

## ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ З УТЕПЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ З УРАХУВАННЯМ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ

Коваленко Ю.Л., Дядін Д.В., Ярчук Д.С.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

вул. Маршала Бажанова 17, 61002, м. Харків

[yurii.kovalenko@kname.edu.ua](mailto:yurii.kovalenko@kname.edu.ua), [dmytro.diadin@kname.edu.ua](mailto:dmytro.diadin@kname.edu.ua), [darya.yarchuk@kname.edu.ua](mailto:darya.yarchuk@kname.edu.ua)

Виконано порівняльну оцінку втрат тепла протягом опалювального сезону через зовнішні огорожувальні конструкції типових будинків 60-х – 80-х років минулого сторіччя. Розглянуто три характерні варіанти виконання зовнішніх стін: керамзитобетон товщиною 0,25 м; силікатна цегла товщиною 0,38 м; керамічна цегла товщиною 0,38 м. В усіх варіантах стіни вкриті шаром піщано-цементної штукатурки. Також розглянуто різні варіанти застосування найбільш поширених теплоізоляційних матеріалів: екструдованого пінополістиролу, мінеральної вати та резольно-формальдегідного пінопласту. При цьому враховувалися вимоги щодо вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення житлових, громадських і промислових будівель під час проведення нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту (термомодернізації). Обґрунтовано оптимальні параметри теплоізоляції з урахуванням кліматичних особливостей регіонів України. Для їх характеристики враховувалися середня температура зовнішнього повітря опалювального сезону та його тривалість. Використовувався показник градусодіб опалювального сезону, визначений виходячи з нормативної температури повітря в середині приміщення 20°C та кліматичної характеристики таких пунктів дислокації об'єктів досліджень: Харків, Київ, Запоріжжя, Одеса, Ялта. Екологічну ефективність в результаті зниження витрат тепла на опалення об'єкта оцінювали шляхом визначення потенційного скорочення кількості викидів парникових газів (CO<sub>2</sub>), які утворюються в результаті спалювання палива, за рахунок скорочення витрат теплової енергії. Використовувалися статистичні дані для визначення вуглецевісткості енергетики – середніх питомих викидів CO<sub>2</sub> при виробленні одиниці енергії в країнах Європи. Встановлено, що використання пінополістиролу товщиною 0,04 м для утеплення зовнішніх стін типового житлового 5-ти поверхового, 5-ти секційного будинку із керамзитобетонних плит, забудови 1960-х – 1970-х років, який розташований у північних або північно-східних регіонах України, може зберегти протягом опалювального сезону до 250 000 кВт·год. Потенційне скорочення кількості викидів парникових газів (CO<sub>2</sub>) складе до 63 т за сезон. Термін окупності заходу – 2,7 роки. *Ключові слова:* втрати тепла, теплоізоляційні матеріали, енергозбереження, кліматичні умови, викиди, оцінка впливу на довкілля, парникові гази.

**Assessment of the energy and environmental efficiency of building insulation measures considering the climate conditions. Kovalenko Yu., Diadin D., Yarchuk D.**

A comparative estimation of heat losses during the heating season through the external envelope of typical houses built around 1960-1980s is carried out. Three typical options of external walls are considered: expanded clay concrete 0.25 m thick; silicate brick 0.38 m thick; ceramic brick 0.38 m thick. In all variants the walls are covered with a layer of sand-cement plaster. Various options for the use of the most common thermal insulation materials are also considered: extruded polystyrene foam, mineral wool and resin-formaldehyde foam. At the same time, the requirements for the choice of thermal insulation material for residential, public and industrial buildings during new construction, reconstruction, overhaul (thermal modernization) were considered. The optimal parameters of thermal insulation are substantiated taking into account the climatic features of the regions of Ukraine. To characterize them, the mean outdoor air temperature and duration of the heating season were taken into account. The heating season degree index was used, determined based on the standard air temperature in the middle of the room 20 °C and the climatic characteristics of the locations of the research objects: Kharkiv, Kyiv, Zaporizhzhia, Odesa, Yalta. The environmental efficiency as a result of reducing the heat consumption for heating the object was estimated by determining the potential reduction in greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>), which are emitted from fuel combustion, by reducing the consumption of thermal energy. Statistical data were used to determine the carbon efficiency of energy – the average specific CO<sub>2</sub> emissions per unit of energy produced in European countries. It was established that the use of polystyrene foam with a thickness of 0.04 m to insulate the external walls of a typical dwelling house 5-story, 5-section building made of expanded clay concrete slabs, built in the 60s-70s of the last century, which is located in the northern or northeastern regions of Ukraine can save up to 250,000 kWh during the heating season. The potential reduction in greenhouse gas (CO<sub>2</sub>) emissions will be up to 63 tons per season. The payback period of the event is 2.7 years. *Key words:* heat loss, thermal insulation materials, energy saving, climatic conditions, emissions, environmental impact assessment, greenhouse gases.

### Постановка проблеми.

Обмеженість природних ресурсів, зростання антропогенного навантаження, пов'язаного з використанням традиційної енергетики, зумов-

люють актуальність завдання енергозбереження. Підвищення вартості енергоносіїв стимулює розвиток і вдосконалення технологій енергозбереження.

