

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЕЛЬ ВРАХУВАННЯМ ФАКТОРУ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Коваленко Ю.Л.¹, Полив'яничук А.П.²

¹ Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Черноглазівська, 17, 61002, м. Харків

² Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, 21021, м. Вінниця
kovalenkoy55@gmail.com, polyvianchuk_a@vntu.edu.ua

Запропоновано метод визначення оптимальних характеристик утеплення зовнішніх стін будинків з урахуванням кліматичних характеристик території розташування будинку, а також технічних параметрів та показників, що визначають рівень енергоефективності об'єктів досліджень – технічних комплексів «будівля-система теплозабезпечення», а саме: індивідуальних конструктивних особливостей кожного шару зовнішніх стін будинку; теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів та утеплювачів; технологічних параметрів наявної системи опалення; актуальних цін та тарифів на енергоносії, будівельні матеріали та послуги та ін. В результаті верифікації запропонованого методу встановлено: 1) кліматична варіативність градусо-добі опалювального періоду в межах України (2200–4000) обумовлює зміну оптимальної товщини утеплювача від 80 до 120 мм для мінімізації його терміну окупності; 2) електричне опалення робить термомодернізацію безальтернативно привабливою з терміном окупності до 2–5 років, тоді як при газовому опаленні цей показник становить 9–19 років; 3) найбільш збалансованим матеріалом для багатоквартирних та громадських будівель є мінеральна вата завдяки негорючості та паропроникності, попри довший термін окупності порівняно з пінополістиролом. Запропонований метод рекомендовано для використання при проектуванні та реалізації заходів з утеплення будівель з недостатнім рівнем енергоефективності та для створення спеціалізованого програмного продукту, що дозволить моделювати в динамічному режимі енергетичні баланси технічних комплексів «будівля-система теплозабезпечення» різного призначення. Результати досліджень можуть застосовувати власники приватних будинків, проєктувальники та підрядники житлової забудови, які мають намір утеплити зовнішні стіни будинку та обґрунтувати витрати, визначити оптимальну товщину утеплювача та термін окупності за фактичних умов експлуатації. *Ключові слова:* енергоефективність, утеплення будинків, градусо-добі опалювального періоду, теплоізоляція, термін окупності.

Increasing the efficiency of buildings energy modernization by taking into account the factor of climatic operating conditions.
Kovalenko Yu., Polyvianchuk A.

A method for determining the optimal characteristics of insulation of external walls of buildings is proposed, taking into account the climatic characteristics of the area where the building is located, as well as technical parameters and indicators that determine the level of energy efficiency of research objects – technical complexes “building-heating system”, namely: individual design features of each layer of external walls of the building; thermal properties of building materials and insulation materials; technological parameters of the existing heating system; current prices and tariffs for energy carriers, building materials and services, etc. As a result of verification of the proposed method, it was established: 1) Climatic variability of the degree-day of the heating period within Ukraine (2200–4000) determines the change in the optimal thickness of the insulation from 80 to 120 mm to minimize its payback period; 2) Electric heating makes thermal modernization attractive with a payback period of up to 2–5 years, while with gas heating this figure is 9–19 years; 3) the most balanced material for apartment and public buildings is mineral wool due to its non-flammability and vapor permeability, despite a longer payback period compared to polystyrene foam. The proposed method is recommended for use in the design and implementation of measures to insulate buildings with an insufficient level of energy efficiency and for the creation of a specialized software product that will allow for dynamic modeling of energy balances of technical complexes “building-heating system” for various purposes. The results of the research can be used by owners of private houses, designers and contractors of residential development who intend to insulate the external walls of the building and justify the costs, determine the optimal thickness of the insulation and the payback period under actual operating conditions. *Key words:* energy efficiency, building insulation, heating season degree days, thermal insulation, payback period.

Постановка проблеми. Чинні норми щодо теплотехнічних характеристик зовнішніх стін будинків не надають обґрунтування економічного ефекту термомодернізації, враховують лише 2 кліматичні зони не зважаючи на те, що в межах кожної з них кліматичні характеристики можуть суттєво відрізня-



