

КЛІМАТОЛОГІЧНО-ОПТИМАЛЬНИЙ ПРИНЦИП ОБГРУНТУВАННЯ ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ БУДИНКІВ

*Національний університет водного господарства та
 природокористування, м. Рівне, Україна*

Перехід від усталеної практики розгляду системи теплоенергозабезпечення житлово-комунального сектору не суто як технічних, а як складних природно-техногенних комплексів, з відповідною зміною усієї методології, технічної та технологічної стратегії їхнього функціонування, потребує, у першу чергу, безпосереднього врахування мінливих у часі та невизначених за своїм характером погодно-кліматичних умов [1].

У літературі [2] пропонується декілька підходів, на основі яких можна вибирати оптимальні рішення з урахуванням стохастичної зміни метеорологічних режимів. Розглянемо так званий байесівський підхід.

При описанні множин погодно-кліматичних умов $\Omega_D = \{D\}$ як і при описанні дій зі сторони системи теплозабезпечення будівель $\Omega_R = \{R\}$ може бути два випадки. Перший характеризується тим, що множини Ω_D та Ω_R дискретні і включають в себе кінцеву кількість елементів D_1, D_2, \dots, D_m та R_1, R_2, \dots, R_m , що відповідають різним погодним умовам та режимам роботи систем теплозабезпечення. Другий випадок означає, що множини Ω_D та Ω_R неперервні.

Маючи дані про характер множин Ω_D та Ω_R , можна побудувати функцію

$$u = u(D, R) \quad (1)$$

яка показує, який буде ефект при прийнятті деякого рішення $R \in \Omega_R$ і здійсненні погодних умов $D \in \Omega_D$. Ця функція може розглядатися як функція доходу, якщо мова іде про позитивний ефект, функція витрат, якщо описуються витрати тощо.

Якщо функція (1) дискретна, то для виконання подальших розрахунків її зручно представляти у вигляді прямокутної матриці [2]. Неперервну функцію можна задати або аналітично, або у вигляді графіка. Конкретний вигляд функції (1) визначається специфікою задачі, що розглядається і потребує окремого вивчення та аналізу.

Отже, для випадку довгострокових рішень при управлінні системами теплозабезпечення будівель, можна оптимально використати кліматологічну інформацію (прийняти кліматологічно оптимальну стратегію) наступним чином.

Якщо через s_{KL_j} позначити кліматологічну стратегію управління, смисл якої полягає у прийнятті одного і того ж рішення R_j , то згідно байесівського підходу осереднене значення функції (1) при вибраній стратегії s_{KL_j} буде визначатися за формулою

$$U_{KL_j} = \sum_{i=1}^m u(D_i, R_j) P(D_i), \quad (2)$$

де $P(D_i)$ - природна повторюваність відповідного метеофактора або комплексного показника, що характеризує погодно-кліматичні умови у багаторічному перерізі.

Процедура пошуку кліматологічно оптимальної стратегії заключається в розрахунку величин U_{KL_j} для всіх $j = \overline{1, n}$ та знаходження серед них екстремуму. Та стратегія, що відповідає екстремальному значенню U_{KL_j} і буде, згідно байесівського підходу, кліматологічно оптимальною.

Для неперервних моделей задача пошуку кліматологічно оптимальної байесівської стратегії полягає в знаходженні такого постійного рішення, що не залежить від конкретного стану погоди, при якому середнє в статистичному смислі значення функції

$$U = \int_{\langle x \rangle} u(x, R) f(x) dx \quad (3)$$

досягає екстремального значення. В цій формулі через $f(x)$ позначений закон розподілу метеофактора (або комплексу метеофакторів), що характеризує особливості клімату.

Ефективним шляхом зменшення витрат палива, в тому числі і природного газу, на опалення, і, відповідно, зниження негативного антропогенного тиску на навколишнє середовище є посилення теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель.

