

УДК 620.9:699.86

DOI: 10.30838/UJCEA.2312.290426.52.1225

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УТЕПЛЕННЯ У КОНТЕКСТІ СТАНДАРТУ NZEB ТА ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

КОСЕНКО Л. В., *асп., ас.*

Кафедра залізобетонних і кам'яних конструкцій, Український державний університет науки і технологій, ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, e-mail: [kosenko.leonid@365.pdaba.edu.ua](mailto:kosenko.leonid@365.pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-8841-8318

**Анотація.** Дослідницька робота спрямована на визначення ефективності впровадження відновлюваних джерел енергії в житлову багатоквартирну будівлю та обґрунтування технічних рішень, необхідних для приведення її до параметрів будівлі з майже нульовим споживанням енергії (NZEB).

Згідно з поставленою метою були сформувані основні задачі дослідження, а саме:

- виконати обстеження та визначити поточний стан енерговитрат будівлі за результатами інструментального енергоаудиту;
- визначити можливі варіанти впровадження ВДЕ для багатоквартирної будівлі;
- розробити заходи з термореновації будівлі, утеплення стін, перекриття для досягнення норм NZEB;
- виконати розрахунок техніко-економічних показників запропонованих заходів з термореновації.

У дослідженні проведено комплексний аналіз теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, порівняно результати розрахунків згідно з чинними будівельними нормами України та рекомендованими вимогами NZEB. Розглянуто варіанти підвищення теплоефективності зовнішніх стін, покриття і оцінено економічну доцільність впровадження кожного з цих заходів. Особливу увагу приділено порівнянню інвестиційних витрат, строків окупності та потенціалу енергозбереження при різних сценаріях утеплення будівлі. Додатково досліджено можливість інтеграції сонячної електростанції загальною потужністю 77,3 кВт та її вплив на зменшення споживання електроенергії з мережі. Проаналізовано три сценарії використання сонячної генерації: для загальнобудинкових потреб, для поєднання потреб будівлі та автономної роботи укриття, а також часткове забезпечення квартир мешканців. За результатами моделювання встановлено, що станція здатна повністю покривати загальнобудинкові потреби впродовж року, а також забезпечити автономність укриття в усі місяці, крім грудня. Отримані результати можуть бути використані проєктувальниками, енергоаудиторами та іншими фахівцями у сфері будівництва й реконструкції для підвищення енергоефективності будівель та впровадження стандартів NZEB у сучасних проєктах.

**Ключові слова:** енергоефективність; відновлювальні джерела енергії; утеплення; сонячна електростанція; NZEB

## ASSESSMENT OF INSULATION EFFICIENCY IN THE CONTEXT OF THE NZEB STANDARD AND THE USE OF SOLAR POWER PLANTS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS

KOSENKO L.V., *Postgrad. Stud., Ass.*

Department of Reinforced Concrete and Stone Structures, Ukrainian State University of Science and Technologies, ESI "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, e-mail: [kosenko.leonid@365.pdaba.edu.ua](mailto:kosenko.leonid@365.pdaba.edu.ua), ORCID ID: 0000-0002-8841-8318

**Abstract.** The research work is aimed at determining the effectiveness of implementing renewable energy sources in a residential apartment building and justifying the technical solutions necessary to bring it to the parameters of a nearly zero-energy building (NZEB).

In accordance with the set goal, the main objectives of the study were formulated, namely:

- to conduct a survey and determine the current state of the building's energy consumption based on the results of an instrumental energy audit;
- to identify possible options for the implementation of RES for a multi-apartment building;
- develop measures for the thermal renovation of the building, insulation of walls and floors to achieve NZEB standards;

– calculate the technical and economic indicators of the proposed thermal renovation measures.