тися. Діючі вітчизняні норми також не враховують вартість отриманої енергії, будівельних матеріалів і послуг, тип та ефективність наявної системи опалення. З огляду на зростаючу світову увагу до енергетичної ефективності будівельного сектору, потреби в енергії в будівлях слід мінімізувати. У зв'язку з цим розробка будівельних компонентів, що характеризуються належними значеннями коефіцієнта теплопроникності зовнішніх огорожувальних конструкцій, є ключовою стратегією для зменшення річної потреби в енергії [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження [2] присвячене аналізу впливу градусо-днів опалення для регіону Андалусія (Іспанія) підкреслює критичну важливість визначення градусо-днів, оскільки це безпосередньо впливає на термін окупності інвестицій у термомодернізацію. Робота [3] демонструє важливість точного визначення температури для коректного розрахунку градусо-днів, що є критичним для визначення економічної ефективності заходів з утеплення та прогнозування терміну їх окупності для території вздовж узбережжя Китаю. Результати дослідження [4] підкреслюють необхідність врахування кліматичних характеристик восьми великих міст Індії, при плануванні термомодернізації, оскільки це суттєво впливає на термін окупності інвестицій. Дослідження [5] базується на методології, що включає економічно-енергетичний баланс для мінімізації витрат як на опалення, так і на теплоізоляційні матеріали. Встановлено, що оптимальна товщина ізоляції залежить від трьох ключових факторів: (1) градусо-днів опалення, (2) вартості ізоляційного матеріалу, та (3) вартості палива, що використовуватиметься для опалення будинку протягом десятиліття. Показано, що для кожного періоду часу і в кожному географічному розташуванні регіону у помірному океанічному кліматі оптимальні характеристики утеплення зовнішніх стін відрізняються, що викликає необхідність уточнення будівельних стандартів при плануванні майбутніх проектів. В роботі [6] Було проаналізовано різні типи палива: природний газ, електроенергія, мазут, та чотири теплоізоляційні матеріали: EPS (пінопласт), XPS (екструдований пінополістирол), мінеральна вата, поліуретан. Результати показали, що використання природного газу як джерела опалення та EPS як ізоляційного матеріалу є оптимальним вибором для чотирьох міст Туреччини з різними кліматичними зонами як з фінансової, так і з екологічної точки зору.

Актуальність дослідження. Враховуючи вищевикладене слід зазначити актуальність *мети даної роботи* – енергетична та економічна оцінка технологій утеплення зовнішніх стін будинків з урахуванням кліматичних умов, конструктивних і теплофізичних властивостей будівельних конструкцій актуальних цін і тарифів. При цьому розглядаються: *об'єкт дослідження* – втрати тепла через зовнішні непро-

зорі огорожувальні конструкції житлового будинку; *предмет дослідження* – енергетична та економічна ефективність теплової ізоляції зовнішніх огорожувальних конструкцій житлових будинків.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дана робота є продовженням циклу попередніх наукових досліджень авторів, присвячених підвищенню енерго-екологічної безпеки України та спрямованих на вирішення актуальної для світової і вітчизняної економік проблеми нераціонального використання паливних та енергетичних ресурсів в комунальній енергетиці і пов'язаних з цим еколого-економічних наслідків для довкілля та суспільства. Результати досліджень використано при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт: «Підвищення еколого-енергетичної безпеки урбанізованих територій шляхом поетапного раціонального впровадження енергоефективних заходів в сфері тепlopостачання» (ДР № 0123U101998) та «Підвищення ефективності декарбонізації та екологізації комунальної енергетики методом оптимізованого впровадження енергоощадних технологій» (ДР № 0124U001473).

Наукова новизна дослідження. Результати дослідження дозволяють визначити оптимальні параметри утеплювача стін, із врахуванням наступних чинників: індивідуальних конструктивних особливостей кожного шару зовнішніх стін будинку; теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів та утеплювачів; технологічних параметрів наявної системи опалення; фактичних цін та тарифів на енергоносії, будівельні матеріали та послуги; кліматичних характеристик території розташування будинку та інших факторів.

Результати дослідження. Комплексний аналіз кліматичних показників опалювального сезону для обласних центрів України, виконаний на основі чинних норм будівельної кліматології, демонструє наступне. Україна володіє деталізованою нормативною базою, яка дозволяє з високою точністю прогнозувати енергетичні потреби будівель в різних географічних широтах [7]. Показники тривалості сезону від 139 до 186 днів та сума температур опалювального сезону, або градусо-добі опалювального періоду (далі – ГДОП), англійською – HDD, Heating Degree Days від 2237 °C·доба (Севастополь) до 4042 °C·доба (Суми) одиниць свідчать про глибоку кліматичну диференціацію, яка повинна обов'язково враховуватися при розробці заходів з енергоефективності. ГДОП є інтегральним показником, який характеризує суворість клімату та тривалість холодного періоду у конкретній місцевості. Цей показник прямо пропорційний кількості енергії, необхідної для компенсації трансмісійних тепловитрат будівлі через її зовнішню оболонку.

$$\text{ГДОП} = (t_{\text{in}} - t_{\text{h}}) / z,$$

де t_{in} – розрахункова середня температура внутрішнього повітря будівлі, °С. Згідно з [8], в подальших розрахунках приймається значення +20 °С;

t_h – середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період, °С;

z – тривалість опалювального періоду в добах. Це проміжок часу, протягом якого середня добова температура повітря стабільно тримається на рівні + 8 °С.

В таблиці 1 наведено дані для обласних центрів України. Розрахунок ГДОП виконано для базової внутрішньої температури +20 °С, яка є стандартом для житлових приміщень в Україні. Нормативні середні місячні температури зовнішнього повітря визначено згідно з [7].

Згідно з чинними нормативно-правовими актами, територія України поділяється на дві кліматичні зони, для яких встановлено мінімальні значення опору теплопередачі через зовнішні стіни будинків [8] (табл. 2).

