

УДК 692:64.01:005.61+620.91

**ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ БУДІВНИЦТВА
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ І ПАСИВНИХ БУДИНКІВ В УКРАЇНІ**

заступник директора Коваль О.О.,

Придніпровський науково-освітній інститут інноваційних технологій в будівництві ДВНЗ "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", м. Дніпропетровськ

Постановка проблеми. Нова редакція Директиви Європейського Союзу про енергетичну ефективність будівель зобов'язує привести будівельні стандарти та вимоги європейських країн до будівництва будівель з мінімальним споживанням енергії, тобто будинків, що мають високий рівень енергетичної ефективності. З огляду на складну економічну ситуацію в Україні, на перший план виходить економічна складова енергетичної ефективності, що базується на економічній оцінці доцільності проектних рішень у житловому будівництві. Виходячи із цього, актуальним завданням у малоповерховому житловому будівництві України, є вдосконалення наукових положень з проектування енергоефективних будівель з урахуванням їх життєвого циклу.

Основною **метою статті** є викладення теоретичних положень методики раціонального проектування енергоефективних малоповерхових житлових будівель з урахуванням їх життєвого циклу, а також висвітлення отриманих із застосуванням розробленої методики результатів.

Виклад основного матеріалу досліджень. В основу методики раціонального проектування житлових будівель прийнятий метод розрахунку сукупної (дисконтованої) вартості, що полягає в приведенні всіх витрат по зведенню та демонтажу будівельного об'єкту, а також витрат з експлуатації житлової будівлі за весь термін служби в розрахункову суму в році очікуваного знесення будинку (накопичені витрати).

Сукупні витрати на будівництво, експлуатацію та демонтаж будівлі визначаються відповідно до залежності:

$$C_{i,t} = \hat{E}_i g^t + \dot{Y}_i \frac{g^t - 1}{g - 1} + \dot{A}_i, \quad (1)$$

де K_i – капітальні вкладення (інвестиції) на будівництво будівлі згідно i -му варіанту;

\mathcal{E}_i – річні експлуатаційні витрати на утримання будівлі згідно i -му варіанту;

D_i – витрати, пов'язані з демонтажем будівельного об'єкту (утилізацією його будівельних матеріалів і т.д.);

t - термін служби (експлуатації), рік;

g - коефіцієнт накопичення: $g = 1 + p$;

p - норма дисконту, що дорівнює прийнятній для інвестора нормі прибутку на капітал;

g^t - коефіцієнт дисконтування (дисконтний множник) на кінець розрахункового періоду:

$$g^t = (1+p)^t;$$

$(g^t-1)/(g-1)$ - коефіцієнт зростання поточних платежів, приведених до майбутнього моменту часу для ряду однорідних по періодах платежів.

Математична модель задачі пошуку оптимального проекту енергоефективної будівлі формулюється у формі задачі нелінійного програмування: мінімізувати сукупні витрати на будівництво, експлуатацію та демонтаж будівлі (1) за визначених обмежень. З урахуванням складових витрат математична модель має вигляд:

$$C_{i,t} = (\dot{I}C + \dot{I}D + \dot{N}\dot{I} + \dot{I}\dot{N} + \dot{I} \delta C_i) g^t + \left[\dot{N}_{\dot{a}i} \times Q^{\dot{a}i} + \dot{N}_{\dot{y}e} \times Q^{\dot{y}e} + \dot{N}_{\dot{a}i\dot{a}} \times V^{\dot{a}i\dot{a}} + \dot{N}_{\dot{a}a\dot{c}} \times V^{\dot{a}a\dot{c}} + \right] \frac{g^t - 1}{g - 1} + \dot{A}_i \rightarrow \min \quad (2)$$

$PЗ$ – прями витрати;

HP - накладні витрати;

$СП$ – кошторисний прибуток (планові накопичення);

IC – витрати на придбання та монтаж технологічного обладнання та інженерних систем;

$P_pЗ$ – інші витрати, пов'язані з додатковими затратами при виконанні будівельно-монтажних і налагоджувальних робіт у зимовий час, витрати на будівництво тимчасових будинків та споруд і ін.

