

УДК 620.98

ВПЛИВ ГЛИБИНИ РОЗРАХУНКУ НА СУКУПНІ ІНТЕГРОВАНІ ВИТРАТИ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ БУДІВЛІ ТА ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОТИ

В.І. Дешко, д-р техн. наук, професор;

Н.А. Буяк, аспірант

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ»

Запропоновано вибирати оптимальні параметри для будівлі на основі методу руху грошових коштів, що враховує дисконтування та зміну вартості в часі енергоносіїв та зміну вартості теплогенерувальної установки при зміні теплового захисту. Представлено залежність оптимального термічного опору та інтегральних витрат від обраної глибини розрахунку для різних джерел теплоти. Проведено розрахунок для теплостачання від ТПУ з електричним нагрівачем, газового та електричного котла, централізованого теплостачання, кабельного електроопалення.

Ключові слова: *термічний опір, ставка дисконтування, тепла помпа, інтегральні витрати.*

Предложено выбирать оптимальные параметры для здания на основе метода движения денежных средств, который учитывает дисконтирование и изменение стоимости во времени энергоносителей и изменение капиталовложений в теплоснабжающее устройство при изменении тепловой защиты. Представлена зависимость оптимального термического сопротивления и интегральных расходов от избранной глубины расчета для разных источников теплоты. Приведен расчет для теплоснабжения от теплового насоса с электрическим нагревателем, газового и электрического котла, централизованного теплоснабжения, кабельного электроотопления.

Ключевые слова: *термическое сопротивление, ставка дисконтирования, тепловой насос, интегральные расходы.*

ВСТУП

Сьогодні архітектура і будівництво увійшли в новий час свого розвитку, в якому необхідність забезпечення комфортних умов обмежується вимогами енергозбереження. Питання теплової ефективності будівель обумовлюється вибором джерела теплоти або їх комбінації та теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій. На даний час існують окремі роботи присвячені вибору оптимальних параметрів огорожувальних конструкцій [1-5] та вибору джерела теплоти [2, 6]. Вибір оптимального теплового захисту будівлі є складним питанням, при якому необхідно, крім його вартості та опору теплопередачі, враховувати також дисконтування, ціни на різні енергоресурси, які мають тенденцію до стрімкого зростання, енергоефективність та капітальні затрати на джерело теплоти.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Вибір параметрів будівлі необхідно здійснювати комплексно, враховуючи енергетичні та економічні фактори. Однак у роботах [5, 6, 2] при такому комплексному підході не враховані ще і зміна вартості грошей та енергоносіїв в часі, капіталовкладення в обладнання будівлі та їх зміна при варіюванні теплового захисту, що є метою роботи. Глибина, або горизонт, розрахунку при такому комплексному аналізі не є однозначними, оскільки час експлуатації для різних елементів системи є різним. Попри те будівля – це об’єкт, який передбачає значні інвестиції, а метою інвесторів є відносно незначний термін окупності, хоча для теплової ізоляції слід розглядати більші проміжки часу. Тому метою даної роботи є відобразити залежність витрат та економічного доцільного теплового захисту від обраної глибини розрахунку.

МОДЕЛЬ ДЛЯ ВИБОРУ ПАРАМЕТРІВ БУДІВЛІ

Для комплексного вибору параметрів будівлі доцільно застосовувати метод руху грошових коштів, оскільки це сучасний економічний метод, який враховує фактор часу:

$$B = \left(\sum_{t=0}^n \frac{B_t^{обслз}}{(1+E)^t} + \sum_{t=0}^n \frac{B_t^{енерг} (1+k)^t}{(1+E)^t} \right) + I_0 + I_{із}, \quad (1)$$

де B – інтегровані дисконтовані витрати на систему, грн; $B_t^{енерг}$ – річні затрати за спожиті енергоносії, грн; $B_t^{обслз}$ – інші затрати, грн; $I_{із}$ – витрати на покращання захисних властивостей огорожувальних конструкцій, грн; n – обраний горизонт розрахунку, тобто термін, на який проводиться розрахунок, роки; I_0 – капітальні затрати на придбання теплогенеруючого обладнання (детальний розрахунок яких залежно від захисних властивостей огорожувальних конструкцій для котельні наведено в [7]), грн; k – коефіцієнт, що визначає тенденції зміни цін на енергоносії; E – ставка дисконтування.