Комунальне господарство є одним із значних споживачів теплової енергії, значна кількість енергоресурсів витрачається на опалення будинків у зимовий період. Зовнішні огорожувальні конструкції типових будинків 60-х – 80-х років минулого сторіччя мають недостатні теплозахисні властивості та потребують заходів із термомодернізації. Розробці оптимальних параметрів термомодернізації зовнішніх огорожувальних конструкцій з урахуванням кліматичних умов їх використання присвячено цю роботу.

#### **Актуальність дослідження.**

Загальний потенціал енергозбереження в житлово-комунальному господарстві у пострадянських країнах, в тому числі в Україні, за рахунок скорочення втрат тепла через огорожувальні конструкції житлових і громадських будівель становить не менше 40% [1]. Крім того, енергозбереження має екологічний ефект, пов'язаний зі зниженням рівня негативного впливу на навколишнє середовище в результаті скорочення видобутку, транспортування і спалювання палива [2].

З результатів досліджень потенціалу енергозбереження України, проведених у 2011 році, [3] випливає, що термін окупності заходів по теплоізоляції зовнішніх стін становить в середньому для України 19,9 років. Це означає, що у разі дії чинних у період досліджень тарифних умов пройде ще досить багато часу, перш ніж інвестиції в заходи з енергозбереження окупляться.

У зв'язку з підвищенням тарифів на енергоносії в Україні та світі в період з 2011 по 2022 рік, ситуація істотно змінилася і актуальність заходів з енергозбереження істотно зросла.

У Європі в цілому будівельний сектор є найбільшим споживачем енергії, на нього припадає близько 43% загального енергоспоживання та близько 25% викидів парникового газу – діоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2$ ). Будівельний сектор пропонує значний потенціал для підвищення енергоефективності завдяки використанню високоефективної ізоляції та енергоефективних систем [4].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Результати дослідження ефективності термомодернізації фасадів офісних будівель наведено у [5]. Це допомагає зменшити споживання енергії та зменшити викиди  $\text{CO}_2$ . Частка зекономленої енергії після реконструкції фасадів різних типів становить від 48-59% до 65-67%.

Утеплення фасадів із застосуванням екструдованого пінополістиролу має найкращі теплові показники за рахунок його вологостійкості та низької теплопровідності [6]. За результатами досліджень [7] має перевагу застосування зовнішньої теплоізоляції але, поряд з цим, в роботі запропоновані технології застосування внутрішньої теплоізоляції. Для формування математичної моделі розрахунку тепловтрат об'єктів використовуються традиційні методики теплотехнічних розрахунків і нормативні

значення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій [8, 9, 10].

Авторами [11] наводиться приклад визначення технологічних параметрів утеплення будівель, необхідних для досягнення нормативного рівня тепловтрат для конкретних конструкцій об'єктів, кліматичних умов та використаних матеріалів.

#### **Викладення основного матеріалу.**

Метою даної роботи є обґрунтування вибору матеріалу та товщини шару теплоізоляції з урахуванням кліматичних умов регіонів України, найбільш поширених теплоізоляційних матеріалів та конструктивних параметрів стін типової багатоповерхової житлової забудови 60-х – 70-х років минулого століття. Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі завдання:

- розробити методику розрахунку оптимальної товщини шару теплоізоляції з урахуванням кліматичних умов розміщення будівлі, матеріалу та товщини стін будівлі;
- визначити оптимальні параметри теплоізоляції для варіантів об'єкта досліджень;
- виконати їх енергетичну, економічну та екологічну оцінку.

За об'єкт досліджень приймався житловий 5-ти поверховий, 5-ти секційний будинок типової забудови 60-х – 70-х років минулого століття. Вибір об'єкту зумовлений його високим потенціалом енергозбереження та широким розповсюдженням у населених пунктах України та інших країн. Так, наприклад, за даними відкритих джерел статистичної інформації, площа подібних будинків у Києві: «Хрущовка», «Чешка», «464» складає близько 14,1% від загальної площі житлового фонду міста.

Зовнішні стіни будинку мають три характерні варіанти виконання:

- керамзитобетон товщиною 0,25 м;
- силікатна цегла – 0,38 м;
- керамічна цегла – 0,38 м.

Кожний з цих варіантів має шар цементно-піщаної штукатурки товщиною 0,01 м. Загальна площа зовнішніх стін – 2585 м<sup>2</sup>. Об'єкт досліджень підключено до мереж центрального тепlopостачання.

У ході розробки технічних пропозицій враховувалися вимоги [10] щодо вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення житлових, громадських і промислових будівель під час проведення нового будівництва, реконструкції, капітального ремонту (термомодернізації). Виходячи з цього розглянуто варіанти застосування екструдованого пінополістиролу, мінеральної вати та резольно-формальдегідного пінопласту. Товщина шару теплоізоляції для екструдованого пінополістиролу та резольно-формальдегідного пінопласту розглядається, згідно з поширеною номенклатурою в торгівій мережі України, в межах з 0,02 м по 0,1 м; мінеральної вати – з 0,05 м по 0,1 м.

Для оцінки впливу кліматичних умов, характерних для різних регіонів України, розглянуто варіанти

впровадження заходу в Харкові, Києві, Запоріжжі, Одесі та Ялті. Загальний вигляд об'єкта досліджень наведено на рис. 1.