The study conducted a comprehensive analysis of the thermal characteristics of the building envelope, comparing the results of calculations in accordance with current Ukrainian building codes and recommended NZEB requirements. Options for improving the thermal efficiency of exterior walls and roofing were considered, and the economic feasibility of implementing each of these measures was assessed. Particular attention is paid to comparing investment costs, payback periods, and energy-saving potential for different building insulation scenarios. Additionally, the possibility of integrating a solar power plant with a total capacity of 77,3 kW and its impact on reducing electricity consumption from the grid is investigated. Three scenarios for the use of solar generation were analyzed: for general building needs, for the combined needs of the building and autonomous operation of the shelter, as well as partial provision of apartments for residents. The results of the modeling showed that the station is capable of fully covering the general building needs throughout the year, as well as ensuring the autonomy of the shelter in all months except December. The results can be used by designers, energy auditors, and other specialists in the field of construction and reconstruction to improve the energy efficiency of buildings and implement NZEB standards in modern projects.

**Keywords:** *energy efficiency; renewable energy sources; insulation; solar power plant; NZEB*

**Постановка проблеми.** В умовах зростання енергоспоживання, погіршення екологічної ситуації та енергетичної безпеки України одним із пріоритетів будівельної галузі є підвищення енергоефективності будівель та впровадження концепції будівель з майже нульовим споживанням енергії (Nearly Zero Energy Buildings, NZEB), яка передбачає мінімізацію енергоспоживання та максимальне використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Житлові будинки споживають значну кількість енергії, тому інтеграція технологій відновлюваної енергетики, таких як сонячні електростанції, теплові насоси та системи рекуперації тепла є важливим кроком на шляху до досягнення цілей зеленого курсу та переходу до будівель з майже нульовим споживанням енергії (NZEB).

**Аналіз публікацій.** Проведений аналіз наукових публікацій і нормативних документів, що стосуються підвищення енергоефективності житлових будівель у контексті стандарту Nearly Zero Energy Building (NZEB). Усі розглянуті дослідження показують, що досягнення показників (NZEB) будівлі можливе лише за умови комплексного поєднання заходів енергозбереження [1–3].

З результатів огляду літератури основним заходом можна виділити утеплення огорожувальних конструкцій як базового заходу зменшення енергопотребителі будівлі. Підвищення теплозахисних характеристик стін, покрівлі, та світлопрозорих конструкцій забезпечує найбільший і найстабільніший ефект

зменшення тепловтрат, незалежно від типу інженерних систем, що застосовуються. Високоєфективні системи опалення, вентиляції чи кондиціонування не здатні забезпечити досягнення нормативних показників NZEB без належного рівня зовнішньої теплоізоляції оболонки будівлі [4–5].

Запровадження в Україні нових нормативних вимог щодо будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії створює правову основу для практичного впровадження рішень, орієнтованих на посилення теплоізоляції та інтеграцію сонячних електростанцій у житловому секторі. Використання відновлюваних джерел енергії є обов'язковою вимогою для будівель, що відповідають стандарту NZEB.

Зазначене підтверджує актуальність досліджень, спрямованих на оцінку ефективності утеплення саме в поєднанні з використанням ВДЕ [1–6].

**Мета.** Метою дослідження є визначення ефективності впровадження відновлюваних джерел енергії в житлову багатоквартирну будівлю та приведення будівлі до параметрів NZEB.

**Завдання дослідження.** Згідно з поставленою метою були сформовані основні задачі дослідження, а саме:

- виконати обстеження та визначити поточний стан енерговитрат будівлі за результатами інструментального енергоаудиту;

- визначити можливі варіанти впровадження ВДЕ для багатоквартирної будівлі;

- розробити заходи з термореновації будівлі, утеплення стін, перекриття для досягнення норм NZEB;

- виконати розрахунок техніко-економічних показників запропонованих заходів з термореновації.

