

Ю. С. Юркевич, О. М. Довбуш, С. П. Шаповал, Л. Вороняк
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра “Теплогазопостачання та вентиляція”

ДИНАМІЧНІСТЬ ОПТИМАЛЬНОГО ТЕРМІЧНОГО ОПОРУ СТІН БУДИНКІВ

© Юркевич Ю. С., Довбуш О. М., Шаповал С. П., Вороняк Л., 2016

Наведено результати математичного обґрунтування економічно доцільного термічного опору стіни будинку за умови зміни вартості теплової енергії та утеплення на перспективу. Порівняно техніко-економічні показники утеплення зовнішніх стін при різних характеристиках огорожувальних конструкцій.

Мета роботи – проаналізувати техніко-економічні чинники, які визначають економічну доцільність утеплення зовнішніх стін за умови зміни вартості теплової енергії та утеплення на перспективу.

Наведено розподіл вартості окремих складових утеплення фасаду будинку теплоізоляційними матеріалами.

Визначено залежність різних фінансових затрат від товщини ізоляції за умови зміни вартості теплової енергії та утеплення на перспективу.

Встановлено, що оптимальним теплоізоляційним матеріалом із 5 розглянутих при заданих вихідних даних є пінополістирол; на 15-річну перспективу оптимальний термічний опір зростає майже у 1,4 рази; існує об'єктивна необхідність періодичного перегляду величини R_{opt} та її законодавчого затвердження, оскільки вона має властивість динамічності.

Ключові слова: термореновація, тепла ізоляція, опір теплопередачі, тепла енергія, термін окупності.

In this paper the results of mathematical provement of economical optimal thermal resistance of a building wall are presented at condition of both heat energy and thermal renewal cost change on future. There are presented comparation of technical and economical indexes at external walls renewal at the different characteristics of enclosure constructions.

Purpose is to analyze the technical and economic factors that determine economic feasibility insulation of external walls subject to changes in the cost of heat and renewal in future.

An allocation of individual components cost of the building facade insulation by insulating materials is presented.

The dependence of different financial costs on the thickness of the insulation provided changes in the cost of heat and renewal in future is determinated.

It is determinated that the best insulation material from five considered for a given output data is polystyrene; 15-year term optimal thermal resistance increases almost 1.4 times; there is an objective need for periodic revision R_{opt} value and its legal approval, because it has a dynamic property.

Key words: renewal, thermal isolation, resistance of heat transfer, thermal energy, pay back time.

Постановка проблеми. Сьогодні в Україні одні з найвищих показників споживання теплової енергії в житлово-комунальному секторі. Попри те, що необхідність термореновації житлового фонду є цілком очевидною, реальний стан мало чим відрізняється від стану 80–90-х років ХХ ст. [1]

Основними заходами при термореновації будівель є утеплення зовнішніх захищень та заміна вікон. В реалізації другого із згаданих методів є очевидний прогрес. В Україні діє значна кількість підприємств, які виготовляють металопластикові вікна належної якості за сучасними технологіями, діють програми з кредитування при закупівлі таких вікон.

Що ж стосується утеплення огорожувальних конструкцій і приведення їх термічних опорів до нормативного значення [2], то тут ситуація є значно гіршою. Це спричинено економічними чинниками, які характеризують цей термореноваційний захід.

Мета роботи – проаналізувати техніко-економічні чинники, які визначають економічну доцільність утеплення зовнішніх стін за умови зміни вартості теплової енергії та утеплення на перспективу.

У місті діють підприємства, які виконують роботи з утеплення фасадів будинків. Пропонована ними вартість робіт різниться в межах 10 %.

Витрату теплоти на потреби опалення будинків необхідно значно зменшити завдяки їх термомодернізації. Для досягнення максимального ефекту слід визначити економічно доцільний рівень теплозахисту будинків, який повинен бути оптимальним як в теплотехнічному, так і в економічному відношенні, показником чого можуть бути приведені затрати. Завдяки цьому споживач отримає змогу вивільнити кошти за опалення, а крім того, оптимізація рівня теплозахисту забезпечує значну економію енергоресурсів.

