

УДК 515.2

¹БАСОК Б. І., ²ПРИЙМАК О. В.,
¹ГОНЧАРУК С. М., ^{1,2}ПАСІЧНИК П. О.

¹ Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна

² Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМІНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ТЕПЛОФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РІЗНИХ ТИПІВ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ СТІНОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Мета. Метою дослідження є аналіз поведінки та зміни теплофізичних властивостей найбільш використовуваних у будівництві теплоізоляційних систем протягом повного терміну експлуатації будівель експериментальним шляхом.

Методика. Для дослідження теплофізичних властивостей різних варіантів теплової ізоляції стінових огороджувальних конструкцій проведені заходи з термомодернізації адміністративної будівлі і розроблено комплекс з дослідження тепловтрат. Проведено порівняння експериментальних даних, що отримані протягом експлуатації теплоізоляційних конструкцій упродовж тривалого терміну експлуатації.

Результати. Отримані дослідні дані щодо коливань температур та розподілу густини теплового потоку термомодернізованої ділянки стінової огороджувальної конструкції утепленої різними способами від 16–17 лютого 2013 року та 16–17 січня 2022 року та порівняно значення фактичних коефіцієнтів теплопровідності різних теплоізоляційних матеріалів у першому наближенні.

Наукова новизна. Експериментально обґрунтована необхідність оцінки впливу терміну експлуатації на теплофізичні властивості теплоізоляційних матеріалів, що використовуються при термомодернізації будівель різного призначення.

Практична значимість. Наведено важливий фактор, що не враховується при проектуванні теплоізоляційних оболонок будівель і споруд та означено шлях його дослідження.

Ключові слова: термомодернізація; енергоефективність; тепла ізоляція; теплопередача; тепловий потік.

Вступ. Енергетична незалежність країни є невід'ємною складовою її безпеки. Сучасність диктує необхідність максимального зниження енергоспоживання, що в свою чергу дозволить більш повно та ефективно замінити чи диверсифікувати традиційні енергетичні джерела. Теплопостачання комунального господарства є одним з головних споживачів теплоенергетичних ресурсів. Аналіз втрат теплової енергії та природного газу при теплопостачанні житлових та адміністративних будівель показує, що 35–40% загальних втрат теплоти припадає на безпосередньо кінцевих споживачів, що свідчить про недосконалість теплової оболонки існуючих споруд [1]. Головною причиною такого положення є те що теплоізоляційна спроможність будівель з десятиліттями експлуатації не відповідають сучасним вимогам енергоефективності та утворення необхідних повітряно-температурних умов у приміщеннях, що експлуатуються. На разі, Україна динамічно прямує до європейських стандартів теплової ізоляції, що відображається у послідовному рості значень нормативних опорів теплопередачі для огороджувальних конструкцій (рис.1). Так, наприклад, в новій редакції ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель» нормативний опір теплопередачі зовнішніх стін житлових будівель для І кліматичної зони складає $4 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ (збільшення на 20%), а для світлопрозорих огороджувальних конструкцій $0,9 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ (збільшення на 20%) [2]. Єдиним шляхом приведення до норм теплоізоляційної оболонки будівель є заходи повної чи часткової термомодернізації [3], а саме термореновація огороджувальних конструкцій, основними заходами якої є заміна віконних конструкцій та улаштування додаткового шару теплової ізоляції на зовнішніх стінах. В даному дослідженні увага приділена саме тепловій ізоляції зовнішніх стін.