Згідно [3] задача обґрунтування вибору раціонального теплозахисту огорожувальних конструкцій потребує одночасного врахування вимог і умов:

- раціональний теплозахист повинен бути оптимальним і забезпечувати досягнення по можливості більшого значення чистого дисконтованого доходу;
- теплозахист повинен бути економічно доцільним, тобто забезпечувати ефективність інвестицій, що у свою чергу вимагає відповідності трьом умовам: позитивне значення чистого дисконтованого доходу, не перевищення встановленого інвестором терміну окупності інвестицій або терміну окупності банківського вкладу, а також перевищення внутрішньої норми доходності проекту над необхідною доходністю капітальних вкладень, встановленою інвестором;
- рівень теплозахисту повинен бути не нижчий за значення, встановлених будівельними нормами по умовам енергозбереження;
- із всіх варіантів теплозахисту, які однаково задовольняють вимогам економічного і нормативного характеру, необхідно вибрати той варіант, у

якому опір теплопередачі має найбільше значення, що, у свою чергу, дозволить отримати максимальний екологічний ефект.

Одним із основних економічних критеріїв на сьогоднішній день є чистий дисконтований дохід [4], який практично визначає значення всіх інших показників економічної ефективності проекту.

Нехай огорожувальна конструкція має форму плоскої нескінченної стінки і складається з декількох однорідних матеріальних шарів. Один із цих шарів – теплоізоляційний, а всі інші – конструктивні. Причому параметри конструктивних шарів відомі, зокрема опір теплопередачі цих шарів - $R_{\Sigma_0}, \frac{m^2 \cdot град}{Вт}$. Необхідно, використовуючи прийнятий критерій економічної доцільності, визначити оптимальний опір теплопередачі даної огорожувальної конструкції при влаштуванні теплоізоляційного шару.

Улаштування теплоізоляційного опору потребує додаткових капітальних вкладень. За рахунок збільшення термічного опору огорожувальної конструкції знижуються тепловтрати через неї, що, у свою чергу, зменшує експлуатаційні витрати на обігрів будинку а також капітальні затрати завдяки зниження теплової потужності системи опалення будинку.

Тоді чистий дисконтований дохід за рахунок економії експлуатаційних та капітальних витрат при влаштуванні теплоізоляційного шару в огорожувальній конструкції будинку можна визначити як [3, 4]

$$ЧДД = ДД_{T_{ca}} + \Delta K_{c.o.} - \Delta K_{m.}, \quad (4)$$

де $ДД_{T_{ca}}$ - повний дисконтований дохід за рахунок економії поточних витрат на протязі експлуатації даного енергозберігаючого міроприємства, грн ;

$\Delta K_{c.o.}$ - скорочення капітальних вкладень в систему опалення, грн ;

$\Delta K_{m.}$ - додаткові капітальні вкладення у теплоізоляційний шар, грн .

У свою чергу, повний дисконтований дохід $ДД_{T_{ca}}$ за весь термін T_{ca} експлуатації даного енергозберігаючого міроприємства розраховується за формулою [3]

$$ДД_{T_{ca}} = \sum_{t=0}^{T_{ca}} \frac{\Delta D_t}{(1+r)^t}, \quad (5)$$

де r - норма дисконту, $1/рік$;

ΔD_t - проміжний дохід в t -му році, грн/рік ;

Величину доходів в t -му році ΔD_t в даному випадку можна визначити як

$$\Delta D_t = c_{e_t} \cdot \Delta Q_{pik_t} = \frac{c_{z_t}}{Q_n^p \cdot \eta_{c.o.}} \cdot T_{on_t} \cdot (t_{\theta} - t_{o.n_t}^{cp}) \cdot F \cdot \left(\frac{1}{R_{\Sigma_0}} - \frac{1}{R_{\Sigma}} \right) \cdot n, \quad (6)$$

де c_{e_t} - вартість теплової енергії в t -му році, яка, як буде показано нижче, може суттєво змінюватися, грн/ГДж ;

ΔQ_{pik_t} - скорочення тепловтрат через огорожувальну конструкцію в t -му році за рахунок улаштування теплової ізоляції, ГДж/рік ;

c_{z_t} - вартість палива в t -му році, грн/кг(m^3);