C_{om} – вартість теплової енергії (грн/Гкал);

$C_{эл}$ – вартість електричної енергії (грн/кВт*год);

$C_{вд}$ – вартість водопостачання (грн/м³);

$C_{газ}$ – вартість газопостачання (грн/м³);

$Q_{год}^{om}$ – річне теплоспоживання будівлі за опалювальний період, Гкал;

$Q_{год}^{эл}$ – річне споживання будівлі електрики, кВт*год;

$V_{год}^{вод}$ – річне споживання будівлі води, м³;

$V_{год}^{газ}$ – річне споживання будівлі газу, м³

Обмеженнями задачі оптимізації є:

- тривалість опалювального періоду, GD - кількість градусодіб;
- вартість теплової енергії, електроенергії, газу та води;
- термін експлуатації будівлі t , років;
- ставка інвестування капіталу p - 0 ... 20%;
- питомі витрати теплової енергії q , кВт год/(м²·рік),

Математична модель (2) дає можливість визначити економічну доцільність реалізації проектів енергоефективних і пасивних будинків, а також оцінити інвестиційну привабливість застосування різних інноваційних енергозберігаючих технологій в Україні. Для чого необхідно порівняти варіанти проектів житла, використовуючи як обмеження задачі оптимізації питомі витрати теплової енергії q , кВт*год/(м²·рік), які мають порівнюватися з контрольними показниками витрати теплової енергії:

- згідно чинних норм $q \leq E_{max}$, кВт*год/(м²·рік);

- із стандартами будинку низького споживання енергії $q \leq 70$ кВт год/(м² рік);

- із стандартами пасивного будинку $q \leq 15$ кВт год/(м² рік).

Оптимальним варіантом енергоефективної будівлі є раціональне сполучення конструктивної й інженерно-технологічної складової енергетичної ефективності будівлі, що дозволить одержати мінімальні сукупні витрати на будівництво, експлуатацію та демонтаж об'єкта.

Запропонована методика використовувалася для розв'язання задачі пошуку оптимального варіанту проекту малоповерхових енергоефективних будівель для умов м. Дніпропетровська.

На основі базового варіанту (двоповерхова житлова будівля з дерев'яним каркасом) було розроблено та проаналізовано сімнадцять варіантів проектів цієї будівлі, що відрізняються капітальними витратами на будівництво та споживанням теплової енергії при експлуатації об'єкту (табл. 1).

Таблиця 1

Показники варіантів проектів енергоефективної будівлі

№ варіанту	Опис варіанту проекту	Капітальні вкладення на будівництво, грн. *	Питоме теплоспоживання, $q_{буд}$, кВт год/м ²	Клас енергетичної ефективності	
				згідно ДБН	європейська класифікація
1	2	3	4	5	6
1	Базовий варіант (товщина утеплювача стін – 100мм; горищного перекриття – 200 мм; підлоги по ґрунту – 50мм; вікна – одинарний склопакет)	342 978,0	96,1	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²
2	Додаткове утеплення стін на 50мм	352 804,8	87,5	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²
3	Додаткове утеплення стін на 100мм	362 624,4	82,3	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²
4	Додаткове утеплення горищного перекриття на 50мм	346 324,8	94,2	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²
5	Додаткове утеплення горищного перекриття на 100мм	349 664,4	92,9	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²