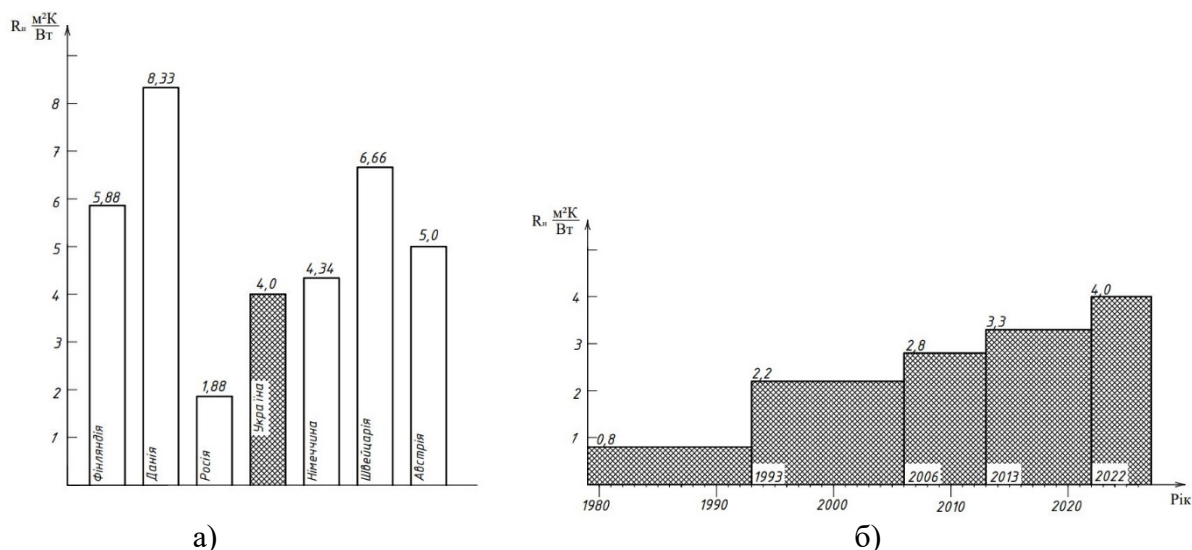


Рис. 1. а) Нормативний коефіцієнт термічного опору R_n , для зовнішніх стін в країнах Європи станом на 2022 рік; б) динаміка розвитку коефіцієнту нормативного термічного опору R_n , зовнішніх стін на території України

Заходи з теплової ізоляції зовнішніх стін існуючих будівель мають велику кількість варіантів, що зумовлюються значною кількістю теплоізоляційних матеріалів та способів їх нанесення чи улаштування. Найбільш розповсюдженими матеріалами для утеплення стін є вироби з мінеральної вати (скловата чи базальтова вата), пінополістирол, пінополіуритан, вермикуліто-перлітова штукатурка тощо. Заходи з термореновації огорожувальних конструкцій потребують значних капітальних затрат, тому виникає потреба в проведенні глибокого енергетичного та економічного аналізу щодо використання тих чи інших видів теплової ізоляції [4]. Важливим маловивченим фактором при виборі теплової ізоляції та проектуванні теплової оболонки будівлі є зміна теплофізичних характеристик теплоізоляційних матеріалів протягом тривалої експлуатації протягом терміну експлуатації самої будівлі.

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз поведінки та зміни теплофізичних властивостей найбільш використовуваних у будівництві теплоізоляційних систем протягом повного терміну експлуатації будівель експериментальним шляхом. Вплив експлуатаційної зношеності теплоізоляційної оболонки має бути врахований в інженерних розрахунках при її проектуванні.

Об'єкт досліджень. Енергетична ефективність будівель характеризується класом енергоефективності, який в свою чергу визначається згідно [2] за відсотковою різницею між фактичною та максимально допустимою енергопотребою. Фактична енергопотреба визначається

$$EP = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd}) / A_f, \quad (1)$$

- EP – фактична питома енергопотреба будівлі, $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$;
 $Q_{H,nd}$ – енергопотреба для опалення, $\text{кВт}\cdot\text{год}$;
 $Q_{C,nd}$ – енергопотреба на охолодження, $\text{кВт}\cdot\text{год}$;
 $Q_{DHW,nd}$ – енергопотреба на гаряче водопостачання, $\text{кВт}\cdot\text{год}$;
 A_f – кондиціонована (опалювана) площа, м^2 .

