

УДК 620.98

Дешко В.І., Буяк Н.А.

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту НТУУ «КПІ»

ПОКАЗНИКИ ОПАЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ І ТЕМПЕРАТУРНІ УМОВИ
КОМФОРТНОСТІ

Оцінено вплив комфортних умов, а саме радіаційної температури огорожуючих конструкцій на інтегровану вартість опалення й оптимальний тепловий захист будівлі при різних джерелах теплоти.

Оценено влияние комфортных условий, а именно радиационной температуры ограждающих конструкций на интегрированную стоимость отопления и оптимальную тепловую защиту здания при разных источниках теплоты.

Influence of comfort conditions is evaluating, namely radiation temperature of exterior fences on the integrated cost of heating and optimum thermal protection of building at the different sources of heating.

B – інтегровані дисконтовані витрати;

B_t – річні витрати;

$C(t)$ – функція цін на енергоносії в часі, грн/кВт·год;

E – ставка дисконтування;

F – площа, м²;

I – витрати, грн;

i – питомі витрати, грн/кВт;

n – обраний горизонт розрахунку, тобто термін на який проводиться розрахунок, роки;

R – термічний опір, м²·Вт/°С;

t – температура, °С;

$t(N)$ – нормоване значення температури відповідає комфортним умовам, при різній інтенсивності трудової діяльності, °С.

t_R – середньозважена радіаційна температура приміщення, °С;

y – функція, чутливість якої визначається;

x – параметр, до якого визначається чутливість функції;

x_0, y_0 – початкові значення аргументу та функції;

α_B – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні стіни;

Ω – чутливість функції;

Пд – південь;

Пн – північ;

ТПУ – теплова помпова установка.

Верхні індекси:

енерг – енергоносії;

обслуг – обслуговування.

Нижні індекси:

0 – капітальний (на придбання теплогенеруючого обладнання);

i – внутрішня поверхня конструкцій, що підлягають утепленню;

j – внутрішня поверхня конструкцій, що підлягають заміні;

n – нормоване значення;

p – прилад опалення;

t – річний;

v – повітря в приміщенні;

z – зовнішнє повітря;

із – покращення теплового захисту;

со – система опалення.

Питання теплової ефективності будівель є актуальним для більшості країн світу, оскільки будівлі – основний кінцевий споживач енергії. Тому особлива увага приділяється вибору енергоносіїв [1], незаперечною є потреба підвищення теплового захисту будівель [2] та створення комфортних умов (що включають температуру внутрішнього повітря, огорожуючих конструкцій, вологість та рух повітря) для пере-

бування людей. Питанням енергоефективності окремих елементів будівлі приділяється багато уваги, проте існує тільки декілька праць що розглядають питання енергоефективності будівель у комплексі [3], [4], [5], в тому числі енергетичних зв'язків від джерел енергії до умов комфортності.

Постановка задачі

Метою роботи є аналіз впливу радіаційної

температури зовнішніх огорожуючих конструкцій на витрати, пов'язані із забезпеченням комфортних умов будівлі та на економічно доцільний тепловий захист.

Для підвищення енергоефективності будівель пропонується розглянути вибір економічно доцільного теплового захисту у поєднанні із джерелом тепlopостачання та врахуванням радіаційної температури огорожуючих конструкцій й оцінити чутливість запропонованої функції інтегрованих дисконтованих витрат будівлі до зазначених факторів.

Інтегрована вартість опалення будівлі від різних джерел теплоти

Для комплексного вибору параметрів будівлі із врахуванням фактору часу доцільно застосовувати метод руху грошових коштів:

$$B = \left(\sum_{t=0}^n \frac{B_t^{\text{обслг}}}{(1+E)^t} + \sum_{t=0}^n \frac{B_t^{\text{енерг}} C(t)}{(1+E)^t} \right) + I_0 + I_{\text{із}} + I_{\text{со}}. \quad (1)$$

