічного опору ізоляційного шару при такому підході маємо:

$$R_{\text{ц}}(w) = \frac{\ln(r_2 / r_1)}{2\pi\lambda(w)}. \quad (5)$$

Фізичний зміст цих залежностей полягає в тому, що зволоження порового простору, яке підтверджено у працях [5–7, 12, 13, 15], призводить до

зростання ефективної теплопровідності і відповідного зменшення термічного опору.

Окремий вплив температури паропроводу на теплопровідність доцільно задавати залежністю:

$$\lambda(\theta_{\text{тр}}) = \lambda_0[1 + a_T(\theta_{\text{тр}} - \theta_0)], \quad (6)$$

де a_T – коефіцієнт температурної чутливості в обраному інтервалі температур.

Для високотемпературної тривалої дії, коли вже йдеться не про миттєву температурну поправку, а про старіння структури, доцільно застосовувати експоненційну модель деградації:

$$\lambda(t) = \lambda_0 e^{kt}, \quad (7)$$

де t – час експлуатації; k – коефіцієнт інтенсивності деградації.

Саме така форма моделі прямо фігурує в новій українській роботі [11], а для трубної ізоляції високотемпературний вплив на теплопровідність і старіння підтверджено також у [14, 16].

Сумісний вплив вологості та температури паропроводу доцільно описувати узагальненим виразом:

$$\lambda_{\text{еф}}(w, \theta_{\text{тр}}) = \lambda_0[1 + a_w w + b_w w^2 + a_T(\theta_{\text{тр}} - \theta_0) + a_{wT} w(\theta_{\text{тр}} - \theta_0)], \quad (8)$$

де a_{wT} – коефіцієнт взаємодії вологості й температури. Саме введення члена взаємодії є принциповим, оскільки для паропроводу температура не просто додає власний внесок у зміну властивості, а змінює характер масопереносу, швидкість висушування, повторного зволоження та старіння волокон або зв'язувальних компонентів. Гідрофобна модифікація в такій постановці не змінює виду рівняння, але зменшує коефіцієнти a_w, b_w і, як правило, a_{wT} .

Для механічної міцності теплоізоляції, якщо її розглядати як нормований показник здатності матеріалу зберігати форму, щільність контакту з трубою та опір руйнуванню під час експлуатації, доцільно використовувати експоненційну форму спаду. Вплив вологості можна записати так (рис. 2):

$$\sigma_m(w) = \sigma_0 e^{-b_{w\sigma} w}, \quad (9)$$

а вплив температури:

$$\sigma_m(\theta_{\text{тр}}) = \sigma_0 e^{-b_{T\sigma}(\theta_{\text{тр}} - \theta_0)}, \quad (10)$$

де σ_m – механічна міцність або її нормоване представлення; σ_0 – міцність у сухому еталонному стані; $b_{w\sigma}, b_{T\sigma}$ – коефіцієнти чутливості.

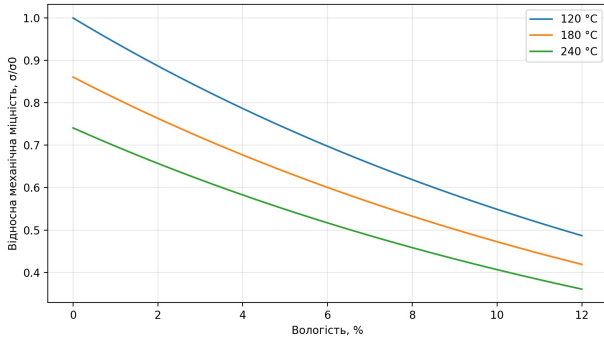


Рис. 2 – Модель впливу вологості на міцність теплоізоляції

Для сумісного впливу природною є залежність (рис. 3):

$$\sigma_m(w, \theta_{тр}) = \sigma_0 e^{-[b_{w\sigma}w + b_{T\sigma}(\theta_{тр} - \theta_0) + b_{wT\sigma}w(\theta_{тр} - \theta_0)]}, \quad (11)$$

де $b_{wT\sigma}$ – коефіцієнт взаємодії.

