

Д. В. Степанов<sup>1</sup>  
Д. М. Резидент<sup>1</sup>  
В. В. Мартиненко<sup>1</sup>

## АНАЛІЗ ЗАХОДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

*Охарактеризовано сучасний стан енергоефективності житлового фонду та частку енергії, що споживають житлові будинки в загальному енергобалансі країни. Наведено актуальність підвищення енергоефективності житлових будинків, що дозволить суттєво зменшити споживання викопних палив та електроенергії, а також скоротити обсяги шкідливих викидів в навколишнє середовище. Проаналізовано шляхи розв'язання проблем термомодернізації будівель, серед яких енергетична сертифікація, впровадження відновлюваних джерел енергії та рекуперація теплоти в системах вентиляції. Наведено нормативні вимоги щодо визначення основних показників енергоефективності будівлі, а саме приведених термічних опорів огорожувальних конструкцій та питомого енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження.*

*Для нового багатоквартирного будинку з відповідними нормативам термічними опорами огорожувальних конструкцій та газовими котлами в опалюваних приміщеннях визначено клас енергоефективності «D». Запропоновано заходи підвищення енергоефективності будівлі і оцінено їхній вплив на такі показники як питоме енергоспоживання опалення та охолодження, питомі витрати первинної енергії, питомі викиди парникових газів.*

*Проаналізовано вплив посилення теплової ізоляції зовнішніх стін та покриття будинку в порівнянні з нормативними значеннями приведенного термічного опору огорожень. Показано результати зменшення витрат енергії та парникових газів внаслідок впровадження рекуперації теплоти системи вентиляції вбудованих громадських приміщень. Наведено вплив встановлення конденсаційного газового котла та теплового насоса «повітря–вода» або «повітря–повітря». Оцінено результати визначення ефективності використання централізованого теплостачання для забезпечення потреб опалення та гарячого водопостачання багатоквартирного будинку.*

**Ключові слова:** енергоспоживання будинку, клас енергоефективності, приведений термічний опір, питомі витрати первинної енергії, питомі викиди парникових газів

### Вступ

Проблема термомодернізації наявного житлового фонду та впровадження заходів для підвищення енергоефективності будівель на етапі проектування виходить на чільне місце через складну ситуацію в енергетиці, на ринку природного газу і низьку енергоефективність в житлово-комунальному секторі.

Згідно з державною програмою підтримки термомодернізації будівель до 2030 року [1] понад 80 % будівель збудовані до 1991 року, їхній середній питомий показник енергоспоживання становить близько 163 кВт·год/м<sup>2</sup>, що вдвічі вище показників європейських країн. Енергоспоживання житлових будинків сягає 31,7 % загального споживання енергії.

Проблеми термомодернізації будинків пропонується вирішити виконанням таких заходів [1]: стимулювання громадян до підвищення енергоефективності будинків шляхом відшкодування частини кредиту на здійснення заходів; надання підтримки на будівництво будинків з нульовим рівнем енергоспоживання; стимулювання до встановлення теплових насосів; впровадження систем енергоменеджменту; забезпечення здійснення сертифікації енергетичної ефективності; впровадження заходів з використанням відновлюваних джерел енергії; стимулювання громадян до впровадження систем вентиляції з рекуперацією теплоти; сприяння розвитку виробництва енергоефективного обладнання.

Для оцінювання енергоефективності будівель згідно із Законом України «Про енергоефективність будівель» [2] використовується енергетична сертифікація, яка включає перевірку відповідності таких показників:

- приведених термічних опорів теплопередачі огорожувальних конструкцій вимогам ДБН [3];
- питомого енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження «Мінімальним вимогам до енергетичної ефективності будівель» [4].

Основні вимоги до проведення оцінювання енергоефективності будівель описані в [5]—[8].

За винятком питомого енергоспоживання і відповідного класу енергоефективності будівлі, важливими є показники питомого споживання первинної енергії і питомих викидів парникових газів, оскільки відбувається вичерпання природних ресурсів та значне навантаження на навколишнє середовище в процесі спалювання викопного палива.

