

## **ЕНЕРГЕТИЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ІНДИВІДУАЛЬНИХ БУДИНКІВ**

Саницький М.А., Марущак У.Д.  
Національний університет „Львівська політехніка”  
м. Львів, Україна

Секрет Р., Вуйцікевич М.  
Технічний університет „Політехніка Ченстоховська”  
м. Варшава, Польща

**АНОТАЦІЯ:** У статті представлено результати впливу будівельно-інсталяційних систем на енергетичні та економічні показники індивідуальних будинків. Показано, що мінімізація потреби в первинній енергії та оптимізація коштів на протязі життєвого циклу лежать в основі інтегрованого проектування енергоефективних будинків.

**АННОТАЦИЯ:** В статье представлены результаты влияния строительного-инсталляционных систем на энергетические и экономические показатели индивидуальных домов. Показано, что минимизация потребности в первичной энергии и оптимизация средств на протяжении жизненного цикла лежат в основе интегрированного проектирования энергоэффективных домов.

**ABSTRACT:** In this paper the results of influence of building-installation system parameters on the building energetic and economical coefficients of reference building are presented. Minimization of primary energy consumption and life cycle cost optimal is base of the integrated design of energy efficiency building.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Енергетичні та економічні показники, індивідуальний будинок, інтегроване проектування енергоефективних будинків.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Значна частка в забудові малих та середніх європейських міст належить будинкам індивідуальної забудови. За останні роки їх будівництво набуло активного розвитку за рахунок пластичності і різноманітності архітектурних форм, композиційних рішень, індивідуальної виразності будинків, врахування особливих бажань і потреб їх власників. Разом з тим, питоме енергоспоживання для будинків індивідуальної забудови може складати понад 400 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік). Істотні витрати енергії, необхідні як на спорудження будинків, так і на їхню експлуатацію протягом всього життєвого циклу, визначають економічну складову впровадження інноваційних енергоефективних заходів.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДЖЕРЕЛ І ПУБЛІКАЦІЙ

Основними проблемами в житлово-комунальному секторі є підвищені витрати енергії, значна емісія парникових газів та невідповідність внутрішнього мікроклімату приміщень загальноприйнятим нормам комфорту. При цьому більшість теплової енергії витрачається на опалення (70...87%), тому у світовому будівництві зберігається тенденція до зниження кількості використання енергії будинками та спорудами протягом усього життєвого циклу. Підвищення енергоефективності будівельного сектору забезпечується шляхом розроблення і реалізації проектів низькоенергетичних будинків [1, 2].

Спорудження будинків високої енергоефективності (потреба в енергії на опалення менше 75 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)) та пасивних будинків (тепловитрати на опалення менше 15 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік)) в країнах ЄС вже є визнаним стандартом [3]. Мінімізація викори-стання первинної енергії та впливу на довкілля, що визначається принципами збалансованого розвитку, спонукає до пошуків нових концептуальних підходів у будівництві, до яких можна віднести проектування та послідовну реалізацію з врахуванням перспектив розвитку будинків «нуль теплової енергії» (nearly zero energy building – nZEB), будинків «нуль теплової енергії» та «нуль електричної енергії», активних будинків (active house), Smart-Grid-0-Energy будинків («розумні будинки нуль енергії») [3, 4].

З прийняттям директиви 2002/91/WE EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) та зміни в Директиві 2010/31/EU, що стосуються енергетичної характеристики будинків, зведення з 2021 року на територіях Європейського Союзу будинків тільки з дуже низькою потребою в енергії (nZEB) є обов'язковою умовою. В основі їх проектування закладено три основні принципи: низькі енергетичні потреби, використання відновлюваних джерел енергії, скорочення викидів парникових газів. Низьке споживання таких будинків досягається за рахунок високого рівня ізоляції, використанням енергоефективних вікон, високого рівня герметичності і штучної вентиляції з рекуперацією теплоти. Вимоги до будівель нульової енергії (nZEB) повинні також включати майже нульову емісію вуглекислого газу – нижче 3 кг CO<sub>2</sub>/(м<sup>2</sup>·рік) [4]. При цьому необхідно вирішувати питання про економічну доцільність впровадження конструктивних та технічних рішень.