Суттєві відмінності кліматичних умов в межах однієї кліматичної зони, а також відмінності у вартості заходів з термомодернізації викликають необхідність вирішення таких питань.

Детального дослідження енергетичної та економічної ефективності утеплення з урахуванням:

– кліматичних характеристик території розташування будинку;

– індивідуальних конструктивних особливостей кожного шару зовнішніх стін будинку;

– теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів та утеплювачів;

– технологічних параметрів наявної системи опалення;

– актуальних цін та тарифів на енергоносії, будівельні матеріали та послуги.

Формування методології для практичного визначення оптимальних параметрів для кожного конкретного об'єкта.

Провідним критерієм оптимізації визначено термін окупності заходів.

Для проведення досліджень розроблено та застосовано програмний продукт [<https://uteplennya.com/uk/>], якій побудовано з урахуванням вимог чинних Методичних положень щодо розрахунку приведенного опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій, розрахункових теплофізичних характе-

Таблиця 1

Показники опалювального сезону за нормами будівельної кліматології

Обласний центр	Тривалість опалювального сезону, дб	Середня температура повітря, °С	ГДОП (при $t_{in}=20$ °С), °С·доба
Вінниця	183	-0,1	3678
Дніпро	172	-0,6	3543
Донецьк	175	-1,1	3693
Житомир	186	-0,4	3794
Запоріжжя	168	-0,1	3377
Івано-Франківськ	184	0,4	3606
Київ	176	-0,1	3538
Кропивницький	175	-0,6	3605
Луганськ	177	-1,7	3841
Луцьк	185	0,3	3645
Львів	179	0,4	3508
Миколаїв	161	1,4	2995
Одеса	158	1,9	2860
Полтава	179	-1,1	3777
Рівне	188	0,0	3760
Сімферополь	151	2,7	2612
Суми	188	-1,5	4042
Тернопіль	186	0,1	3701
Ужгород	170	1,7	3111
Харків	182	-1,0	3822
Херсон	158	1,5	2923
Хмельницький	188	-0,3	3816
Черкаси	178	-0,5	3649
Чернівці	178	0,7	3435
Чернігів	185	-1,4	3959

Таблиця 2

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будівель

Вид огорожувальної конструкції	Значення R_{qmin} , м ² ·К/Вт	
	для температурної зони I	для температурної зони II
Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00	3,50

ристик будівельних матеріалів та розрахункових значень коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожувальних конструкцій [9].

Річна економія теплової енергії (ΔQ , кВт·год/рік) визначалася, як:

$$\Delta Q = \frac{\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2}\right) \cdot A \cdot 24 \cdot ГДОС}{1000},$$

де R_1 – опір теплопередачі стіни до утеплення, К·м²/Вт,

R_2 – опір теплопередачі стіни після утеплення, К·м²/Вт,

A – Площа стіни, м².

Грошова економія за рік (S , грн/рік):

$$S = \frac{Q \cdot c}{h \cdot \eta},$$

де c – вартість газу, грн/м³,

h – нижча теплота згоряння газу, кВт·год/м³,

η – к.к.д. системи опалення.

Термін окупності:

$$\tau = K/S,$$

де K – інвестиції, грн.

На першому етапі досліджень проведено аналіз ринку будівельних матеріалів і послуг України [10]-[19].

За результатами можна виділити три типи утеплювачів, які є найбільш розповсюдженими та найчастіше застосовуються для термомодернізації зовнішніх стін житлових будинків.

1. Пінополістирол (Пінопласт, ПСБ/EPS). Це найпопулярніший і найдоступніший за ціною матеріал на українському ринку. Він широко використовується в системах «мокрого фасаду» (під штукатурку) завдяки своїй легкості, простоті монтажу та високим теплоізоляційним властивостям. Основними перевагами є низька вартість та стійкість до вологи, проте він має низьку паропроникність і є горючим матеріалом.

2. Мінеральна (базальтова або кам'яна) вата. Вважається оптимальним вибором для якісного утеплення завдяки своїй негорючості та здатності витримувати температуру понад 1000 °С. Головною особливістю мінвати є висока паропроникність, що дозволяє стінам «дихати», запобігаючи накопиченню вологи всередині конструкцій. Цей матеріал частіше обирають для багатоповерхових будівель, будинків із газобетону та об'єктів з високими вимогами до пожежної безпеки.

3. Екструдований пінополістирол (ЕППС/XPS). Це вдосконалена версія пінопласту з набагато вищою щільністю та механічною міцністю. Завдяки майже нульовому вологопоглинанню та високій довговічності (до 50 років), ЕППС є незамінним для утеплення цокольних частин фасадів, фундаментів, підвалів та віконних укосів. Хоча він дорожчий за звичайний пінопласт, його стабільність у вологому середовищі робить його критично важливим елементом комплексної теплоізоляції будівлі.

Аналіз ринку теплоізоляційних матеріалів України станом на січень 2026 року дозволяє визначити середню вартість комплексного утеплення стін «під ключ». Поняття «під ключ» включає вартість основних та допоміжних матеріалів (утеплювач, клейові суміші, склосітка, дюбелі, ґрунтовка, декоративна штукатурка та фарба), а також виконання повного циклу робіт із монтажу та декоративного оздоблення фасаду.