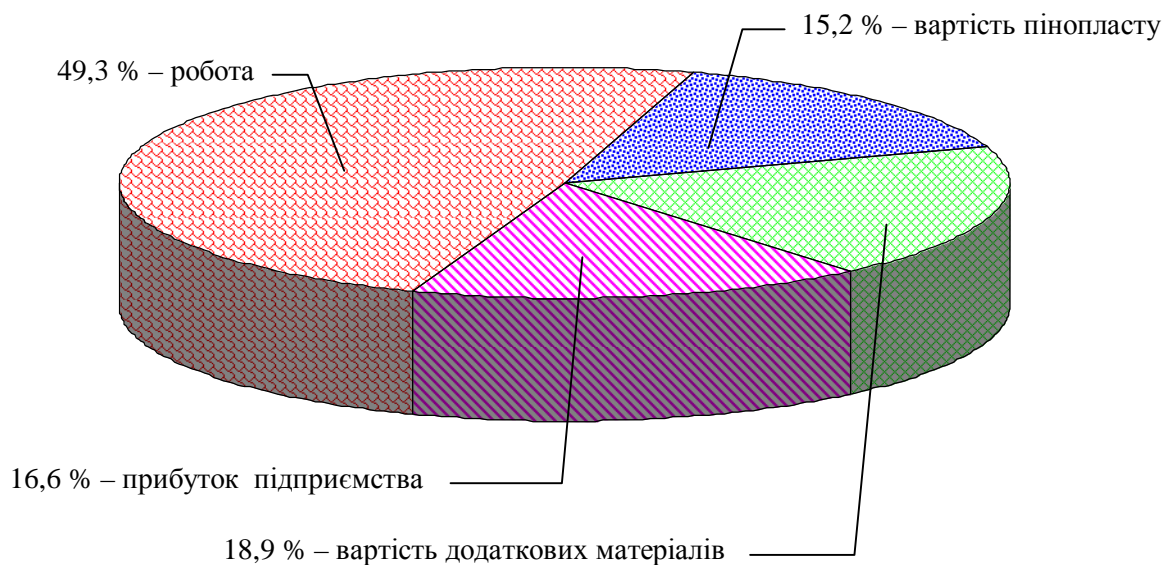


Рис. 1. Розподіл вартості окремих складових утеплення фасаду будинку пінопластом

Одним з найефективніших заходів, з погляду теплотехніки, спрямованих на зниження витрати теплоти на потреби опалення житлових будинків, є утеплення їхніх зовнішніх стін, однак це потребує значних капіталовкладень. Крім цього, у статті здійснено спробу визначити та проаналізувати зміну оптимального термічного опору за умови зміни вартості теплової енергії та утеплення на перспективу.

Для цього слід визначити кількість теплової енергії, яка заощаджується протягом опалювального періоду при різних товщина шару теплової ізоляції та пов'язану з цим економію коштів. Економія коштів визначається для двох груп споживачів: для населення та споживачів, що фінансуються з бюджету будь-якого рівня. Для розрахунку приймемо тарифи по ЛМКП “Львівтеплоенерго” [3; 4; 15]. Для кожного з розглянутих варіантів визначено також термін окупності термореноваційного заходу, який визначаємо як відношення затрат, пов'язаних з реалізацією термореноваційного заходу, до річної економії коштів, отриманої завдяки цьому термореноваційному заході. Для загальнобудівельних робіт нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень (величина, обернена до терміну окупності) становить 0,12, що відповідає терміну окупності 8,3 роки.

Розв'язок поставленої задачі містить два етапи.

Перший етап: вибір оптимального матеріалу ізоляції.

Для цього розглянемо конструкцію стіни будинку, яку додатково ізолюють одним із теплоізоляційних волокнистих чи полімерних матеріалів. Використання того чи іншого теплоізоляційного матеріалу слід розглядати за умови забезпечення ним рівноцінних теплотехнічних умов, тобто однакового термічного опору R_i : $R_i = d_i / \lambda_i = const$. Відповідно при цьому буде різна товщина δ_i , об'єм V_i та вартість K_i вибраних матеріалів (табл.1), які розраховують на підставі даних [1] при поверхні стіни 1 м^2 .