Директива 2010/31/EU, поправка до директиви EPBD передбачає, щоб мінімальні вимоги до енергетичних характеристик будівель були встановлені при досягненні економічно оптимальних рівнів (cost optimal levels) для будівель, будівельних виробів і будівельних елементів. Основною характеристикою, що визначає економічно оптимальний рівень енергетичної ефективності, є витрати первинної енергії. Враховуючи весь життєвий цикл будівлі, експлуатаційні витрати енергії є вищими, ніж витрати на будівництво і модернізацію [5, 6].

**Метою роботи** є оцінка енергетичних та економічних показників будинків індивідуальної забудови різного рівня теплозахисту в напрямку інтегрованого проектування низькоенергетичних будівельних об'єктів за критеріями енергоефективності та оптимальної вартості.

## МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для визначення оптимальних енергетичних та економічних показників на першому етапі в якості імітаційної моделі дослідження вибрано індивідуальний житловий будинок опалювальною площею 200 м<sup>2</sup>. Зниження споживання енергії будівлі тісно пов'язане з теплоізоляцією зовнішніх огорожувальних конструкцій і

застосуванням сучасних технологічних установок. Для аналізу вибрано три типи будинків: стандартний, енергоощадний та низькоенергетичний. Енергетичні характеристики зовнішніх огорожувальних конструкцій варіантів будинків представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Коефіцієнти теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій

| Тип будинку                    | Стіни,<br>Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | Вікна,<br>Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | Двері,<br>Вт/(м <sup>2</sup> ·К) | Перекриття,<br>Вт/(м <sup>2</sup> ·К) |
|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Стандартний будинок, BS        | 0,3                              | 2,6                              | 2,6                              | 0,25                                  |
| Енергоощадний будинок, BE      | 0,2                              | 1,8                              | 1,8                              | 0,18                                  |
| Низькоенергетичний будинок, BL | 0,1                              | 1,0                              | 1,0                              | 0,11                                  |

В якості методу для оцінки економічної ефективності зміна до Директиви EPBD рекомендує використовувати споживання енергії як величину для прогнозування поведінки довгострокових проектів, що дає можливість аналізувати зростання і зменшення експлуатаційних витрат на момент початку проекту. Розрахунок енергії проводять на основі методу розрахунку загальної вартості, який включений в стандарт EN 15459.

Розрахунок економічної ефективності можна здійснювати за загальною вартістю енергоефективності будівель:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} (C_{a,i}(j) \times R_d(i)) - V_{f,\tau}(j) \right], \quad (1)$$

де  $C_g(\tau)$  - загальні витрати протягом першого року  $\tau_0$ ;

$C_I$  - початкові витрати;

$C_{a,i}(j)$  - річна вартість енергетичної безпеки будівлі (витрати на електроенергію, експлуатаційні витрати, періодичні ремонти та заміни, витрати на технічне обслуговування);

$R_d(i)$  - дисконтна ставка (залежно від процентної ставки);

$V_{f,\tau}(j)$  - кінцева вартість  $j$  (віднесена до першого року  $\tau_0$ ), включаючи всі витрати для даного варіанту.

Для оптимізації енергетичних та економічних показників індивідуального будинку з метою одержання максимальної економічної ефективності проведено експериментально-статистичне моделювання.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Особливістю індивідуальних будинків є можливість використання різних видів палива на опалення - вугілля, газ, тверде та рідке паливо, електричні котли та теплові насоси, відновлювані джерела енергії. В аналізованих будинках розглянуті два варіанти вентиляції – гравітаційна і механічна з рекуперацією теплоти 95%.

Енергетична ефективність будинку визначає необхідну кількість первинної енергії для забезпечення потреб, пов'язаних з експлуатацією будівлі. З метою оптимі-

зації експлуатаційних витрат в залежності від енергетичних та екологічних показників для різних типів індивідуальних будинків (стандартного, енергоощадного і низькоенергетичного) з опалювальною площею 200 м<sup>2</sup> з різними джерелами енергії з гравітаційною та механічною вентиляцією розраховано споживання первинної енергії EP, кінцевої енергії EK та корисної енергії.