Дана модель аналізувалася для різних джерел теплоти [6], ізоляційних матеріалів [7] та різного терміну розрахунку [8], в даному випадку особливу увагу звернемо на комфортні умови і їх вплив на вартість опалення. Відомо, що при підвищенні температури огорожуючих конструкцій температуру повітря в кімнаті t_B можна знижувати. Оцінимо, наскільки впливає тепловий захист будівлі на можливу температуру внутрішнього повітря. Комфортні умови при визначенні інтегрованих витрат враховуються, як співвідношення радіаційної температури і температури повітря в приміщенні, що змінюється залежно від інтенсивності трудової діяльності людини [9]:

$$t_R = 1,57 \cdot t(N) - 0,57 \cdot t_B + 1,5. \quad (2)$$

Середньозважена радіаційна температура приміщення визначається наступним чином:

$$t_R = \frac{\sum_i t_i \cdot F_i + \sum_j t_j \cdot F_j + \sum_p t_p \cdot F_p}{\sum_i F_i + \sum_j F_j + \sum_p F_p}. \quad (3)$$

Температура на внутрішній поверхні огорожуючої конструкції визначається так:

$$t_{i(j)} = t_B - \frac{t_B - t_3}{R_{i(j)}} \cdot \frac{1}{\alpha_B}. \quad (4)$$

Формули (2), (3), (4) використовуються для визначення t_R і t_B залежно від теплового захисту огорожень будівлі. Ця залежність прийматиме різний вигляд при різній складності моделі дослідження.

Інтегровані витрати визначаємо за опалувальний період за умови середньої температури оточуючого середовища за цей період і терміну розрахунку 10 років. Параметри моделі відповідають кімнатам будинку в м. Києві, з орієнтацією на південь (Пд) чи північ (Пн) [7]. Вважається, що необхідне опалення в приміщенні може забезпечуватися наступними варіантами: 1) автономний газовий котел; 2) централізоване тепlopостачання; 3) електричний котел; 4) кабельне опалення (кабелі прокладені у стелі); 5) ТПУ та електричний нагрівач.

При розрахунку t_R для Пд кімнати враховувалося надходження сонячної радіації через вікно, шляхом визначення середньої радіаційної температури останнього за опалувальний період. Крім того температура приладу опалення визначалася як середня температура, а кабельного опалення у стелі – виходячи із допустимих норм.

Розрахунок інтегрованих витрат при врахуванні комплексу комфортних умов (для оптимального значення термічного опору ізоляції зовнішньої стіни), рис. 1, а показує, що для $n = 10$ років найвигідніше використовувати газовий котел, і найбільші витрати обумовлені централізованим тепlopостачанням. Аналогічні співвідношення характерні і для оптимального термічного опору ізоляції зовнішньої огорожуючої конструкції рис. 1, б. Це пояснюється різними тенденціями росту цін на енергоносії, вартістю та енергоефективністю теплогенеруючого обладнання.

Рис. 1, а відображає, що витрати для умов, коли t_R не враховується (тобто температура внутрішнього повітря приймається сталою і відповідає вимогам [10]), менші в порівнянні з Пн кімнатою і більші ніж для Пд. Такі тенденції характерні для всіх систем опалення, однак для кабельного вони виражені