Таблиця 1

Значення розрахункових теплофізичних характеристик

| Назва матеріалу | Теплопровідність λ_i , Вт/МК | Товщина ізоляції δ_i , м | Капітало-вкладення K_i , грн/м ² |
|---|--------------------------------------|---------------------------------|---|
| Плити з мінеральної вати на синтетичному зв'язуючому гофрованої структури | 0,079 | 0,079 | 23,7 |
| Плити мінераловатні гофрованої структури | 0,055 | 0,055 | 16,5 |
| Мати прошивні із мінеральної вати теплоізоляційні | 0,064 | 0,064 | 19,2 |
| Мати зі скляного штапельного волокна, одержуваного вертикальним роздувом | 0,064 | 0,064 | 19,2 |
| Плити пінополістирольні | 0,050 | 0,050 | 15,0 |

Отже, враховуючи вартість і розрахункові теплотехнічні умови, для стіни будинку слід рекомендувати для встановлення оптимальний теплоізоляційний матеріал із декількох розглянутих (за даними табл.1 – це пінополістирольні плити).

Це є результатом першого етапу розв'язання.

Другий етап: обґрунтування економічно доцільної товщини теплоізоляційного матеріалу.

Задача полягає в наступному: задано зовнішню стіну з термічним опором, що дорівнює нормативному R_H , який забезпечується шаром I з теплопровідністю λ_I (рис. 2). Задану стіну необхідно додатково ізолювати шаром теплоізоляційного матеріалу з теплопровідністю λ_{i3} економічно доцільної товщини δ_0 , марку якого визначено в результаті першого етапу розв'язання.

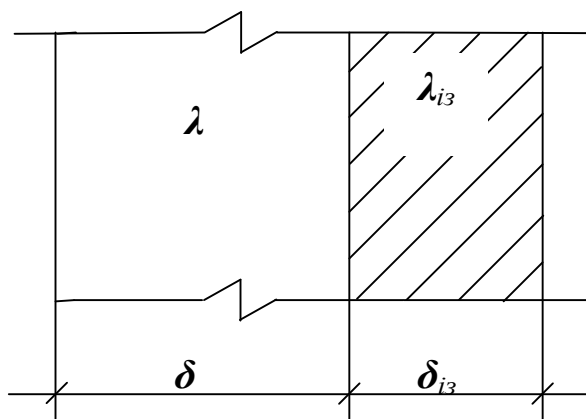


Рис. 2. Стіна з теплоізоляцією

Величина питомих тепловтрат до утеплення q_0 , [Вт/м²] :

$$q_0 = \frac{t_6 - t_3}{R_0}, \tag{1}$$

та, відповідно, після утеплення q , [Вт/м²] :

$$q = \frac{t_6 - t_3}{R_H + \frac{d_{i3}}{\lambda_{i3}}}. \tag{2}$$

Заощадження теплоти $Dq = q_o - q$:

$$Dq = (t_6 - t_3) \frac{d_{i3}}{R_n^2 I_{i3} + R_o d_{i3}}. \quad (3)$$

Річне заощадження питомої теплоти за опалювальний період Dq_{on} :

$$Dq_{on} = Dq \frac{t_6 - t_{on}}{t_6 - t_3}, \quad (4)$$

$$Dq_{on} = (t_6 - t_{on}) \frac{d_{i3}}{R_n^2 I + R_n d_{i3}} \times 3,6 \times 24 \times Z_{on} \cdot 10^{-6}, \quad \frac{\text{ГДж}}{\text{м}^2 \cdot \text{рік}}$$

Річна економія коштів внаслідок річного заощадження теплоти $DB_{ек}^{pic} \left[\frac{\text{грн}}{\text{м}^2 \cdot \text{рік}} \right]$:

$$DB_{ек}^{pic} = Dq_{on} \cdot P_{TE}, \quad (5)$$

де P_{TE} – вартість 1 ГДж теплової енергії, [3;4;15].

Інвестиційні затрати на термомодернізацію B_{inv} :

$$B_{inv} = \frac{I}{T_{ок}} \sum_{i=1}^n K_i, \quad (6)$$

де $T_{ок}$ – термін окупності термомодернізаційних заходів [рік]; $\sum_{i=1}^n K_i$ – вартість матеріалів, монтажу (заробітна плата), транспортні витрати та інші фінансові затрати [грн.].