Корисна енергія включає в себе втрати теплової енергії через огорожувальні конструкції, енергії, необхідної для гарячої води, кондиціонування та механічної вентиляції. Кінцева енергія враховує додатково ефективність системи опалення та підготовки гарячої води. Первинна енергія, на відміну від кінцевої енергії, включає втрати на виробництво й передачу енергії та показує вплив будівлі на навколишнє середовище.

Потреба в первинній енергії залежно від типу палива та виду вентиляції для будинків, що характеризуються різними параметрами зовнішніх огорожувальних конструкцій, показана на рис. 1.

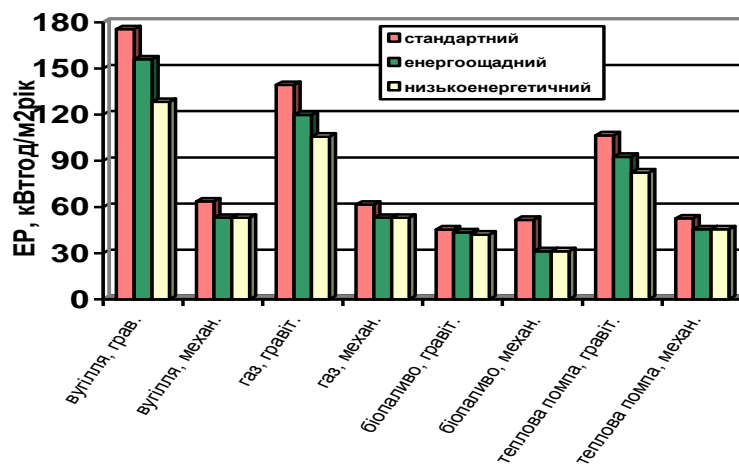


Рис. 1. Енергетичні показники індивідуальних будинків з використанням гравітаційної та механічної вентиляції і різних видів палива

Для стандартного будинку (коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін  $U = 0,30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ) з використанням природної вентиляції значення первинної енергії EP залежно від типу джерела тепла коливається від 175,48 до 45,35 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік), і з використанням механічної вентиляції – відповідно від 63,6 до 51,2 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік).

Енергоощадний будинок (коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін  $U = 0,20 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ) з гравітаційною вентиляцією характеризується значенням первинної енергії EP залежно від типу джерела тепла від 155,90 до 43,5 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік) і з механічною вентиляцією відповідно від 52,94 до 31,2 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік). Для низькоенергетичних будинків при наявності гравітаційної вентиляції значення первинної енергії EP залежно від типу джерела тепла коливається від 128,25 до 42,1 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік), за рахунок використання механічної вентиляції досягається зниження потреби енергії до 52,94 – 31,2 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік).

Для аналізу впливу параметрів зовнішніх стін різних типів будинків та споживання ними первинної енергії EP на експлуатаційну вартість використано метод експериментально-статистичного моделювання, що дає можливість отримати марематичний опис моделі. Відповідно до плану двофакторного тривірневого експерименту прийнято інтервали варіювання змінних факторів для різних типів будинків: коефіцієнт теплопередачі  $U$  зовнішніх непрозорих огорожувальних конструкцій будинку

стандартного, енергоефективного та низькоенергетичного ( $X_1$  відпо-відно до табл. 1) та споживання первинної енергії  $EP$  ( $X_2 = 30, 45, 60$  кВт·год/м<sup>2</sup>·рік).

На основі результатів розрахунків отримано математичну модель впливу параметрів зовнішніх стін індивідуальних будинків і витрат в них первинної енергії  $EP$  при використанні механічної вентиляції на експлуатаційні витрати  $Y_{\text{мех}}$  [PLN/рік] у вигляді рівняння регресії:

$$Y_{\text{мех}} = 1153,33 + 100,00 X_1 + 30,00 X_2 - 63,75 X_1 X_2 + 100,00 X_1^2 + 450,00 X_2^2$$

Для будинків опалювальною площею 200 м<sup>2</sup> з механічною вентиляцією в заданому інтервалі змінних мінімум експлуатаційних витрат  $Y_{\text{мін}}=1128,33$  PLN/рік отримано для низькоенергетичного будинку з  $EP = 40$  кВт·год/м<sup>2</sup> рік, максимальне значення коштів  $Y_{\text{макс}}=1837,08$  PLN/рік - для стандартного будинку, співвідношення  $Y_{\text{макс}}/Y_{\text{мін}} = 1,63$ . Графічний аналіз впливу змінних факторів на величину експлуатаційних витрат будинків з використанням механічної вентиляції показано на рис. 2. Звідси видно, що мінімальні значення експлуатаційних витрат досягаються для низькоенергетичного будинку з величиною первинної енергії на рівні 40...45 кВт·год/(м<sup>2</sup> рік). В той же час, при переході до пасивного будинку спостерігається зростання експлуатаційних витрат на 30%.