Близько 60% загальної енергопотреби будівлі забирає на себе система опалення, фактично функцією якої є компенсація тепловтрат через огорожувальні конструкції, що в свою чергу характеризується термічним опором теплової оболонки, що визначається [5]

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{зов}}} + \sum_i^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}}, \quad (2)$$

R_{Σ} – опір теплопередачі багат шарової однорідної стінки, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;

$\alpha_{\text{зов}}$ – коефіцієнт тепловіддачі від огорожувальної конструкції до зовнішнього повітря ($23 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$);

$\alpha_{\text{вн}}$ – коефіцієнт тепловіддачі від внутрішнього повітря до огорожувальної конструкції ($8,7 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{К}$);

δ_i – товщина шару огорожувальної конструкції, м ;

λ_i – коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$;

Таким чином зміна коефіцієнту теплопровідності теплоізоляційних матеріалів упродовж терміну експлуатації може призвести до зміни класу енергоефективності, а оскільки велика кількість нових та реконструйованих будівель задля економії капітальних затрат мають мінімально допустимий клас С, то енергоефективність будівлі після певного періоду часу стане просто недопустимою. Виходячи з вищевказаного, при інженерних розрахунках варто враховувати, так зване, «старіння» теплоізоляційних матеріалів протягом терміну експлуатації будівлі.

Для проведення досліджень необхідно натурно відтворити процес експлуатації існуючої будівлі з різноваріантною тепловою ізоляцією. Об'єктом дослідження було вибрано споруду, що підлягає термореновації, представляє собою триповерхову громадську будівлю, що здана в експлуатацію у 1973 р. Вона побудована за типовим проектом № 416-3-3/70 (1966 р.) «Універсальна 3-поверхова споруда розміром $18 \times 60 \text{ м}$ для розміщення інженерних корпусів, проектно-конструкторських бюро, адміністративних приміщень». Висота споруди складає $10,6 \text{ м}$. Після експлуатації споруди протягом 39 років теплоізоляційна спроможність вікон та зовнішніх стін суттєво зменшилась та не відповідає сучасним вимогами щодо енергоефективності будівлі. Крім того, передбачені за проектом 1966 р. заходи щодо теплоізоляції споруди орієнтувалися на існуючу в той час систему тепlopостачання та рівні цін на енергоносії. За згаданим проектом зовнішні стіни споруди триповерхового корпусу виконані з армованих керамзитобетонних панелей серії «ИИ-04-5 Випуск 1», що мають ширину $0,24 \text{ м}$. Ці будівельні вироби являють собою сендвіч - панелі, що мають усередині порожнину шириною $0,08 \text{ м}$, яка заповнена шлаковатою для підвищення теплоізоляційної спроможності зовнішніх стін корпусу [6]. Вікна в корпусі виконані у відповідності з ГОСТ 11214-65. Вікна цієї серії містять два скла шириною 4 мм та дерев'яні рами (рис. 2).



Рис. 2. Загальний вигляд досліджуваної будівлі
з різноваріантною тепловою ізоляцією зовнішніх стін

На вибраних однотипних кімнатах другого поверху (для нівелювання впливу ґрунту чи даху будівлі) зовнішні стіни будівлі теплоізовані наступними шарами: пінополістирольними плитами марки ППС-15, ППС-25 і ППС-35; екструзійним пінополістиролом; базальтовою ватою на різних типах зв'язуючих; вермикуліто-перлітова штукатурка, піноскло, напilenня пінополіуритану.

Роботи з утеплення стін проведені згідно рекомендацій виробників щодо монтажу теплоізоляційних шарів та технології будівельного виробництва.

Методика дослідження. Визначальною теплофізичною характеристикою теплоізоляційних матеріалів являється її коефіцієнт теплопровідності, який фактично визначає приведений опір теплопередачі через огорожувальну конструкцію. Згідно [7, 8] методом теплових випробувань в натурних умовах можна визначити фактичні теплоізоляційні властивості. Сутність методу теплових випробувань огорожувальних конструкцій з метою визначення її теплоізоляційних властивостей полягає у вимірюванні за певних температурно-вологісних умов по обидва боки огорожувальної конструкції в усталеному тепловому режимі фактичних значень:

- поверхневої густини теплового потоку крізь огорожувальну конструкцію та температури внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, характерних термічно однорідних ділянок огорожувальної конструкції контактними засобами вимірювальної техніки;

- температури внутрішнього і зовнішнього повітря навколишнього середовища, що межує з поверхнями огорожувальної конструкції, і обчислюванні опору теплопередачі або приведенного опору теплопередачі за отриманими даними згідно з розрахунковими формулами, які наведено у [7].