На рис. 3 зображено залежність інвестиційних затрат на проведення термомодернізаційних заходів K (крива 1), експлуатаційних затрат B (крива 2) та річних приведених затрат Π (крива 3) від термічного опору R . Величина приведених затрат має точку мінімуму, якій відповідає оптимальна величина термічного опору R_0 та приведених затрат Π_0 . Рис. 2 демонструє геометричну інтерпретацію знаходження оптимальної точки A_{onm} .

Величини R_0 та Π_0 визначаються аналітично після диференціювання виразу для приведених затрат та порівнювання його до нуля.

Для отримання результату другого етапу розв'язання необхідно дослідити функцію приведених затрат на наявність точки мінімуму

$$\Pi = C_1 R + C_2 / R \quad (7)$$

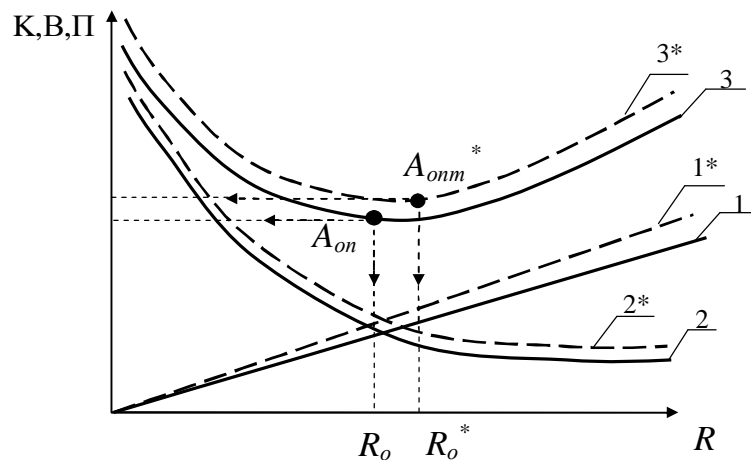


Рис.3. Залежність різних фінансових затрат B від товщини ізоляції d_{i3} :

1 – капітальні вкладення, K ; 2 – експлуатаційні затрати, B ; 3 – приведені затрати, Π ; 1*, 2* та 3* – відповідні параметри за умови зміни вартості теплової енергії та утеплення на перспективу

При цьому функції $y_1 = C_1 R$ та $y_2 = C_2/R$ є відповідно річними капіталовкладеннями (вартість матеріалів та робіт з теплоізоляції) та експлуатаційними затратами (вартість теплової енергії для підтримання в приміщенні заданої температури t_6 , °C), а величини C_1 , C_2 отримують після апроксимації графіків на рис.3. Після диференціювання виразу (7) отримуємо економічно доцільний термічний опір R_0 :

$$R_0 = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} \quad (8)$$

Оскільки економічні характеристики K^* , B^* , Π^* залежать від термічного опору R ($\text{м}^2\text{К/Вт}$) та від часу t (роки), то ці величини є двофакторними функціями: $K^* = f_1(R; t)$; $B^* = f_2(R; t)$; $\Pi^* = f_3(R; t)$. Доцільно прийняти спрощення щодо лінійної залежності вартісних показників на перспективу, тобто $C_1^* = C_1(1 + \alpha t)$; $C_2^* = C_2(1 + \beta t)$, де α і β відповідно здорожчання теплової енергії та утеплення. Графіки (рис. 2) апроксимуються такими залежностями: $K^* E_n = C_1^* \cdot R$; $B^* = \frac{C_2^*}{R}$; $\Pi^* = C_1^* \cdot R + \frac{C_2^*}{R}$. Після диференціювання цих виразів з урахуванням C_1^* та C_2^* за

умови $\Pi' = 0$ та $\Pi'' = 0$ отримуємо: $R_0 = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$; $R_0^* = \sqrt{\frac{C_1^*}{C_2^*}}$. Співвідношення $\frac{R_0^*}{R_0}$ має вигляд:

$$\frac{R_0^*}{R_0} = \sqrt{\frac{1 + \alpha t}{1 + \beta t}} \quad (9)$$

Згідно з довідковими даними [3;4;15] усередненні показники за період 1999–2015 рр. $\alpha = 0,10 - 0,20$ та $\beta = 0,03 - 0,07$. Викликають інтерес відомості про співвідношення оптимальних термічних опорів за умови зміни вартості теплової енергії та утеплення на перспективу, а саме $\frac{R_0^*}{R_0}$.

