

УДК 692 : 697.133

**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОЕКТОВАНОГО
ОДНОКВАРТИРНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ**

**ENERGY EFFICIENCY OF A DESIGNED SINGLE-APARTMENT
RESIDENTIAL BUILDING**

Горон Л.Я., аспірант, ORCID 0009-0009-0953-0810; **Мазурак А.В.**, к.т.н., доцент, ORCID 0000-0001-7367-774X, (Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, м. Дубляни)

Horon L., PhD student, ORCID 0009-0009-0953-0810; **Mazurak A.**, candidate of technical sciences, associate, ORCID 0000-0001-7367-774X (Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, Dublyany)

Виконано аналіз енергоефективності проєкту двохповерхового житлового будинку із дерев'яним каркасом. Визначено приведені опори огорожувальних конструкцій, підраховано тепловтрати через огороження та вентиляцію. Вивчено вплив конструктивних рішень на втрати енергії та запропоновано шляхи підвищення енергоефективності житлового будинку.

The objective of this study is to analyze the energy efficiency of a two-story, single-family, wood-frame residential building in the Lviv region. To this end, we analyzed the energy requirements associated with transmission and ventilation heat losses, assessed their contribution to energy efficiency, and proposed thermal modernization measures.

For simplicity, we determine the average heat loss during the heating season. We assume energy consumption equals energy requirements, and the latter is defined as the sum of transmission and ventilation heat losses. In accordance with standards, the indoor temperature is assumed to be 20°C, and the outdoor temperature is assumed to be equal to the average temperature during the heating season (0.4°C). The duration of the heating season is assumed to be 179 days.

To determine the reduced thermal resistance of the exterior walls, we model wall sections using the finite element method. Since there is a ventilation gap between the exterior finish and the insulation, this structure is not considered in the thermal calculation. Its effect is accounted for through the heat transfer

coefficient. We also do not consider interior finishing layers. Based on AIVC data, we adopt an air exchange rate of 0.4 h^{-1} .

As a result of the analysis of the results obtained, the following conclusions were made. Without taking into account the reduction in heat transfer resistance through thermal bridges, the building meets the regulatory requirements in force at the time of design. Taking into account thermal bridges, the building does not meet the regulatory requirements of that time for some structures, in particular, the resistance for walls is 83% of the regulatory value, and for the attic floor - 86%. To ensure the energy efficiency of low-rise residential buildings with a wooden frame, it is necessary to use cross-insulation of enclosing structures. To increase the energy efficiency of the designed building, first of all, it is advisable to increase the heat transfer resistance of walls and windows. The use of ventilation with recuperation is effective for reducing energy consumption.

Ключові слова: коефіцієнт, опір, теплопередача, температура, модернізація, енергоефективність, стіна, будинок
coefficient, resistance, heat, temperature, modernization, energy, efficiency, wall, building

Вступ. Житлові будівлі є одним із найбільших споживачів енергії в Європі та Україні. У країнах Центральної та Східної Європи потенціал енергозбереження у житловому секторі оцінюється як один із найвищих серед усіх галузей, з можливістю скорочення споживання на 30 - 60%. Особливо значний потенціал мають малоповерхові односімейні будинки, які характеризуються високими питомими тепловтратами через велику площу огорожувальних конструкцій [1]

В Україні понад 80% житлового фонду мають недостатній рівень теплоізоляції, а питомі витрати теплової енергії в 2 - 3 рази перевищують середні показники ЄС, що робить проблему енергоефективності особливо актуальною [2]

Значна частина досліджень присвячена енергореновації існуючих житлових будівель. Застосування комплексної термомодернізації (утеплення огорожень, заміна вікон, модернізація систем опалення) дозволяє знизити споживання енергії на 50–80%. Міжнародне енергетичне агентство (IEA) відзначає, що глибока термомодернізація житлових будинків в Україні є ключовим інструментом енергетичної безпеки та післявоєнної відбудови, особливо для приватних односімейних будинків [3].

