

## ДИНАМІКА ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПІНОПОЛІУРЕТАНОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ БУДІВЛІ

**Проблематика:** Енергетична незалежність держави є ключовим елементом її безпеки. Сучасні реалії вимагають мінімізації енергоспоживання, що сприятиме більш ефективній заміні традиційних джерел енергії. Саме тому, експериментально-розрахункові дослідження теплофізичних параметрів термоізоляційних матеріалів важливі та актуальні в проблематиці енергоефективності та потребують більшої уваги в галузі наук.

**Мета дослідження.** Дослідити вплив терміну експлуатації на коефіцієнт теплопровідності поліуретанової теплоізоляції огороджувальної конструкції.

**Методика реалізації.** Методика полягає у вимірюванні фактичних параметрів у сталому тепловому режимі за певних температурно-вологісних умов по обидва боки огороджувальної конструкції. А саме, поверхневої густини теплового потоку через конструкцію, температур внутрішньої і зовнішньої поверхонь на термічно однорідних ділянках за допомогою контактних вимірювальних засобів та температур внутрішнього і зовнішнього повітря, що оточує конструкцію.

**Результати дослідження.** Проведено аналіз та обробку експериментальних даних температурних коливань та розподілу густини теплового потоку на термомодернізованій ділянці стінової огороджувальної конструкції, утепленої поліуретановою теплоізоляцією, за період 7–8 січня 2024 року. Також, проведено порівняння фактичного коефіцієнта теплопровідності поліуретанової теплоізоляції з результатами досліджень за попередні роки.

**Висновки.** Поліуретанова теплоізоляція володіє належними теплоізоляційними властивостями та є ефективним теплоізолятором. Отримані результати є важливими для прогнозування довговічності та ефективності поліуретанових матеріалів у теплоізоляційних застосуваннях та демонструють важливість довгострокових експериментальних досліджень для оцінки змін теплофізичних властивостей матеріалів у реальних умовах експлуатації.

**Ключові слова:** енергоефективність; тепла ізоляція; тепловий потік, коефіцієнт теплопровідності, огороджувальна конструкція

### Вступ.

Сучасний стан енергетики України підкреслює важливість дослідження теплофізичних характеристик зовнішніх огороджувальних конструкцій (ОК) стін, особливо в контексті енергоефективності та зменшення енергетичних втрат у будівлях. Оскільки країна стикається з нестабільністю електропостачання та обмеженням ресурсів, ефективне використання енергії в будівлях набуває критичного значення.

В умовах дефіциту енергоресурсів і складнощів в енергосистемі, покращення теплоізоляції та дослідження теплових властивостей стінових ОК сприятимуть значному зменшенню енерговитрат на опалення та охолодження приміщень. Це допоможе мінімізувати залежність від зовнішніх джерел енергії, зменшити навантаження на електромережі, які вже працюють на межі можливостей, та підвищити стійкість до можливих енергетичних криз. Тому, дослідження теплофізичних характеристик ОК є ключовим напрямком для підвищення енергоефективності будівель та забезпечення більш раціонального використання енергетичних ресурсів в умовах їх обмеженості.

### Мета роботи.

Дослідити вплив терміну експлуатації на коефіцієнт теплопровідності теплоізоляційного матеріалу (поліуретан) ОК.

### Об'єкт дослідження.

Для дослідження було обрано будівлю, що потребує термореновації. Це триповерхова громадська споруда, введена в експлуатацію в 1973 році, збудована за типовим проектом № 416-3-3/70 (1966 р.) під назвою "Універсальна 3-поверхова споруда розміром 18х60 м для інженерних корпусів, проектно-конструкторських бюро та адміністративних приміщень". Термомодернізація була проведена шляхом заміни старих вікон у приміщеннях на сучасні склопакети та влаштування теплоізоляційних покриттів з різних видів матеріалів на частині площі зовнішньої поверхні огорож на північному фасаді будівлі (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема утеплення ОК верхнього поверху корпусу № 1 ІТТФ НАН України

Для експериментального визначення впливу погодних умов на температурний стан будівельних конструкцій з утеплювачем було використано вимірювальний комплекс, що включає датчики, вторинні прилади і персональний комп'ютер [1].

**Методика дослідження.** Основною теплофізичною характеристикою теплоізоляційних матеріалів є коефіцієнт теплопровідності, який фактично визначає приведений опір теплопередачі через огорожувальну конструкцію.