Економічна ефективність впровадження енергоощадних технічних та інженерно-конструктивних рішень залежить від потреби енергії на опалення будинку, величини вкладених інвестицій, а також в значній мірі від вартості енергоносіїв. Одним із важливих показників є термін окупності або простий час повернення коштів SPBT (Simple Pay Back Time). Термін окупності – це час в роках, необхідний для повернення вкладених в проект інвестицій.

$$T_{\text{ок}} (\text{SPBT}) = I/E, \tag{2}$$

де  $E$  – річний економічний ефект, грн.;

$I$  – інвестиційні затрати, грн.

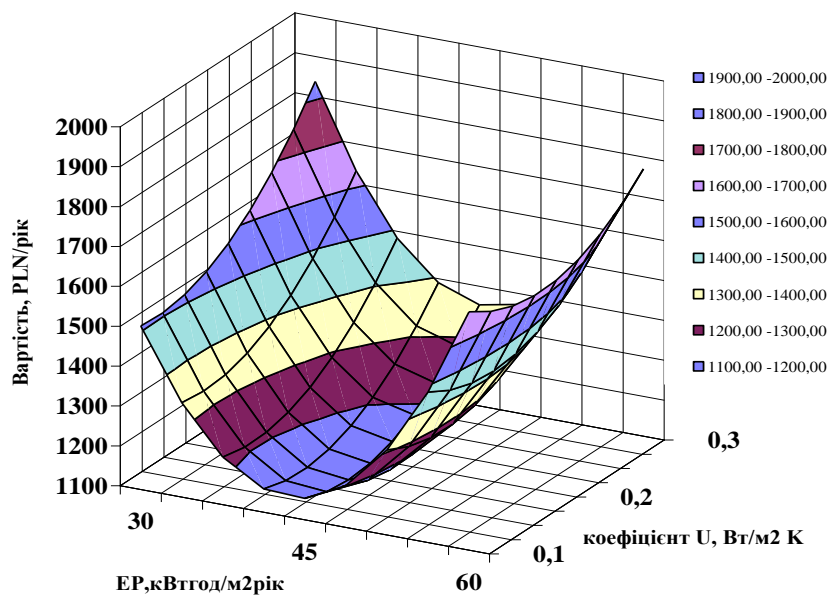


Рис. 2. Експлуатаційні витрати будинків з механічною вентиляцією в залежності від параметрів зовнішніх непрозорих конструкцій та первинної енергії  $EP$

В умовах України при сучасному стані цінової політики на енергоносії для населення важливе значення має проведення оцінки енергетичної ефективності різних типів будинків. Використання різних параметрів огорожувальних конструкцій індивідуальних будинків дозволяє досягнути річної економії коштів на опалення будинку впродовж року за рахунок зменшення споживання енергії на опалення та зниження ціни за 1 м<sup>3</sup> природного газу, що залежить від річного обсягу споживання природного газу.

На основі аналізу математичних моделей терміну окупності капіталовкладень для проектування енергоощадного будинку за класом енергоефективності вище С при гравітаційній системі вентиляції оптимальним за енергетичними ( $q_{\text{буд}}=75,16$  кВт·год/м<sup>2</sup>·рік), екологічними (емісія CO<sub>2</sub>=842 м<sup>3</sup>/рік) і економічними параметрами (I=165,394 тис. грн., T<sub>ок</sub>=30 років) є варіант із застосуванням системи фасадної теплоізоляції з коефіцієнтом теплопередачі зовнішніх стін U<sub>ст</sub>=0,2 Вт/м<sup>2</sup>К і вікон з коефіцієнтом теплопередачі U<sub>вік</sub>=1,7 Вт/м<sup>2</sup>·К.