Річні витрати за спожиті енергоносії можна визначити так:

$$B_t^{енерг} = \frac{Q_{рік} \cdot C}{\varepsilon}, \quad (2)$$

де $Q_{рік}$ – витрати тепла за рік будівлею, $кВт \cdot год$ [8]; C – вартість енергоносія, що споживається генератором теплоти, $\frac{грн}{кВт \cdot год}$; ε – коефіцієнт, що враховує ефективність системи тепlopостачання [9,10].

Капітальні затрати на придбання теплогенеруючого обладнання визначаємо як

$$I_0 = i_0 \cdot P, \quad (3)$$

де P – необхідна встановлена потужність джерела теплоти, $кВт$;

i_0 – вартість одиниці встановленої потужності джерела теплоти, $\frac{грн}{кВт}$.

Покращити захисні властивості зовнішніх стін, покриттів і перекриттів можна шляхом використання додаткового ізоляційного шару з термічним опором $R_{із}$. Проте для покращання таких властивостей для дверей та вікон необхідна їх заміна. Вважатимемо, що витрати на встановлення та купівлю ізоляційних матеріалів, вікон і дверей мають лінійну залежність від термічного опору:

$$I_{is} = \sum_i (A_i + B_i) \cdot F_i \cdot \lambda \cdot R_{is} + \sum_j (A_j + B_j \cdot F_j) \cdot R_j, \quad (4)$$

де A_i , A_j – коефіцієнти, що визначають вартість встановлення ізоляції, вікон чи дверей, $\frac{грн}{м^3}$, $\frac{грн \cdot Вт}{м^2 \cdot К}$; B_i – коефіцієнт, що враховує вартість ізоляційного матеріалу, $\frac{грн}{м^3}$; B_j – коефіцієнт, що враховує вартість дверей чи вікон, зведену до їх опору теплопередачі, $\frac{грн \cdot Вт}{м^4 \cdot К}$; λ – теплопровідність ізоляційного матеріалу, $\frac{Вт}{м \cdot К}$.

Така функція дозволяє врахувати зміну вартості енергоносіїв у часі за допомогою коефіцієнта k , дисконтування за допомогою ставки дисконтування E , зміну капітальних затрат на джерело тепла при зростанні теплового захисту – формула (3), енергоефективність джерела тепла – коефіцієнт ε , крім того, враховувалася зміна термодинамічної ефективності теплових pomp при зростанні теплового захисту [10].

ВИБІР ЕКОНОМІЧНО ДОЦІЛЬНОГО ТЕРМІЧНОГО ОПОРУ ІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЗОВНІШНЬОЇ СТІНИ

Вибір економічно доцільного термічного опору ізоляційного матеріалу для зовнішньої стіни на основі вищезазначеної методики проведено на моделі для конкретної кімнати в м. Києві, побудованої у 1981 р., розміри якої – 4×4 м², характеристики внесені в таблицю 1. Термін розрахунку братимемо 5 років, оскільки такий термін є найпривабливішим для інвесторів.

На сучасному ринку представлено велике різноманіття ізоляційних матеріалів, для розрахунку оберемо термоударний пінополістирол, економічні та теплофізичні характеристики якого занесені у таблицю 2. Даний матеріал обрано, оскільки попередній розрахунок показав найменші інтегровані витрати при його використанні.

Таблиця 1 - Характеристика огорожувальних конструкцій приміщення

Конструкція стіни	Матеріал	δ , м	λ , $\frac{Вт}{м \cdot К}$
Зовнішня стіна	Силікатна цегла	0,52	0,829
Вікно	Подвійне застління в дерев'яних роздільних рамах	Термічний опір $R = 0,39 \frac{м^2 \cdot К}{Вт}$; площа 1,5×2	
Стеля	Залізобетонне перекриття	0,22	0,507

На основі формул (1–4) проводимо розрахунок оптимальних термічних опорів ізоляції для моделі дослідження, враховуючи те, що теплопостачання може здійснюватися від автономної котельні, електрокотла, кабельного опалення, теплової помпової установки (ТПУ), централізованого теплопостачання. Дані з вартості одиниці встановленої потужності для різних джерел теплоти наведені в таблиці 3.