№ варіанту	Опис варіанту проекту	Капітальні вкладення на будівництво, грн. *	Питоме теплоспожив ання, $q_{буд}$, кВт год/м ²	Клас енергетичної ефективності	
				згідно ДБН	європейська класифікація
6	Додаткове утеплення підлоги по ґрунті на 50мм	344 473,2	92,8	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²
7	Додаткове утеплення підлоги по ґрунту на 100мм	345 960,0	90,9	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²
8	Додаткове утеплення стін на 50мм; горищного перекриття на 50мм; підлоги по ґрунту на 50мм	357 632,4	82,3	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²
9	Додаткове утеплення стін на 100мм; горищного перекриття на 100мм; підлоги по ґрунту на 100мм	372 278,4	73,8	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²
10	Встановлення віконних склопакетів R=0,8 м ² *К/Вт	347 817,6	87,3	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²
11	Встановлення віконних склопакетів R=1,14 м ² *К/Вт	354 987,6	81,4	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²
12	Додаткове утеплення стін на 50мм; горищного перекриття на 50мм; підлоги по ґрунту на 50мм Встановлення віконних склопакетів R=0,8 м ² *К/Вт	362 472,0	73,4	В	“Новий будинок” до 150 кВт год/м ²
13	Додаткове утеплення стін на 100мм; горищного перекриття на 100мм; підлоги по ґрунту на 100мм Встановлення віконних склопакетів R=1,14 м ² *К/Вт	384 288,0	58,9	А	“Будинок низького споживання енергії” до 70 кВт год/м ²

№ варіанту	Опис варіанту проекту	Капітальні вкладення на будівництво, грн. *	Питоме теплоспоживання, $q_{буд}$, кВт год/м ²	Клас енергетичної ефективності	
				згідно ДБН	європейська класифікація
14	Встановлення рекуператорів	372 034,8	65,9	В	“Будинок низького споживання енергії” до 70 кВт год/м ²
15	Додаткове утеплення стін на 50мм; горищного перекриття на 50мм; підлоги по ґрунту на 50мм. Встановлення віконних склопакетів R=0,8 м ² *К/Вт Встановлення рекуператорів	391 528,8	43,3	А	“Будинок низького споживання енергії” до 70 кВт год/м ²
16	Додаткове утеплення стін на 100мм; горищного перекриття на 100мм; підлоги по ґрунту на 100мм Встановлення віконних склопакетів R=1,14 м ² *К/Вт Встановлення рекуператорів	413 344,8	28,7	А	“Будинок низького споживання енергії” до 70 кВт год/м ²
17	Пасивний будинок	431 016,0	14,8	А	“Пасивний будинок” до 15 кВт год/м ²

Примітка.

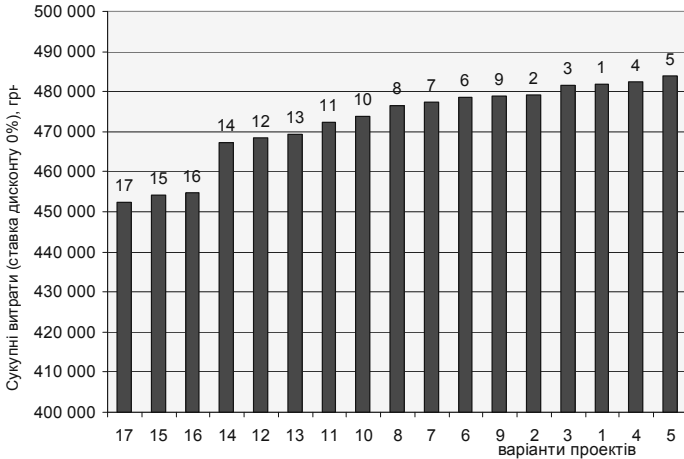
* - вартість капітальних витрат на будівництво будинку (з урахуванням ПДВ) без вартості інженерного обладнання та комунікацій, без урахування накладних витрат і відрахувань, без урахування прибутку

Дані варіанти розрізняються рівнем теплового захисту огорожуючих конструкцій і використанням різних енергозберігаючих інженерних технологій. Всі варіанти, від базового, з питомим теплоспоживанням 96,1 кВт год/м² до пасивного будинку ($q_{рік} = 15$ кВт год/м²), задовольняють вимогам діючих будівельних норм (класи енергоефективності – А та В).

Максимально допустиме нормативне теплоспоживання для розрахункових варіантів $E_{\max} = 122 \text{ кВт год / м}^2$.

Дані, наведені в табл. 4 засвідчують, що здороження пасивного будинку (варіант 17) в порівнянні з базовим (варіант 1) становить 25,7%.