При заміні гравітаційної системи вентиляції з рекуперацією тепла 70% досягається менший термін окупності при менших інвестиціях, порівняно з проектами з гравітаційною системою вентиляції. Варіант проекту низькоенергетичного індивідуального житлового будинку із застосуванням системи фасадної теплоізоляції з коефіцієнтом теплопередачі зовнішніх стін U<sub>ст</sub>=0,2 Вт/м<sup>2</sup>К і вікон з коефіцієнтом теплопередачі U<sub>вік</sub>=1,7 Вт/м<sup>2</sup>·К при заміні системи вентиляції на механічну з рекуперацією тепла характеризується низькими енергетичними ( $q_{\text{буд}} = 17,83$  кВт·год/м<sup>2</sup>·рік) і екологічними (емісія CO<sub>2</sub>=252 м<sup>3</sup>/рік) параметрами при терміні окупності T<sub>ок</sub>= 21 рік (I=111,396 тис. грн.). Якщо ціни на енергоносії зростатимуть надалі, термін окупності впровадження будівельно-інсталяційних систем відповідно буде зменшуватись, а тим самим зменшиться і час повернення інвестицій.

## ВИСНОВКИ

Аналіз енергетичних, екологічних та економічних показників індивідуальних будинків дає можливість вибору раціональних варіантів, які стосуються зовнішніх огорожувальних конструкцій та систем вентиляції. Розроблення проектних рішень енергоефективного житла та системи керування параметрами енергоощадності на всіх етапах життєвого циклу будинку визначає концепцію інтегрованого проектування низькоенергетичних будинків. Мінімальні значення експлуатаційних витрат досягаються для низькоенергетичного будинку з механічною вентиляцією при величині первинної енергії на рівні 40 кВт·год/(м<sup>2</sup> рік).

## ЛІТЕРАТУРА

1. Саницький М.А., Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 248 с.
2. Фаренюк Г.Г. Науково-методичні напрями вирішення проблеми енергоефективності будівель / Фаренюк Г.Г., Федевич О.М. – Будівельні конструкції: зб. наук. праць. - Вип. 77. – К.: ДП НДІБК, 2013. – С. 10-14.
3. Вуйцікевич М. Аналіз енергетичних показників індивідуальних будинків / М. Вуйцікевич, М. Саницький, Р. Секрет // ЕКОінформ. - 2011.– № 3 (263). - С. 50-51.
4. Zrównoważone budownictwo. Seria Dokumenty Unii Europejskiej dotyczące budownictwa. – Warszawa: ITB, 2010.
5. Relation between energy characteristics and cost for single family building / R. Sekret, M. Sanytsky, M. Wojcikiewicz // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Czestochowa, 2012. – S. 240-248.

6. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implantation / [J. Kurnitski, A. Saari, T. Kalamees et al.] // Energy and building. - 2011. – № 43. – P. 3279-3288.

#### REFERENCES

1. Sanitsky M.A., Energozberigayuchi tehnologii in budownictwa: course book / M.A. Sanitskii, O.R. Poznyak, U.D. Maruschak. - Lviv: Publishing house Lvivs politehnik, 2011. - 248 s.
2. Farenjuk G.G. Naukova-metodichna napryamy virishennya way the problems of energoeffektivnost budol / Farenjuk G.G., Fedevich O.M. - Building constructions: Sciences essays. - V. 77. - K.: SC NDIBC, 2013. - P. 10-14.
3. Vujcicevich M, Analisys energetichnij pokaznyk ndial budinkiv / M. Vujcicevich, M. Sanitskii, R. Sekret // Ecoinform, 2011.- № 3 (263). - P. 50-51.
4. Zrównoważone budownictwo. Seria Dokumenty Unii Europejskiej dotyczące budownictwa. – Warszawa: ITB, 2010.
5. Relation between energy characteristics and cost for single family building / R. Sekret, M. Sanytsky, M. Wojcikiewicz // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. Czestochowa, 2012. – S. 240-248.
6. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implantation / [J. Kurnitski, A. Saari, T. Kalamees et al.] // Energy and building. - 2011. – № 43. – P. 3279-3288.

Стаття надійшла до редакції 02.04.2014 р.