

DOI: <https://doi.org/10.32782/city-development.2026.2-1>

УДК 697.1:699.86

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

Андрух Сергій Леонідович

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри архітектури та інженерних вишукувань
Сумський національний аграрний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5041-885X>

Юрченко Оксана Вікторівна

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри будівництва та експлуатації будівель,
доріг та транспортних споруд
Сумський національний аграрний університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6498-2339>

Токар Інна Іванівна

асистент кафедри економіки і підприємництва
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5287-1751>

Анотація. У статті досліджено економічну ефективність підвищення теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій житлових будівель шляхом застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів. Проведено аналіз тепловтрат будівель та визначено вплив теплоізоляції на зниження енергоспоживання. Запропоновано підхід до оцінки ефективності утеплення на основі показників річної економії енергії, терміну окупності та приведених витрат життєвого циклу (LCC). Виконано розрахунок оптимальної товщини теплоізоляційного шару для кліматичних умов Сумської області. Результати дослідження показують, що збільшення товщини теплоізоляції дозволяє зменшити тепловтрати будівлі на 45–70%, що забезпечує економію витрат на опалення до 60%. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні енергоефективних будівель та модернізації житлового фонду.

Ключові слова: тепловтрати, енергоефективність, енергозбереження, енергоспоживання, огорожувальні конструкції, економічна ефективність.

Актуальність проблеми. Будівельний сектор залишається одним із найбільших споживачів енергії, що витрачає значну її частину саме на опалення. Урахування такого аспекту безпосередньо пов'язано з рівнем теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій. При цьому істотна частка існуючого житлового фонду, особливо збудованого до впровадження сучасних норм енергоефективності, характеризується низьким опором теплопередачі стін, покрівель та перекриттів, що зумовлює значні тепловтрати та перевитрати енергоресурсів.

Також економічна складова енергоефективності набуває критичного значення в умовах постійного зростання вартості енергоносіїв та обмеженості ресурсів. Підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій

(зокрема шляхом термомодернізації) дозволяє суттєво скоротити витрати на опалення, однак потребує значних первинних інвестицій. Це обумовлює необхідність наукового обґрунтування економічної доцільності таких заходів, визначення термінів окупності, оцінки ефективності різних технічних рішень і вибору оптимальних варіантів.

Таким чином, актуальність дослідження зумовлена необхідністю комплексного обґрунтування економічної ефективності заходів із підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, задля забезпечення раціонального використання енергоресурсів, зниження експлуатаційних витрат, підвищення конкурентоспроможності будівельних рішень та досягнення цілей сталого розвитку.



Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій та оцінки економічної ефективності відповідних заходів є предметом активних наукових досліджень.

Насамперед, у роботах В. Ігнат'євої, Е. Текіна [1] та О. Недбайла [2] розглянуто питання застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів та їх вплив на енергетичні показники будівель. Автори акцентують увагу на необхідності поєднання теплозахисних і екологічних характеристик матеріалів, що формує підґрунтя для підвищення загальної ефективності огорожувальних конструкцій.

У дослідженнях М. Лемешева, О. Христинича, К. Лемішко [3] та А. Максимова [4] обґрунтовано організаційні та інженерно-технічні підходи до підвищення енергоефективності будівель, зокрема через удосконалення конструктивних рішень зовнішніх огорожень. Встановлено, що саме зовнішні стіни є одним із найбільш значущих елементів у структурі тепловтрат, що визначає пріоритетність їх термомодернізації.

Робота Г. Ратушняка, Ю. Бікса, А. Лялюка [5] присвячена питанням кількісної оцінки теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій. У ній застосовано методи математичного моделювання для визначення ефективності різних варіантів утеплення, що дозволяє підвищити обґрунтованість вибору технічних рішень.

У публікації Л. Косенка, О. Коваль, Є. Юрченка [6], О. Кривенко, Н. Козак [7] досліджуються сучасні підходи до комплексної оцінки енергоефективності будівель. Автори наголошують на необхідності врахування не лише технічних, але й економічних та екологічних факторів, що відповідає концепції сталого розвитку будівельної галузі. З такою точки зору, на особливу увагу заслуговує дослідження [8] основну увагу приділено економічній складовій термомодернізації. Зокрема, розглядаються питання визначення ефективності інвестицій у підвищення теплозахисних характеристик та оптимізації витрат на енергозбереження.