а)



б)

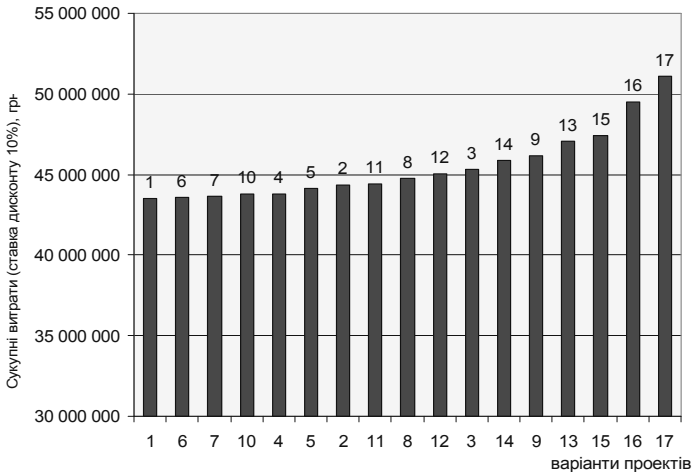


Рис. 1. Сукупна вартість житлового циклу проектів малоповерхового житлового будинку за варіантами 1 ... 17 для умов м. Дніпропетровська, при ставці дисконту: а) – 0%; б) – 10%; при вартості теплової енергії - 268,74 грн/Гкал; термін експлуатації - 50 років

У роботі були поставлені та вирішені задачі раціонального проектування (пошуку раціонального варіанту проекту із сімнадцяти запропонованих – див. табл. 1) з такими обмеженнями:

- термін експлуатації будівлі 50 років при існуючій вартості на енергоносії (графічне відображення результатів наведено на рис. 1);

- термін експлуатації будівлі 50 років при різній прогнозованій вартості на енергоносії;

- термін експлуатації будівлі 20 років при існуючій вартості на енергоносії.

Висновки. Результати розрахунків свідчать, що без урахування зміни вартості грошей в часі (дисконтування) оптимальним є варіант пасивного будинку. При урахуванні зміни вартості грошей у часі (ставка дисконту 10%, 15%, 20%) - оптимальним є базовий варіант (див. рис. 1). Дані проведених розрахунків засвідчують, що впровадження пасивних житлових будівель в Україні сьогодні економічно доцільно тільки при безпроцентному кредитуванні.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

- 1 Коваль Е.А. Энергоэффективность архитектурно-конструктивных систем малоэтажных жилых зданий: Дис. канд. техн. наук: 05.23.01. / Коваль Е.А. – Днепропетровск, 2012. – 152с.
- 2 Савицкий Н.В. , Юрченко Е.Л. , Коваль Е.А. Совершенствование методики рационального проектирования малоэтажных жилых зданий с учетом их жизненного цикла / Н.В.Савицкий , Е.Л.Юрченко, Е.А.Коваль , Т.А.Ковтун-Горбачева // Theoretical foundations of civil engineering. – Warsaw: WUT, 2011. vol. №19/ – p. 307-312.
- 3 Савицкий М.В. , Коваль О.О. , Юрченко Е.Л. Екологічне та енергоефективне малоповерхове будівництво / М.В.Савицкий, О.О.Коваль, Е.Л.Юрченко, М.М.Бабенко, А.С.Коваль // Строительство, материаловедение, машиностроение. Дн-вск: ПГАСА, 2010. – Вып. №55 - С. 26 -31.
- 4 Коваль О.О., Лантух О.В. , Юрченко Е.Л. Стандартизація будівельних нормативів по підвищенню енергоефективності на Європейському рівні / О.О.Коваль, О.В.Лантух, Е.Л.Юрченко, А.С.Коваль // Строительство, материаловедение, машиностроение. Дн-вск: ПГАСА, 2010. – Вып. №56 – С. 204-207.
- 5 Юрченко Е.Л., Коваль О.О. Проектування енергоефективних малоповерхових житлових будинків / Е.Л.Юрченко , О.О.Коваль // ЕКОінформ: 2011. - №5. – С.43.