Аналіз останніх досліджень. Питання енергоефективності житлових будівель розглядається у наукових публікаціях [4,5,6,7,8]. Зокрема у [4] розглянуто методи підвищення енергоефективності індивідуальних житлових будинків при реконструкції. Підкреслено, що це можна досягти в першу чергу утепленням огорожувальних конструкцій, заміною вікон, а також

модернізацією системи опалення. Зроблено висновок про важливість комплексної термомодернізації. У [5] виконана оцінка впливу “містків холоду” на тепловтрати через стіни малоповерхових житлових будинків із дерев’яним каркасом.. У статті корейських авторів [6] проведено економічний аналіз різних варіантів утеплення огорожувальних конструкцій старих односімейних будинків. Досліджується вплив типу утеплювача та його товщини на енергозбереження, вартість модернізації та термін окупності. Показано, що зовнішнє утеплення стін є найефективнішим заходом термомодернізації. Метою дослідження іспанських авторів [7] є аналіз за допомогою енергетичного моделювання різних видів огорожувальних конструкцій та матеріалів, що застосовуються до будівель. Отримані результати показали, що внаслідок впровадження оптимальних конструктивних рішень з низькими коефіцієнтами теплопередачі споживання енергії житлових будівель можуть бути зменшені на 60%. Головною метою дослідження [8] було вирішення проблем щодо зменшення споживання енергії в існуючих односімейних будинках, які становлять найбільшу частку житлових будівель у Канаді. Як приклад дослідження було обрано типовий односімейний будинок з двома поверхами та підвалом, побудований у 2012 році в провінції Онтаріо. Розроблена енергетична модель будівлі з урахуванням метеорологічних даних. На основі моделювання обрані заходи модернізації будинку, що дають можливість перейти до нульового енергоспоживання.

Постановка мети і задач досліджень. Метою роботи є аналіз енергоефективності двоповерхового одноквартирного житлового будинку із дерев’яним каркасом у Львівській області. Для цього буде виконано аналіз енергопотреб обумовлених трансмісійними та вентиляційними тепловтратами, оцінено їх вклад в енергоефективність, запропоновано заходи з термомодернізації.

Методика досліджень та їх результати. Розглянемо двоповерховий одноквартирний житловий будинок із дерев’яним каркасом. Будинок без підвалу та з холодним горищем. Система кондиціонування у будинку не передбачена. Будинок запроектований до набрання чинності ДБН В.2.6-31:2021. Загальна площа будинку 136 м², об’єм - 381 м³. Площа зовнішніх стін - 202,9 м², площа вікон - 22,7 м², площа підлоги першого поверху - 68 м². Каркас із дерев’яних брусків 150 x 50 мм ($\lambda = 0,18$ Вт/(м·К)), утеплення мінеральною ватою ($\lambda = 0,04$ Вт/(м·К)). Товщина утеплення 150 мм. Крок стійок каркаса рівний 0,6 м. Між зовнішнім оздоблювальним шаром та утеплювачем запроектовано вентиляційний прошарок. Вікна із профілів RENA Euro Design 70 зі склопакетами 32 мм (4i-10Ar-4-10Ar-4i).

Для спрощення будемо визначати середні тепловтрати за опалювальний період. Згідно норм енергоефективність житлової будівлі визначається

умовою згідно якої річне розрахункове питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні є не більшим за граничне нормативне значення. Крім цього ДБН В.2.6-31:2021 встановлюються додаткові вимоги до огорожувальних конструкцій, зокрема до опору теплопередачі. Для визначення питомого енергоспоживання необхідно згідно ДСТУ 9190:2022 визначити річне енергоспоживання будівлі. Будемо приймати енергоспоживання рівним енергопотребі, а останню визначати як суму трансмісійних та вентиляційних тепловтрат. Тепловтрати трансмісією відбуваються через стіни, вікна, підлоги першого поверху та горіщце перекриття. Згідно ДСТУ 9190:2022 трансмісійні та вентиляційні тепловтрати можуть бути визначені за формулою

$$Q = H \cdot (\Theta_{int} - \Theta_e) \cdot t \quad (1)$$

де Q - трансмісійні чи вентиляційні тепловтрати; Θ_{int} - температура всередині приміщення, (згідно норм приймаємо 20°C); Θ_e - температура зовнішнього середовища, приймаємо рівною середній температурі за опалювальний період (0.4°C); t - тривалість опалювального періоду, приймаємо рівним 179 діб; H - коефіцієнт теплопередачі. Для трансмісійних тепловтрат $H = A/R$, де R - приведений опір теплопередачі конструкції, A - площа поверхні конструкції. Якщо температура припливного повітря рівна температурі зовнішнього повітря, то коефіцієнт теплопередачі вентиляцією (Вт/К) визначається за формулою

$$H = 0,336 \cdot n \cdot V \quad (2)$$

де n – кратність обміну повітря, V – об'єм приміщення.