**Результати дослідження.** Об'єктом дослідження є житловий багатоквартирний 5-ти поверховий будинок з неопалювальним горищем у місті Дніпро. Будівля має 113 квартир та побудована з використанням силікатної цегли, товщина стін 510 мм. Зовні будівля утеплена локально системою лоскутного утеплення, що не забезпечує цілісного теплозахисту. На основі результатів інструментального енергетичного аудиту огорожувальної оболонки будівлі, що охоплював дослідження зовнішніх стін, перекриття над підвалом та горищного перекриття, було встановлено технічний стан конструкцій. Виявлено теплові відмови та невідповідність існуючих огорожувальних елементів чинним нормативним вимогам щодо теплового захисту. За результатами розрахунку товщини утеплення за нормами ДБН та рекомендованими нормами NZEB визначено:

- Для утеплення стін мінімально допустима товщина теплоізоляційного шару становить 150 мм для приведення параметрів огорожувальних конструкцій до рівня ДБН. Водночас для досягнення рівня енергоефективності рекомендованого стандартами NZEB мінімальна товщина утеплювача має становити 200 мм, а розрахункова 250 мм.

- Утеплення перекриття неопалювального горища рекомендована товщина утеплювача для відповідності ДБН становить не менше 250 мм. Для досягнення параметрів встановлених нормами NZEB мінімальна товщина має бути 300 мм, а розрахункове оптимальне значення 320 мм.

З отриманих результатів розрахунку товщини утеплювача за діючими нормами ДБН та нормами NZEB, різниця товщини

утеплювача збільшується на 60 % для стін та 62 % для перекриття горища, що має великий теплоізоляційний потенціал для збереження тепла при цьому отримані економічні дані порівняння термінів окупності різниці складає приблизно на 2 роки більше.

У ході проведеного дослідження було здійснено розрахунок енергоспоживання житлової будівлі за трьома сценаріями, що дозволило оцінити вплив різних варіантів термореновації на її енергетичні характеристики.

Аналіз першого сценарію, який відображає поточний стан будівлі без виконання утеплення зовнішніх стін та перекриття горища, показав, що річна енергопотреба становить 774 144 кВт·год, що відповідає класу енергоефективності «Е» та свідчить про значні теплові втрати через огорожувальні конструкції.

Другий сценарій передбачав виконання утеплення згідно з чинними будівельними нормами України. Розрахунки показали, що при застосуванні фасадної теплоізоляції товщиною 150 мм для стін та утеплення горищного перекриття шаром 250 мм коефіцієнти теплопередачі огорожувальних конструкцій знижуються до нормативних значень ( $U = 0,25 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$  для стін та  $U = 0,2 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$  для перекриття). Це дозволяє зменшити річну енергопотребу до 691 200 кВт·год, що відповідає економії 10,7 % порівняно з вихідним станом.

Третій сценарій був розрахований відповідно до підвищених вимог стандартів будівель з майже нульовим споживанням енергії (NZEB). При товщині теплоізоляції 250 мм для стін ( $U = 0,18 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ ) та 320 мм для перекриття ( $U = 0,12 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ ) річне енергоспоживання становить 656 640 кВт·год, що забезпечує зниження енергопотреби на 15,2 % порівняно з базовим станом та на додаткові 5 % порівняно з другим сценарієм [6].

Таким чином, виконання термомодернізації відповідно до ДБН забезпечує суттєве підвищення енергоефективності при відносно помірних витратах, тоді як реалізація вимог NZEB дозволяє досягти максимальної економії

енергії, проте потребує більших фінансових інвестицій [5–9].

Окрім теплоізоляційних заходів, було здійснено моделювання роботи сонячної електростанції потужністю 77,3 кВт,

встановленої на покрівлі будівлі площею 515 м<sup>2</sup> [10].

Результати моделювання сонячної електростанції та виробництво енергії показано на рисунку 1.