Ці рівняння встановлюють залежність прискореного погіршення властивостей за сумісної дії вологи та температурного старіння.

Час нормальної експлуатації ізоляції доцільно пов'язувати не з календарним віком як таким, а з досягненням граничного стану. Якщо критерієм відмови прийняти досягнення граничної теплопровідності $\lambda_{тр}$, то для загальної деградаційної моделі можна записати так (рис. 4):

$$\tau_n = \ln(\lambda_{тр} / \lambda_0) / k_d(w, \theta_{тр}), \quad (12)$$

де τ_n – час нормальної експлуатації;

$$k_d(w, \theta_{тр}) = k_0 + k_w w + k_T(\theta_{тр} - \theta_0) + k_{wT}w(\theta_{тр} - \theta_0) \quad (13)$$

– інтегральна інтенсивність деградації; k_0 – базова інтенсивність старіння в сухому еталонному режимі; k_w, k_T, k_{wT} – коефіцієнти впливу вологості, температури та їх взаємодії.

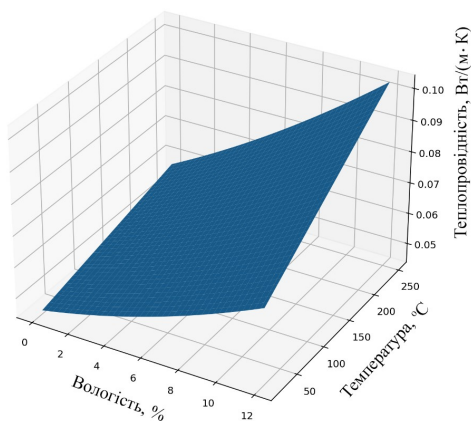


Рис. 3 – Модель впливу вологості та температури на теплопровідність теплоізоляції

Якщо як граничний критерій приймається втрата міцності, замість $\lambda_{тр}$ вводиться $\sigma_{тр}$, а сама структура залежності зберігається. Такий підхід безпосередньо спирається на модель деградації теплопровідності, запропоновану в [11], і добре узгоджується з результатами [14], де високотемпературне старіння матеріалів трубної ізоляції дає різний, але помітний приріст теплопровідності.

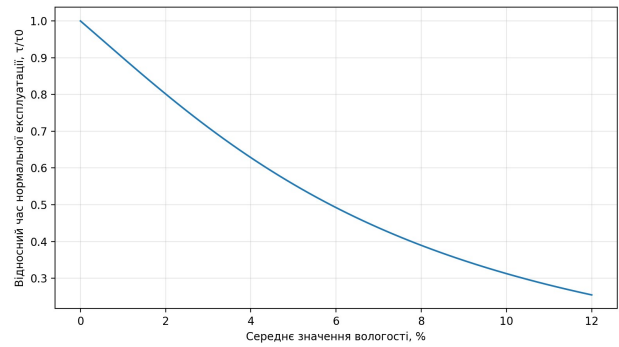


Рис. 4 – Модель впливу вологості на час нормальної експлуатації теплоізоляції

Отримані моделі добре перекликаються з дослідженнями інших авторів, наприклад [11], де досліджено інтенсивність деградації теплопровідності семи традиційних теплоізоляційних матеріалів, що використовуються при оздобленні фасадів огорожувальних конструкцій будівель, та на основі багаторічних польових випробувань (2013–2024 рр.) побудовано експоненційну модель зміни теплопровідності (рис. 5), і визначено коефіцієнти швидкості деградації.