Отже для визначення тепловтрат трансмісією необхідно знати приведені опори теплопередачі. Приведений опір теплопередачі зовнішніх стін визначаємо використовуючи моделювання фрагментів стін методом скінченних елементів [5]. Оскільки між зовнішнім оздобленням і утеплювачем є вентиляований повітряний прошарок, то цю конструкцію у теплотехнічному розрахунку не враховуємо. Її вплив враховується через коефіцієнт тепловіддачі h_{se} , який згідно ДСТУ 9191:2022 буде рівним для зовнішньої поверхні стіни 0,12 м² · К/Вт. Також не враховуємо внутрішні оздоблювальні шари. Отримаємо лінійні коефіцієнти теплопередачі для кутів $\Psi_1=0,124$ Вт/(м·К), для нижнього відкоса $\Psi_1=0,082$ Вт/(м·К), для верхнього відкоса $\Psi_1=0,145$ Вт/(м·К), для бокового відкоса $\Psi_1=0,163$ Вт/(м·К). Опір теплопередачі стіни визначений за однорідною її частиною становить 3,95 м² · °С / Вт. Враховуючи теплопровідні вклучення отримаємо приведений коефіцієнт теплопередачі стіни 2,72 м²К/ Вт

Коефіцієнт теплопередачі через підлогу по ґрунту при $d_1 > B'$ згідно ДСТУ 9190:2022 визначається співвідношеннями

$$U = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t}, d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (3)$$

де d_t - еквівалентна товщина підлоги, B' - параметр, який рівний відношенню площі підлоги A до половини її зовнішнього периметра P , w - сумарна товщина зовнішньої стіни, λ - теплопровідність ґрунту, R_{si} , R_{se} теплові опори внутрішнього та зовнішнього середовищ відповідно, R_f - термічний опір підлоги. Згідно ДСТУ 9190:2022 приймаємо, $\lambda=2$ Вт/(м·К), $R_{si}=0,17$ м²·К/Вт (огороджувальна конструкція, яка знаходиться горизонтально та тепловий потік направлений вертикально вниз), $R_{se}=0,043$ м²·К/Вт. Згідно проекту $w=0,30$ м.

Підлога складається з таких шарів: ламінат на підкладці, товщина 9 мм, $\lambda_1=1,10$ Вт/(м·К); монолітна армована бетонна стяжка, товщина 50мм, $\lambda_2=2,04$ Вт/(м·К); пінополістирол, товщина 30мм, $\lambda_3=0,035$ Вт/(м·К); армована бетонна стяжка, товщина 150мм, $\lambda_4=2,04$ Вт/(м·К); пінополістирол, товщина 50мм, $\lambda_5=0,035$ Вт/(м·К); ущільнена щебенево-піщана підсипка, товщина 200мм, $\lambda_6=0,80$ Вт/(м·К). Тоді термічний опір підлоги рівний 2,64 м²·К/Вт, а $d_t=6,01$ м. Оскільки $d_t=6,01$ м є більшим за $B'=4,69$ м, то підлога добре ізольована, коефіцієнт теплопередачі U визначається за формулою (3) і рівний 0,245 Вт/(м²·К)

У результаті розрахунків отримали теплотехнічні характеристики: стіна - $R=2,72$ м²К/ Вт, $U=0,367$ Вт/(м²К), горищне перекриття - $R_1=4,26$ м²К/ Вт, $U_1=0,235$ Вт/(м²К), підлога - $R_2=4,08$ м²К/ Вт, $U_2=0,245$ Вт/(м²К), вікна - $R_3=0,8$ м²К/ Вт, $U_3=1,25$ Вт/(м²К).