*Мета роботи* — виявити ступінь впливу різних заходів підвищення енергоефективності житлового будинку на його питоме енергоспоживання та клас його енергоефективності.

### Результати досліджень

Для дослідження впливу факторів на рівень енергоефективності будинку вибрано новий багатоповерховий житловий будинок у центральній частині м. Вінниця із вбудованими громадськими приміщеннями та паркінгом. Опалювана площа будинку 16452 м<sup>2</sup>, причому площа громадських приміщень становить 11,1 %, а площа паркінгу — 16,6 %. Коефіцієнт скління фасадів становить 0,370, а показник компактності — 0,200.

Клас енергоефективності будівлі визначається відповідно до відсоткової різниці між загальним показником питомого енергоспоживання під час опалення та охолодження  $EP_{use}$  та граничним значенням питомого енергоспоживання  $EP_p$  [3]

$$\Delta_{EP} = \left[ \frac{(EP_{use} - EP_p)}{EP_p} \right] \cdot 100 \%.$$

Для цього будинку граничний показник питомого енергоспоживання становить  $EP_p = 75$  кВт·год/м<sup>2</sup>.

Як відомо, для нового будівництва мінімальною вимогою щодо енергетичної ефективності будівлі є клас «С», що відповідає виразу  $-20 \leq \Delta_{EP} \leq 0$ . До того ж, зазначені опори теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі повинні відповідати вимогам ДБН [3].

Для забезпечення потреб опалення та гарячого водопостачання багатоповерхових житлових будинків останнім часом широко використовуються децентралізовані системи на основі газових котлів з закритою камерою згорання, що розміщуються в опалюваних приміщеннях. Сезонний коефіцієнт ефективності такого обладнання на перевищує 77 % [6].

Розрахунок показників енергетичної ефективності будівлі для базового варіанта з нормативними опорами огорожувальних конструкцій та з газовими котлами показав, що питоме енергоспоживання на опалення та охолодження становить 89,1 кВт·год/м<sup>2</sup>, що відповідає класу енергоефективності «D» з відсотковою різницею  $\Delta_{EP} = +18,8$  %.

Для підвищення енергоефективності будівлі авторами запропоновано низку заходів, що дозволяють підвищити клас енергоефективності будівлі, зменшити споживання первинної енергії та викиди парникових газів в атмосферу.

В Україні відбувається систематичне підвищення вимог щодо приведених опорів теплопередачі огорожувальних конструкцій будівлі. З 2016 до 2021 року нормативний приведений опір теплопередачі стін збільшився на 21 %, а сумішених покриттів на 16,6 %. Проведені дослідження (рис. 1) показали, що за умови подвоєння товщини теплоізоляції стін питоме енергоспоживання зменшується на 3 % відносно базового варіанта, а у випадку подвоєння товщини утеплення покриття — зменшується на 1 % відносно базового варіанта. Таким чином, ці заходи не дозволяють досягти класу «С» енергоефективності будівлі.

Україна має розгалужену систему газопостачання з власними свердловинами і підземними газосховищами, що дає можливість безперебійного забезпечення житлового фонду природним газом. З іншого боку, поступове вичерпання цього ресурсу і значні викиди парникових газів вимагають підвищення енергоефективності газового опалювального обладнання. Авторами [9] виявлено, що конденсаційні газові котли тепер мають кращі показники оцінки життєвого циклу, ніж, наприклад, теплові насоси.