Q_n^p - нижча теплота згорання палива, $ГДж/кг(м^3)$;

$\eta_{c.o.}$ - ККД системи опалення;

T_{on_t} - тривалість опалювального періоду в t -му році, доби;

t_e - температура повітря всередині будинку, $^{\circ}C$;

$t_{o.n_t}^{cp}$ - середня за опалювальний період температура навколишнього повітря, $^{\circ}C$;

F - площа поверхні огорожувальної конструкції, $м^2$;

R_{Σ_0} , R_{Σ} - відповідно опір теплопередачі огорожувальної конструкції до та після встановлення теплової ізоляції, $\frac{м^2 \cdot град}{Вт}$;

n - коефіцієнт, що залежить від положення огорожувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря [3].

Скорочення капітальних затрат у систему опалення можна визначити як

$$\Delta K_{c.o.} = c_{c.o.} \cdot \Delta q_{розр} = c_{c.o.} \cdot (t_e - t_{p.o.}) \cdot F \cdot \left(\frac{1}{R_{\Sigma_0}} - \frac{1}{R_{\Sigma}} \right) \cdot n, \quad (7)$$

де $c_{c.o.}$ - питомі капітальні вкладення в систему опалення, $грн/Вт$;

$\Delta q_{розр}$ - скорочення розрахункової теплової потужності системи опалення при влаштуванні теплової ізоляції, $Вт$;

$t_{p.o.}$ - розрахункова температура опалення навколишнього повітря, $^{\circ}C$.

Додаткові капітальні вкладення в теплоізоляційний шар представимо у вигляді

$$\Delta K_m = c_m \cdot V_m = c_m \cdot \lambda_m \cdot F \cdot (R_{\Sigma} - R_{\Sigma_0}), \quad (8)$$

c_m - вартість теплоізоляційного матеріалу, $грн/м^3$;

V_m - об'єм теплоізоляційного матеріалу, $м^3$.

Із формули (6) видно, що значення доходів в t -му році ΔD_t залежить від конструктивних та теплофізичних характеристик огорожувальних конструкцій (F , R_{Σ_0} , R_{Σ}), вартості палива ($c_{\xi t}$), а також від погодно-кліматичних умов навколишнього середовища, які визначають тривалість та середню температуру опалювального періоду в t -му році (T_{on_t} , $t_{o.n_t}^{cp}$), а також розрахункову температуру для проектування системи опалення ($t_{p.o.}$). Згідно [5] показник, що визначається за виразом $T_{on_t} \cdot (t_e - t_{o.n_t}^{cp})$, називається кількістю градусо-днів (D).

В існуючих методиках кількість градусо-днів для конкретної території приймається постійною і рівною осередненому в багаторічному перерізі значенню даної величини [5].

Якщо паливом є природний газ, то тут необхідно зазначити, що відповідно до постанови Національної комісії з питань регулювання електроенергетики України № 812 від 13 липня 2010 р., з 1 серпня 2010 року в Україні діють такі тарифи на газ для населення, які диференціюються відповідно до річних обсягів споживання. Так, при споживанні природного газу за рік до $2500 м^3$ вартість $1 м^3$ цього палива становить $0,73 грн/м^3$, при

споживанні від 2500 до 6000 м³ – 1,10 грн/м³, при споживанні від 6000 до 12000 м³ – 2,25 грн/м³, при споживанні природного газу за рік більше 12000 м³ – 2,69 грн/м³.