Для запобігання впливу сонячної радіації найбільш стабільні експериментальні дані від датчиків температури і теплового потоку, отримані в нічний час.

При розрахунку тепловтрат через огорожувальні конструкції будівель і споруд зазвичай використовують значення їхнього опору теплопередачі:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}, \quad (1)$$

де  $\alpha_1$  - коефіцієнт теплопередачі від внутрішнього повітря до огорожувальної конструкції (8,7 Вт / м<sup>2</sup> · К);

$\alpha_2$  - коефіцієнт теплопередачі від огорожувальної конструкції до зовнішнього повітря (23 Вт / м<sup>2</sup> · К);

$\delta_i$  - товщина шару огорожувальної конструкції, м;

$\lambda_i$  - коефіцієнт теплопровідності, Вт / м<sup>2</sup> · К.

Згідно з [2, 3], фактичні теплоізоляційні властивості можна оцінити методом теплових випробувань у натурних умовах. Цей метод полягає у вимірюванні фактичних параметрів у сталому тепловому режимі за певних температурно-вологісних умов по обидва боки ОК.

Зокрема:

- поверхневої густини теплового потоку через конструкцію та температур внутрішньої і зовнішньої поверхонь на термічно однорідних ділянках за допомогою контактних вимірювальних засобів;

- температур внутрішнього і зовнішнього повітря, що оточує конструкцію.

На основі отриманих даних розраховують коефіцієнт теплопровідності відповідно до розрахункових формул [2].

Для кількісного аналізу теплообміну між приміщенням і навколишнім середовищем був використаний існуючий комплекс для дослідження тепловтрат. Він включає перетворювачі теплових потоків із вбудованими платиновими термометрами опору (ПТП-ПТО), мідні термометри опору (МТО) ТСМ-205, а також вторинні прилади для збору, передачі та обробки експериментальних даних: УКТ-38 (для температурних датчиків) і «Експерт» (для перетворювачів теплового потоку).

До комплексу входять адаптери для зв'язку вторинних приладів із комп'ютером. Схему збору, передачі та запису даних на комп'ютер наведено на рисунку 2. Цей вимірювальний комплекс дозволяє в реальному часі визначати густину теплових потоків на поверхнях і температурні характеристики цих поверхонь.

Оцінка тепловтрат, аналіз та інші теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій здійснюються шляхом встановлення ПТП-ПТО та МТО ТСМ205 на поверхні цих конструкцій.

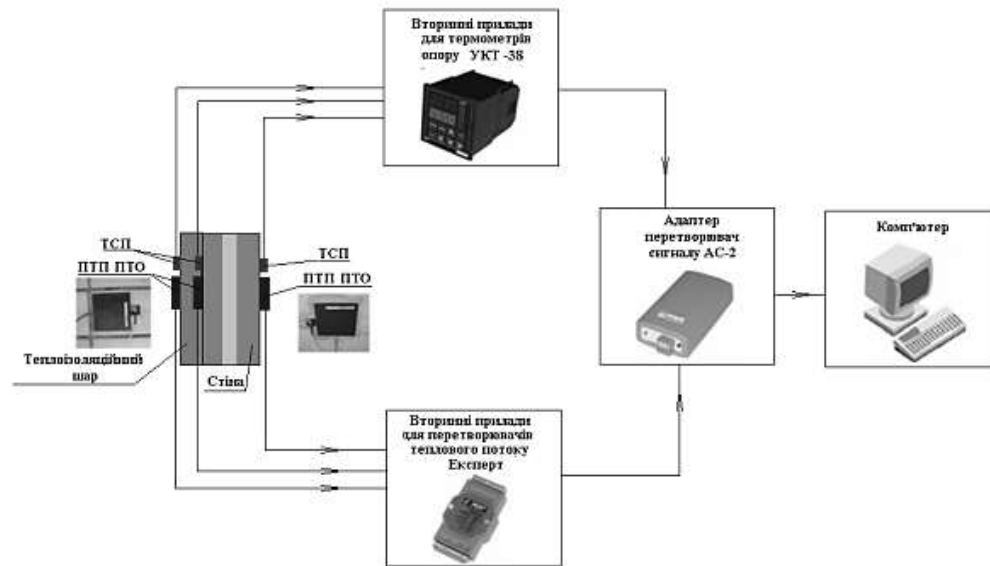


Рисунок 2 – Принципова схема існуючого комплексу дослідження тепловтрат

Оскільки температурне поле огорожувальних конструкцій і розподіл густини теплового потоку на їх поверхнях мають значну нерівномірність, датчики ПТП-МТО та МТО розташовуються на внутрішній і зовнішній поверхнях стін, а також між стіною та утеплювачем у випадку утеплення. Вони встановлюються на одній осі, перпендикулярній до поверхні стіни, поруч один з одним. Детальний опис геометричного розташування датчиків та методики збору й обробки даних наведено в джерелі [4].