Нижче наведено огляд цін для трьох найбільш розповсюджених типів утеплювача при товщині шару 100 мм (найбільш енергоефективний стандарт для клімату України).

1. Пінополістирол (Пінопласт, ПСБ/EPS). Це найбільш економічний варіант, який залишається лідером за кількістю замовлень у приватному секторі.

- Діапазон цін: від 950 до 1600 грн/м².
- Середня ціна в Україні: ~1250 грн/м².
- Особливості вартості: ціна залежить від щільності (стандарт – 15–25 кг/м³) та типу штукатурки (акрилова чи силіконова).

2. Мінеральна (базальтова або кам'яна) вата. Найкращий вибір з точки зору пожежної безпеки та паропроникності, що робить його обов'язковим для багатоповерхового будівництва та будинків із газобетону.

- Діапазон цін: від 1400 до 3000 грн/м².
- Середня ціна в Україні: ~1850 грн/м².
- Особливості вартості: висока ціна зумовлена значною вагою плит (стандарт – 135 кг/м³), що потребує дорожчих клейових сумішей та посиленого кріплення.

3. Екструдований пінополістирол (ЕППС/XPS). Застосовується переважно для цокольних частин фасаду та фундаментів через свою високу механічну міцність та нульове вологопоглинання.

- Діапазон цін: від 1100 до 1800 грн/м² (при розрахунку на м² стіни).
- Середня ціна в Україні: ~1450 грн/м².

На другому етапі досліджень виконано дослідження оптимальної товщини і терміну окупності утеплення у трьох містах України, які належать до першої кліматичної зони: Київ, Харків, Вінниця.

Оптимальна товщина шару утеплювача δ визначалася шляхом мінімізації функції терміну окупності.

Вихідні дані для міста Київ.

Кліматичні дані ГДОС = 3538 °С · доба.

Температура повітря в будівлі – 20 °С.

Площа зовнішніх стін 100 м². Стіни з силікатної цегли товщиною 0,38 м, $\lambda = 0,87$ Вт/м, оштукатурені цементно-піщаною штукатуркою товщиною 0,03 м, $\lambda = 0,93$ Вт/м.

Будинок має газовий котел і водяну систему опалення, її ККД 0,9. Нижча теплота згоряння газу: 9,3 кВт · год/м³

Утеплення будинку виконується з мінеральної вати. Коефіцієнт теплопровідності мінвати $\lambda = 0,055$ Вт/м.

Вартість природного газу з урахуванням доставки взято за результатами огляду чинних тарифів для побутових споживачів. Тариф ГК «Нафтогаз України» складає 7,96 грн/м³; вартість розподілу для АТ «Київгаз» – 0,384 грн/м³ (з ПДВ). Загальна вартість – 8,344 грн/м³ станом на січень 2026 року.

Вартість мінеральної вати, її доставки, монтажу та декоративного оздоблення фасаду взято за результатами огляду ринку будівельних матеріалів і послуг в місті Київ станом на січень 2026 року. Середня ціна комплексного утеплення мінеральною ватою «під ключ» у Києві (матеріали, доставка, монтаж та декоративне оздоблення) розрахована за моделлю: 1350 грн/м² (фіксована частина вартості допоміжних матеріалів та робіт) + 5000 грн/м³ (вартість утеплювача).

Виконано розрахунки для різної товщини шару мінеральної вати в діапазоні від 0,02 до 0,2 м з кроком 0,02 м. Результати надано у таблиці 3.

Найкращий баланс між інвестиціями та швидкістю повернення коштів у Києві забезпечує товщина утеплювача 100 мм. За цих умов, термін окупності утеплення мінеральною ватою складає приблизно 18,4 року. Тривалий термін окупності зумовлено високою вартістю будівельних робіт у столиці. Загальний опір після утеплення $R = 2,446$ м²·°С/Вт, що менше нормативного для першої кліматичної зони.

Нормативний опір, який дорівнює 4 м²·°С/Вт досягається при збільшенні товщини утеплювача до 200 мм, що скорочує витрати енергії ще майже на 15 %, але збільшує термін окупності до 20 років.

При прогнозованому зростанні цін на природний газ для населення до ринкового рівня, термін окупності скоротиться.

Дослідження оптимальної товщини і терміну окупності утеплення цього об'єкту для умов міста Харків проведено з урахуванням кліматичних характеристик та актуальних тарифів і цін в цьому регіоні станом на січень 2026 року.

ГДОП становить 3822 °С · доба.

Вартість природного газу з урахуванням доставки ГК «Нафтогаз України» складає 7,96 грн/м³; вартість розподілу для Харківської міської філії «Газмережі» – 0,516 грн/м³ (з ПДВ). Загальна вартість – 8,476 грн/м³.