Перепишемо формулу (6) у вигляді

$$\Delta D_t = (A_{1t} - A_{2t}), \quad (9)$$

де

$$A_{1t} = \begin{cases} \frac{F \cdot n \cdot c_{2_2500}}{Q_n^p \cdot \eta_{c.o.} \cdot R_{\Sigma_0}} \cdot D_t + c_{2_2500} \cdot K, \text{ якщо } \frac{F \cdot n \cdot D_t}{R_{\Sigma_0} \cdot Q_n^p \cdot \eta_{c.o.}} + K \leq 2500 \text{ м}^3; \\ \frac{F \cdot n \cdot c_{2_2500}}{Q_n^p \cdot \eta_{c.o.} \cdot R_{\Sigma_0}} \cdot D_t + c_{2_6000} \cdot K, \text{ якщо } 2500 \text{ м}^3 < \frac{F \cdot n \cdot D_t}{R_{\Sigma_0} \cdot Q_n^p \cdot \eta_{c.o.}} + K \leq 6000 \text{ м}^3; \\ \frac{F \cdot n \cdot c_{2_2500}}{Q_n^p \cdot \eta_{c.o.} \cdot R_{\Sigma_0}} \cdot D_t + c_{2_12000} \cdot K \text{ якщо } 6000 \text{ м}^3 < \frac{F \cdot n \cdot D_t}{R_{\Sigma_0} \cdot Q_n^p \cdot \eta_{c.o.}} + K \leq 12000 \text{ м}^3; \\ \frac{F \cdot n \cdot c_{2_2500}}{Q_n^p \cdot \eta_{c.o.} \cdot R_{\Sigma_0}} \cdot D_t + c_{2_>12000} \cdot K, \text{ якщо } \frac{F \cdot n \cdot D_t}{R_{\Sigma_0} \cdot Q_n^p \cdot \eta_{c.o.}} + K > 12000 \text{ м}^3; \end{cases} \quad (10)$$

$$A_{2t} = \begin{cases} \frac{F \cdot n \cdot c_{2_2500}}{Q_n^p \cdot \eta_{c.o.} \cdot R_{\Sigma}} \cdot D_t + c_{2_2500} \cdot K, \text{ якщо } \frac{F \cdot n \cdot D_t}{R_{\Sigma} \cdot Q_n^p \cdot \eta_{c.o.}} + K \leq 2500 \text{ м}^3; \\ \frac{F \cdot n \cdot c_{2_2500}}{Q_n^p \cdot \eta_{c.o.} \cdot R_{\Sigma}} \cdot D_t + c_{2_6000} \cdot K, \text{ якщо } 2500 \text{ м}^3 < \frac{F \cdot n \cdot D_t}{R_{\Sigma} \cdot Q_n^p \cdot \eta_{c.o.}} + K \leq 6000 \text{ м}^3; \\ \frac{F \cdot n \cdot c_{2_2500}}{Q_n^p \cdot \eta_{c.o.} \cdot R_{\Sigma}} \cdot D_t + c_{2_12000} \cdot K \text{ якщо } 6000 \text{ м}^3 < \frac{F \cdot n \cdot D_t}{R_{\Sigma} \cdot Q_n^p \cdot \eta_{c.o.}} + K \leq 12000 \text{ м}^3; \\ \frac{F \cdot n \cdot c_{2_2500}}{Q_n^p \cdot \eta_{c.o.} \cdot R_{\Sigma}} \cdot D_t + c_{2_>12000} \cdot K, \text{ якщо } \frac{F \cdot n \cdot D_t}{R_{\Sigma} \cdot Q_n^p \cdot \eta_{c.o.}} + K > 12000 \text{ м}^3, \end{cases} \quad (11)$$

де c_{2_2500} , c_{2_6000} , c_{2_12000} , $c_{2_>12000}$ - відповідно тарифи на природний газ при споживанні його за рік до 2500 м³, 2500...6000 м³, 6000...12000 м³, та більше 12000 м³ відповідно;

K - об'єм природного газу, що споживається на такі господарські потреби як приготування їжі, нагрів води для гарячого водопостачання і не залежить від погодно-кліматичного чинника.

Якщо проаналізувати вираз (9), то можна зрозуміти, що можливі щорічні доходи ΔD_t за рахунок улаштування теплової ізоляції огорожувальної конструкції будинку відрізняються один від одного за рахунок зміни кількості градусо-днів D .