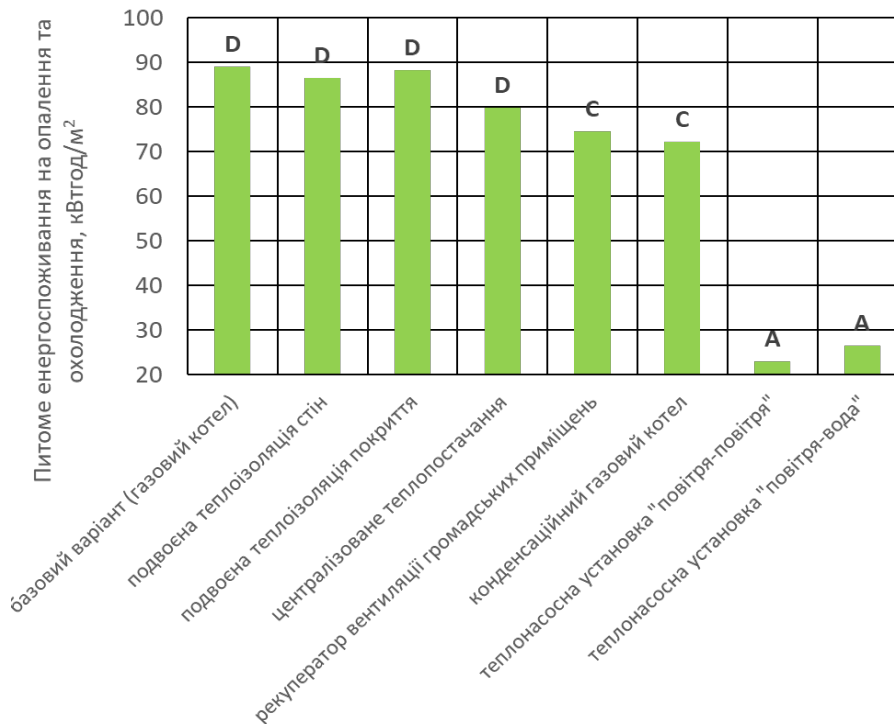


Рис. 1. Питоме енергоспоживання на опалення та охолодження для різних заходів підвищення енергоефективності будівлі

Використання конденсаційних газових котлів як джерела теплоти для опалення та гарячого водопостачання з сезонним коефіцієнтом ефективності 95 % дозволяє зменшити питоме енергоспоживання будівлі на 18,8 % відносно базового варіанта, що відповідає класу енергоефективності «С» з відсотковою різницею  $\Delta_{EP} = -3,6$  %.

Ефективним заходом збереження енергії в будівлі є використання рекуперації теплоти витяжного повітря. Авторами [10] вказано, що суттєвий вплив на рекуперацію теплоти вентиляції в житлових приміщеннях має вологість повітря. Більше того, застосування таких рекуператорів теплоти пов'язано з ускладненням організації руху повітря в житлових приміщеннях.

Дослідження показало, що встановленням рекуператорів теплоти в системі вентиляції громадських приміщень, досягається зниження питомого енергоспоживання будівлі на 13,4 % відносно базового варіанта і забезпечується клас «С» енергоефективності будівлі.

Високий рівень енергоефективності будівлі може бути досягнений використанням теплонасосного обладнання як джерела теплоти, але для широкого впровадження такого устаткування потрібні суттєві інвестиції та державна підтримка.

Теплові насоси з ґрунтовими теплообмінниками мають недоліки, що обмежують їхнє використання для тепlopостачання багатоквартирних житлових будинків. Це значна територія для розміщення зондів [11], вплив характеристик ґрунту на теплообмін, зміна термомеханічної структури ґрунту.

Авторами розглянуті два варіанти теплонасосного обладнання з використанням теплоти атмосферного повітря, а саме теплові насоси «повітря–вода» та «повітря–повітря». Ефективність таких систем суттєво залежить від клімату, інвестицій, співвідношення цін на паливо і електроенергію та якості регулювання [12], [13].

Теплові насоси «повітря–вода» з температурним графіком теплоносія 55/45 °С мають нижче значення сезонної ефективності (2,6), проте можуть використовуватись для підготовки гарячої води в будівлі. Їхнє застосування для опалення та гарячого водопостачання будівлі дозволяє досягти зменшення питомого енергоспоживання на 70 % відносно базового варіанта.