**Результати дослідження.** Експериментальні дані були зібрані за січень-лютий 2024 року. Для розрахунку був обраний період часу з 18:00 7 січня 2024 року по 6:00 8 січня 2024 року, так як це нічний період часу за якого температурний напір не менший ніж 15 К ( $\Delta T_{\text{НС}} \geq 15\text{K}$ ) [5], відсутній вплив сонячного випромінювання і персоналу.

Експериментальні дані коливань густин теплового потоку та температур наведено на рисунках 3 та 4.

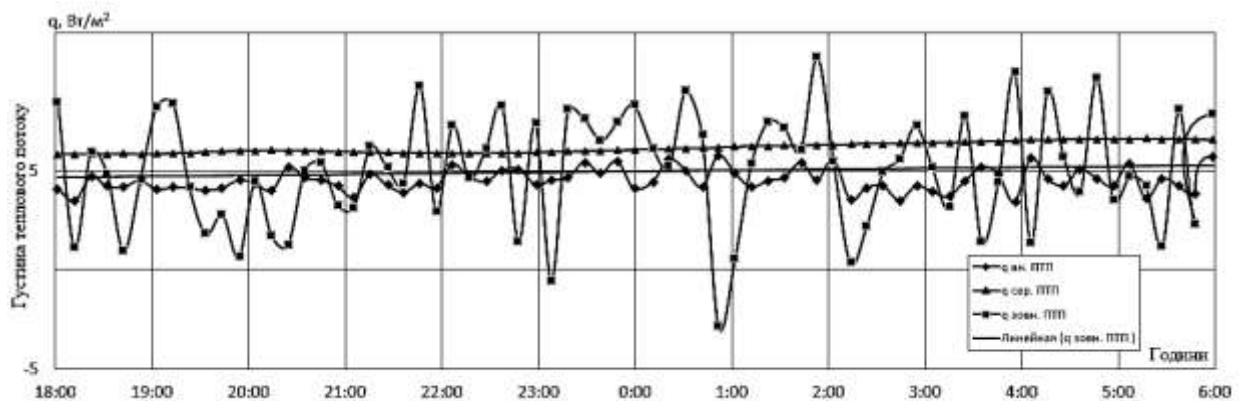


Рисунок 3 – Коливання густини теплового потоку термомодернізованої ділянки стінової огорожувальної конструкції утепленої поліуретановою теплоізоляцією

Далі було проведено розрахунок коефіцієнта теплопровідності теплоізоляційного матеріалу, експлуатаційний період якого 11 років, відповідно до розрахункових формул [2].

На рисунку 5 відображено часову динаміку зміни експериментально-розрахункових значень коефіцієнта теплопровідності поліуретану. Дані за попередні роки взяті з [6, 7].

На рисунку спостерігається поступове зростання коефіцієнта теплопровідності в перші роки експлуатації. З 2013 року до 2019 року коефіцієнт теплопровідності поліуретану зріс з 0,025 Вт/(м·К) до 0,029 Вт/(м·К). Це свідчить про зниження теплоізоляційних властивостей матеріалу з часом, ймовірно, через старіння, вплив зовнішніх факторів (температури, вологи, УФ-випромінювання) або деградацію структури.

Після 2019 року спостерігається відносна стабільність коефіцієнта теплопровідності на рівні 0,03 Вт/(м·К). Це може свідчити про те, що після початкового періоду старіння матеріал досяг стабільного стану і його подальша деградація сповільнюється або зупиняється.

Найбільший приріст теплопровідності відбувся між 2013 та 2019 роками (на 0,004 Вт/(м·К), або 16%). У період з 2019 по 2024 рік зміна склала лише 0,001 Вт/(м·К), тобто 3,4%. Це підтверджує гіпотезу про нелінійну динаміку деградації та нелінійне «старіння» теплофізичних параметрів поліуретану.