Місяць	Сонячне випромінювання ( кВт·год / м <sup>2</sup> / день )	Енергія змінного струму ( кВт·год )
Січень	1.16	2,371
Лютий	2.18	4,024
Березень	2.91	5,808
Квітень	4.77	8,787
Травень	6.29	11,583
Червень	6.93	11,934
Липень	6.72	11,927
Серпень	6.42	11,357
Вересень	4.80	8,638
Жовтень	2.60	4,940
Листопад	1.07	2,010
Грудень	0.74	1,467
<b>За рік</b>	<b>3.88</b>	<b>84,846</b>

Рис. 1. Результати моделювання

За результатами розрахунків очікуваний річний виробіток електроенергії становить 84 846 кВт·год за рік, що дозволяє повністю забезпечити загальнобудинкові потреби, автономну роботу укриття або частково покривати споживання електроенергії у квартирах мешканців. Найвищі обсяги генерації припадають на літні місяці (понад 11 тис. кВт·год на місяць), тоді як у зимовий період (грудень – січень) показники знижуються до 2,5 тис. кВт·год.

За результатами отриманих очікуваних значень генерації електроенергії СЕС, було проведено техніко-економічний аналіз доцільності використання сонячної електростанції в житловій будівлі.

Розглянуто три варіанти застосування виробленої електроенергії залежно від цільового навантаження та потенціалу генерації.

Забезпечення загальнобудинкових потреб (освітлення сходів і коридорів, освітлення біля під'їздів, домофона система, водяний насос) за рахунок електроенергії отриманої від сонячної електростанції, результати показано на рисунку 2.

Варіант комбінованого забезпечення електроенергією загальнобудинкових потреб та автономної роботи укриття в разі відключення централізованого живлення, результати показано на рисунку 3.

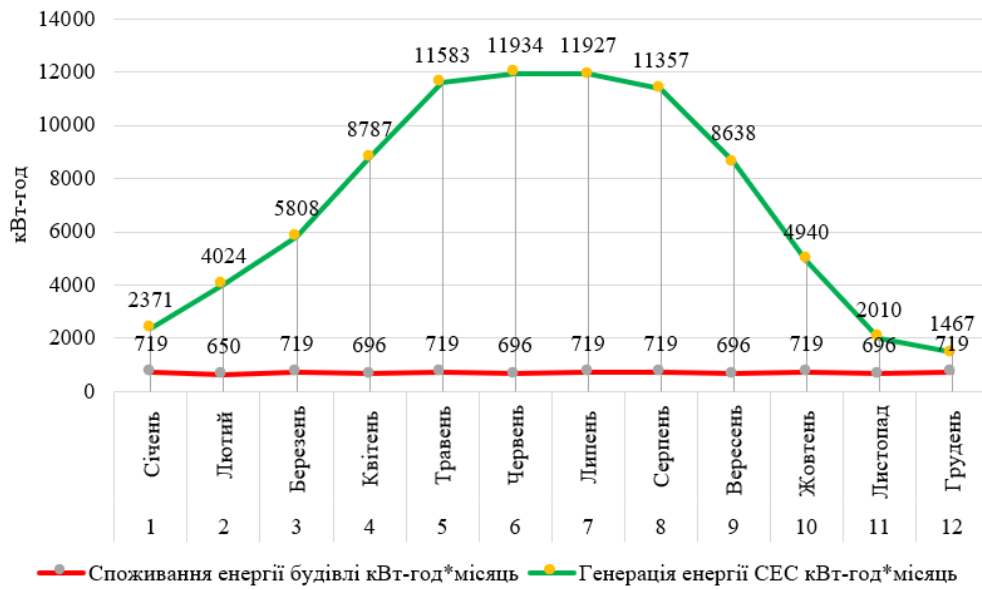


Рис. 2. Використання енергії від сонячної електростанції на загально-будинкові потреби будівлі