Оптимальна товщина шару теплоізоляції з урахуванням кліматичних умов розміщення будівлі, матеріалу та товщини стін будівлі розраховувалася за методикою, наведеною нижче.

Кількість тепла, що втрачається з будівлі через зовнішні стіни протягом опалювального сезону  $E$ , Дж:

$$E = \dot{k} \cdot F \sum_1^{\Delta t_{\max}} \Delta t_i \cdot \tau_i$$

де:  $k$  – коефіцієнт теплопередачі через стіну, Вт/(м<sup>2</sup> К);

$F$  – площа стін, м<sup>2</sup>;

$\Delta t_i$  – значення перепаду температури повітря зовні та в середині приміщення, К;

$\tau_i$  – тривалість часового інтервалу, у якому спостерігається перепад температури повітря  $\Delta t_i$  зовні та всередині приміщення, с.

Використовуючи показник градусодіб опалювального сезону (ГДОС), кількість тепла, яке втрачається з будівлі через зовнішні стіни протягом опалювального сезону буде:

$$E = 86400 \cdot k \cdot F \cdot \text{ГДОС}$$

Питомі витрати тепла з будівлі через 1 м<sup>2</sup> зовнішніх стін протягом опалювального сезону буде:

$$E = 86400 \cdot k \cdot \text{ГДОС}$$

Значення коефіцієнту теплопередачі через стіну  $k$ , Вт/(м<sup>2</sup> К):

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{h_1}{\lambda_1} + \frac{h_2}{\lambda_2} + \frac{h_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_6}}$$

де:  $\alpha_3$  – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup> К);

$\alpha_6$  – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м<sup>2</sup> К);

Середні розрахункові значення  $\alpha_6 = 8,7$  Вт/(м<sup>2</sup>·К)  $\alpha_3 = 23$  Вт/(м<sup>2</sup>·К) визначені чинними нормативними документами [10].

$h_1$  – товщина стіни, м;

$h_2$  – товщина шару піщано-цементної штукатурки, м;

$h_3$  – товщина шару теплоізоляції, м;

$\lambda_1$  – теплопровідність стіни, Вт/(м·К);

$\lambda_2$  – теплопровідність штукатурки, Вт/(м·К);

$\lambda_3$  – теплопровідність теплоізоляції, Вт/(м·К).

Довідкові значення теплопровідності будівельних матеріалів, які було використано у розрахунках наведено у таблиці 1.

Значення ГДОС визначені, виходячи з нормативної температури повітря в середині приміщення  $t_b = 20^\circ\text{C}$  та кліматичної характеристики обраних пунктів дислокації об'єктів досліджень наведено в таблиці 2.

Приймалися чинні для населення в опалювальному сезоні 2021/2022 тарифи на теплову енергію, що поставляється КП «Київтеплоенерго». Вартість 1 Гкал тепла – 1654,41 грн із ПДВ [12]. Ціни на матеріали та послуги з монтажу теплоізоляційних матеріалів, з урахуванням проведення подальших штукатурних і малярських робіт, приймалися по результатам дослідження ринку будівельних робіт в Україні станом на травень 2022 р.

Враховуючи, що найважливішим моментом для оцінки екологічної ефективності є оцінка скорочення викидів парникових газів, насамперед CO<sub>2</sub> при виробленні енергії, для проведення екологічної оцінки використовувалися статистичні дані [13] для визначення вуглецевмісткості енергетики – середніх питомих викидів CO<sub>2</sub> при виробленні одиниці енергії



Рис. 1. Секційний будинок типової забудови 1960-х – 1970-х років

Розрахункові значення теплопровідності будівельних матеріалів

№ з/п	Будівельний матеріал	Теплопровідність, Вт/(м·К)
1	Керамзитобетон на керамзитовому піску густиною 1800 кг/м <sup>3</sup>	0,66
2	Цегла силікатна повнотіла на цементно-піщаному розчині	0,7
3	Цегла керамічна порожниста густиною 1400 кг/м <sup>3</sup> (брутто) на цементно-піщаному розчині	0,47
4	Розчин цементно-піщаний густиною 1800 кг/м <sup>3</sup>	0,58
5	Екструдований пінополістирол, густина 35 кг/м <sup>3</sup>	0,035
6	Мінеральна вата на основі базальтового волокна, густина 100 кг/м <sup>3</sup>	0,038
7	Резольно-формальдегідний пінопласт, густина 50 кг/м <sup>3</sup>	0,041

Таблиця 2

Значення ГДОС пунктів дислокації об'єктів досліджень

№ з/п	Пункт дислокації об'єкта досліджень	ГДОС
1	Харків	3365
2	Київ	3273
3	Запоріжжя	2938
4	Одеса	2575
5	Ялта	1535

в країнах Європи. Виходячи з цього вважалося, що при виробленні 1 кВт·год енергії в атмосферу потрапляє 250 г CO<sub>2</sub>.

Для проведення оцінки енергетичного та екологічного ефекту авторами виконано розрахунки втрат тепла протягом опалювального сезону через зовнішні стіни секції будівлі. Стіни виконано з керамзитобетону товщиною 0,25 м та шару піщано-цемент-

ної штукатурки товщиною 0,01 м. Стіни утеплювали екструдованим пінополістиролом густиною 35 кг/м<sup>3</sup>. Товщина шару утеплювача змінювалася від 0,02 м до 0,1 м. Розрахунки виконано для кліматичних умов міст Харків, Київ, Запоріжжя, Одеса та Ялта.