За умов використання теплових насосів «повітря–повітря» для опалення з сезонною ефективністю 3,0 та електронагрівників для гарячого водопостачання питоме енергоспоживання на опалення та охолодження будівлі зменшиться на 74,2 % відносно базового варіанта. Таким чином, обидва варіанти використання теплових насосів дозволяють забезпечити клас «А» енергоефективності будівлі. Додатковою перевагою теплонасосного обладнання є можливість його використання в

теплий період року для охолодження приміщень.

Авторами проведено оцінювання питомого споживання первинної енергії для багатоквартирного будинку та питомих викидів парникових газів (рис. 2).

Для базового варіанта з газовими котлами в опалюваних приміщеннях річні питомі витрати первинної енергії для будівлі становлять  $169,6 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ , а річні питомі викиди парникових газів  $32,7 \text{ кг}/\text{м}^2$ . Всі вищезапропоновані заходи поліпшують енергетичні та екологічні показники ефективності будівлі, але найбільше скорочення витрат первинної енергії та парникових газів забезпечує використання теплових насосів «повітря–вода».

На сьогодні використання централізованого теплопостачання об'єкта не дозволяє досягти класу енергоефективності будівлі «С», супроводжується значними втратами теплоти в теплових мережах та викидами парникових газів від переважно газових котельень.

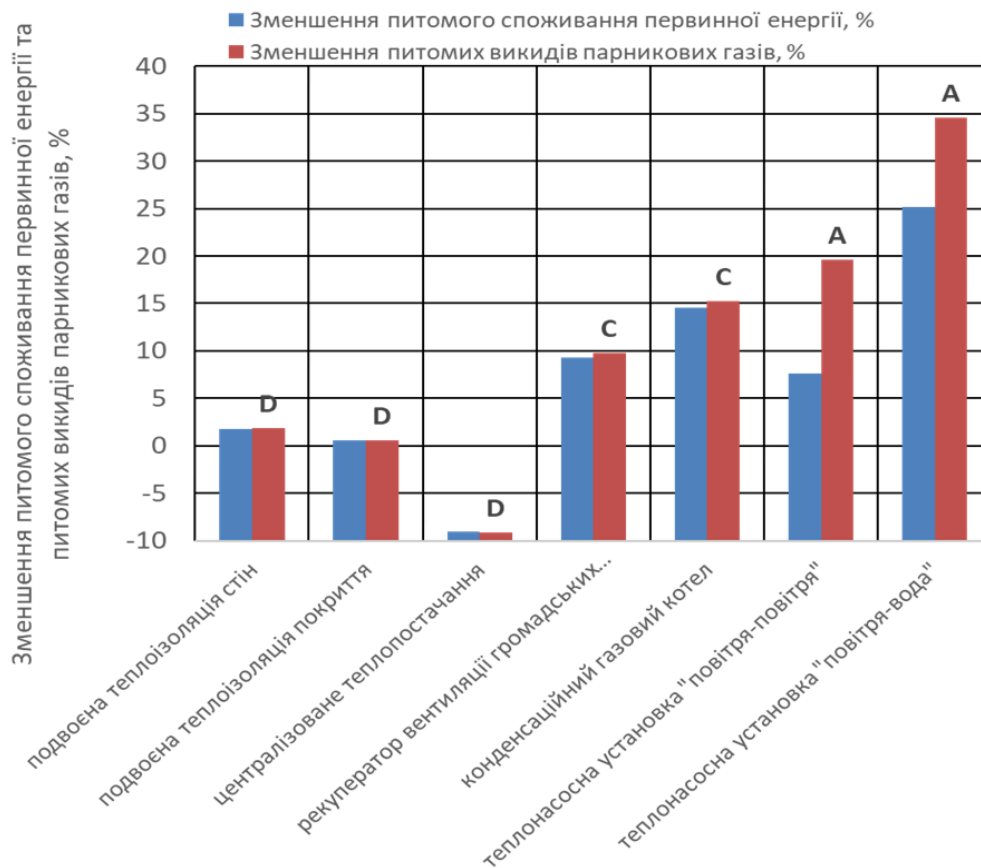


Рис. 2. Зменшення питомого споживання первинної енергії та питомих викидів парникових газів для різних заходів підвищення енергоефективності будівлі