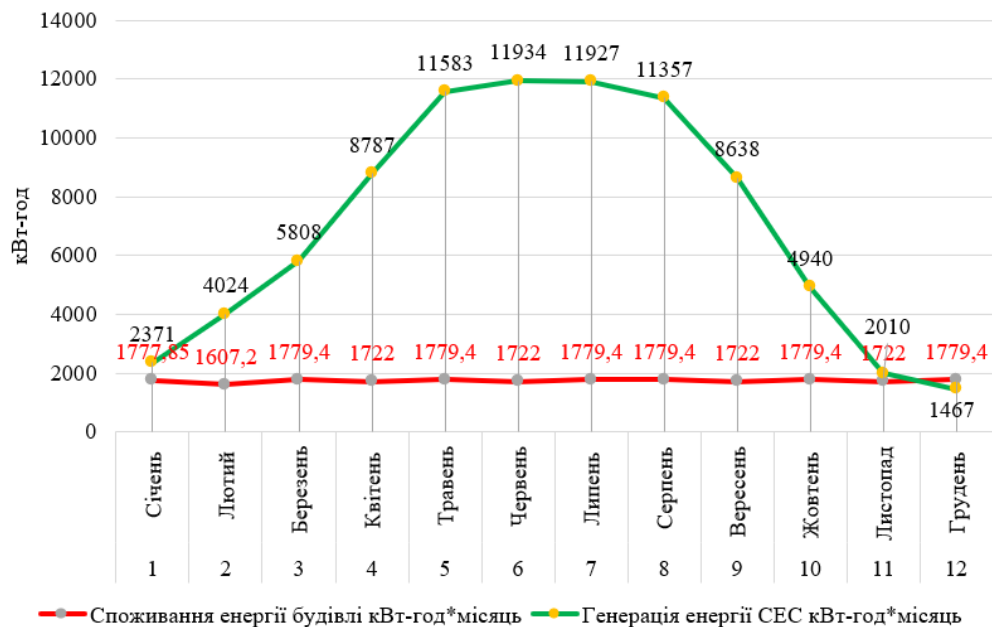


Рис. 3. Використання енергії від сонячної електростанції для загально-будинкових потреб та автономної роботи укриття

Визначено, що встановлена фотоелектрична система здатна повністю забезпечити загально будинкові потреби будівлі протягом усього року.

У разі поєднання навантаження на загальнобудинкові потреби та енергозабезпечення укриття в автономному режимі, сонячна електростанція також показує високу ефективність, забезпечуючи повне покриття енергоспоживання у всі місяці, за винятком грудня, коли

спостерігається незначний дефіцит виробленої електроенергії.

Варіант часткового покриття електроспоживання тільки квартир мешканців без укриття та загальнобудинкових потреб, результати показано на рисунку 4 та при реалізації варіанту комбінованого використання (загальнобудинкові потреби, автономне укриття, квартири) показано на рисунку 5.

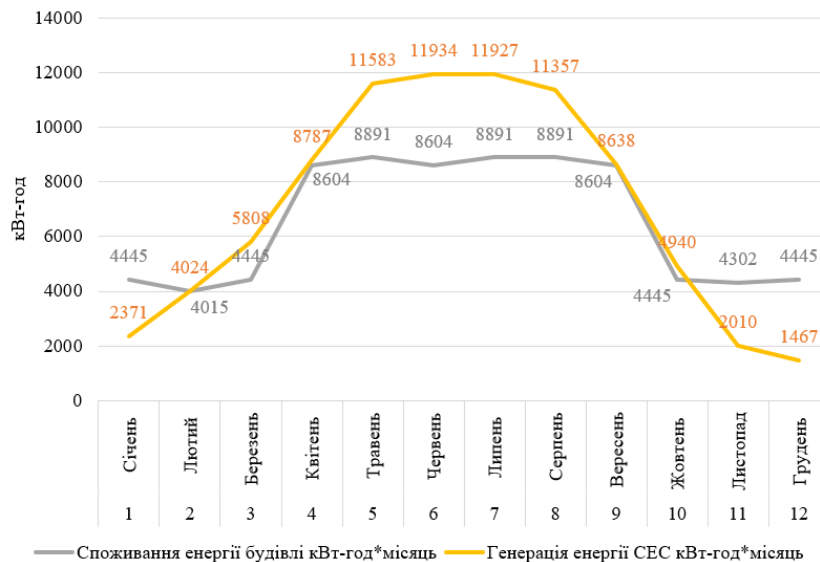


Рис. 4. Використання енергії від сонячної електростанції тільки для квартир мешканців будівлі