На рис. 2 наведено результати дослідження залежності питомих, віднесених до 1 м<sup>2</sup>, тепловтрат протягом опалювального сезону, E, кВт·год, від товщини шару теплоізоляції, h, м, виконаної із екструдованого пінополістиролу для кліматичних умов різних міст України.

На рис. 3 наведено результати дослідження залежності питомої, віднесеної до 1 м<sup>2</sup>, економії тепла, отриманої за рахунок утеплення стіни, протягом опалювального сезону, E, кВт·год від товщини шару теплоізоляції, h, м, виконаної із екструдованого пінополістиролу для кліматичних умов різних міст України.

Очевидно, що по мірі збільшення товщини шару теплоізоляції, також зростає кількість заощадже-

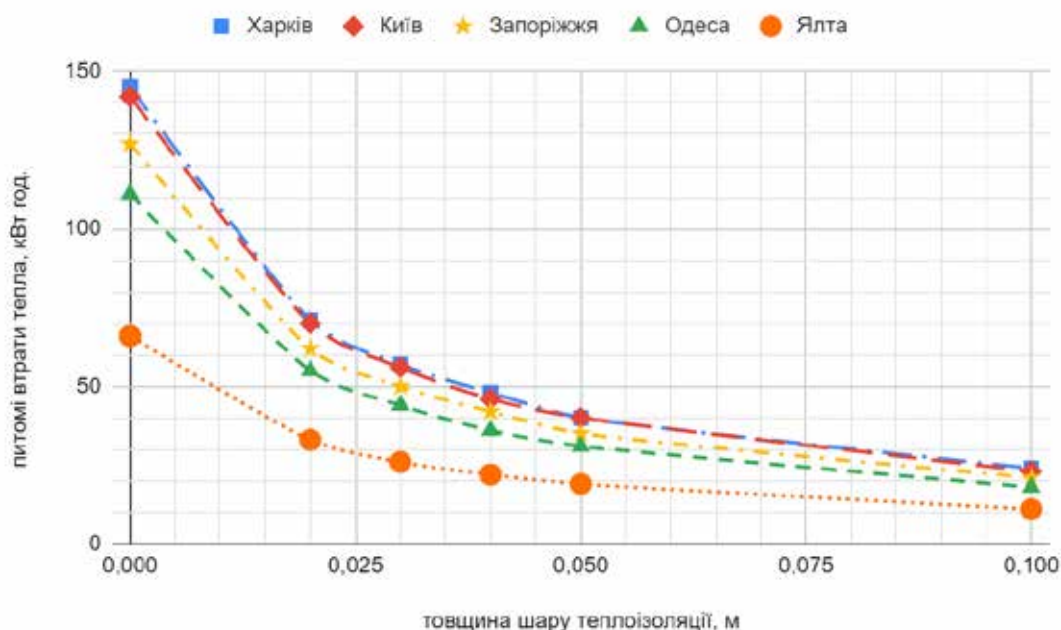


Рис. 2. Залежність питомих тепловтрат від товщини шару теплоізоляції

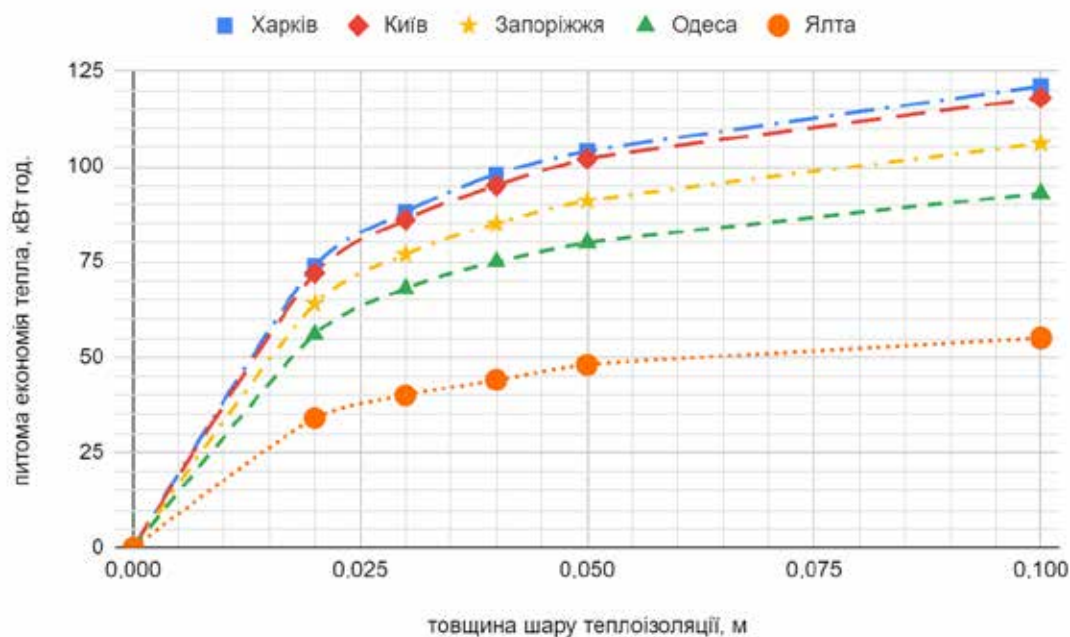


Рис. 3. Залежність питомої економії тепла, отриманої за рахунок утеплення стіни, протягом опалювального сезону,  $E$ , кВт·год, від товщини шару теплоізоляції,  $h$ , м, виконаної із екструдованого пінополістиролу