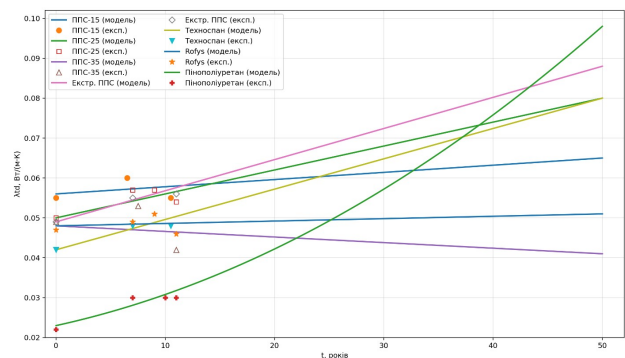


Рис. 5 – Прогноз зміни коефіцієнта теплопровідності $\lambda(t)$ до 50 років експлуатації на основі експоненційної моделі з нанесенням експериментальних значень

Обговорення результатів

Волога майже завжди погіршує теплозахисну якість ізоляції, але сам механізм цього погіршення для паропроводу не зводиться до простого зростання теплопровідності. Одночасно змінюються локальний температурний профіль, інтенсивність випаровування та конденсації в товщі матеріалу, ступінь збереження

гідрофобності й умови старіння волокнистої структури. Для трубної ізоляції особливо небезпечною є не одноразова подія зволоження, а повторювані цикли «нагрівання – перерозподіл вологи – часткове висушування – повторне зволоження», оскільки саме вони формують накопичуваний деградаційний ефект, який надалі проявляється як зростання теплопровідності, втрата геометричної стабільності та скорочення фактичного строку служби.

З інженерної точки зору це означає, що під час вибору теплоізоляції для паропроводів недостатньо орієнтуватися на паспортне значення теплопровідності в сухому стані; матеріал доцільно оцінювати за чутливістю до зволоження, стабільністю при робочій температурі, здатністю зберігати механічну цілісність і поведінкою системи «матеріал – гідрозахисна оболонка – кріплення – шви». У цьому сенсі контроль вологості слід розглядати як елемент керування якістю ізоляції, а не лише як експлуатаційне спостереження.

Висновки

Вологість є одним із найбільш чутливих чинників погіршення якості теплоізоляції паропроводів, оскільки її зростання підвищує ефективну теплопровідність, зменшує термічний опір і збільшує лінійні тепловтрати. Температура паропроводу не може розглядатися окремо від вологості, тому що вона одночасно впливає на власне теплофізичні характеристики матеріалу, інтенсивність старіння і механізм перерозподілу вологи в ізоляційному шарі; через це сумісний вплив вологості й температури доцільно описувати моделями з членом взаємодії. Для оцінювання строку нормальної експлуатації запропоновано переходити від статичної перевірки сухого паспортного стану до деградаційних моделей граничного стану, в яких базовими аргументами виступають вологість, температура і час дії. Практично це означає, що вибір ізоляції для паропроводу має спиратися на чотири групи показників: суху теплопровідність, вологочутливість, високотемпературну стабільність і збереження механічної цілісності, а експлуатаційний контроль повинен охоплювати не лише температуру поверхні, а й ознаки зволоження та стан зовнішньої оболонки ізоляції.

Список літератури

1. Бікс Ю. С., Ратушняк Г. С., Ратушняк О. Г., Лялюк А. О. Установка для дослідження теплопровідності енергоефективних теплоізоляційних матеріалів рослинного походження. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2020. Т. 28. № 1. С. 100–107. DOI: 10.31649/2311-1429-2020-1-100-107.
2. Ратушняк Г. С., Бікс Ю. С., Лялюк А. О. Експериментальні дослідження теплопровідності теплоізоляційних матеріалів із мінеральної вати.

- Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2022. Т. 32. № 1. С. 43–48. DOI: 10.31649/2311-1429-2022-1-43-48.
3. Hayrullin A. R., Haibullina A. I., Gusyachkin A. M. Thermal Conductivity of Insulation Material: Effect of Moisture Content and Wet-Drying Cycle. Materials Science Forum. 2023. Vol. 1085. P. 119–124. DOI: 10.4028/p-c1g33d
 4. Ратушняк Г. С., Бікс Ю. С., Лялюк А. О., Ратушняк Д. А. Моделювання системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень з оцінювання енергоефективності огорожувальних конструкцій будівель з використанням лінгвістичних змінних. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2024. Т. 36. № 1. С. 91–95. DOI: 10.31649/2311-1429-2024-1-91-95.
 5. Лялюк А. О. Планування багатофакторного експерименту при дослідженні впливу вологовмісту теплоізоляційного матеріалу на його теплопровідність. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2025. Т. 39. № 2. С. 149–155. DOI: 10.31649/2311-1429-2025-2-149-155.
 6. Lu F., Kaviany M., Williams J., Addison-Smith T. Heat, mass and momentum transport in wet mineral-wool insulation: Experiment and simulation. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2024. Vol. 228. Art. 125644. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125644.
 7. Sinyavin A., Hayrullin A., Khusnutdinova M., Dyachuk J., Haibullina A., Ilyin V., Bronskaya V., Bashkirov D. Comparative Experimental Analysis of Wet-State Thermal Performance in Pipe Mineral Wool Insulation with Different Hydrophobic Treatments. Energies. 2025. Vol. 18, no. 22. Art. 6074. DOI: 10.3390/en18226074..
 8. Джеджула В. В. Вплив особливостей прокладання та експлуатації трубопроводів на енергоефективність теплових мереж. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. 2024. Т. 37. № 2. С. 193–199. DOI: 10.31649/2311-1429-2024-2-193-199.
 9. Постоленко А., Величко А. Експлуатаційна придатність конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками при застосуванні двохшарової теплоізоляції. Наука та будівництво. 2025. Т. 41. № 3. DOI: 10.33644/2313-6679-3-2024-4.
 10. Басок Б. І., Гончарук С. М., Данішевський А. С., Гоман Є. І. Динаміка теплофізичних характеристик термоізоляційних матеріалів фасадів будівлі. Енерготехнології та ресурсозбереження. 2025. Т. 84. № 3. С. 119–128. DOI: 10.33070/etars.3.2025.09.
 11. Данішевський А. Інтенсивність деградації теплопровідності теплоізоляційних матеріалів фасадів будівель. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2026. № 1. DOI: 10.20535/1813-5420.1.2026.355379.
 12. Pei W., Ming F., Zhang M., Wan X. A thermal conductivity model for insulation materials considering the effect of moisture in cold regions. Cold Regions Science and Technology. 2023. Vol. 207. Art. 103770. DOI: 10.1016/j.coldregions.2022.103770.
 13. Lu F., Kaviany M., Williams J., Addison-Smith T. Heat, mass and momentum transport in wet mineral-wool insulation: Experiment and simulation. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2024. Vol. 228. Art. 125644. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125644.
 14. Lakatos Á., Csík A., Lucchi E., La Rosa A. D. Thermal performance and ageing effects to model the life cycle assessment of heat-protective thermal insulation materials in pipe systems. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2025. Vol. 164. Part A. Art. 108819. DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2025.108819.

