

УДК 338.2

*В.В. Джемджула,
к.т.н., докторант,
Хмельницький національний університет*

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИТРАТ НА МОДЕРНІЗАЦІЮ І РЕНОВАЦІЮ БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД

*Розглянуто процес термічної реновації і модернізації промислових будівель і споруд.
Запропоновано математичну модель інвестиційного процесу.*

Ключові слова: енергозбереження, підприємства, математична модель.

Постановка проблеми. Підвищення енергоефективності промислового виробництва повинно супроводжуватися термореноваційними і термо-модернізаційними заходами. Джерелами для інвестування даного процесу зазвичай слугує амортизаційний фонд або власні кошти підприємства. Зважаючи на значний термін окупності модернізаційних заходів, що може сягати 6-10 років, використання запозичених коштів повинно детально обґрунтовуватися. Постає задача у раціональному використанні наявного фінансового ресурсу з дотриманням нормативних вимог щодо результатів інвестування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання термічної реновації і модернізації будівель, споруд і інженерних мереж розглянуто в сучасній вітчизняній і зарубіжній літературі, зокрема у роботах О.Г. Ратушняк [1], М.Д. Тереха [2], Ю.С. Юркевича [3], Наумова О.Б [4], Езерского В.А. [5] та нормативній літературі [6,7]. Однак недостатньо досліджене питання комплексного підходу до модернізаційних заходів із врахуванням нормативних вимог, частково наведено рішення проблеми оптимального розподілу коштів по видам модернізаційних заходів.

Постановка завдання. *Метою статті є створення економіко-математичної моделі витрат на модернізацію і реновацію теплоізоляційної оболонки будівель і споруд з врахуванням нормативних вимог та позиції оптимальності розподілу коштів.*

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розглянути поняття «термічна реновація», «термічна модернізація»
2. Дослідити шляхи реалізації вищезначених понять;
3. Розробити математичну модель витрат на модернізацію і реновацію теплоізоляційної оболонки будівель і споруд;

Виклад основного матеріалу дослідження.

Питання енергозбереження посідають ключові місця в переліку питань підвищення ефективності виробництва. З введенням в дію сучасних нормативних вимог [6,7] значно зросли вимоги до теплоізоляційної оболонки будівель. Але головним спонуканням до термомодернізації є постійне зростання вартості палива і, відповідно, вартості опалення. Основними проблемами, що виникають у менеджменті підприємства при розгляді інвестиційних пропозицій із термомодернізації будівель, є обмеженість фінансування і проблема вибору економічно обґрунтованої товщини теплової ізоляції для різних видів конструктивних елементів. Існуючі будівлі можуть підлягати термічній реновації – відновленню теплоізоляційного шару до первинного рівня, термічній модернізації – підвищенню теплозахисних властивостей огорожуючих конструкцій до сучасних нормативних вимог без конструктивних змін самої будівлі або термореконструкції будинку – комплексу будівельно-монтажних робіт, направлених на зменшення питомого споживання енергії будинком із внесенням змін до конструктивних елементів [5]. На нашу думку, найбільш оптимальним шляхом підвищення енергоефективності будівель і споруд є саме термомодернізація будинку. Розгляд проблеми термічної модернізації потрібно виконувати комплексно: модернізована теплоізоляційна оболонка повинна забезпечити необхідний клас енергетичної ефективності будинку, який згідно [6,7] для модернізованих будинків повинен бути не нижче «С». Саме досягнення нормованого рівня енергетичного споживання, на нашу думку, повинно бути одним із ключових обмежуючих факторів у математичній моделі з термічної модернізації. Іншим обмежуючим фактором слугує гранична величина можливих інвестицій у заходи з термомодернізації. Вихідними даними для моделювання є: площі