Згідно ДБН В.2.2-15:2019 мінімальна кратність повітрообміну житлових приміщень рівна 0,5 год⁻¹. Ця кратність враховує вентиляцію і інфільтрацію. Для житлових будинків із дерев'яним каркасом та герметично виконаною пароізоляцією з даними AIVC [9] типовий діапазон кратності повітрообміну становить $n = 0,2-0,4$ год⁻¹. Приймаємо $n=0,4$ год⁻¹. У результаті розрахунків за формулами (1), (2) отримуємо річні втрати енергії через вентиляцію рівними 4311,7 кВт год.

У запроєктованому будинку приведені опори теплопередачі стін та горищного перекриття не відповідають вимогам нормативних документів. Показник енергоефективності складає 117 кВт год/(м² рік), клас енергетичної ефективності С. На рис. 1 показана структура енерговитрат запроєктованого будинку, яка свідчить про те, що серед огороджувальних конструкцій максимальні тепловтрати через зовнішні стіни (54% від трансмісійних тепловтрат) та через вікна (21%), а по відношенню до загальних енерговитрат сумарні обумовлені втратами енергії через огороджувальні конструкції складає 73%.

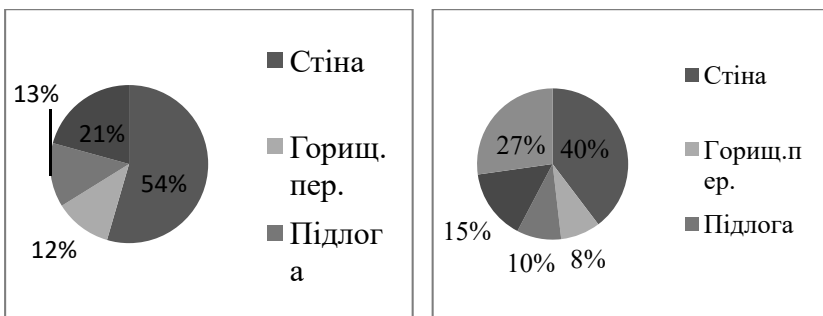


Рис. 1. Структура енерговтрат
1 - у розрізі огорожувальних конструкцій, 2 - у розрізі загальних енерговтрат

Виходячи з цього термомодернізація пропонується в першу чергу через влаштування перехресної додаткової теплоізоляції стін та заміни склопакетів, а також додаткової теплоізоляції горищного перекриття, збільшення товщини утеплення підлоги або утеплення цоколя, з метою доведення приведених опорів хоча б до актуальних нормативних значень.

На рис. 2 показано трансмісійні тепловтрати через огорожувальні конструкції до та після термомодернізації при нормативних значеннях приведених опорів теплопередачі. В результаті цього енергоспоживання зменшилося на 2982 кВт год (в загальному на 19%) і показник енергоефективності складе 94 кВт год/(м²рік), клас енергетичної ефективності В.

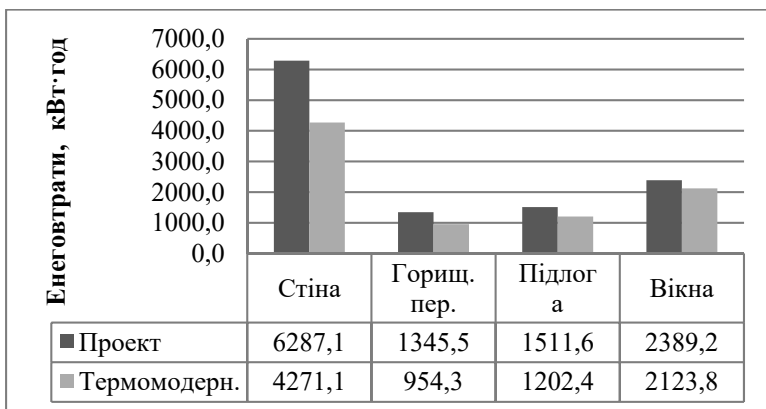


Рис. 2. Трансмісійні тепловтрати до та після термомодернізації

Висновки. 1. Без врахування зниження опору теплопередачі за рахунок теплових містків будівля відповідає нормативним вимогам чинним на час

проектування. При врахуванні містків холоду будівля для ряду конструкцій не відповідає тогочасним нормативним вимогам. Для стін приведений опір складає 0,83 від нормативного, для горищного перекриття - 0,86.