Це пояснює збільшення витрат первинної енергії та викидів парникових газів відносно базового варіанта. Для підвищення ефективності централізованого теплопостачання, на думку авторів, варто впроваджувати конденсаційне газове обладнання, когенераційні установки та ширше застосовувати відновлювані палива на котельнях.

### Висновки

Енергоспоживання житлових будинків становить суттєву частку в загальній структурі енергоспоживання країни. Термомодернізація будинків для підвищення їхньої енергоефективності дозволить значно скоротити використання викопних палив, електроенергії та техногенного навантаження на навколишнє середовище.

Для багатоповерхового житлового будинку виконано оцінку енергоефективності за умов забезпечення нормативних термічних опорів огорожувальних конструкцій та встановлення газових котлів для опалення приміщень. Результати досліджень показали, що питоме енергоспоживання на опалення та охолодження становить  $89,1 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ , що відповідає класу «D» і не дозволяє досягти мінімальних вимог до енергоефективності будівлі.

Виконано дослідження впливу шести заходів для підвищення енергоефективності будівлі на її показники питомого енергоспоживання на опалення та охолодження, питомої витрати первинної енергії та питомих викидів парникових газів.

Виявлено, що подвійна товщина утеплення стін та покриття зменшує питоме енергоспоживання на 1...3 %, і не дозволяє досягти нормативного класу енергоефективності «С».

Мінімальних вимог до енергоефективності будівлі можна досягти встановленням конденсаційних газових котлів або рекуперації теплоти в системі вентиляції вбудованих громадських приміщень. Зменшення енергоспоживання при цьому становить 18,8 % та 13,4 %.

Впровадження теплонасосного устаткування типу «повітря–вода» та «повітря–повітря» дозволяє досягти класу «А» енергоефективності будівлі і зменшити на 70...74,2 % питоме енергоспоживання будівлі на опалення та охолодження. Для використання такого устаткування необхідно залучати значні інвестиції та державну підтримку.

Використання систем централізованого тепlopостачання на сьогодні не дозволяє скоротити в порівнянні з базовим варіантом витрати первинної енергії та викиди парникових газів через значні втрати в мережах та повільний перехід на відновлюване паливо та когенераційні технології.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] *Концепція Державної цільової економічної програми підтримки термомодернізації будівель до 2030 року*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1228-2023-%D1%80#Text> . Дата звернення 24.10.2024.
- [2] Закон України «Про енергетичну ефективність будівель». *Відомості Верховної Ради*. Офіц. вид. Київ, Україна: Парлам. вид-во, 2017, 359 с.
- [3] ДБН В.2.6-31:2021 *Теплова ізоляція та енергоефективність будівель*. Київ, Україна. Міністерство розвитку громад та територій України, 2022, 23 с.
- [4] Мінрегіон України, *Наказ № 260 від 27.10.2010 Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20#Text> . Дата звернення 24.10.2024 .
- [5] ДСТУ Б В.2.2-39:2016 *Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель*. Київ, Україна. Мінрегіон України, 2016, 47 с.
- [6] Мінрегіон України, *Наказ №169 від 11.07.2018 Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель*. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text> . Дата звернення 24.10.2024.
- [7] ДСТУ 9190: 2022, *Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітленні та гарячого водопостачання*. ДП «УкрНДНЦ», 2022, 152 с.
- [8] ДСТУ 9191: 2022, *Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель*. ДП «УкрНДНЦ», 2023, 60 с.
- [9] G. Naumanna, E. Schroppa, and M. Gaderera, “Life Cycle Assessment of an Air-Source Heat Pump and a Condensing Gas Boiler Using an Attributional and a Consequential Approach,” in *29th CIRP Life Cycle Engineering Conference*, pp. 351-356. 2022.
- [10] A. Prozumens, J. Zemitis, and A. Bulanovs, “Cold Climate Challenges: Analysis of Heat Recovery Efficiency in Ventilation Systems,” *Energies*, № 16, pp. 74-83, 2023.
- [11] M. F. Yozy Kepdib, R. M. Singh, C. Madiyai, and J. A. Facciorusso, “Heating and cooling geothermal systems in urban settings: The potential of energy micropiles,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 208, 2025.
- [12] M. Masiukiewicz, M. Tanczuk, S. Anweiler, G. Streckiene, and S. Boldyryev, “Long-term climate-based sizing and economic assessment of air-water heat pumps for residential heating,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 258, 2025.
- [13] H. Liang, X. Xie, M Liu, S. Niu, and H. Su, “Research on Strategies for Air-Source Heat Pump Load Aggregation to Participate in Multi-Scenario Demand Response,” *Energies*, no. 17, pp. 2471, 2024.
- [14] N. Serey, D. Ahmad, and H. Jouhara, “Air-to-air heat pump: review of recent advances and future potential,” *E3S Web of Conferences*, no. 116, pp. 00074, 2019.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 6.11.2024