Таким чином, аналіз останніх досліджень дозволяє зробити висновок, що наукова спільнота сформувала ґрунтовну теоретико-методичну базу щодо підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, яка охоплює матеріалознавчі, інженерні, математичні та економічні аспекти.

Водночас недостатньо розробленим залишається питання комплексної оцінки економічної ефективності підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій з урахуванням взаємозв'язку технічних параметрів, вартості заходів, експлуатаційних умов

і довгострокових економічних ефектів. Зокрема, потребують подальшого дослідження методи інтегрованого вибору оптимальних рішень термомодернізації в умовах обмежених ресурсів та невизначеності зовнішнього середовища.

Мета статті. Метою дослідження є розвиток методичних засад оцінювання економічної ефективності підвищення теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій житлових будівель на основі комплексного врахування енергетичних і економічних показників, оптимізації товщини теплоізоляції та оцінки витрат життєвого циклу.

Результати дослідження. Більшість житлових будівель в Україні, зведених у другій половині ХХ століття, характеризуються недостатнім рівнем теплозахисту. Основною причиною цього є застарілі будівельні норми та низький рівень використання теплоізоляційних матеріалів у період їх будівництва. Проблема енергоефективності будівель є актуальною для України, особливо в умовах кліматичних особливостей та значної тривалості опалювального періоду. В Україні вимоги до теплозахисту будівель регламентуються такими нормативними документами: ДБН В.2.6-31:2021; ДБН В.2.2-15:2019; EN ISO 13790; ISO 52016. Проте навіть за сучасних нормативних вимог важливим питанням залишається економічна оптимізація теплоізоляції.

Огорожувальні конструкції будівель відіграють ключову роль у формуванні теплового балансу будівлі. Головним завданням таких конструкцій є забезпечення стабільного теплового режиму внутрішнього середовища будівлі шляхом мінімізації теплових втрат у холодний період року та обмеження теплових надходжень у літній період.

У загальному випадку тепловий баланс будівлі формується під впливом кількох основних складових [2]: тепловтрат через зовнішні огорожувальні конструкції; тепловтрат через інфільтрацію повітря; теплових надходжень від сонячної радіації; внутрішніх тепловиділень.

Кількісна оцінка теплового потоку через огорожувальну конструкцію здійснюється наступним чином:

$$Q = U \times A \times (T_{вн} - T_{зов}), \quad (1)$$

де Q – тепловий потік, Вт; U – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К); A – площа огорожувальної конструкції, м²; $T_{вн}$ – температура внутрішнього повітря; $T_{зов}$ – температура зовнішнього повітря.

Таким чином, одним із суттєвих способів зниження тепловтрати є зменшення коефіцієнта теплопередачі шляхом застосування теплоізоляційних матеріалів.

Згідно з результатами досліджень [2, 4, 5, 8], частка тепловтрат через огорожувальні конструкції може становити 50–70% від загальних втрат теплової енергії будівлі. Тому підвищення теплозахисних характеристик стін, покрівель та перекриттів є одним із найефективніших заходів енергозбереження. Оцінка ефективності теплоізоляції ґрунтується на результатах аналізу тепловтрат через основні елементи огорожувальних конструкцій на прикладі кліматичних умов Сумської області (табл. 1). З табл. 1 видно, що зовнішні стіни є основним каналом тепловтрат. Саме тому утеплення фасадів має найбільший вплив на енергоспоживання будівлі.

Таблиця 1 – Структура тепловтрат житлової будівлі

Елемент конструкції	Частка тепловтрат, %
Зовнішні стіни	35–40
Покрівля	15–20
Вікна та двері	20–25
Підлога та перекриття	10–15
Інфільтрація	10–15

Джерело: результати дослідження авторів

Наступним кроком є оцінка впливу теплоізоляції на теплотехнічні характеристики стін. Так, зокрема, застосування теплоізоляційних матеріалів дозволяє значно збільшити термічний опір огорожувальної конструкції:

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (2)$$

де d – товщина шару матеріалу; λ – коефіцієнт теплопровідності.