Таблиця 2 - Характеристики термоударного пінополістиролу

Теплопровідність $\lambda, \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$	Густина $\frac{кг}{м^3}$	Вартість встановлення $A_1, \frac{грн}{м^3}$	Вартість одиниці об'єму $B_1, \frac{грн}{м^3}$
0,05	35	52	520

Таблиця 3 - Вартість одиниці встановленої потужності

Джерело теплоти	$i_0, \frac{грн}{кВт}$
Газовий котел	500
Електричний котел	300
Теплова помпа	2800
Кабельне електроопалення	1100
Централізоване тепlopостачання	-

Розрахунок інтегрованих дисконтованих витрат для ТПУ є свої особливості. Оскільки ТПУ недоцільно вибирати для розрахункової температури на опалення, то потужність теплової помпи обирається для температури зовнішнього повітря $-10^\circ C$. Щоб покрити теплове навантаження, додатково використовується електричний нагрівач. Інтегровані витрати визначаються за формулами (1 – 4), однак капітальні витрати та енергоефективність системи тепlopостачання розраховуються так:

$$I_0 = i_{01} \cdot P_1 + i_{02} \cdot P_2, \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 \cdot D_{d1} + \varepsilon_{cm} \cdot D_{d2}}{D_{d1} + D_{d2}}, \quad (6)$$

де i_{01} , i_{02} – вартість одиниці встановленої потужності ТПУ та електричного нагрівача відповідно, $\frac{грн}{кВт}$;

P_1 , P_2 – встановлена потужність ТПУ та електричного нагрівача відповідно, $кВт$.

Зауважимо, що P_1 визначається для розрахункової температури $-10^\circ C$, P_2 як додаткова до P_1 для розрахункової температури на опалення [11];

ε_1 , ε_{cm} – коефіцієнт, що враховує ефективність системи тепlopостачання із ТПУ та при сумісній роботі ТПУ та електричного нагрівача відповідно;

ε_{cm} розраховується на основі співвідношення енергоефективностей ТПУ та електронагрівача і тривалості стояння та значень температур, що вище $-10^\circ C$ [12].

D_{d1} , D_{d2} – значення градусо-днів, при яких працює тільки ТПУ та вмикається нагрівач відповідно [12].

Оскільки для всіх інших джерел теплоти розрахунок проводився при середній температурі за опалювальний період, то і для ТПУ вважатимемо, що енергоефективність не змінюється при зміні зовнішньої температури, а тільки при комбінуванні з електричним нагрівачем.

Провівши дослідження оптимізації функції (1) за R_{iz} , можна зробити висновки, що термічний опір теплоізоляції залежить від вартості опалювального обладнання та його енергоефективності, вартості енергоносіїв та тенденції її зміни в часі, від вартості та теплопровідності ізоляційного матеріалу, від площі огорожувальної конструкції, а також від характеристики погодних умов для моделі дослідження за опалювальний період.

На рис. 1 наведено залежність економічно доцільного термічного опору ізоляційного матеріалу зовнішньої стіни від обраної глибини розрахунку при використанні матеріалу типу термоударний пінополістирол. Оцінка залежності від життєвого циклу є досить актуальною, оскільки тривалість експлуатації різних компонентів системи є різною. Зрозуміло, що термін експлуатації ізоляції більший ніж 5 років, однак проводиться комплексна оптимізація, враховуючи джерело теплоти на основі інтегрованих витрат, тому доцільно простежити за їх зміною, починаючи з початку життєвого циклу.