Середня ціна комплексного утеплення мінеральною ватою «під ключ» у Харкові (матеріали, доставка, монтаж та декоративне оздоблення) прийнята за формулою: 950 грн /м² (фіксована частина вартості допоміжних матеріалів та робіт) + 5000 грн /м³ (вартість утеплювача).

Виконано розрахунки для різної товщини шару мінеральної вати в діапазоні від 0,02 до 0,2 м з кроком 0,02 м. Результати надано у таблиці 4.

Найкращий баланс між інвестиціями та швидкістю повернення коштів у Харкові забезпечує товщина утеплювача 80 мм. За цих умов, термін

Таблиця 3

Результати дослідження терміну окупності утеплення залежно від товщини утеплювача в умовах м. Київ

Товщина вати (м)	Загальний опір R (м ² ·К/Вт)	Річна економія газу (м ³)	Річна економія (грн)	Інвестиції (грн)	Термін окупності (років)
0,02	0,991	594	4956	145 000	29,26
0,04	1,354	869	7254	155 000	21,37
0,06	1,718	1027	8572	165 000	19,25
0,08	2,081	1130	9428	175 000	18,56
0,10	2,445	1203	10 030	185 000	18,44
0,12	2,809	1256	10 477	195 000	18,61
0,14	3,172	1297	10 822	205 000	18,94
0,16	3,536	1330	11 097	215 000	19,37
0,18	3,900	1357	11 319	225 000	19,88
0,20	4,263	1378	11 501	235 000	20,43

Таблиця 4

**Результати дослідження терміну окупності утеплення
залежно від товщини утеплювача в умовах м. Харків**

Товщина вати (м)	Загальний опір R (м ² ·К/Вт)	Річна економія газу (м ³)	Річна економія (грн)	Інвестиції (грн)	Термін окупності (років)
0,02	0,991	642	5444	105 000	19,29
0,04	1,354	940	7961	115 000	14,44
0,06	1,718	1111	9411	125 000	13,28
0,08	2,081	1222	10 355	135 000	13,04
0,10	2,445	1300	11 020	145 000	13,16
0,12	2,809	1358	11 512	155 000	13,46
0,14	3,172	1403	11 893	165 000	13,87
0,16	3,536	1438	12 191	175 000	14,35
0,18	3,900	1468	12 443	185 000	14,87
0,20	4,263	1491	12 638	195 000	15,43

окупності утеплення мінеральною ватою складає приблизно 13 років. Зменшення терміну окупності зумовлено меншою вартістю будівельних робіт і послуг, ніж у столиці. Загальний опір після утеплення $R = 2,08 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, що менше нормативного для першої кліматичної зони.

Збільшення товщини до 200 мм дозволяє досягти нормативного опору теплопередачі, але збільшує термін окупності до 15,4 років.

Дослідження оптимальної товщини і терміну окупності утеплення цього об'єкту для умов міста *Вінниця* проведено з урахуванням кліматичних характеристик та актуальних тарифів і цін в цьому регіоні станом на січень 2026 року.

ГДОП становить $3678 \text{ °C} \cdot \text{доба}$.

Вартість природного газу з урахуванням доставки ГК «Нафтогаз України» складає $7,96 \text{ грн}/\text{м}^3$; вартість розподілу для Вінницької філії «Газмережі» – $0,516 \text{ грн}/\text{м}^3$ (з ПДВ). Загальна вартість – $10,072 \text{ грн}/\text{м}^3$.

Середня ціна комплексного утеплення мінеральною ватою «під ключ» у Вінниці (матеріали,

доставка, монтаж та декоративне оздоблення) прийнята за формулою: $800 \text{ грн}/\text{м}^2$ (фіксована частина вартості допоміжних матеріалів та робіт) + $4000 \text{ грн}/\text{м}^3$ (вартість утеплювача).

Виконано розрахунки для різної товщини шару мінеральної вати в діапазоні від 0,02 до 0,2 м з кроком 0,02 м. Результати надано у таблиці 5.

Найкращий баланс між інвестиціями та швидкістю повернення коштів у Вінниці забезпечує товщина утеплювача 80 мм. За цих умов, термін окупності утеплення мінеральною ватою складає приблизно 9,5 років. Зменшення терміну окупності зумовлено меншою вартістю будівельних матеріалів, робіт і послуг, ніж у столиці, менш суворою зимою та більшими тарифами за доставку природного газу побутовим споживачам. Загальний опір після утеплення $R = 2,08 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, що менше нормативного для першої кліматичної зони.

Збільшення товщини до 200 мм дозволяє досягти нормативного опору теплопередачі, але збільшує термін окупності до 11,1 років.