ної енергії, поступово наближаючись до величини тепловтрат. Використання пінополістиролу товщиною 0,04 м для утеплення зовнішніх стін із керамзитобетонних плит в кліматичних умовах м. Харків протягом опалювального сезону може скоротити втрати енергії з кожного квадратного метра стіни до 97 кВт·год. У такому випадку, теплоізоляція зовнішніх стін типового житлового 5-ти поверхового, 5-ти секційного будинку із керамзитобетонних плит, забудови 60-х – 70-х років минулого століття дозволить економити протягом опалювального сезону до 250 000 кВт·год.

Одночасно з цим зростає вартість матеріалів та робіт із утеплення стіни. Залежність вартості матеріалів та робіт з утеплення стіни (з урахуванням вартості матеріалів та робіт з монтажу, штукатурки та фарбування) від товщини шару теплоізоляції, виконаної з екструдованого пінополістиролу, мінеральної вати та пінопласту наведено на рис. 4.

На підставі отриманих даних визначено термін окупності заходів з теплоізоляції стін, виготовлених з керамзитобетону товщиною 0,25 м та шару піщано-цементної штукатурки товщиною 0,01 м для різної товщини шару теплоізоляції,  $h$ , м, виконаної із екструдованого пінополістиролу для кліматичних умов різних міст України. При цьому враховувалися чинні для населення України в опалювальному сезоні 2021/2022 тарифи на теплову енергію. Результати наведено на рис. 5.

Для стін, виготовлених з керамзитобетону товщиною 0,25 м та шару піщано-цементної штукатурки

товщиною 0,01 м, для кліматичних умов різних міст України, мінімальний термін окупності має теплоізоляція, виконана із екструдованого пінополістиролу товщиною шару близько 0,04 м. Термін окупності скорочується по мірі зростання показника ГДОС. У північних та північно-східних регіонах України, де мають місце мінімальні значення середніх температур зовнішнього повітря протягом опалювального сезону та максимальна його тривалість, термін окупності заходу з теплоізоляції стін складає менше трьох років.

Результати дослідження залежності мінімального терміну окупності теплоізоляції від матеріалу стіни будинку для різних кліматичних умов наведено на рис. 6.

Найбільш пріоритетними є заходи з утеплення стін із керамзитобетону. При утепленні стін із силікатної цегли мінімальний термін окупності навіть у найбільш холодних регіонах України складає близько чотирьох років, а у разі стін з керамічної цегли – шість років. Утеплення стін будинків з керамічної цегли у регіонах, де ГДОС менше, ніж 2100 не ефективно, термін окупності перевищує 10 років.

Результати дослідження залежності мінімального терміну окупності теплоізоляції від товщини її шару для пінополістиролу, мінеральної вати та пінопласту наведено на рис. 7.

Мінімальний термін окупності забезпечує пінополістирол з товщиною 0,04 м, пінопласт – 0,03–0,04 м, мінеральна вата (з урахуванням поширеної номенклатури виробів у торговельній мережі) – 0,05 м.

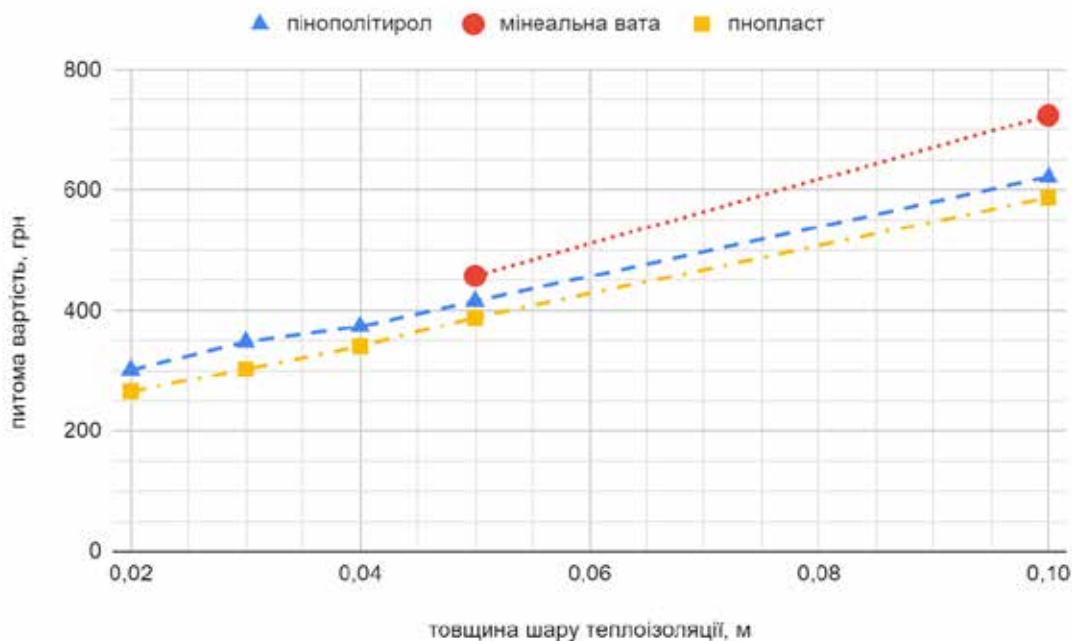


Рис. 4. Залежність вартості матеріалів та робіт з утеплення стіни від товщини шару теплоізоляції, виконаної з екструдованого пінополістиролу, мінеральної вати та пінопласту