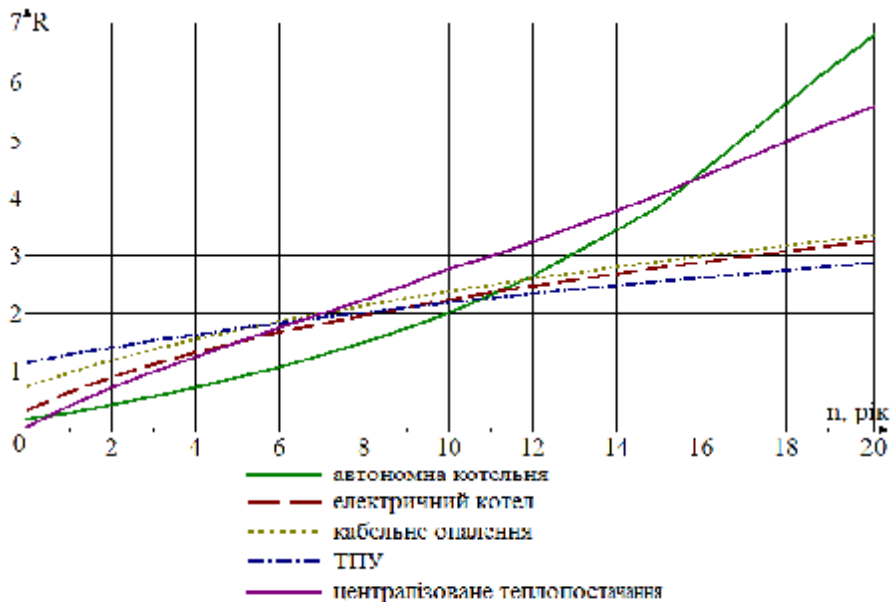


Рисунок 1 - Залежність економічно доцільного термічного опору ізоляційного матеріалу зовнішньої стіни від обраного горизонту розрахунку

Очевидно, якщо проект розраховувати на 5 років (даний термін є найпривабливішим для інвесторів), то найбільший термічний опір необхідний для будівлі з ТПУ, далі кабельне електроопалення, електричний котел, централізоване тепlopостачання та автономна газова котельня. Щодо витрат (рис. 2), то для терміну 5 років при оптимальному термічному опорі найбільші витрати характерні для кабельного, потім централізованого, електроопалення, далі ТПУ та автономного опалення.

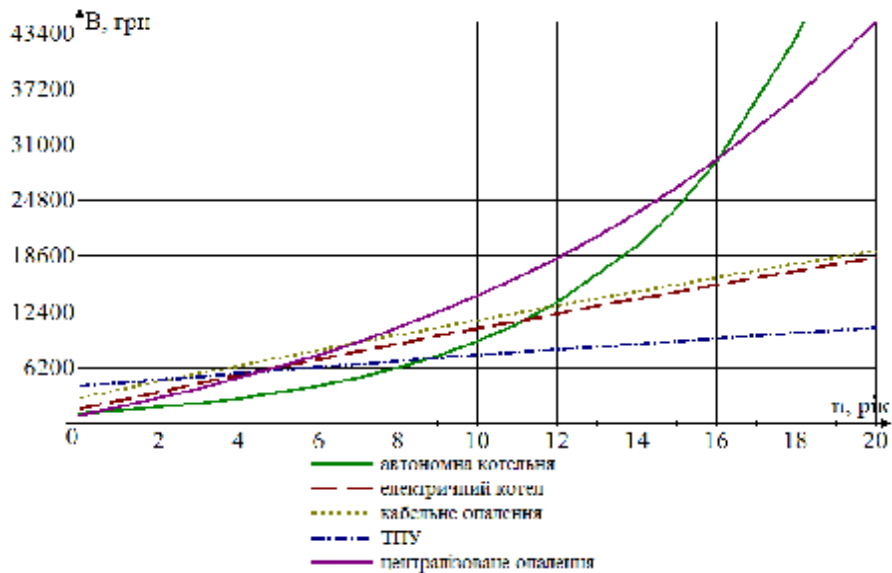


Рисунок 2 - Значення витрат залежно від терміну розрахунку при економічно доцільному значенні термічного опору

Отже, для терміну 5 років найменший термічний опір та витрати характерні для будівлі з автономним газовим котлом. Коли життєвий цикл проекту становить 10 років, тоді тенденції змінюються, і найвище значення термічного опору характерне для централізованого теплопостачання, потім кабельного опалення, ТПУ та електричного котла і автономної котельні. Інтегровані витрати в такому випадку зростають так: ТПУ, автономне, електричне, кабельне та централізоване опалення. Для терміну 10 років найменші витрати характерні для ТПУ, хоча економічно доцільний термічний опір необхідний дещо вищий, ніж для автономної котельні. Така зміна обумовлена урахуванням зростання цін на енергоносії, різною енергоефективністю джерел тепла та капітальними витратами, необхідними для їх придбання.

ВИСНОВКИ

У даній роботі запропонована методика вибору оптимальних параметрів будівлі, враховуючи зміну вартості в часі енергоносіїв, дисконтування, зміну потужності генератора теплоти при зміні теплового захисту. Проведено розрахунок для ТПУ з електричним нагрівачем, газового та електричного котла, кабельного електроопалення, централізованого теплопостачання.