Матеріали з нижчим коефіцієнтом теплопровідності забезпечують вищу теплоізоляційну ефективність при меншій товщині (табл. 2).

Таблиця 2 – Теплотехнічні характеристики основних теплоізоляційних матеріалів

Матеріал	Коефіцієнт теплопровідності, λ (Вт/м·К)	Щільність (кг/м ³)
Пінополістирол	0,036	15–25
Мінеральна вата	0,038	35–120
PIR плити	0,024	30–40
Екструдований пінополістирол	0,030	30–45

Джерело: сформовано авторами на основі [9]

Порівняльний аналіз теплотехнічних характеристик основних теплоізоляційних матеріалів свідчить, що їх ефективність визначається насамперед величиною коефіцієнта теплопровідності. Найнижче значення λ характерне для PIR-плит (0,024 Вт/м·К), що забезпечує досягнення необхідного рівня теплозахисту при мінімальній товщині конструкції. Екструдований пінополістирол і пінополістирол також демонструють достатньо високі теплоізоляційні властивості, тоді як мінеральна вата, попри дещо вищу теплопровідність, характеризується ширшим діапазоном щільності та додатковими експлуатаційними перевагами.

Таким чином, вибір теплоізоляційного матеріалу має ґрунтуватися на комплексному врахуванні не лише теплопровідності, але й щільності, конструктивних особливостей, умов експлуатації та економічної доцільності, оскільки саме оптимальне поєднання цих параметрів забезпечує максимальну ефективність термомодернізації будівель.

Оцінка економічної ефективності утеплення базується на порівнянні витрат на утеплення з економією енергоресурсів на прикладі будови утепленої огорожувальної конструкції (рис. 1).

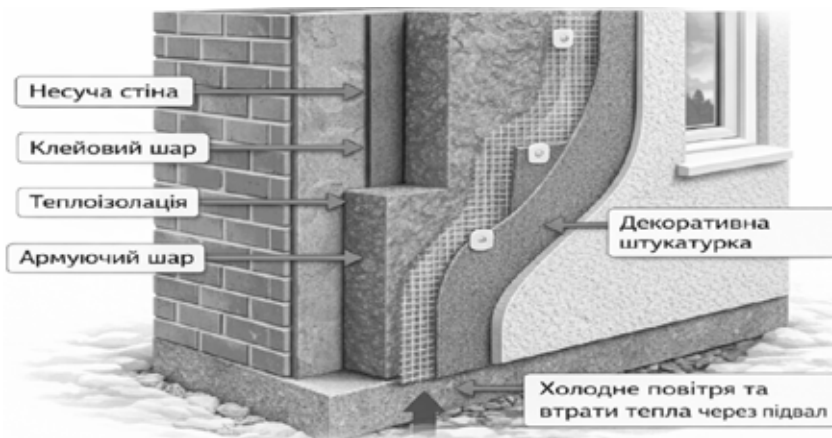


Рисунок 1 – Будова утепленої огорожувальної конструкції

Джерело: результати дослідження авторів, інтерпретовані та візуалізовані із застосуванням технологій ШІ

За таких умов основними показниками економічної ефективності є: річна економія енергії; економія коштів; термін окупності; приведені витрати життєвого циклу.

Для обґрунтування впливу товщини теплоізоляційного шару на рівень енергоспоживання будівлі доцільно проаналізувати залежність річних витрат енергії на опалення від параметрів утеплення огорожувальних конструкцій. Результати аналізу свідчать про суттєву залежність річного споживання енергії від товщини теплоізоляційного шару (табл. 3). Збільшення товщини утеплювача забезпечує послідовне зниження енерговитрат: порівняно з неутепленою будівлею (24000 кВт·год), застосування шару 50 мм дозволяє скоротити споживання на 25%, 100 мм – майже на 46%, а 150 мм – до 62,5%.

Таблиця 3 – Річне споживання енергії залежно від товщини утеплювача

Товщина утеплювача, мм	Річне споживання енергії, кВт·год
без утеплення	24000
50	18000
100	13000
150	9000

Джерело: сформовано авторами на основі [10]

Отримані результати підтверджують високу ефективність термомодернізації огорожувальних конструкцій, водночас вказуючи на наявність ефекту зменшення граничної віддачі: кожне наступне збільшення товщини утеплювача дає менший приріст економії енергії. Це обґрунтовує необхідність пошуку економічно оптимальної товщини теплоізоляції з ураху-

ванням співвідношення інвестиційних витрат і досягнутого енергозбереження (рис. 2).