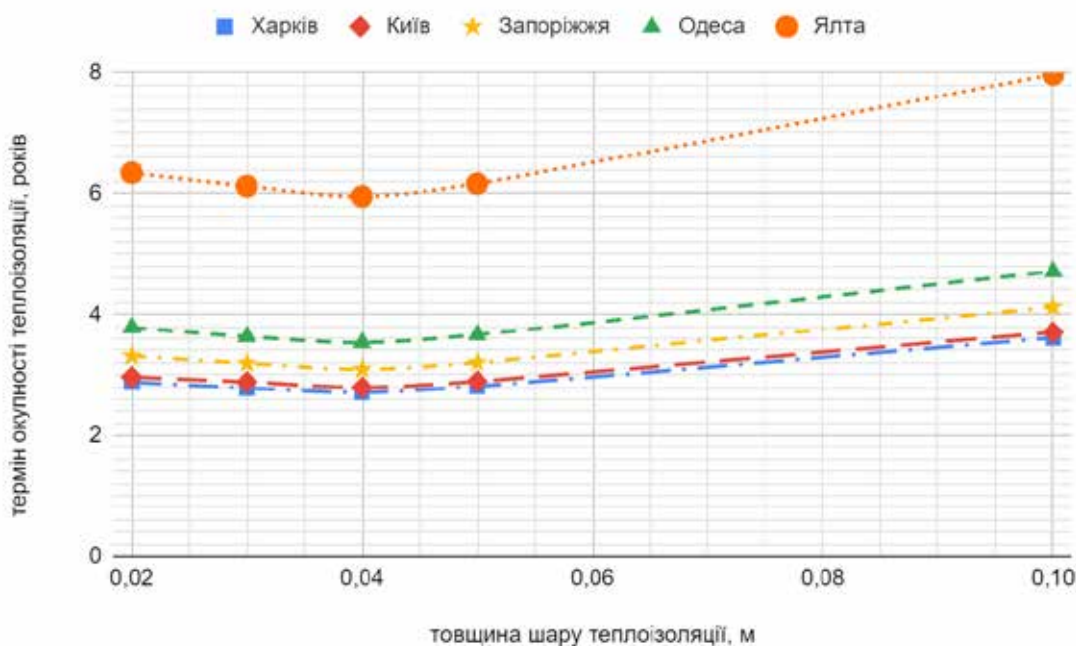


Рис. 5. Залежність терміну окупності теплоізоляції від товщини її шару

Екологічну ефективність у результаті зниження витрат тепла на опалення об'єкта оцінимо шляхом визначення потенційного скорочення кількості викидів парникових газів (CO<sub>2</sub>), які утворюються в результаті спалювання палива, за рахунок скорочення витрат теплової енергії.

Використовувалися значення вуглецевмісткості енергетики – середніх питомих викидів CO<sub>2</sub> при виробленні одиниці енергії в країнах Європи. Результати дослідження залежності потенційного скорочення кількості викидів парникових газів, в наслідок утеплення зовнішніх стін об'єкта

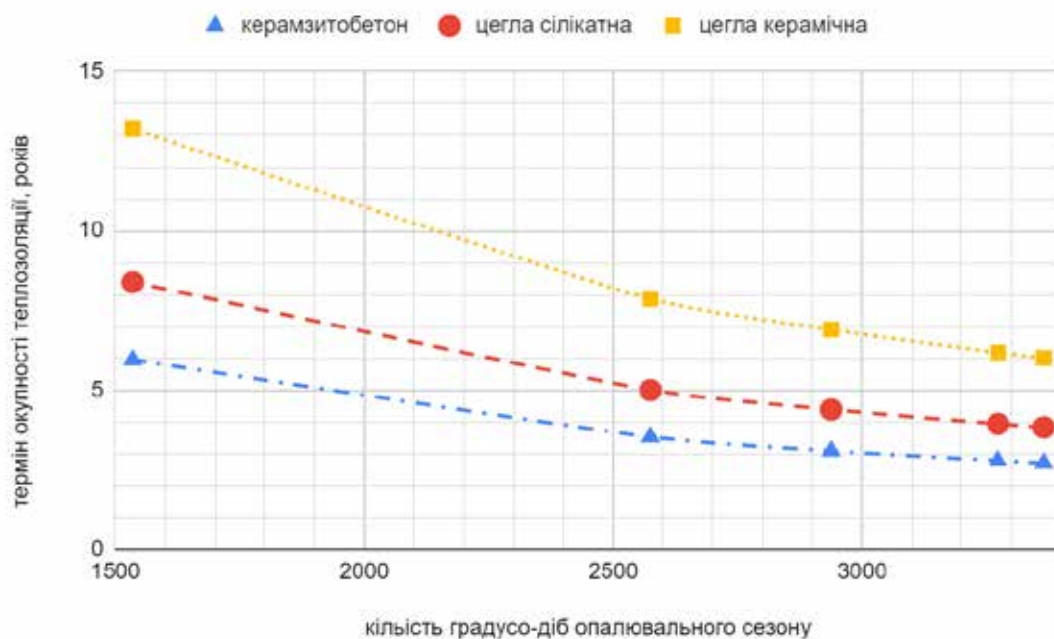


Рис. 6. Результати дослідження залежності мінімального терміну окупності теплоізоляції від матеріалу стіни будинку для різних кліматичних умов