15. Sinyavin A., Hayrullin A., Khusnutdinova M., Dyachuk J., Haibullina A., Ilyin V., Bronskaya V., Bashkirov D. Comparative Experimental Analysis of Wet-State Thermal Performance in Pipe Mineral Wool Insulation with Different Hydrophobic Treatments. *Energies*. 2025. Vol. 18. No. 22. Art. 6074. DOI: 10.3390/en18226074.
 16. Lou C., Zhai C., Li L., Shang Y., Li X., Li D. Thermal insulation design for superheated steam pipeline transport: Balancing technical and economic factors for optimal performance. *Applied Thermal Engineering*. 2025. Vol. 269, Part B. Art. 126134. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2025.126134.
- References (transliterated)**
1. Biks Yu. S., Ratushnyak G. S., Ratushnyak O. G., Lyalyuk A. O. Ustanovka dlya doslidzhennya teploprovodnosti energoefektivnih teploizolyacijnih materialiv roslinnogo pohodzhennya. *Suchasni tehnologiyi, materiali i konstrukciyi v budivnictvi*. 2020. T. 28. № 1. S. 100–107. DOI: 10.31649/2311-1429-2020-1-100-107.
 2. Ratushnyak G. S., Biks Yu. S., Lyalyuk A. O. Eksperimentalni doslidzhennya teploprovodnosti teploizolyacijnih materialiv iz mineralnoyi vati. *Suchasni tehnologiyi, materiali i konstrukciyi v budivnictvi*. 2022. T. 32. № 1. S. 43–48. DOI: 10.31649/2311-1429-2022-1-43-48.
 3. Hayrullin A. R., Haibullina A. I., Gusyachkin A. M. Thermal Conductivity of Insulation Material: Effect of Moisture Content and Wet-Drying Cycle. *Materials Science Forum*. 2023. Vol. 1085. P. 119–124. DOI: 10.4028/p-c1g33d
 4. Ratushnyak G. S., Biks Yu. S., Lyalyuk A. O., Ratushnyak D. A. Modelyuvannya sistemi intelektualnoyi pidtrimki priynyattya rishen z ocynyuvannya energoefektivnosti ogorodzhuvalnych konstrukcij budivel z vikoristanniam lingvistichnih zmernih. *Suchasni tehnologiyi, materiali i konstrukciyi v budivnictvi*. 2024. T. 36. № 1. S. 91–95. DOI: 10.31649/2311-1429-2024-1-91-95.
 5. Lyalyuk A. O. Planuvannya bagatofaktornogo eksperimentu pri doslidzhenni vplivu vologovmistu teploizolyacijnogo materialu na jogo teploprovodnist. *Suchasni tehnologiyi, materiali i konstrukciyi v budivnictvi*. 2025. T. 39. № 2. S. 149–155. DOI: 10.31649/2311-1429-2025-2-149-155.
 6. Lu F., Kaviany M., Williams J., Addison-Smith T. Heat, mass and momentum transport in wet mineral-wool insulation: Experiment and simulation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2024. Vol. 228. Art. 125644. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125644.
 7. Sinyavin A., Hayrullin A., Khusnutdinova M., Dyachuk J., Haibullina A., Ilyin V., Bronskaya V., Bashkirov D. Comparative Experimental Analysis of Wet-State Thermal Performance in Pipe Mineral Wool Insulation with Different Hydrophobic Treatments. *Energies*. 2025. Vol. 18. No. 22. Art. 6074. DOI: 10.3390/en18226074.
 8. Dzhedzhula V. V. Vpliv osoblivostej prokladannya ta ekspluatatsiyi truboprovodiv na energoefektivnist teplovih merezh. *Suchasni tehnologiyi, materiali i konstrukciyi v budivnictvi*. 2024. T. 37. № 2. S. 193–199. DOI: 10.31649/2311-1429-2024-2-193-199.
 9. Postolenko A., Velichko A. Ekspluatacijna pridatnist konstrukcij zovnishnih stin iz fasadnoyu teploizolyaciyyu ta oporyadzhenniam shtukaturkami pri zastosuvanni dvosharuvoyi teploizolyaciyi. *Nauka ta budivnictvo*. 2025. T. 41. № 3. DOI: 10.33644/2313-6679-3-2024-4.
 10. Basok B. I., Goncharuk S. M., Danishevskij A. S., Goman Ye. I. Dinamika teplofizichnih karakteristik termoizolyacijnih materialiv fasadiv budivli. *Energotehnologiyi ta resursozberezhennya*. 2025. T. 84. № 3. S. 119–128. DOI: 10.33070/etars.3.2025.09.
 11. Danishevskij A. Intensivnist degradaciyi teploprovodnosti teploizolyacijnih materialiv fasadiv budivli. *Energetika: ekonomika, tehnologiyi, ekologiya*. 2026. № 1. DOI: 10.20535/1813-5420.1.2026.355379.
 12. Pei W., Ming F., Zhang M., Wan X. A thermal conductivity model for insulation materials considering the effect of moisture in cold regions. *Cold Regions Science and Technology*. 2023. Vol. 207. Art. 103770. DOI: 10.1016/j.coldregions.2022.103770.
 13. Lu F., Kaviany M., Williams J., Addison-Smith T. Heat, mass and momentum transport in wet mineral-wool insulation: Experiment and simulation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2024. Vol. 228. Art. 125644. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125644.
 14. Lakatos Á., Csík A., Lucchi E., La Rosa A. D. Thermal performance and ageing effects to model the life cycle assessment of heat-protective thermal insulation materials in pipe systems. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. 2025. Vol. 164. Part A. Art. 108819. DOI: 10.1016/j.icheatmasstransfer.2025.108819.
 15. Sinyavin A., Hayrullin A., Khusnutdinova M., Dyachuk J., Haibullina A., Ilyin V., Bronskaya V., Bashkirov D. Comparative Experimental Analysis of Wet-State Thermal Performance in Pipe Mineral Wool Insulation with Different Hydrophobic Treatments. *Energies*. 2025. Vol. 18. No. 22. Art. 6074. DOI: 10.3390/en18226074.
 16. Lou C., Zhai C., Li L., Shang Y., Li X., Li D. Thermal insulation design for superheated steam pipeline transport: Balancing technical and economic factors for optimal performance. *Applied Thermal Engineering*. 2025. Vol. 269, Part B. Art. 126134. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2025.126134.