З метою кількісної оцінки ефективності підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій було проведено розрахунок тепловтрат і коефіцієнта теплопередачі для житлового будинку з площею фасаду 200 м² до та після утеплення (табл. 4).

Таблиця 4 – Економія енергії після утеплення

Показник	До утеплення	Після утеплення
Коефіцієнт теплопередачі	1,2	0,28
Тепловтрати, Вт	5280	1230

Джерело: результати дослідження авторів

Отримані результати свідчать про суттєве підвищення теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій: коефіцієнт теплопередачі зменшився з 1,2 до 0,28 Вт/(м²·К), що відповідає більш ніж чотириразовому покращенню теплоізоляційних характеристик. Внаслідок цього тепловтрати через фасад знизилися з 5280 Вт до 1230 Вт, тобто приблизно на 76–77%. Річна економія теплової енергії на рівні близько 17000 кВт·год підтверджує високу енергетичну та економічну доцільність утеплення.

Для наочного відображення взаємозв'язку між основними параметрами теплоізоляційних матеріалів доцільно проаналізувати залежність їх ефективності від коефіцієнта теплопровідності та товщини шару (рис. 3).

При обґрунтуванні раціональних параметрів утеплення важливо враховувати не лише енер-

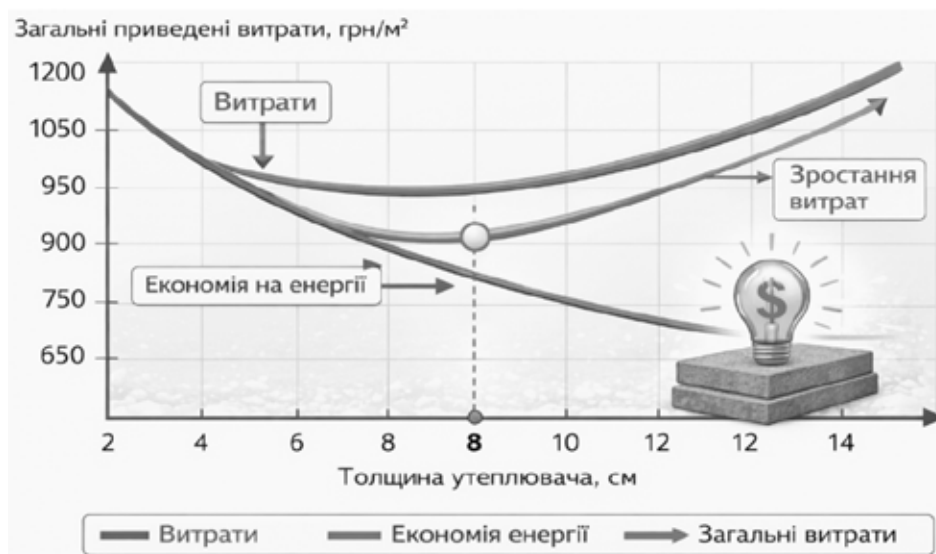


Рисунок 2 – Оптимальна товщина утеплювача і витрати

Джерело: результати дослідження авторів, інтерпретовані та візуалізовані із застосуванням технологій ШІ