Для кількісної оцінки теплообміну між приміщенням і навколишнім середовищем було створено комплекс з дослідження тепловтрат, що складається з перетворювачів теплових потоків з вмонтованими платиновими термометрами опору (ПТП-ПТО); мідних термометрів опору (МТО) ТСМ-205; вторинних приладів для збору, передачі та подальшої обробки експериментальних даних УКТ-38 (для датчиків температури) й «Експерт» (для перетворювачів теплового потоку (ПТП)); адаптерів вторинних приладів та комп'ютера [9]. Схема збору, передачі та запису даних на комп'ютер представлена на рис. 3. Даний вимірювальний комплекс дозволяє в режимі реального часу визначати густини теплових потоків на поверхнях та температурні показники цих поверхонь.

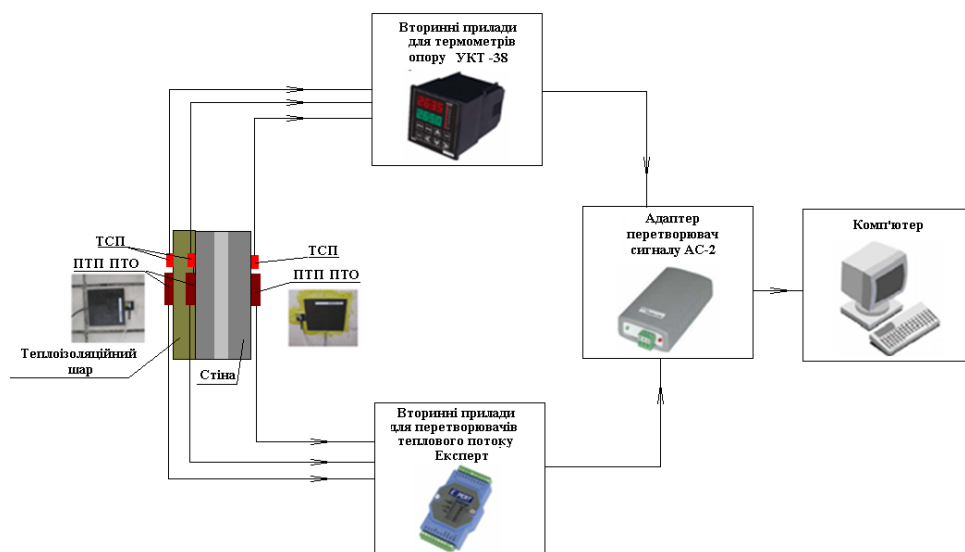


Рис. 3. Схема збору та обробки інформації з вимірювальних датчиків: ПТП-ПТО та МТО

Оцінка тепловтрат, їх аналіз, а також інші теплотехнічні характеристики огорожувальних конструкцій визначаються шляхом встановлення ПТП-ПТО та МТО ТСМ-205 на поверхні огорожувальних конструкцій. Внаслідок того, що температурне поле огорожувальних конструкцій, а також розподіл густин теплового потоку по їх поверхнях суттєво нерівномірні, ПТП-ПТО та МТО встановлюються на внутрішніх, зовнішніх поверхнях стін, а також при утепленні стінової конструкції між стіною та утеплювачем. ПТП-ПТО та МТО розташовуються один поряд з іншим на одній осі, перпендикулярній до поверхні стіни. Детальний опис геометрії розташування датчиків на огорожувальних конструкціях та методи контролю та опрацювання даних наведено в [10].

Результати досліджень. Теплові випробування в натурних умовах проводять у періоди року, коли існує такий сталий температурний режим, за якого температурний напір не менший ніж 15 К ($\Delta T_{\text{НС}} \geq 15$) [6]. Так, перші отримані дослідні дані були отримані в лютому 2013 року та систематизовані фактичні значення опору теплопередачі різноваріантної теплової ізоляції огорожувальних конструкцій. Наступний період зняття експериментальних показів відбувся в січні 2022 року. Приклад графічного зображення коливання температур та розподіл густин теплового потоку термомодернізованого участка стінової огорожувальної конструкції утепленої базальтовою ватою, зв'язуючим якої є бентонітова глина, від 16-17 лютого 2013 року та 16-17 січня 2022 року зображено на рис. 4.