Відомості про авторів (About authors)

Мезеря Андрій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна. ORCID: 0000-0001-8337-2739; e-mail: mezzera@ukr.net;

Mezerya Andrii – Candidate of Technical Sciences Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy-Efficient Technologies; V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine. ORCID: 0000-0000-0001-8337-2739; e-mail: mezzera@ukr.net;

Антоненко Наталія Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна. ORCID: 0009-0000-0879-1642; e-mail: n.s.antonenko@karazin.ua;

Antonenko Natalia – Candidate of Technical Sciences Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy-Efficient Technologies; V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine. ORCID: 0009-0000-0879-1642; e-mail: n.s.antonenko@karazin.ua;

Князева Вікторія Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна. ORCID: 0000-0002-3106-4897; e-mail: vitok911@ukr.net;

Kniazieva Viktoria – Candidate of Technical Sciences Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy-Efficient Technologies; V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine. ORCID: 0000-0002-3106-4897; e-mail: vitok911@ukr.net;

Близниченко Олена Миколаївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна. ORCID: 0009-0000-1654-1598; e-mail: art-studio_diana_@ukr.net;

Bliznichenko Olena – Candidate of Technical Sciences Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy-Efficient Technologies; V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine. ORCID: 0009-0000-1654-1598; e-mail: art-studio_diana_@ukr.net;

Василець Тетяна Юхимівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій; Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна. ORCID: 0000-0002-2148-8645; e-mail: vasyleczyty@uipa.edu.ua;

Vasileys Tetiana – Candidate of Technical Sciences Associate Professor of the Department of Automation, Metrology and Energy-Efficient Technologies; V.N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Square, 4, Kharkiv, 61022, Ukraine. ORCID: 0000-0002-2148-8645; e-mail: vasyleczyty@uipa.edu.ua;

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Мезеря А.Ю., Антоненко Н.С., Князева В.М., Близниченко О.М., Василець Т.Ю. Вплив вологості на якість теплоізоляції паропроводів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2026. № 2 (28). С. 67-73. doi:10.20998/2413-4295.2026.02.09.

Please cite this article as:

Mezerya A., Antonenko N., Kniazieva V., Bliznichenko O., Vasilets T. The effect of moisture on the quality of steam pipeline thermal insulation. *Bulletin of the National Technical University "KhPI"*. Series: New solutions in modern technology. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2026, no. 2(28), pp. 67–73, doi:10.20998/2413-4295.2026.02.09.

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