**Степанов Дмитро Вікторович** — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри теплоенергетики, e-mail: [Stepanovdv@ukr.net](mailto:Stepanovdv@ukr.net) ;

**Резидент Дмитро Миколайович** — аспірант кафедри теплоенергетики;

**Мартиненко Віталій Вікторович** — студент факультету будівництва, цивільної та екологічної інженерії. Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**D. V. Stepanov<sup>1</sup>**  
**D. M. Rezydent<sup>1</sup>**  
**V. V. Martynenko<sup>1</sup>**

## **Analysis of Measures to Increase the Energy Efficiency of a Residential Building**

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

*The current state of energy efficiency of the housing stock and the share of energy consumed by residential buildings in the overall energy balance of the country are characterized. The relevance of increasing the energy efficiency of residential buildings is shown, which will allow to significantly reduce the consumption of fossil fuels and electricity, as well as reduce the amount of harmful emissions into the environment. Ways to solve the problems of thermal modernization of buildings are analyzed, including energy certification, introduction of renewable energy sources and heat recovery in ventilation systems. The normative requirements for determining the main indicators of energy efficiency of the building, namely the specific thermal resistances of the enclosing structures and the specific energy consumption of the building for heating and cooling are given.*

*The energy efficiency class "D" was assigned to a new multi-apartment residential building with thermal resistances of the enclosure structures and gas boilers in the heated rooms according to the standards. Measures to increase the energy efficiency of the building are proposed and their impact on such indicators as specific energy consumption of heating and cooling, specific consumption of primary energy, specific emissions of greenhouse gases is estimated.*

*The effect of strengthening the thermal insulation of the external walls and the building covering was analyzed in comparison with the normative values of the reduced thermal resistance of the fences. The results of reducing energy consumption and greenhouse gases due to the introduction of heat recovery of the ventilation system of built-in public spaces are shown. The effect of installing a condensing gas boiler and an air-to-water or air-to-air heat pump is given. The results of determining the effectiveness of the use of centralized heat supply to meet the needs of heating and hot water supply of a multi-apartment residential building were evaluated.*

**Keywords:** building energy consumption, energy efficiency class, specific thermal resistance, specific primary energy consumption, specific greenhouse gas emissions.

*Stepanov Dmytro V.* — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Head of the Chair of Thermal Power Engineering, e-mail: Stepanovdv@ukr.net ;

*Rezydent Dmytro M.* — Post-Graduate Student of the Chair of Thermal Power Engineering;

*Martynenko Vitalii V.* — Student of the Department of Civil and Environmental Engineering