огороджуючих конструкцій F_i , m^2 ; кліматичні умови району будівництва; мінімальні нормовані термічні опори для даної температурної зони і типу будівлі R_i^{norm} , $m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$; максимальна величина можливих інвестицій I , грн; розрахована вартість будівництва одиниці термічного опору для різних наявних типів конструкцій g_{Ri} , $(\text{грн.} \times \text{Вт}) / m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$; гранична величина питомого річного споживання енергії Q_{norm} , $\text{кВт} \times \text{год} / m^{2(3)} \times \text{рік}$. Використовуючи дані [7], сформовано функцію корисності, яка представлена у вигляді приведенного коефіцієнта теплопередачі теплоізоляційної оболонки. Задача моделювання полягає у мінімізації даної функції. Граничні умови у вигляді нерівностей наведено у (1)...(5). У виразі (1) зазначено вимогу дотримання мінімальних нормованих значень термічних опорів для і-тої конструкції, при цьому не перевищуючи ці значення у «к» разів. Значення нормованих величин наведено у [6]. Нерівність (2) накладає інвестиційні обмеження на реалізацію проекту з термомодернізації: загальна вартість утеплення не повинна перевищувати величини наявних коштів J . У нерівності (3) наведена вимога щодо дотримання вимог із питомого енергоспоживання будинку. У зв'язку з тим, що величина термічного опору світлопрозорих конструкцій є дискретною, пропонується зафіксувати її на певному технологічному рівні, наприклад, обрати значення, що відповідає склопакету з потрійним склом (нерівність (4)).

$$k \cdot R_i^{norm} \geq R_i \geq R_i^{norm}, \quad (1)$$

$$\sum F_i \cdot g_{Ri} \cdot R_i \leq I, \quad (2)$$

$$q_{факт} - Q_{norm} \leq 0, \quad (3)$$

$$R_3 = const, \quad (4)$$

де R_i – термічний опір і-тої конструкції, $m^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$;

k – коефіцієнт пропорційності для обмеження значення термічних опорів;

F_i – площа і-тої конструкції, m^2 ;

g_{Ri} – вартість будівництва одиниці термічного опору для і-тої конструкції, $(\text{грн.} \times \text{Вт}) / m^2 \text{ } ^\circ\text{C}$;

I – величина наявних коштів для термомодернізації, грн.;

$q_{\text{факт}}$ – розраховане значення питомого теплового споживання, кВт×год/м²⁽³⁾×рік;

$Q_{\text{норм}}$ – гранична величина споживання енергії кВт×год/м²⁽³⁾×рік.

Функція корисності для оптимізації інвестиційних витрат з підвищення енергоефективності теплоізоляційної оболонки будівлі набуде вигляду:

$$f(R_1, R_2, R_3, R_4) = \left(\left(\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + \frac{F_3}{R_3} + \frac{F_4 \cdot n_1}{R_4} + \frac{F_5 \cdot n_2}{R_5} \right) \cdot \frac{\xi}{F_{\Sigma}} \right) \quad (5)$$

де F_1 – площа зовнішніх стін, м²;

F_2 – площа дверей і воріт, м²;

F_3 – площа світлопрозорих конструкцій, м²;

F_4 – площа горизонтальних перекриттів (покриття), м²;

F_5 – площа цокольних перекриттів (підлог), м²;

F_{Σ} – загальна площа поверхні огорожуючих конструкцій, м²;

R_1 - R_5 – відповідні термічні опори конструкцій, м² °С/Вт;

n_1, n_2, ξ – коефіцієнти, що визначаються згідно [7].

Задача оптимального вибору термічних опорів огорожуючих конструкцій за умов обмежень (1-4) полягає у мінімізації функції корисності (приведеного коефіцієнту теплопередачі теплоізоляційної оболонки будинку):

$$f(R_1, R_2, R_3, R_4, R_5) \rightarrow \min_R \quad (6)$$

за початкових умов – фактичних опорів конструкцій до термомодернізації

$$R_i = R_i^f \quad (7)$$

Річна економія коштів за рахунок термомодернізації, грн:

$$Gr = (q - q_{\text{факт}}) \cdot V_{\text{он}} \cdot J / \eta \quad (8)$$

де q – рівень питомого споживання енергії до модернізації, кВт×год / м³×рік;

$V_{\text{он}}$ – опалювальний об'єм, м³;

J – вартість однієї кВт×год, грн;

η – приведений ККД генератора тепла, теплових мереж і системи опалення.