Таблиця 5

**Результати дослідження терміну окупності утеплення
залежно від товщини утеплювача в умовах м. Вінниця**

Товщина вати (м)	Загальний опір R (м ² ·К/Вт)	Річна економія газу (м ³)	Річна економія (грн)	Інвестиції (грн)	Термін окупності (років)
0,02	0,991	618	6224	88 000	14,14
0,04	1,354	904	9104	96 000	10,54
0,06	1,718	1068	10 760	104 000	9,66
0,08	2,082	1175	11 840	112 000	9,46
0,10	2,445	1251	12 600	120 000	9,52
0,12	2,809	1307	13 165	128 000	9,72
0,14	3,172	1350	13 600	136 000	10,00
0,16	3,536	1384	13 940	144 000	10,33
0,18	3,900	1413	14 230	152 000	10,68
0,20	4,264	1435	14 450	160 000	11,07

На третьому етапі проведено дослідження терміну окупності об'єкту для різних кліматичних умов, враховуючи, що ГДОП в різних регіонах України змінюється від 2200 до 4000 °С·доба. Для кожного значення ГДОП визначено оптимальну товщину шару утеплювача, виходячи з мінімального терміну окупності заходів з утеплення. Застосовано середні в Україні ціни станом на 2026 рік, на утеплення зовнішніх стін будинків утеплювачами, які є найбільш розповсюдженими та найчастіше застосовуються для термомодернізації зовнішніх стін житлових будинків в Україні. Результати надано у таблиці 6 для трьох найбільш розповсюджених типів утеплювача при оптимальній товщині шару, яка визначалася окремо для кожного випадку.

Наочну інтерпретацію результатів дослідження терміну окупності заходів з утеплення об'єкту за умови товщини утеплювача, що забезпечує найшвидше повернення інвестицій для кожного кліматичного режиму наведено на діаграмі (рис. 1).

Зі зростанням суворості клімату (збільшенням ГДОП) оптимальна товщина шару утеплювача збільшується. У регіонах з ГДОП > 3600 фінансово вигідніше монтувати товстіші шари (120-140 мм), оскільки висока економія на опаленні швидше перекиває додаткові витрати на матеріал.

При низьких значеннях ГДОП оптимальною залишається товщина 80 мм. Це пояснюється тим, що при менших тепловтратах подальше потовщення шару не дає достатньої додаткової економії, щоб компенсувати зростання інвестицій, тоді як занадто тонкий шар (< 50 мм) є неефективним через високу частку вартості робіт у загальному кошторисі.

Пінопласт демонструє найкоротший термін окупності в усіх зонах завдяки найнижчій ціні за одиницю термічного опору. Проте мінеральна вата, попри довший термін окупності (15-27 років), залишається рекомендованою з міркувань пожежної безпеки та паропроникності.

На четвертому етапі досліджень виконано розрахунки за умови використання електричного котла замість котла на природному газі. ККД електричного котла 0,98 (табл. 7). Вартість електроенергії – 4,32 грн/кВт год.

Застосування електричного котла у порівнянні з газовим змінює економічну картину термомодернізації.

Оскільки вартість електричної енергії для населення за діючими тарифами значно перевищує вартість тепла, отриманого з природного газу (приблизно в 4,3 – 4,4 рази за одиницю енергії), термін окупності утеплення скорочується у кілька разів.

Оптимальна товщина шару для мінімізації терміну окупності зміщується у бік більших значень (100–140 мм), оскільки кожний додатковий сантиметр утеплювача економить значно дорожчий ресурс.

Головні висновки. В результаті досліджень встановлено наступне: 1) кліматична варіативність градусо-добі опалювального періоду в межах України (2200–4000) обумовлює зміну оптимальної товщини утеплювача від 80 до 120 мм для мінімізації терміну окупності; 2) електричне опалення робить термомодернізацію безальтернативно привабливою з терміном окупності до 2–5 років, тоді як при газовому опаленні цей показник становить 9–19 років; 3) мінеральна вата є найбільш збалансованим матеріалом для багатоквартирних та громадських будівель завдяки негорючості та паропроникності, попри довший термін окупності порівняно з пінополістиролом.

Перспективи використання результатів дослідження. Запропонований метод визначення оптимальних характеристик утеплення зовнішніх стін будинків з урахуванням кліматичних умов експлуатації рекомендовано для використання при проектуванні та реалізації заходів з утеплення будівель з недостатнім рівнем енергоефективності та для створення спеціалізованого програмного продукту,

Таблиця 6

Результати дослідження терміну окупності заходів з утеплення об'єкту за умови товщини утеплювача, що забезпечує найшвидше повернення інвестицій для кожного кліматичного режиму

ГДОП, °С·доба	Пінопласт (EPS) δ/ термін окупності	Мінвата (MW) δ/ термін окупності	ЕППС (XPS) δ/ термін окупності
2200	80 мм / 17,9 років	80 мм / 27,6 років	80 мм / 19,9 років
2400	80 мм / 16,5 років	80 мм / 25,3 років	80 мм / 18,2 років
2600	100 мм / 15,2 років	80 мм / 23,3 років	80 мм / 16,8 років
2800	100 мм / 14,1 років	100 мм / 21,7 років	80 мм / 15,6 років
3000	100 мм / 13,2 років	100 мм / 20,2 років	100 мм / 14,6 років
3200	120 мм / 12,4 років	100 мм / 19,0 років	100 мм / 13,7 років
3400	120 мм / 11,6 років	100 мм / 17,9 років	100 мм / 12,9 років
3600	140 мм / 11,0 років	120 мм / 16,9 років	120 мм / 12,2 років
3800	140 мм / 10,4 років	120 мм / 16,0 років	120 мм / 11,5 років
4000	140 мм / 9,9 років	120 мм / 15,2 років	120 мм / 10,9 років