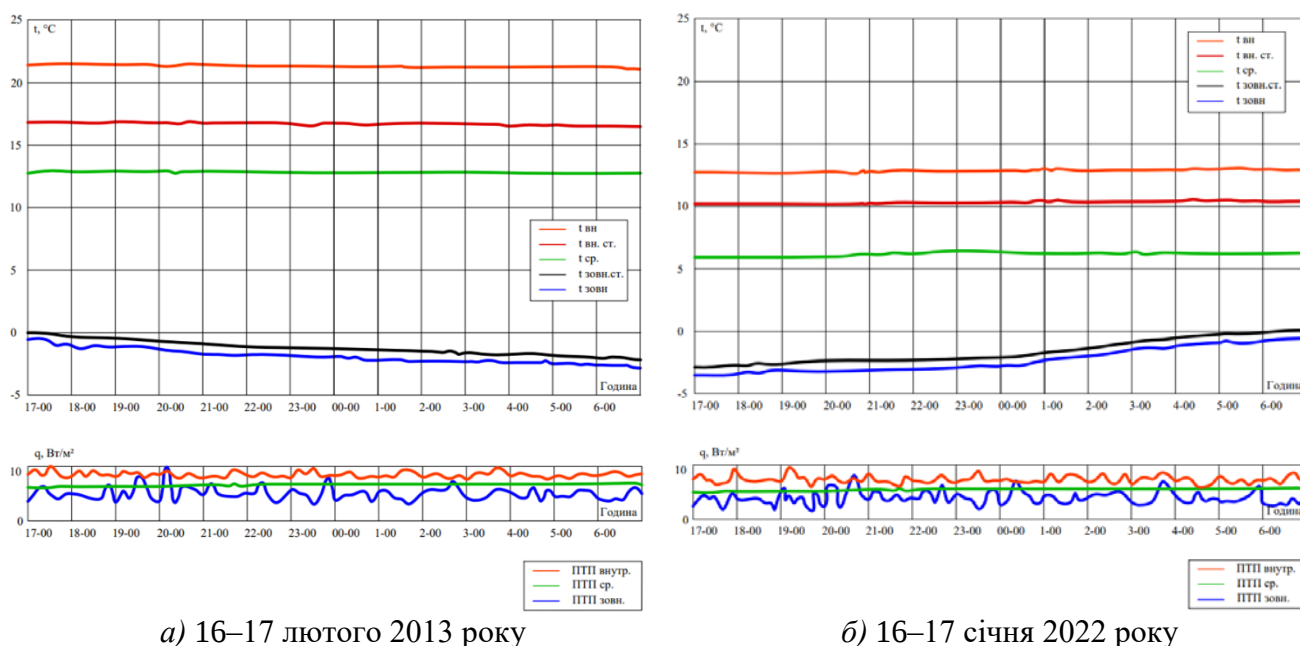


Рис. 4. Коливання температур та густини теплового потоку року термомодернізованого участка стінової огорожувальної конструкції утепленої базальтовою ватою «Техноніколь» (135 кг/м^3) зі зв'язуючим з бентонітової глини

Попередні оціночні експериментально-розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності теплоізоляційних шарів визначалися за середніми значеннями всіх необхідних показів, отриманих після настання квазістаціонарного режиму, формування якого визначалося за контрольними вимірами поверхневої температури внутрішнього та зовнішнього середовища. Для запобігання впливу на вимірювальне обладнання сонячного випромінювання використовуються експериментальні дані, що отримані в нічний час. Порівняльний аналіз фактичних коефіцієнтів теплопровідності порохованих по даним 2013 і 2022 років наведено в діаграмі рис. 5.