Тоді, з урахуванням зміни параметра D на протязі всього терміну експлуатації даного енергозберігаючого міроприємства, прийнявши, що вираз

$$\sum_{t=0}^{T_{ca}} \frac{I}{(1+r_t)^t} = \frac{I}{r} \cdot [1 - (1+r)^{-T_{ca}}],$$

дисконтований дохід буде визначатися за формулою

$$ДД_{T_{ca}} = \frac{I}{r} \cdot [1 - (1+r)^{-T_{ca}}] \cdot \int_{D_{min}}^{D_{max}} \Delta D(D) \cdot f(D) \cdot dD, \quad (12)$$

де $f(D)$ - густина розподілу кількості градусо-днів;

D_{min} , D_{max} - відповідно мінімальне та максимальне значення кількості градусо-днів

Отже бачимо, що, на відміну існуючих підходів з обґрунтування термічного опору огорожувальної конструкції будинків, де кількість градусо-днів для конкретної території приймається постійною і рівною осередненому в багаторічному перерізі значенню даної величини, у запропонованому принципі враховується зміна кількості градусо-днів на протязі років. Це може суттєво вплинути на вибір оптимального або раціонального рішення по вибору термічного опору теплової ізоляції будинків.

Наведені матеріали свідчать про необхідність подальшого уточнення методів з обґрунтування опору теплопередачі при влаштуванні теплової ізоляції будинків, оскільки при обґрунтуванні даного енергозберігаючого міроприємства однією з обов'язкових умов є врахування всього спектру зміни кількості градусо-днів, що відображає реалізацію погодно-кліматичних умов на території розміщення об'єкта. При цьому, підхід з визначення чистого дисконтованого доходу для випадку влаштування теплової ізоляції з урахуванням зміни кількості градусо-днів на протязі років може суттєво вплинути на значення цього економічного показника у порівнянні із підходами, де вказаний параметр приймається постійним. Це, очевидно, може вплинути на остаточне рішення щодо підвищення опору теплопередачі огорожувальної конструкції будинку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Волощук В. А. Наукові принципи розрахунку і оптимізації проектних, технічних і технологічних рішень з управління системами теплопостачання на еколого-економічних засадах / В. А. Волощук, А. М. Рокочинський // Енергетика та електрифікація. – 2007. – № 9. – с. 51 – 56.
2. Жуковский Е. Е. Метеорологическая информация и экономические решения / Е. Е. Жуковский. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 303 с.
3. Дмитриев А. Н., Ковалев И. Н., Табунщиков Ю. А., Шилкин Н. В. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / А. Н. Дмитриев, И. Н. Ковалев, Ю. А. Табунщиков, Н. В. Шилкин – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005. – 120 с.
4. Семенов Борис Александрович. Оптимизация параметров теплоиспользования в системах централизованного теплоснабжения городов: дис. ... докт. техн. наук : 05.14.01 / Семенов Борис Александрович. – Саратов, 2002. – 527 с. – Библиогр. : с. 428–452.
5. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. - Київ. – Мінбуд України, 2006.

В статье, на основе байесовского подхода, представленный климатологически-оптимальный принцип определения чистого дисконтированного дохода при увеличении термического сопротивления ограждающей конструкции зданий. Предложенный подход учитывает реальное изменение и вероятностный закон распределения количества градусо-суток в многолетнем разрезе. Показано, что, в отличие от существующих подходов, где количество градусо-суток принимается постоянным, учет изменения данного параметра в многолетнем разрезе может существенно повлиять на значение экономических показателей при обосновании сопротивления теплопередачи ограждающей конструкции зданий.

Climatically optimal principle of calculation of net present value when increasing thermal resistance of barriering construction of buildings is presented on the basis of Bayesian approach. Offered approach takes into account real changes and probability distribution of heating degree days over years. It is shown, that, unlike existing approaches, where the heating degree days is accepted to be constant, consideration of the given parameter as changeable over years can substantially affect the values of economic indicators when substantiating thermal resistance of barriering construction of buildings.