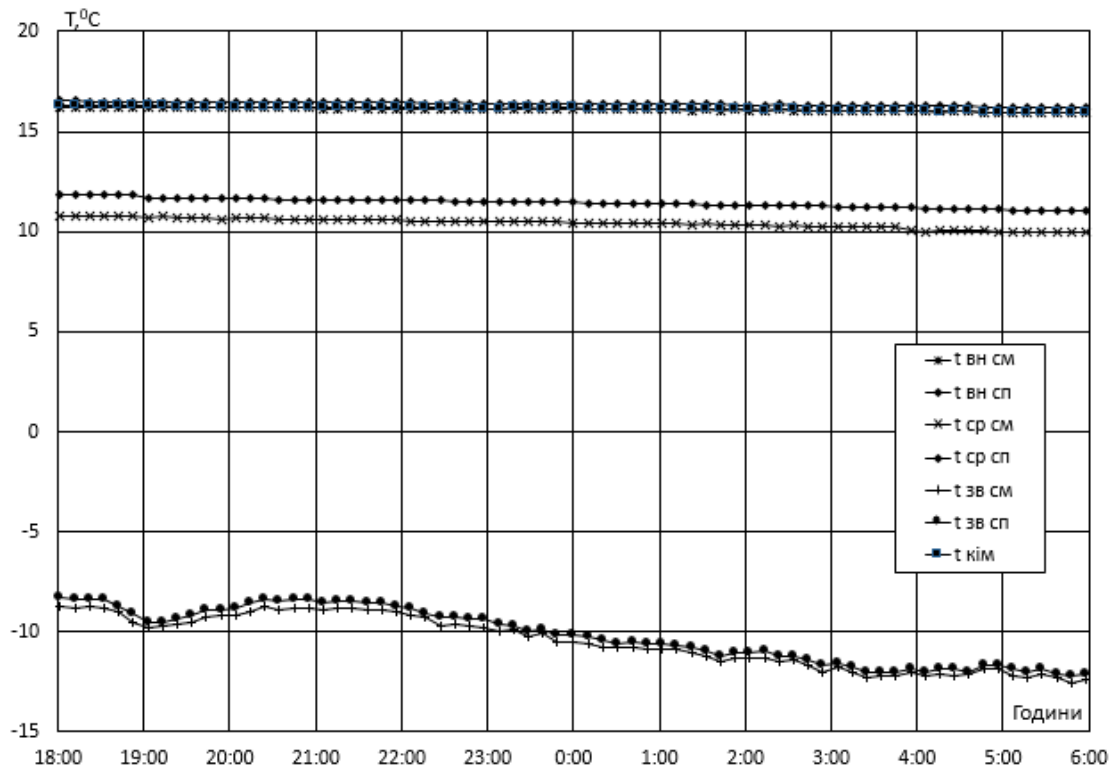


Рисунок 4 – Коливання температур термомодернізованої ділянки стінової огорожувальної конструкції утепленої поліуретановою теплоізоляцією

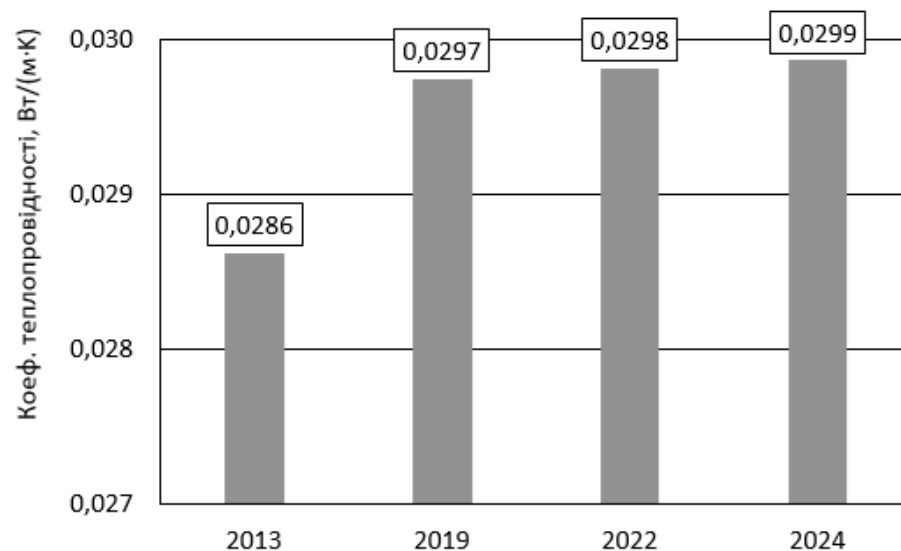


Рисунок 5 – Динаміка зміни коефіцієнта теплопровідності поліуретану за 11 років експлуатації

**Висновки.** Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що в перші роки експлуатації, спостерігається поступове збільшення теплопровідності поліуретану, що може свідчити про деградацію теплофізичних параметрів та деградацію структури матеріалу під впливом експлуатаційних умов.