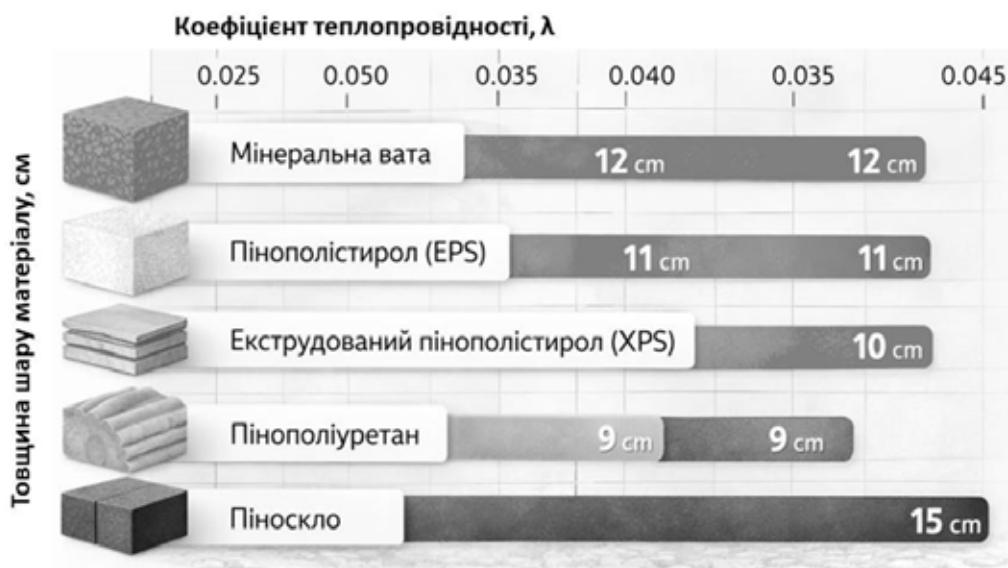


Рисунок 3 – Залежність ефективності теплоізоляційних матеріалів від коефіцієнта теплопровідності та товщини шару

Джерело: результати дослідження авторів, інтерпретовані та візуалізовані із застосуванням технологій ШІ

гетичний ефект, а й економічну складову впровадження теплоізоляційних заходів (табл. 5). Зокрема, визначення оптимальної товщини теплоізоляції базується на мінімізації сумарних витрат, що включають інвестиційні та експлуатаційні складові:

$$C_{tot} = C_{ins} + C_{energy}, \quad (3)$$

де C_{ins} – витрати на утеплення; C_{energy} – витрати на енергію (опалення).

Найбільш економічно ефективним є варіант із товщиною утеплювача 150 мм, оскільки саме за цих умов досягається мінімум сукупних витрат, що узгоджується з теоретичними положеннями про існування оптимальної товщини теплоізоляції, яка забезпечує баланс між інвестиційними вкладеннями та довгостроковою економією енергоресурсів.

Комплексна оцінка економічної доцільності термомодернізації відбувалася на засадах застосування методу аналізу життєвого циклу витрат (Life Cycle Cost, LCC) [11]:

$$LCC = C_i + \sum_{t=1}^n \frac{C_p}{(1+r)^t}, \quad (4)$$

де C_i – інвестиційні витрати; C_{op} – експлуатаційні витрати; r – ставка дисконту

Аналіз даних табл. 6 демонструє, що відсутність утеплення характеризується найнижчими початковими витратами, однак призводить до найбільших сумарних витрат протягом життєвого циклу (850000 грн) за рахунок значних витрат на опалення.

Отримані результати підтверджують, що з позицій довгострокової економічної ефектив-

Таблиця 5 – Оптимізація товщини утеплювача

Товщина, мм	Вартість утеплення, грн/м ²	Витрати на опалення, грн	Сумарні витрати, грн
50	1200	42000	54000
100	1800	28000	46000
150	2300	19000	42000

Джерело: результати дослідження авторів

Таблиця 6 – LCC-аналіз варіантів утеплення

Варіант за товщиною утеплювача, мм	Інвестиції, грн	Експлуатаційні витрати, грн	LCC, грн
Без утеплення	0	850000	850000
100	200000	420000	620000
150	250000	350000	600000

Джерело: результати дослідження авторів

ності найбільш доцільним є варіант утеплення з товщиною 150 мм, оскільки він забезпечує мінімізацію сумарних витрат упродовж усього періоду експлуатації будівлі.

Наочне порівняння економічної доцільності різних варіантів утеплення представлено на графіку життєвих витрат LCC залежно від тривалості експлуатації будівлі (рис. 4).