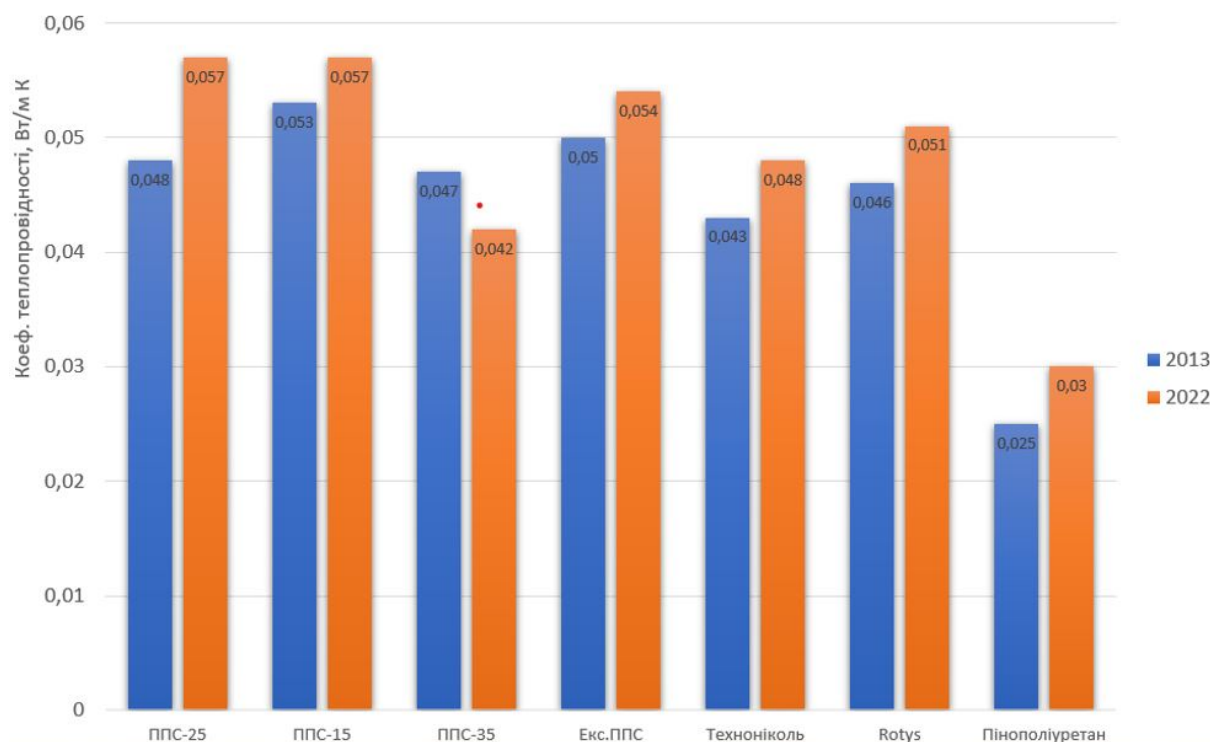


Рис. 5. Зміна експериментально-розрахункових значень теплопровідності теплоізоляційних матеріалів під час експлуатації впродовж дев'яти років

Наведені дані є оціночними і потребують уточнення з врахуванням похибок (так коефіцієнт теплопровідності пінополістиролу ППС-35 став вищим після 9 років експлуатації, що потребує уточнення) та обробкою більшого масиву даних але вони чітко показують, що коефіцієнт теплопровідності зростає впродовж експлуатації і це має бути враховано в інженерних розрахунках.

Висновок. Проведені дослідження та улаштована система вимірювання температурних полів та теплових втрат дозволяють визначити вплив терміну експлуатації на зміну теплотехнічних характеристик теплоізоляційних матеріалів, що необхідно враховувати під час інженерних розрахунків теплової оболонки. Поправку на такий вплив варто було б розглянути для введення в нормативні документи України. Отриманий масив експериментальних даних дозволяє вдосконалити теплофізичні моделі з метою їх подальшого використання для прогнозування тепловтрат через огорожувальні конструкції будівель і споруд. Також оцінка впливу «старіння» теплової ізоляції дозволить більш точно проводити техніко-економічні розрахунки при виборі тих чи інших типів теплоізоляційних матеріалів.