Однак, в останні роки цей показник стабілізувався, що може вказувати на досягнення матеріалом стабільного стану. Це свідчить про належні теплоізоляційні властивості поліуретану та про те, що цей матеріал є ефективним теплоізолятором.

Отримані результати є важливими для прогнозування довговічності та ефективності поліуретанових матеріалів у теплоізоляційних застосуваннях та демонструють важливість довгострокових експериментальних досліджень для оцінки змін теплофізичних властивостей матеріалів у реальних умовах експлуатації.

A. Danishevskiy<sup>1</sup>, Ph.D. student, ORCID 0000-0002-6166-0999

B. Basok<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000-0002-8935-4248

<sup>1</sup>Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

## DYNAMICS OF THERMAL CONDUCTIVITY IN POLYURETHANE INSULATION OF THE BUILDING ENCLOSING STRUCTURE

**Background:** Energy independence of the state is a key element of its security. Modern realities require minimisation of energy consumption, which will contribute to a more efficient replacement of traditional energy sources. That is why experimental and computational studies of the thermophysical parameters of thermal insulation materials are important and relevant in the field of energy efficiency and require more attention in the field of science.

**The purpose of the study:** To investigate the effect of service life on the thermal conductivity coefficient of polyurethane thermal insulation of the building enclosing structure.

**Methods:** The actual parameters were measured in a steady-state thermal regime under certain temperature and humidity conditions on both sides of the building enclosing structure. Namely, the surface density of the heat flux through the structure, the temperatures of the inner and outer surfaces in thermally homogeneous areas using contact measuring instruments and the temperatures of the internal and external air surrounding the structure.

**Results:** The experimental data of temperature fluctuations and heat flux density distribution on the thermally modernised section of the wall enclosing structure insulated with polyurethane thermal insulation for the period of 7-8 January 2024 were analysed and processed. Also, the actual thermal conductivity coefficient of polyurethane insulation was compared with the results of research for previous years.

**Conclusions:** polyurethane thermal insulation has adequate thermal insulation properties and is an effective heat insulator. The obtained results are important for predicting the durability and efficiency of polyurethane materials in thermal insulation applications and demonstrate the importance of long-term experimental studies to assess changes in the thermal and physical properties of materials in real operating conditions.

**Keywords:** energy efficiency; thermal insulation; heat flow, thermal conductivity coefficient, enclosing structure

### References

1. B.I. Basok, B.V. Davydenko, S.M. Goncharuk. Institute of Technical Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Variable thermal expansion of the enclosing structures of a part of the floor of an existing administrative building and monitoring of heat losses during its long-term operation. Kyiv. Science and Innovation. 2013. T. 9. № 2. pp. 18-21.
2. DSTU B V.2.6-101: 2010 Method for determining the heat transfer resistance of enclosing structures. Valid from 20.01.2010. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, 2010. 84 p.
3. M.V.V. No. 081/24-0778-11 Metrology. Resistance to heat transfer through the building envelope of buildings and structures for various purposes. Method of measurements by the combined thermal imaging and thermometric method. ITTF NANU, 2011.
4. Basok, B. I., Davydenko, B. V., Honcharuk, S. M., Novitska, M. P. (2013). Doslidzhennia teplovtrat cherez zovnishniu stinovu konstruktsiiu z dodatkovym sharom uteplennia [Study of heat loss through an external wall structure with an additional layer of insulation].
5. Goncharuk S.M. Experimental determination of heat losses from the surfaces of the building envelope of an administrative building. Industrial heat engineering. 2011. T. 33, № 8. pp. 175-180.
6. Study of the influence of service life on the thermal and physical properties of different types of thermal insulation of wall enclosing structures. Technologies and Engineering, No. 1(12), 2023. pp. 18-25.
7. Borys BASOK, Svitlana GONCHARUK, Maryna MOROZ, Hanna VEREMIICHUK. EXPERIMENTAL RESEARCH OF HEAT TRANSFER THROUGH HEAT-INSULATED WALL ENCLOSURE STRUCTURES. Journal of New Technologies in Environmental Science, 2023-3-1. pp. 77-82

Надійшла: 10.03.2025

Received: 10.03.2025