Аналіз графіка свідчить, що варіант без утеплення характеризується найнижчими початковими витратами, однак у довгостроковій перспективі призводить до найбільших сумарних витрат через високі експлуатаційні витрати на опалення. Натомість застосування теплоізоляції забезпечує зниження темпів зростання життєвих витрат. Зокрема, варіант із товщиною утеплюю-

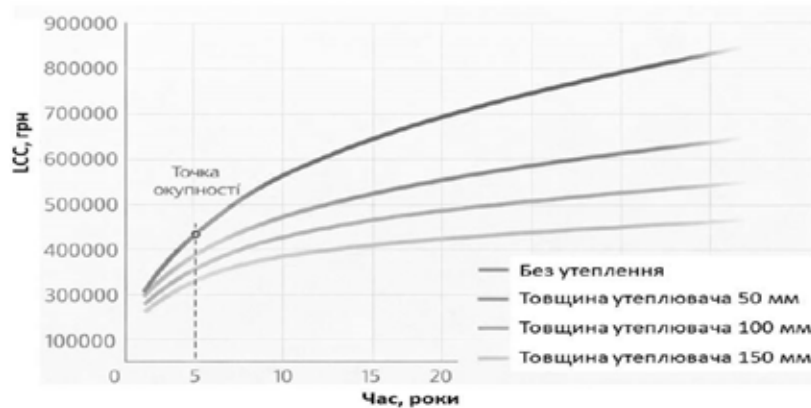


Рисунок 4 – Графік життєвих витрат за різних варіантів утеплювачів

Джерело: результати дослідження авторів, інтерпретовані та візуалізовані із застосуванням технологій ШІ

вача 150 мм демонструє найнижчий рівень LCC протягом усього розрахункового періоду, що підтверджує його максимальну економічну ефективність. Важливим результатом є наявність точки окупності (близько 5 років), після досягнення якої інвестиції в утеплення починають приносити чисту економію. Таким чином, графічний аналіз підтверджує доцільність впровадження заходів термомодернізації, а також обґрунтовує вибір більшої товщини утеплювача як економічно вигідного рішення в довгостроковій перспективі.

Висновки. У результаті проведеного дослідження встановлено, що ключовим джерелом тепловтрат житлових будівель є зовнішні стіни, частка яких у загальному тепловому балансі може досягати 40%. У цьому контексті підвищення теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій постає одним із найефективніших напрямів скорочення енергоспоживання будівель і набуває особливої актуальності. Використання сучасних теплоізоляційних матеріалів забезпечує істотне зростання

опору теплопередачі та відповідне зниження тепловтрат. Результати розрахунків свідчать, що утеплення фасадів дозволяє зменшити споживання теплової енергії на 45–70%, при цьому річна економія для типового житлового будинку може сягати 17 000 кВт·год.

Проведений економічний аналіз показав, що для кліматичних умов Сумської області оптимальна товщина теплоізоляційного шару становить 120–150 мм, оскільки саме в цьому діапазоні досягається мінімум сумарних витрат протягом життєвого циклу будівлі. Результати LCC-аналізу додатково підтверджують, що впровадження заходів термомодернізації дозволяє знизити приведені витрати життєвого циклу на 25–30%.

Отже, підвищення теплозахисних характеристик огорожувальних конструкцій є не лише енергетично обґрунтованим, а й економічно доцільним рішенням, що забезпечує довгострокове зниження експлуатаційних витрат і підвищення рівня енергоефективності будівель.

Бібліографічний список:

1. Ігнат'єва В. Б., Текін Е. О. Аналіз способів поліпшення теплотехнічних характеристик при будівництві будівель. *ЛОГОС. Мистецтво наукової думки*. 2019. № 7. С. 97–100. DOI: <https://doi.org/10.36074/2617-7064.07.00.021>
2. Недбайло О. В. Теплофізичні аспекти підвищення ефективності будівлі при використанні низькотемпературних систем її теплозабезпечення та термомодернізації огорожувальних конструкцій : дис. ... д-р. техн. наук : 05.14.06. Київ, 2018. 392 с.
3. Лемешев М. С., Христин О. В., і Лемішко К. К. Екологічно ефективні будівельні матеріали для тепло-модернізації будівель. *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*. 2020. № 27(2). С. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-52-61>