References

1. Basok, B. I., Davydenko, B. V., Honcharuk, S. M. (2013). Riznovariantna termorenovatsiia ohorodzhuvalnykh konstrukttsii chastyny poverkhu isnuiochoi administratyvnoi budivli ta monitorynh teplovtrat pry yii tryvalii ekspluatatsii [Various thermal renovation of the enclosing structures of part of the floor of the existing administrative building and monitoring of heat losses during its long-term operation]. *Nauka ta innovatsii = Science and innovation*, Vol. 9, № 2, P. 18–21 [in Ukrainian].

Література

1. Басок Б. І., Давиденко Б. В., Гончарук С. М. Різноваріантна термореновація огорожувальних конструкцій частини поверху існуючої адміністративної будівлі та моніторинг тепловтрат при її тривалій експлуатації. *Наука та інновації*. 2013. Т. 9, № 2. С. 18–21.

2. DBN V.2.6-31:2021 Teplova izoliatsiia ta enerhoefektyvnist budivel [Thermal insulation and energy efficiency of buildings]. Effective from September 1, 2022. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. 23 p. [in Ukrainian].
3. DSTU-N B V.3.2-3:2014 Nastanova z vykonannia termomodernizatsii zhytlovykh budynkiv [Guidelines for thermal modernization of residential buildings]. Effective from 12/31/2014. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. 67 p. [in Ukrainian].
4. Brodach, M. M., Tabunschikov, Yu. A. (1998). Nauchnye osnovy proektirovaniya energoefektivnykh zdaniy [Scientific basis for the design of energy efficient buildings]. AVOK, №1, P. 11–18 [in Russian].
5. Malyarenko, V. A., Redko, A. F., Chayka, Yu. I., Povolochko, V. B. (2001). Stroitel'naya teplofizika ograzhdayushchikh konstruktсий zdaniy i sooruzheniy [Structural thermal physics of enclosing structures of buildings and structures]. Kharkiv: Rubikon. 280 p. [in Russian].
6. Honcharuk, S. M. (2011). Eksperymentalne vyznachennia teplovtrat z poverkhon ohorodzhuvalnykh konstruktсий administrativnoi budivli [Experimental determination of heat loss from the surfaces of the enclosing structures of the administrative building]. Promushlennaia teplotekhnika = Industrial heat engineering, Vol. 33, № 8, P. 175–180 [in Ukrainian].
7. DSTU B V.2.6-101:2010 Metod vyznachennia oporu teploperedachi ohorodzhuvalnykh konstruktсий [The method of determining the heat transfer resistance of enclosing structures]. Valid since January 20, 2010. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy. 84 p. [in Ukrainian].
8. MVV № 081/24-0778-11 Metrolohiia. Opir teploperedavanniu kriz ohorodzhuvalni konstruktсий budivel i sporud riznogo pryznachennia. Metodyka vykonannia vymiriuvan kombinovanyim teploviziino-teplometrychnym metodom [Metrology. Resistance to heat transfer through the enclosing structures of buildings and structures of various purposes. The method of performing measurements by the combined thermal imaging-thermometric method]. Kyiv: ITTF NANU [in Ukrainian].
9. DSTU 3756-98 (ГОСТ 30619-98). Enerhozberezhennia. Peretvoriuvachi teplovoho potoku termoelektrychni zahalnoho pryznachennia. Zahalni tekhnichni umovy [Energy saving. General purpose thermoelectric heat flow converters. General technical conditions]. Entered: 01.07.2000. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy. 21 p. [in Ukrainian].
10. Basok, B. I., Davydenko, B. V., Honcharuk, S. M., Novitska, M. P. (2013). Doslidzhennia teplovtrat cherez zovnishniu stinovu konstruktсийu z dodatkovym шаром utepлення [Study of heat loss through an external wall structure with an additional layer of insulation].
2. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Чинний з 01.09.2022. Київ: Мінрегіонбуд України, 2022. 23 с.
3. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014 Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків. Чинний з 31.12.2014. Київ: Мінрегіонбуд України, 2022. 67 с.
4. Бродач М. М., Табунщиков Ю. А. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий. АВОК. 1998. № 1. С. 11–18.
5. Маляренко В. А., Редько А. Ф., Чайка Ю. И., Поволочко В. Б. Строительная теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений. Харьков: Рубикон, 2001. 280 с.
6. Гончарук С. М. Експериментальне визначення тепловтрат з поверхонь огорожувальних конструкцій адміністративної будівлі. Промисленна теплотехніка. 2011. Т. 33, № 8. С. 175–180.
7. ДСТУ Б В.2.6-101:2010 Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Чинний з 20.01.2010. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 84 с.
8. МВВ № 081/24-0778-11 Метрологія. Опір теплопередаванню крізь огорожувальні конструкції будівель і споруд різного призначення. Методика виконання вимірювань комбінованим тепловізійно-тепловиметричним методом. ІТТФ НАНУ, 2011.
9. ДСТУ 3756-98 (ГОСТ 30619-98) Енергозбереження. Перетворювачі теплового потоку термоелектричні загального призначення. Загальні технічні умови. Введ.: 01.07.2000. К.: Держстандарт України, 2000. 21 с.
10. Басок Б. И., Давиденко Б. В., Гончарук С. М., Новицька М. П. Дослідження тепловтрат через зовнішню стінову конструкцію з додатковим шаром утеплення.