На підставі (9) доцільно розглянути числовий приклад при середніх значеннях величин $\alpha = 0,15$ та $\beta = 0,05$, який ілюструємо даними табл. 2. Величина R^*/R_0 – це співвідношення термічних опорів відповідно взятого на перспективу за t років та існуючого.

Таблиця 2

**Динамічність оптимального термічного опору стіни
за умови зміни вартості теплової енергії та утеплення на перспективу**

| Час t, роки | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| R^*/R_0 | 1,045 | 1,087 | 1,125 | 1,155 | 1,181 |
| Час t, роки | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| R^*/R_0 | 1,211 | 1,231 | 1,255 | 1,271 | 1,292 |
| Час t, роки | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| R^*/R_0 | 1,310 | 1,325 | 1,337 | 1,350 | 1,362 |

Висновки. На підставі результатів розв'язання поставленої оптимізаційної задачі констатуємо:

- оптимальним теплоізоляційним матеріалом із 5 розглянутих при заданих вихідних даних є пінополістирол;
- на 15-річну перспективу оптимальний термічний опір зростає майже у 1,4 разу;
- існує об'єктивна необхідність періодичного перегляду величини R_{opt} , оскільки вона має властивість динамічності, та її законодавчого затвердження.

1. ДБН В.2.6-31:2006 *Теплова ізоляція будівель*. Київ, Міністерство будівництва архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 71 с. 2. СНиП 2.04.05-91*У *Отопление, вентиляция и кондиционирование*. – К.: ЗНИИЭП, 1996. – 64 с. 3. *Скориговані тарифи на гаряче*

водопостачання та теплову енергію на опалення. Рішення виконавчого комітету Львівської міської ради № 107 від 13.02.2009. Додаток 2. 4. Скориговані тарифи на гаряче водопостачання та теплову енергію на опалення для населення. Рішення виконавчого комітету Львівської міської ради № 1433 від 29.12.2008. Додаток 1. 5. СНиП II-Л. 1-71 Жилые здания. – М., 1971. – 56 с. 6. Скоропуд В. Л. та ін. Енергооблік – комплексний підхід до обліку енергоресурсів // Ринок інсталяцій, 2002. – № 10. – С. 34–35. 7. Терех М. В. Облік тепла, проблеми і рішення // Ринок інсталяцій, 2001. – № 12. – С. 30–31. 8. Кінаш А. Досвід впровадження енергоощадних технологій // Ринок інсталяцій. – 2002. – № 9. – С. 32–33. 9. Тімме К., Люкінг Г., Меессен Г., Чопин Я. Теплоенергетичний потенціал у житловому господарстві Львова // Ринок інсталяційний. – 1998. – № 9. – С. 22–24. 10. Юркевич Ю., Желих В., Довбуш О. Тепло щезає через сходові клітки // Ринок інсталяцій. – 2001. – № 12. – С. 22–24. 11. Возняк О., Довбуш О., Юркевич Ю., Желих В. Завдання енергетичного аудита невиробничих об'єктів // Ринок інсталяцій. – 2002. – № 12. – С. 23–24. 12. Возняк О., Довбуш О., Юркевич Ю., Желих В. Особливості енергоаудита житлових і громадських будинків // Будинок “нуль” енергії... тому що Земля і Сонце не виставляють рахунків. – Львів: ЕКОінформ, 2009. – С. 32–35. 13. Возняк О. Т., Юркевич Ю. С., Дейнека О. В. Оптимізація теплоізоляції стін будинків. У зб. MOTROL “Motorization and Power industry in agriculture”, vol. 12 С, Сімферополь – Люблін, 2010. – С. 215–222. 14. Возняк О. Т., Юркевич Ю. С., Желих В. М. Аналіз економічних ефектів при термомодернізації будівель // Наук.-техн. збірник “Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання”. КНУБА, 2010. – Вип. 14. – С. 79–89. 15. Постанова національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 1171 від 31.03.2015 р.