Для порівняння енергозберігаючих заходів обчислюється чиста приведена вартість NPV та дисконтований термін окупності, який повинен бути меншим за термін служби теплової ізоляції. Розглянемо приклад інвестиційного моделювання витрат коштів на термомодернізацію адміністративного будинку промислового підприємства, розміщеного у м. Вінниці (табл. 1). Вихідні дані: $I=800$ тис. грн.; $n_1=n_2=1$; $R_3=0,6$; $k=2$. Значення функції за результатами моделювання $f(R_i)=0,195 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$, витрати коштів на утеплення - 751 тис. грн.

Таблиця 1

Результати моделювання інвестиційного процесу термомодернізації будівлі

Наявні термічні опора $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/ Вт}$		Площі м^2		Приведена вартість будівництва $\text{грн.} \times \text{Вт/ м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$		Нормативні значення опорів $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/ Вт}$		Результати моделювання $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C/ Вт}$	
R_1^f	1	F_1	300	I_{R1}	150	R_1^{norm}	2,8	R_1	5,91
R_2^f	0,3	F_2	15	I_{R2}	600	R_2^{norm}	0,5	R_2	1,31
R_3^f	0,2	F_3	90	I_{R3}	560	R_3^{norm}	0,6	R_3	0,6
R_4^f	1,5	F_4	500	I_{R4}	200	R_4^{norm}	4,95	R_4	7,63
R_5^f	1,1	F_5	500	I_{R5}	220	R_5^{norm}	2,5	R_5	7,64

Висновки

1. Розглянуто поняття «термічна реновація» і «термічна модернізація», обґрунтовано проблеми, що виникають при реалізації модернізаційних процесів у промислових будівлях.

2. Досліджено шляхи вирішення проблеми мінімізації витрат на реалізацію процесу термомодернізації. Запропоновано функцію корисності, обґрунтовано її складові. Наведено рекомендації щодо подальшого вибору з альтернативних варіантів процесів енергозбереження. Як критерії обмеження функції корисності обрано максимальні і мінімальні значення термічних опорів, величину фінансового ресурсу на здійснення термомодернізації та питомі значення витрат тепла на опалення і вентиляцію будівель.

3. Розглянуто приклад числового моделювання мінімізації функції корисності за умов технічних та бюджетних обмежень.

Література

1. Ратушняк О.Г. Управління змістом інноваційних проєктів термомодернізації будівель : монографія / О. Г. Ратушняк – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 128 с.
2. Терех М.Д. Оптимізація вибору заходів енергозбереження в умовах фінансових обмежень / М. Д. Терех, Ф. І. Павлов, І. А. Арутюнян // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2010. – № 4 – 5. – С. 81 – 86.
3. Аналіз техніко-економічних чинників утеплення зовнішніх захищень / Ю.С. Юркевич, О.О. Савченко, О.В. Омельчук, О.В. Дейнека// Вісник національного університету Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва – 2011. – № 697. – С. 257-261.
4. Наумов О.Б. Проблеми та шляхи підвищення енергоефективності споживання ресурсів в Херсонській області/ О.Б. Наумов, Є.О. Євтушенко// Економічний простір – 2009. – №22/2. – С. 108-115.
5. Езерский В.А. О терминологии в описании устройств теплозащиты зданий / В.А. Езерский, Монастырев П.В., Монастырева М.В. [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://www.aisz.tstu.ru/articles/a4.htm>.
6. ДБН В.2.6-31:2006 "Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель» Мінбуд України. – К.: 2006. – 68 с.
7. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції. – К.: Мінрегіонбуд. – 2008. – 42 с.

Summary. Process of a thermal renewal of houses and constructions is considered. The mathematical model of investment process of a thermal renewal is offered.