Promushlennaia teplotekhnika = Industrial heat engineering, Vol. 35, № 7, P. 260–268 [in Ukrainian]. | Промышленная теплотехника. 2013. Т. 35, № 7. С. 260–268.

BASOK BORYS

Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding
Member of National Academy of Sciences of Ukraine,
Head of Department of Thermophysical Basics of
Energy-Saving Technologies, Institute of Engineering
Thermophysics of National Academy of Sciences of
Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8935-4248>
Scopus Author ID: 6602074819
E-mail: basok@ittf.kiev.ua

HONCHARUK SVITLANA

Candidate of Technical Science, Senior Research
Officer, Department of Thermophysical Basics of Energy-
Saving Technologies, Institute of Engineering
Thermophysics of National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5609-7337>
ResearcherID: AAH-4959-2020
E-mail: goncharuk-s@ukr.net

PRIYMAK OLEKSANDR

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Dean of the Faculty of Engineering Systems
and Ecology, Kyiv National University
of Construction and Architecture, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3081-6057>
E-mail: 02opriymak@gmail.com

PASICHNYK PAVLO

Candidate of Technical Science, Senior Research
Officer, Department of Thermophysical Basics of Energy-
Saving Technologies, Institute of Engineering
Thermophysics of National Academy of Sciences
of Ukraine, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8499-6949>
E-mail: Pasichnik.pavlo@gmail.com

¹BASOK B. I., ²PRIYMAK O. V., ¹HONCHARUK S. M., ^{1,2}PASICHNYK P. O.

¹ Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

**STUDY OF THE INFLUENCE OF THE EXPLOITATION PERIOD
ON THERMAL PHYSICAL PROPERTIES OF DIFFERENT TYPES
OF THERMAL INSULATION OF WALL ENCLOSURE STRUCTURES**

Purpose. The purpose of the study is an experimental analysis of the behavior and changes in thermophysical properties of the most widely used thermal insulation systems during their entire operational life.

Method. In order to study the thermophysical properties of various options for the thermal insulation of wall-enclosing structures, measures were taken to modernize the administrative building and a complex for the study of heat losses was developed. A comparison of experimental data obtained during the operation of heat-insulating structures over a long period of operation is carried out.

Results Experimental data on temperature fluctuations and the distribution of heat flow density of a thermomodernized section of a wall-enclosing structure insulated by various methods were obtained from February 16–17, 2013 and January 16–17, 2022, and a comparison of the values of the actual coefficients of thermal conductivity of various heat-insulating materials in the first approximation was carried out.

Scientific novelty. The need to assess the influence of the service life on the thermal and physical properties of heat-insulating materials used in thermomodernization of buildings of various purposes is experimentally substantiated.

Practical significance. An important factor that is not taken into account when designing heat-insulating shells is presented and constructed, and the way of its research is indicated.

Keywords: thermomodernization; energy efficiency; thermal insulation; heat transfer; heat flow.