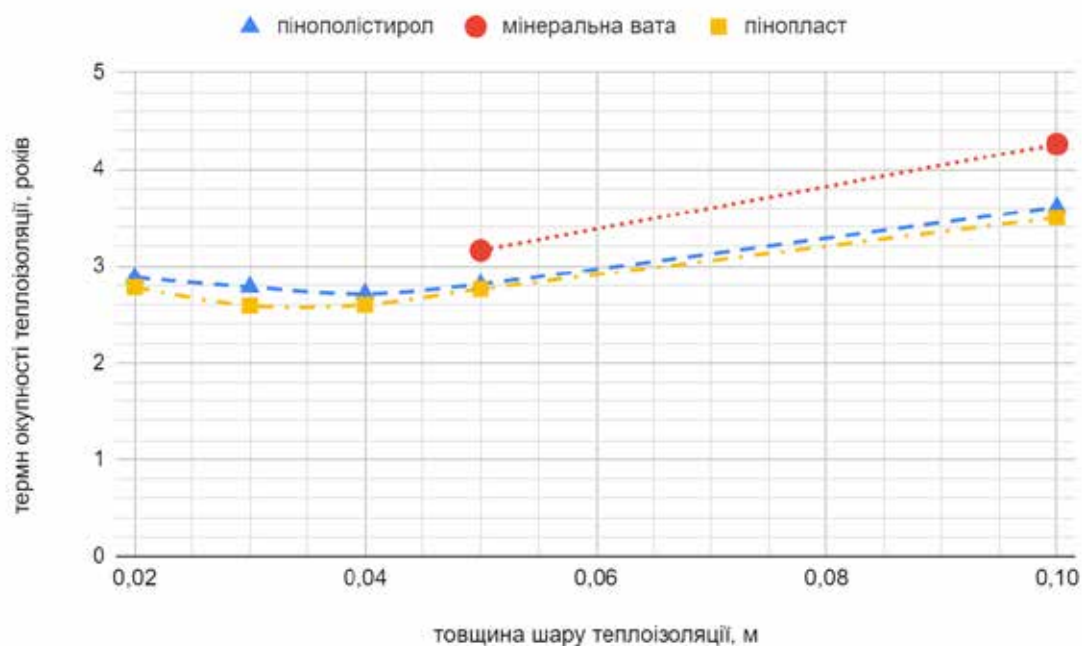


Рис. 7. Результати дослідження залежності мінімального терміну окупності теплоізоляції від товщини її шару для пінополістиролу, мінеральної вати та пінопласту

дослідження пінополістиролом, від кліматичних умов наведено на рис. 8.

Виходячи з цього, потенційне скорочення викидів  $\text{CO}_2$  на об'єкті досліджень, у разі його розташування у північних та північно-схід-

них регіонах України, протягом опалювального сезону складе від 28 т до 63 т. Найбільше потенційне скорочення викидів  $\text{CO}_2$  має місце при проведенні термомодернізації стін із керамзитобетонних плит.