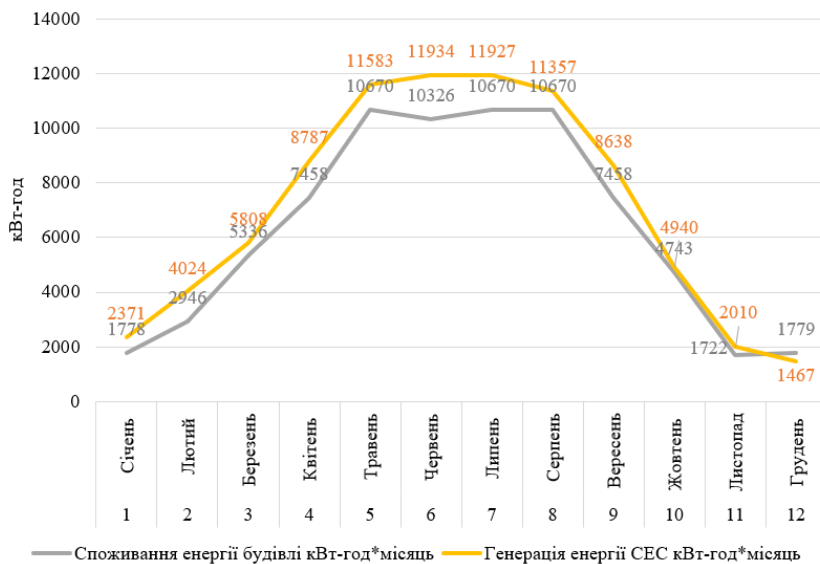


Рис. 5. Використання енергії від сонячної електростанції при комбінованому варіанті разом з квартирами мешканців будівлі

При розгляді третього сценарію, за якого енергія сонячної електростанції не спрямовується на загальнобудинкові потреби та автономне укриття, встановлено, що протягом семи місяців з квітня по жовтень можливо повністю забезпечити електроспоживання квартир у двох під'їздах будівлі (30 квартир). У періоди із зниженою генерацією (січень, лютий, березень, листопад і грудень) система спроможна покривати частково потреби одного під'їзду (до 15 квартир).

Крім того при реалізації варіанту комбінованого використання (загальнобудинкові потреби та автономне

укриття), результати показано на рисунку 5 залишкова електроенергія також може бути спрямована на забезпечення квартир: від 5 квартир у холодний період до 30 квартир у теплі місяці року в межах двох під'їздів.

Оскільки ми отримали результати порівняння утеплення (стін та перекриття горища) за діючими нормами в Україні та нормами NZEB, було розраховано впровадження комплексних заходів з утеплення огорожувальних конструкцій та використання сонячної станції на даху будівлі, вартість впровадження для кожного заходу окремо та разом показано на рисунку 6.