4. Максимов А. С. Організаційні підходи до термомодернізації будівель на підставі оптимізації вибору конструктивно-технологічних рішень : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08. Одеса, 2021. 218 с.
5. Ратушняк Г. С., Бікс Ю. С., Лялюк А. О. Формалізація та ієрархічна класифікація параметрів впливу на енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель. *Сучасні технології, матеріали і конструкції у будівництві*. 2023. № 35(2). С. 98–103. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-98-103>
6. Косенко Л., Коваль О., Юрченко Є., Коваль А. Аналіз європейських нормативних вимог до будівель з близьким до нульового енергоспоживанням та можливості впровадження в Україні. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2023. № 47. С. 28–35. DOI: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2023.47.28-35>
7. Krivenko O., Kozak N. Evolution of energy-efficient solutions in the formation of bioclimatic architecture. *Architectural Bulletin of KNUCA*. 2025. № 34. PP. 84–90. DOI: <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2025.34.84-90>
8. Котляров Є. І. Пріоритетність заходів з термомодернізації будівель і їх економічна ефективність. *Конкурентоспроможність та інновації: проблеми науки та практики* : матеріали Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 19 листопада 2021 р. Харків : ФОП Лібуркіна Л. М., 2021. С. 396–401.
9. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Чинний від 2023-03-01. Вид. офіц. Київ : ДП НДІБК, 2023. 63 с.
10. Ubakus. U-Wert-Rechner : онлайн-калькулятор для визначення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій. URL: <https://www.ubakus.de/u-wert-rechner/>
11. Lu K., Deng X., Jiang X., Cheng B., Tam V. W. Y. A review on life cycle cost analysis of buildings based on building information modeling. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2023. № 29(3). PP. 268–288. DOI: <https://doi.org/10.3846/jcem.2023.18473>

References:

1. Ihnatieva V., Tekin E. (2019). Analiz sposobiv polipshennia teplotekhnichnykh kharakterystyk pry budivnytstvi budivel [Analysis of methods for improving thermal performance in building construction]. *ΛΟΓΟΣ. Mystetstvo naukovoi dumky – ΛΟΓΟΣ. The Art of Scientific Thought*, vol. 7, pp. 97–100. DOI: <https://doi.org/10.36074/2617-7064.07.00.021>
2. Nedbailo O. (2009). *Теплофізичні аспекти підвищення ефективності будівлі при використанні низькотемпературних систем її теплозабезпечення та термомодернізації огорожувальних конструкцій* [Thermophysical aspects of improving building efficiency through the use of low-temperature heating systems and the thermal modernisation of building envelopes]: dys. ... d-r. tekhn. nauk : 05.14.06. Kyiv, 392 p. (in Ukrainian)
3. Lemeshev M., Khrystych O., & Lemishko K. (2020). Ekolohichno efektyvni budivelni materialy dlia teplomodernizatsii budivel [Environmentally friendly building materials for the thermal modernisation of buildings]. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktsii u budivnytstvi – Modern Technologies, Materials and Structures in Construction*, vol. 27(2), pp. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2019-2-52-61>
4. Maksymov A. (2021). *Orhanizatsiini pidkhody do termomodernizatsii budivel na pidstavi optymizatsii vyboru konstruktyvno-tekhnolohichnykh rishen* [Organisational approaches to the thermal modernisation of buildings based on the optimisation of structural and technological solutions] dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.08. Odesa, 218 p. (in Ukrainian)
5. Ratushniak H., Biks Yu., & Lialuk A. (2023). Formalizatsiia ta iierarkhichna klasyfikatsiia parametriv vplyvu na enerhoefektyvnist ohorzhuvalnykh konstruktsii budivel [Formalisation and hierarchical classification of parameters influencing the energy efficiency of building envelopes]. *Suchasni tekhnologii, materialy i konstruktsii u budivnytstvi – Modern Technologies, Materials and Structures in Construction*, vol. 35(2), pp. 98–103. DOI: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-98-103>
6. Kosenko L., Koval O., Yurchenko Ye., & Koval A. (2023). Analiz yevropeiskykh normatyvnykh vymoh do budivel z blyzkym do nulovoho enerhospozhyvanniam ta mozhlyvosti vprovadzhenia v Ukraini [Analysis of European regulatory requirements for nearly zero-energy buildings and the potential for their implementation in Ukraine]. *Ventylatsiia, osvittleniia ta teplozahopostachannia – Ventilation, Lighting and Heating & Gas Supply*, vol. 47, pp. 28–35. DOI: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2023.47.28-35>
7. Krivenko O., Kozak N. (2025). Evolution of energy-efficient solutions in the formation of bioclimatic architecture. *Arkhitekturynyi biuleten KNUBA – Architectural Bulletin of KNUCA*, vol. 34, pp. 84–90. DOI: <https://doi.org/10.32347/2519-8661.2025.34.84-90>
8. Kotliarov Ye. (2021). Priorytetnist zakhodiv z termomodernizatsii budivel i yikh ekonomichna efektyvnist [The priority of measures for the thermal modernisation of buildings and their economic efficiency]. *Konkurentospromozhnist ta innovatsii: problemy nauky ta praktyky – Mizhnarodna nauково-praktichna internet-konferenciya* (Kharkiv, November 19-th, 2021). Kharkiv : FOP Liburkina L. M., pp. 396–401. (in Ukrainian)
9. DSTU 9191:2022. (2023). *Теплоізоляція будівель: Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель* [Thermal insulation of buildings: Method for selecting thermal insulation material]. DP NDIBK, 63 p.