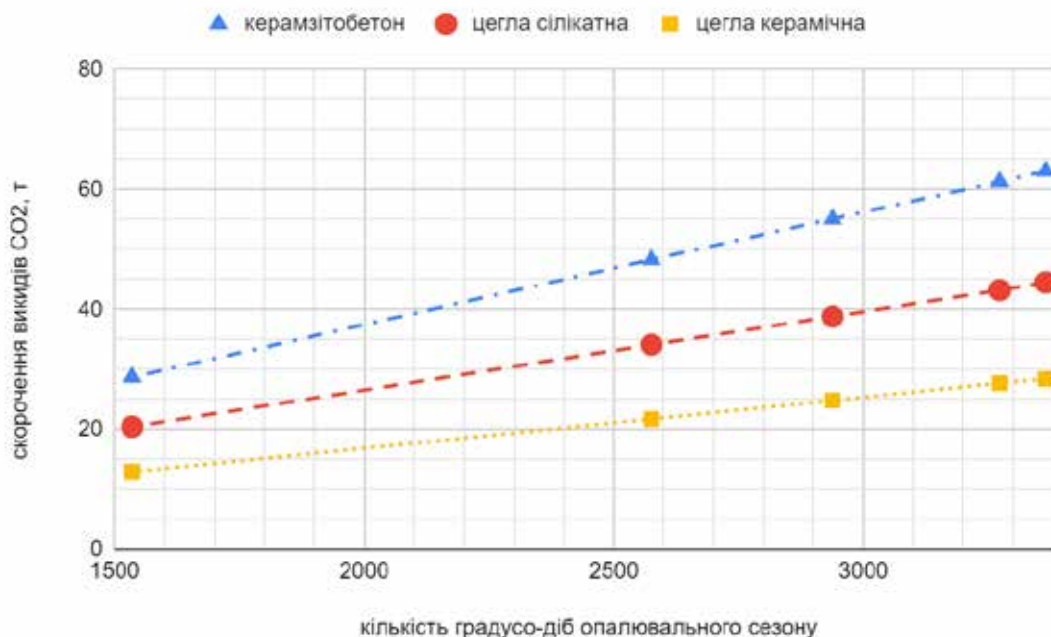


Рис. 8. Результати оцінки впливу на довкілля внаслідок утеплення зовнішніх стін об'єкта дослідження пінопістіролом

### Головні висновки.

Наведена методика розрахунку оптимальної товщини шару теплоізоляції з урахуванням кліматичних умов розміщення будівлі, матеріалу та товщини стін будівлі дозволяє визначити оптимальні параметри теплоізоляції для варіантів об'єкта досліджень, виконати їх енергетичну, економічну та екологічну оцінку. Встановлено, що використання пінопістіролу товщиною 0,04 м для утеплення зовнішніх стін типового житлового 5-ти поверхового, 5-ти секційного будинку із керамзитобетонних плит, забудови 60-х – 70-х років минулого століття який розташований у північних або північно-східних регіонах України може зберегти протягом опалювального

сезону до 250 000 кВт·год. Потенційне скорочення кількості викидів парникових газів (CO<sub>2</sub>) складе до 63 т за сезон. Термін окупності заходу – 2,7 роки.

### Перспективи використання результатів дослідження.

Результати досліджень можуть бути використані будівельними компаніями, організаціями, відповідальними за експлуатацію будинків, приватними особами – власниками будинків у процесі прийняття рішень та виконання робіт з термомодернізації та енергозбереження. Це дасть змогу отримати максимальний позитивний екологічний та енергетичний ефект при мінімальному рівні матеріальних витрат.

### Література

1. Овчинников Ю. В., Григорьева О. К., Францева А. А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: учеб. пособие. Изд-во НГТУ, 2015. 258 с.
2. Маляренко В. А., Немировский И. А. Энергосбережение и энергетический аудит: учебн. пособие. Харьков: ХНАГХ, 2008. 253 с.
3. Дослідження ринку – житловий сектор України: правові, регуляторні, інституційні, технічні та фінансові аспекти. Фінальний звіт, підготовлено для ЄБРР. Інститут місцевого розвитку, Worley Parsons, 2011. 223 с. URL: [http://teplydim.mdi.org.ua/static/storage/filesfiles/Market%20Assessment%20Report%20-%20Final\\_UKR\\_2011-08-31.pdf](http://teplydim.mdi.org.ua/static/storage/filesfiles/Market%20Assessment%20Report%20-%20Final_UKR_2011-08-31.pdf) (дата звернення 20.09.2022)
4. Ibrahim M., Wurtz E., Biwole P. H., Achard P. Performance evaluation of buildings with advanced thermal insulation system: A numerical study. *Journal of Facade Design and Engineering*. 2016. 4. P. 19–34. DOI : 10.3233/FDE-160048
5. Hannoudi L. A., Christensen J. E., Lauring, M. Façade system for existing office buildings in Copenhagen. *Energy Procedia*. 2015. 78. P. 937-942. DOI: 10.1016/j.egypro.2015.11.023
6. Umnyakova N., Bessonov I., Zhukov A., Zinoveva E. The effectiveness of facade systems. *MATEC Web of Conferences*. 2019. 298, 00013. DOI: 10.1051/mateccnf/201929800013
7. Lucchesi F., Svendsen S., Koldtoft K. Internal Insulation of Preservation Worthy Facades. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. 2069 (1), [012084]. DOI: 10.1088/1742-6596/2069/1/012084
8. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача : учебн. для вузов. Москва: Энергия, 1975. 488 с.



9. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. Київ: Мінрегіонбуд, 2017. 30 с.
10. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ: Мінрегіонбуд, 2014. 55 с.
11. Gamayunova O., Petrichenko M., Musorina T., Gumerova E. Feasibility study of the insulation of the enclosing walls of high-rise buildings. *MATEC Web of Conferences*. 2018. 245, 06006. DOI: 10.1051/mateconf/201824506006
12. Про встановлення тарифів на теплову енергію, виробництво теплової енергії, транспортування теплової енергії, постачання теплової енергії, послуги з постачання теплової енергії і постачання гарячої води для населення комунальному підприємству виконавчого органу кїївради (кїївської мїської державної адмїнїстрації) «Кїївтеплоенерго»: розпорядження КМДА від 19.10.2021 № 2176. URL. [shorturl.at/hJ247](http://shorturl.at/hJ247) (дата звернення 19.09.2022)
13. Greenhouse Gas Emission Intensity from Electricity Generation. European Environmental Agency. URL: [https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-10#tab-googlechartid\\_googlechartid\\_googlechartid\\_googlechartid\\_chart\\_11111](https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-10#tab-googlechartid_googlechartid_googlechartid_googlechartid_chart_11111) (дата звернення 22.09.2022)