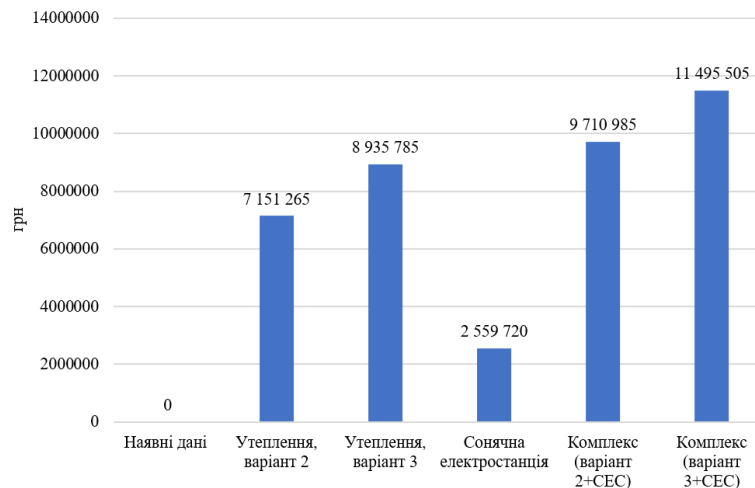


Рис. 6. Вартість заходів з термомодернізації

Економічна оцінка показала, що найбільш вигідним рішенням є встановлення сонячної електростанції з терміном окупності 7 років, а також комплексний підхід до термомодернізації, що включає утеплення та встановлення сонячної електростанції, забезпечує найкращі показники енергоефективності (зниження енергоспоживання до 26 %) та прийнятний термін окупності 17–20 років. Тоді як тільки впровадження заходів з утеплення мають дуже великий термін окупності більше 50 років.

У довгостроковій перспективі з урахуванням прогнозованого зростання тарифів на енергоносії розглянуті заходи з комплексної термомодернізації та встановлення СЕС є економічно доцільними. Різниця у терміні окупності між комплексним варіантами 2 і 3 є несуттєвою (~1 рік), що може обґрунтувати вибір більш енергоефективного варіанту 3.

При обмеженому фінансуванні рекомендується поетапне впровадження заходів з термомодернізації, починаючи з встановлення сонячної електростанції як найбільш рентабельного заходу, з подальшим утепленням огорожувальних конструкцій.

Впровадження запропонованих заходів термомодернізації дозволить значно

підвищити енергоефективність будівлі та знизити витрати на енергоносії.

Впровадження вимоги NZEB поелементно для зовнішніх стін та перекриття неопального горища виявилось економічно менш привабливим через значну фінансову складову, проте забезпечує найвищий рівень енергоефективності будівництва в довгостроковій перспективі.

### Висновки

Проведене дослідження довело, що впровадження теплоізоляційних заходів за стандартами NZEB та впровадженням сонячної електростанції є ефективним шляхом термомодернізації у житлових будівлях. Розроблені рішення відповідають сучасним нормативним вимогам та забезпечують зниження енергоспоживання, покращення теплового комфорту і підвищення енергетичної незалежності. Практичне значення роботи полягає у можливості використання представленої методики у проектуванні та реконструкції житлових об'єктів, а також у підготовці фахівців у сфері енергоефективності. Отримані результати можуть бути корисними для використання при модернізації схожих об'єктів житлового фонду України.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Rehman H., Heimonen I., Vainio T., Ramesh R., Wallin A. Technical recommendations of the new built Nearly Zero Energy Building (NZEB) in Ukraine. Dissemination seminar. Access date: 16 October 2023.

2. Косенко Л., Коваль О., Юрченко Є., Коваль А. Аналіз європейських нормативних вимог до будівель з близьким до нульового енергоспоживанням та можливості впровадження в Україні. 2023. DOI: 10.32347/2409-2606.2023.47.28-35.
3. Демидов Олександр, Косенко Леонід, Коваль Олена, Юрченко Євгеній. Дослідження та моделювання офісного приміщення. 2024. DOI: 10.32347/2409-2606.2024.49.7-15.
4. Косенко Л. В., Коваль О. О., Юрченко Є. Л., Тимошенко О. А. Енергоефективність системи опалення висотного корпусу ПДАБА. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.66.912.
5. Наказ № 168. Деякі питання запровадження вимог до будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії. 2025р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0284-25#Text>
6. Лук'яненко О. Відновлювальні джерела енергії в житловому будівництві за стандартом NZEB : кваліфікаційна випускова робота студента ступеня магістра спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія за освітньою програмою ОНП «Енергоаудит та енергоефективність в будівництві». 2025.
7. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинні від 2022–01–31]. Мінбуд України. Київ : Укрархбудінформ, 2022. 23 с. (Державні будівельні норми України).
8. ДСТУ 9191:2022. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2023–03–01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 63 с. (Національний стандарт України).
9. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний від 2023–03–01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2023. 71 с. (Національний стандарт України).
10. Калькулятор PVWATTS – калькулятор для розрахунку сонячних. URL: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