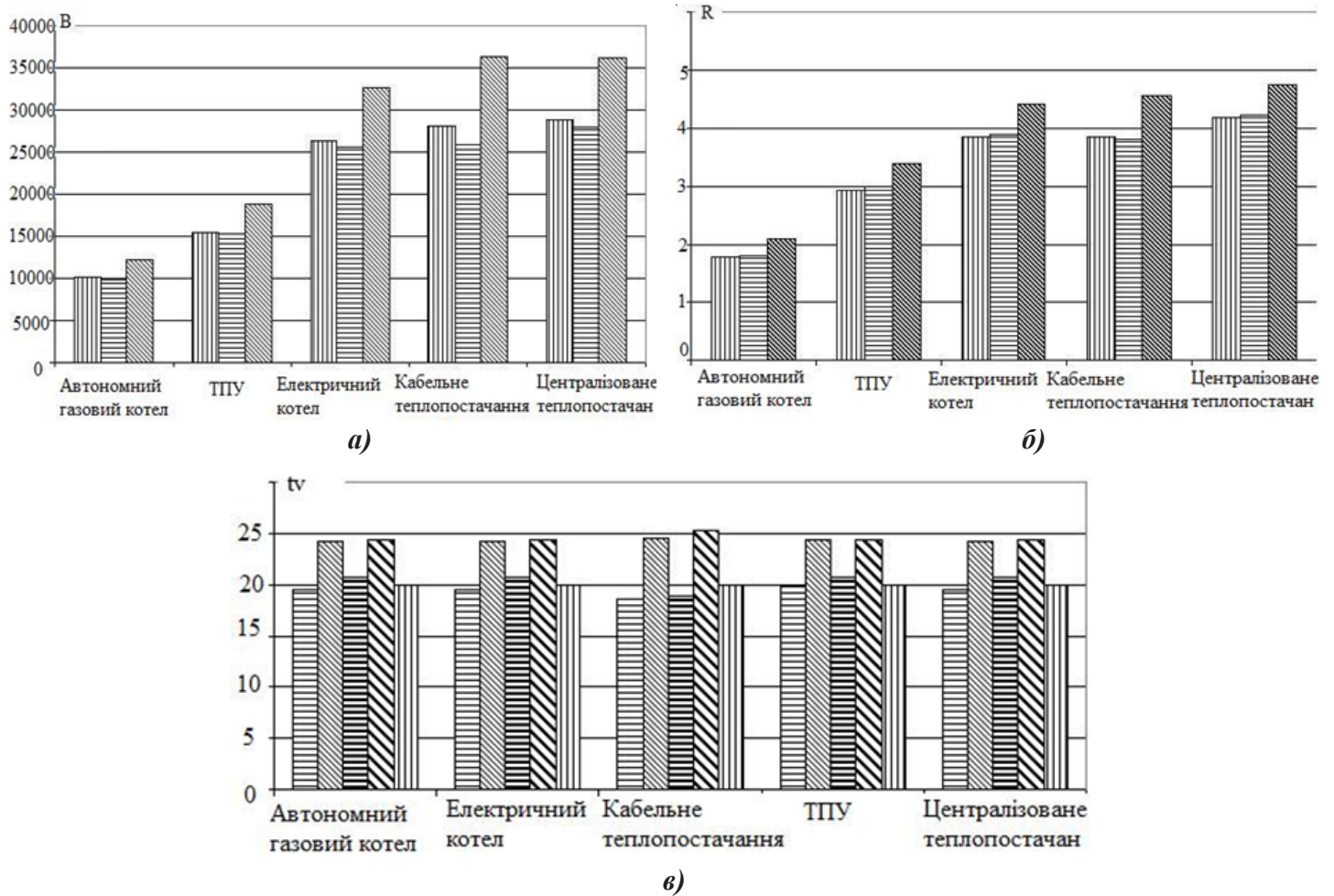


Рис. 1. Результати впливу комплексу комфортних умов на:

а) – інтегровані витрати B : \square – без врахування комфортних умов; \equiv – з врахуванням комфортних умов для стіни Пд орієнтації; \boxtimes – з врахуванням комфортних умов для стіни Пн орієнтації; б) – оптимальний термічний опір ізоляції R : \square – без врахування комфортних умов; \equiv – з врахуванням комфортних умов для стіни Пд орієнтації; \boxtimes – з врахуванням комфортних умов для стіни Пн орієнтації; в) – температуру внутрішнього повітря t_B : \boxtimes – для стіни Пд орієнтації, при $t_3 = -1,1^\circ C$; \boxtimes – для стіни Пн орієнтації, при $t_3 = -1,1^\circ C$; \equiv – для стіни Пд орієнтації, при $t_3 = -22^\circ C$; \boxtimes – для стіни Пн орієнтації, при $t_3 = -22^\circ C$; \square – без врахування комплексу комфортних умов.

істотніше, оскільки використовується система тепла стеля, а це значно підвищує сумарну t_R , і відповідно зменшує сумарні витрати. Значення оптимального термічного опору для всіх джерел теплоти (за винятком кабельного опалення) при врахуванні t_R найвище для Пн кімнати, далі для Пд і найменше, коли не враховуються умови комфорту.

Виходячи з умов комфорту, для Пн кімнати необхідно підтримувати t_B (рис.1, в) дещо вищою, ніж для Пд, та при зменшенні зовнішньої температури температуру t_B також необхідно підвищувати. Для всіх джерел теплоти при $t_3 = -1,1^\circ C$ в Пд кімнаті t_B можна підтримувати дещо нижчою, ніж прийнято стандартом (однак слід зауважити, що дані розрахунки по температурах проводилися при умо-

вах, що термічний опір ізоляції для зовнішньої огороджуючої конструкції буде оптимальним).