Аналіз зміни оптимального термічного опору та інтегрованих витрат становить такі тенденції. Якщо проект розраховувати на 5 років, то найбільший термічний опір необхідний для будівлі з ТПУ, далі кабельне електроопалення, електричний котел, централізоване теплопостачання та автономна газова котельня. Щодо витрат, то для терміну 5 років при оптимальному термічному опорі найбільші витрати характерні для кабельного потім централізованого, електроопалення, далі ТПУ та автономного опалення. Отже, для терміну 5 років найменший термічний опір та витрати характерні для будівлі з автономним газовим котлом. Коли життєвий цикл проекту становить 10 років, тоді найвище значення термічного опору характерне для централізованого теплопостачання, потім – кабельного опалення, ТПУ та електричного котла і автономної котельні. Інтегровані витрати в такому випадку зростають наступним

чином: ТПУ, автономне, електричне, кабельне та централізоване опалення.

При розвитку даної методики необхідно враховувати можливість зонного обліку енергоносіїв, регульовану зміну температури в приміщенні, а також проводити оптимізацію роботи системи на основі економічного критерію при використанні кількох джерел теплоти.

SUMMARY

INFLUENCE OF CALCULATION DEPTH ON INTEGRATED CHARGES OF THERMAL ISOLATION OF BUILDING AND HEATING SOURCE

V.I. Deshko, N.A. Buyak

It is suggested to choose optimum parameters for building on the basis of cash flow method, which takes into account discounting and time-history of energy resources and depending the cost of heating setting from thermal protection of building envelope. Dependence of optimum thermal resistance and integral charges is presented on the select depth of calculation for the different sources of warmth. A calculation for the heating system with heating pump and electric heater is resulted.

Key words: *thermal resistance, rate of discounting, thermal pump, integral charges.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мхитарян Н.М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. – К.: Наукова думка, 2000. – 420 с.
2. Гершкович В.Ф. Энергосберегающие системы жилых зданий: пособие по проектированию // СОК. – 2006. – №7. – С. 54–62.
3. Бегдай С.Н., Амерханов Р.А. Методы оптимизации энергосберегающих мероприятий для зданий // Энергосберегающие технологии, оборудование и источники электропитания для АПК: Сб. науч. тр. – Краснодар: КубГАУ, 2005. – С. 141–147.
4. Бродач М.М., Шилкин Н.В. Оптимизация тепловой эффективности зданий // Сборник докладов Восьмой научно-практической конференции (академические чтения) «Стены и фасады. Актуальные проблемы теплофизики». – М.: НИИСФ, 2003. – С. 191 – 196.
5. Семенов Б.А. Выбор установленной мощности автономных теплоисточников на основе системной оптимизации теплотребления здания / Семенов Б.А., Щербаков В.В., Гордеев А.Г. // Актуальные вопросы промышленной теплотехники и энергосбережения. Межвуз. науч. сб. - Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2004. – С. 212 – 223.
6. Качан Ю.Г. Об оценке экономической эффективности комбинированной системы отопления/ Качан Ю.Г., Баташова Н.А. // Энергетика: економіка, технології, екологія. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2007. - №1. – С. 92 – 97.
7. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справ. пособие / Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В. П. Титов и др.; под. ред Л. Д. Богуславского и В.И. Ливчака. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
8. ДБН В.2.6-31: 2006. Теплова ізоляція будівель.
9. Дешко В.І. Ексергетичні показники ефективності опалення будівель / В.І. Дешко, Н.А. Ліпяніна // Наукова конференція. Тези доповідей. – Тернопіль: ТДТУ, 14–15 травня 2008. – С. 188.
10. Вітвіцький О.Р., Ямко М.П. Довідник енергоменеджера: методичний посібник. – Тернопіль: ТДТУ ім. І. Пулюя, 2005. – 72 с.
11. СНИП 2.01.01-82. Строительная климатология и геофизика.
12. Вплив температурно-погодних факторів на показники проектів з енергозбереження / Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М., Шналь Ю.М., Остапенко І.А., Хоренженко Ю.В. // Энергетика та електрифікація. – 2007. - № 3. – С. 62-68.

Надійшла до редакції 25 червня 2009 р.