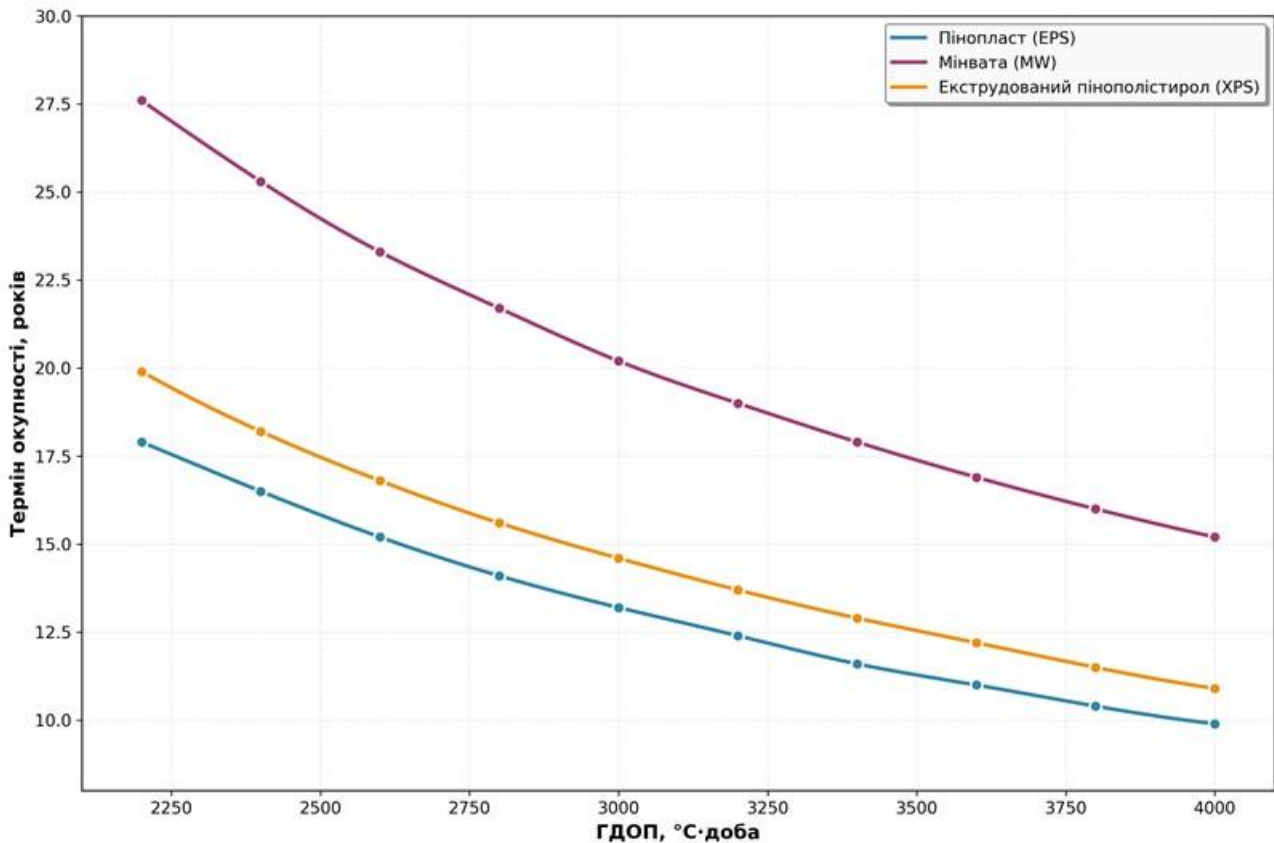


Рис. 1. Залежність терміну окупності утеплювачів від ГДОП

Таблиця 7

Результати дослідження терміну окупності заходів з утеплення об'єкту за умови товщини утеплювача, що забезпечує найшвидше повернення інвестицій для кожного кліматичного режиму у разі використання електричного котла для трьох типів утеплювачів

ГДОП, °С·доба	Пінопласт (EPS) δ/ термін окупності	Мінвата (MW) δ/ термін окупності	ЕППС (XPS) δ/ термін окупності
2200	100 мм / 4,1 року	100 мм / 6,3 року	80 мм / 4,6 року
2400	100 мм / 3,8 року	100 мм / 5,8 року	80 мм / 4,2 року
2600	100 мм / 3,5 року	100 мм / 5,3 року	80 мм / 3,9 року
2800	120 мм / 3,3 року	120 мм / 5,0 років	100 мм / 3,6 року
3000	120 мм / 3,0 року	120 мм / 4,6 року	100 мм / 3,4 року
3200	140 мм / 2,9 року	120 мм / 4,4 року	100 мм / 3,2 року
3400	140 мм / 2,7 року	140 мм / 4,1 року	100 мм / 3,0 року
3600	140 мм / 2,5 року	140 мм / 3,9 року	100 мм / 2,8 року
3800	160 мм / 2,4 року	140 мм / 3,7 року	120 мм / 2,7 року
4000	160 мм / 2,3 року	160 мм / 3,5 року	120 мм / 2,5 року