2. Для забезпечення енергоефективності малоповерхових житлових будинків з дерев'яним каркасом в умовах Львівської області на сьогоднішній час необхідно застосовувати перехресне утеплення огорожувальних конструкцій.

3. Для збільшення енергоефективності запроєктованої будівлі у першу чергу доцільно збільшити опір теплопередачі стін та вікон. Також ефективним є для зменшення енергопотреб застосувати вентиляцію з рекуперацією.

1. M. Mišík, V. Oravcová , R. Vicenová. Energy efficiency of buildings in Central and Eastern Europe: room for improvement. *Energy Efficiency*, Vol.17 2024, <https://doi.org/10.1007/s12053-024-10215-y>.

2. Україна планує витратити приблизно 205 млрд грн на термомодернізацію будівель до 2030 року

<https://okna.ua/ua/news/20250725/ukrayina-planuye-vytratyty-pryblyzno>

Ukraina planuje vytratyty pryblyzno 205 mlrd hrn na termomodernizatsiiu budivel do 2030 roku

3. Rebuilding better and faster – why energy efficiency is key for Ukraine. <https://www.iea.org/commentaries/rebuilding-better-and-faster-why-energy-efficiency-is-key-for-ukraine>

4. Михеев Ю. М., Янтовська Е. Л., Демент'єв В. В. Шляхи підвищення енергоефективності індивідуальних житлових будинків, що реконструюються // Науковий вісник будівництва. 2021. №2. С. 45-52. <https://svc.kname.edu.ua/index.php/svc/uk/article/view/465> (дата звернення: 04.02.2026).

Mykheiev Yu. M., Yantovska E. L., Dementiev V. V. Shliakhy pidvyshchennia enerhoefektyvnosti indyvidualnykh zhytlovykh budynkiv, shcho rekonstruiuiutsia // Naukovyi visnyk budivnytstva. 2021. №2. S. 45-52

5. Боднар Ю., Буханец Д. Тепловтрати через стіни малоповерхових житлових будинків з дерев'яним каркасом. Вісник Львівського національного аграрного університету. Львів, 2019. №20 . С.5-8.

Bodnar Yu., Bukhaniets D. Teplovtraty cherez stiny malopoverkhovykh zhytlovykh budynkiv z derev'ianym karkasom. Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Lviv, 2019. №20. S.5-8.

6. Seok-Ho Hwang. A Study on Economic Analysis According to Insulation Specifications for Green Remodeling in Deteriorated Single Family House. *Journal of KIAEBS* 2022, 16(6), <https://doi.org/10.22696/jkiaebs.20220044>

7. M. Carpio, A. García-Maraver, D. P. Ruiz, M. Martín-Morales. Impact of the envelope design of residential buildings on their acclimation energy demand, CO₂ emissions and energy rating. Conference: Energy and Sustainability 2014, <https://doi.org/10.2495/ESUS140331>

8. M. Heidari, M. H. Rahdar , A. Dutta, F. Nasiri. An energy retrofit roadmap to net-zero energy and carbon footprint for single-family houses in Canada. *Journal of Building Engineering*, Vol. 60, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105141>

9. AIVC <https://www.aivc.org/>

Відомості про статтю:		Article information	
Отримано	25.02.2026	Received	25.02.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді	10.03.2026	Received in revised form	10.03.2026
Прийнято	15.04.2026	Accepted	15.04.2026
Опубліковано	31.05.2026	Published	31.05.2026

Політика відкритого доступу

Політика відкритого доступу збірника передбачає безкоштовний та безперешкодний доступ до наукових матеріалів. Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Open access policy

The open access policy of the collection provides free and unhindered access to scientific materials. All data is available in digital or graphical form in the main text of the article.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the current study, including financial, personal, authorial or any other that could be included in the study, as well as the results presented in this document.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

Use of Artificial Intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies in the creation of the current work.