Чутливості інтегрованих витрат та оптимального термічного опору ізоляції до наступних факторів: t_R , t_B , i_0 , n визначалися так:

$$\Omega = \frac{x_0}{y_0} \cdot \frac{\partial y}{\partial x} \quad (5)$$

Аналіз чутливості інтегрованих витрат табл. 1 (розглядалася Пд кімната) показав найвищі значення залежно від t_R (-2,32, -5,88

і -1,94 для автономного газового котла, кабельного опалення і теплового насоса відповідно) далі від t_B (1,02, 1,12, 1,04), сумірні з даними для глибини розрахунку (1,16, 0,67, 0,52) [2]. Значний вплив зміни t_B і t_R на інтегровані витрати обумовлює необхідність враховувати комплекс комфортних умов при оптимізації. Аналогічні висновки можна зробити стосовно вибору оптимального теплового захисту будинку табл.2.

Табл. 1. Чутливість інтегрованих витрат

| Фактор Тип системи опалення | t_B | t_R | i_0 | n | R |
|--------------------------------|-------|-------|-------|------|--------|
| автономний газовий котел | 1,04 | -2,32 | 0,11 | 1,16 | -0,006 |
| кабельне опалення | 1,12 | -5,88 | 0,1 | 0,67 | -0,02 |
| ТПУ | 1,02 | -1,94 | 0,29 | 0,52 | -0,02 |

Табл. 2. Чутливість оптимального термічного опору зовнішньої огороджуючої конструкції

| Фактор Тип системи опалення | t_B | t_R | i_0 | n |
|--------------------------------|-------|-------|-------|------|
| автономний газовий котел | 0,67 | -1,74 | 0,01 | 0,93 |
| кабельне опалення | 0,56 | -1,74 | 0,002 | 0,49 |
| ТПУ | 0,597 | -1,49 | 0,46 | 0,44 |

Висновки

Отже, запропонована функція сумарних витрат дозволяє вибирати параметри будівлі комплексно, враховуючи джерело теплоти, тепловий захист, зміну вартості енергоносіїв в часі і комфортне співвідношення між радіаційною температурою і температурою повітря в приміщенні, яка дозволить понизити витрати на опалення і підвищити комфортність. Проведений аналіз чутливості інтегрованих витрат обумовлює необхідність враховувати комплекс комфортних умов при оптимізації.

Подальша робота полягатиме у комплексній оптимізації функції інтегрованих витрат стосовно оболонки будівлі, джерела тепла та приладів опалення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Степаненко В., Догадаев С. Замещение природного газа на ночную электроэнергию в бюджетной сфере городов Украины. Энергетика та електрифікація. – 2008. – №8. – С. 19-22.
2. Нечепорчук А.А. Куда уйдет тепло? Большой секрет // Нова тема. – 2009. – №2. – С. 41-43.
3. Семенов Б.А., Щербаков В.В., Гордеев А.Г. Выбор установленной мощности автономных теплоисточников на основе системной оптимизации теплопотребления здания // Актуальные вопросы промышленной теплотехники и энергосбережения. Межвуз. научн. сб., Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2004. – С. 212-223.
4. Качан Ю. Г., Баташова Н. А. Об оценке экономической эффективности комбинированного отопления.

рованной системы отопления. // Энергетика: економіка, технології, екологія. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2007. – №1. – С. 92-97.

5. Гершкович В.Ф. Энергосберегающие системы жилых зданий. Пособие по проектированию // СОК. – 2006. – №7. – С. 54-62.

6. Ліяніна Н.А., Мамус Т.В. Вибір системи опалення на основі методу аналізу руху грошових коштів // «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання». Тези доп. Всеукраїнської студентської науково-технічної конференції. – Тернопіль: ТДТУ, 14–15 квітня 2008. – Т.1. – С. 183.

7. Дешко В.І., Буяк Н.А. Економічно доцільний тепловий захист будівлі з різними джерелами теплоти // Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. – 2009. – №3 – С. 74-81.

8. Дешко В.І., Буяк Н.А. Вплив життєвого циклу проекту на економічно доцільний тепловий захист будівлі з різними джерелами теплоти // Матеріали V Міжнародної ювілейної науково-практичної конференції «Екологія. Економіка. Енергозбереження». – Суми: Видво СумДУ, 2009. – С. 76-77.

9. Богословский В.Н., Сканава А.Н. Отопление: Учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1991. – 735 с.

10. ДБН В.2.6-31: 2006. Теплова ізоляція будівель. – К.: Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України, 2006. – 72 с.

Отримано 18.09.2009 р.