## REFERENCES

1. Rehman H., Heimonen I., Vainio T., Ramesh R. and Wallin A. Technical recommendations of the new built Nearly Zero Energy Building (NZEB) in Ukraine. Dissemination seminar. Access date: 16 October 2023.
2. Leonid Kosenko, Olena Koval, Evhenii Yurchenko and Artem Koval. *Analiz yevropeys'kykh normatyvnykh vymoh do budivel' z blyz'kym do nul'ovoho enerhospozhyvannyam ta mozhlyvosti vprovadzhennya v Ukrayini* [Analysis of European regulatory requirements for near to zero energy consumption buildings and the possibility of implementation in Ukraine]. 2023. URL: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2023.47.28-35> (in Ukrainian).
3. Oleksandr Demydov, Leonid Kosenko, Olena Koval and Evhenii Yurchenko. *Doslidzhennya ta modelyuvannya ofisnoho prymishchennya* [Research and simulation of an office lighting]. 2024. URL: <https://doi.org/10.32347/2409-2606.2024.49.7-15> (in Ukrainian).
4. Kosenko L.V., Koval O.O., Yurchenko Y.L. and Tymoshenko O.A. *Enerhoefektyvnist' systemy opalennya vysotnoho korpusu PDABA* [Energy efficiency of the heating system of the PSACEA high-rise building]. DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.271222.66.912. (in Ukrainian).
5. *Nakaz № 168. Deyaki pytannya zaprovadzhennya vymoh do budivel' z blyz'kym do nul'ovoho rivnem spozhyvannya enerhiyi* [Order No. 168. Issues regarding the introduction of requirements for buildings with nearly zero energy consumption]. 2025. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0284-25#Text> (in Ukrainian).
6. Lukianenko Oleksandr *Vidnovlyuval'ni dzherala enerhiyi v zhytlovomu budivnytstvi za standartom NZEB : kvalifikatsiyna vypuskova robota studenta stupenya mahistra spetsial'nosti 192 – Budivnytstvo ta tsyvil'na inzheneriya za osvitynoyu prohramoyu ONP “Enerhoaudyt ta enerhoefektyvnist' v budivnytstvi”* [Project topic : Renewable Energy Sources in Residential Construction According to the NZEB : Master’s thesis by a student in the Master’s program in Specialization 192 “Construction and Civil Engineering” under the educational program “Energy Audit and Energy Efficiency in Construction”]. 2025. (in Ukrainian).
7. *DBN V.2.6-31:2021. Teplova izolyatsiya ta enerhoefektyvnist' budivel'* [DBN V.2.6- 31:2021. Teplova izolyatsiya ta enerhoefektyvnist' budivel']. [Valid from 2022–01–31]. Ministry of Construction of Ukraine. Kyiv : Ukrarchbudinform, 2022, 23 p. (State Building Standards of Ukraine). (in Ukrainian).
8. *DSTU 9191:2022. Metody vyboru teploizolyatsiynoho materialu dlya uteplyennya budivel'* [DSTU 9191:2022. Teploizolyatsiya budivel. Metod vyboru teploizolyatsiynoho materialu dlia uteplyennya budivel']. [Valid from 2023–03–01]. Kyiv : State Enterprise “UkrNDNTs”, 2023, 63 p. (National Standard of Ukraine). (in Ukrainian).
9. *DSTU 9190:2022. Enerhetychna efektyvnist' budivel'. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannya pid chas opalennya, okhолоdzhennya, ventylyatsiyi, osvitylennya ta haryachoho vodopostachannya* [DSTU 9190:2022. Energy efficiency of buildings. Method for calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting and hot water supply]. [Valid from 2023–03–01]. Kyiv: State Enterprise “UkrNDNTs”, 2023, 71 p. (National Standard of Ukraine). (in Ukrainian).
10. *Kal'kulyator PVWATTS – kal'kulyator dlya rozrakhunku sonyachnykh* [PVWATTS calculator – calculator for calculating solar energy]. URL: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php> (in Ukrainian).

Надійшла до редакції: 21.02.2026.