10. Ubakus. U-Wert-Rechner: online-kalkulator dla vyznachennia teplotekhnichnykh kharakterystyk ohorodzhuvalnykh konstruksii [Ubakus. U-Value Calculator: an online calculator for determining the thermal performance of building envelopes]. Available at: <https://www.ubakus.de/u-wert-rechner/>
11. Lu K., Deng X., Jiang X., Cheng B., & Tam V. W. Y. (2023). A review on life cycle cost analysis of buildings based on building information modeling. *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 29(3), pp, 268–288. DOI: <https://doi.org/10.3846/jcem.2023.18473/>

ECONOMIC EFFICIENCY OF IMPROVING THE THERMAL PERFORMANCE OF BUILDING ENVELOPE STRUCTURES

Serhii Andrukh

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor in the Department of Architecture and Engineering Surveys
Sumy National Agrarian University

Oksana Yurchenko

PhD in Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Construction and
Operation of Buildings, Roads and Transport Facilities
Sumy National Agrarian University

Inna Tokar

Assistant professor of the Department of Economics and Entrepreneurship
Kharkiv National Automobile and Highway University

Summary. The article evaluates the economic efficiency of improving the thermal performance of building envelope structures in residential buildings through the application of modern thermal insulation materials. The study is motivated by the high level of energy consumption in the building sector, a significant share of which is associated with heat losses through external enclosing structures. Particular attention is paid to external walls, which are identified as the dominant component in the structure of heat losses. The research develops approach to the assessment of energy and economic efficiency of thermal modernization measures. The study integrates thermal engineering calculations with economic evaluation tools, including the analysis of annual energy savings, payback period, and life cycle cost (LCC). A quantitative assessment of heat losses before and after insulation is carried out, demonstrating the substantial impact of reducing the heat transfer coefficient on overall energy performance. The results indicate that the use of modern insulation materials significantly increases the thermal resistance of envelope structures and leads to a considerable reduction in heat losses. Depending on the thickness of the insulation layer, energy consumption for heating can be reduced by 45–70%. For a typical residential building, annual energy savings may reach up to 17,000 kWh. At the same time, the study reveals the effect of diminishing marginal returns, as further increases in insulation thickness result in smaller increments of energy savings. A key contribution of the research is the determination of the optimal insulation thickness based on the minimization of total costs over the building life cycle. The analysis shows that, for the climatic conditions considered, the economically optimal insulation thickness ranges from 120 to 150 mm. The application of the LCC approach confirms that thermal modernization measures can reduce total life cycle costs by 25–30% compared to non-insulated buildings. The findings demonstrate that improving the thermal performance of building envelope structures is not only an effective energy-saving measure but also an economically justified solution. The proposed framework can be applied in the design of energy-efficient buildings and in the modernization of existing housing stock, contributing to the reduction of energy consumption, operational costs, and environmental impact.

Keywords: heat loss, energy efficiency, energy saving, energy consumption, building envelope structures, economic efficiency.

Дата надходження статті: 02.04.2026

Дата прийняття статті: 29.04.2026

Дата публікації статті: 25.06.2026