що дозволить моделювати в динамічному режимі енергетичні баланси технічних комплексів «будівля-система теплозабезпечення» різного призначення із врахуванням: кліматичних характеристик території розташування будинку, індивідуальних конструктивних особливостей кожного шару зовнішніх стін; теплотехнічних властивостей будівельних матеріалів та утеплювачів; технологічних параметрів наявної

системи опалення; актуальних цін та тарифів на енергоносії, будівельні матеріали та послуги. Результати досліджень можуть застосовувати власники приватних будинків, проектувальники та підрядники житлової забудови, які мають намір утеплити зовнішні стіни будинку та обґрунтувати витрати, визначити оптимальну товщину утеплювача та термін окупності за фактичних умов експлуатації.

Література

1. Ascione F., Bianco N., De Masi R., Mauro G. M., Vanoli G. P. Design of the Building Envelope: A Novel Multi-Objective Approach for the Optimization of Energy Performance and Thermal Comfort. *Sustainability*. 2015, № 7(8), 10809-10836. DOI: <https://doi.org/10.3390/su70810809>.
2. Verichev K., Serrano-Jiménez A., Carpio M., Barrios-Padura Á., Díaz-López C. Influence of degree days calculation methods on the optimum thermal insulation thickness in life-cycle cost analysis for building envelopes in Mediterranean and Semi-Arid climates. *Journal of Building Engineering*. 2023, Vol. 79, 107783, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107783>.
3. Hao Z., Zhang X., Xie J., Yin K. Liu J., Balance point temperature and heating degree-days in different climate conditions for building energy efficiency applications. *Building and Environment*. 2022, Vol. 214, 108957. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109013>.
4. Ukey R., Rai A.C. Impact of global warming on heating and cooling degree days in major Indian cities. *Energy and Buildings*, 2021. Vol. 244, 111050. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111050>.
5. Verichev K., Zamorano M., Fuentes-Sepúlveda A., Cárdenas N., Carpio M. Adaptation and mitigation to climate change of envelope wall thermal insulation of residential buildings in a temperate oceanic climate. *Energy and Buildings*. 2021, Vol. 235. 110717, Mar., doi: [10.1016/j.enbuild.2020.110717](https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110717).
6. Canbolat A.S. An integrated assessment of the financial and environmental impacts of exterior building insulation application. *Journal of Cleaner Production*. 2024, Vol. 435, 140376, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140376>.
7. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Мінрегіонбуд України. Київ: Укрархбудінформ, 2011. 123 с.
8. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. Київ: Мінрегіон, 2021. 74 с.
9. ДСТУ 9191:2022. Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2022. 108 с.
10. Ціни на утеплення мінватою на 2026 рік. URL: <https://domremonta.com.ua/uk/uteplenie-minvatoj/#czeny-na-uteplenie-minvatoj> (дата звернення: 27.01.2026).
11. ТеплоКомфорт. URL: <https://teplokomfort.kiev.ua/ua/прайс/утеплення-будинків-та-квартир> (дата звернення: 27.01.2026).
12. Ціна утеплення фасадів пінопластом і мінватою, Київ. URL: <https://kliner.com.ua/ua/tsiny-na-uteplennja-fasadiv/> (дата звернення: 27.01.2026).
13. Стандарт-фасад. Вартість утеплення. URL: <https://fassad.kh.ua/price-ua.html> (дата звернення: 27.01.2026).
14. Утеплення фасаду Харків. URL: <https://teplo-tex-stroi.com/uteplennya/uteplennya-fasadu/uteplennya-fasadu-kharkov> (дата звернення: 27.01.2026).
15. Атлант. Утеплювачі та ізоляційні матеріали. URL: <https://atlant-shop.com.ua/uk/pokrivlya-uteplennya-fasad/uteplyuvachi-ta-izolyatsiyni-materiali> (дата звернення: 27.01.2026).
16. Новаторбуд. Утеплювачі та ізоляція. URL: <https://novatorstroy.com.ua/category/utepliteli-i-izolyatsiya/> (дата звернення: 27.01.2026).
17. Робітники. Теплоізоляція. URL: <https://www.rabotniki.ua/uk/teploizolyatsiya> (дата звернення: 27.01.2026).
18. Зубр. Утеплення фасаду в Харкові. <https://zubr.kh.ua/fasadnye-raboty/uteplenie-fasada/> (дата звернення: 27.01.2026).
19. Кабанчик. Утеплення фасадів в Києві. URL: <https://kabanchik.ua/ua/kyiv/category/uteplennia-fasadiv/> (дата звернення: 27.01.2026).

Дата першого надходження статті до видання: 12.01.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 25.02.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 13.04.2026