

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ БУДІВЕЛЬ У ФОРМІ БАГАТОГРАННИКІВ З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ЗАТРАТ ЕНЕРГІЇ НА ЇХ ОПАЛЕННЯ

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

В роботі запропонована загальна математична модель та підходи до її реалізації при оптимізації об'ємно-планувальних рішень будівель у формі багатогранних фігур з метою зниження затрат енергії на їх опалення.

На сьогоднішній день в Україні діє новий ДБН В.2.6-31:2006 “Теплова ізоляція будівель” [1]. В ньому пропонується два підходи до нормування рівня енерговитрат на опалення будівель.

На відміну від попередніх версій подібного нормативного документу, де визначалися вимоги тільки до теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій будівель, в даному документі вперше запропонований так званий споживчий або системний підхід щодо нормування витрат первинного палива на опалення будівель.

Це створює умови розглядати будівлю як один з елементів єдиної енергетичної системи, що включає в себе також джерело та системи транспортування теплової енергії. В даному випадку для забезпечення нормативних витрат первинного енергоносія на опалення будівель є можливість крім підвищення рівня теплозахисту огорожувальних конструкцій застосовувати у повній мірі і інші енергоефективні рішення як по відношенню до будівлі так і по відношенню до джерела й систем транспортування енергії.

Об'ємно-планувальні рішення можуть забезпечити додаткове скорочення теплоспоживання будівель за рахунок оптимізації їх форми, розмірів та орієнтації відносно частин світу.

Вирішення задач оптимізації об'ємно-планувальних рішень будівель висвітлено, зокрема, в [2, 3, 4, 5] та багато інших працях.

Так, в роботах [2, 3, 4] розглядаються дані рішення по відношенню будівель певної геометричної форми (прямокутний паралелепіпед як найбільш розповсюджена форма, трикутний паралелепіпед, циліндр). Також в роботах [4, 5] пропонуються підходи та розв'язки подібних задач для будівель з криволінійною поверхнею.

В даній роботі пропонується загальна математична модель та підходи до її реалізації при оптимізації об'ємно-планувальних рішень будівель у формі багатогранників з метою зниження затрат енергії на їх опалення. Сьогодні досить часто з'являються архітектурні рішення

будівель з такою формою. Вибір таких форм будівель часто визначається естетичним виглядом, формою ділянки будівництва, зручністю використання приміщень тощо.

Отже, необхідна витрата теплоти на опалення будівлі за опалювальний період згідно [1] визначається за формулою

$$Q_{i\bar{i}} = [Q_k - (Q_{Ai\bar{i}} + Q_s) \cdot \nu \cdot \zeta] \cdot \beta_h, \quad (1)$$

де Q_k - загальні тепловтрати через огорожувальну оболонку будинку, $\hat{e}\hat{A}\hat{\delta} \cdot \tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}$;

$Q_{Ai\bar{i}}$ - побутові теплонадходження протягом опалювального періоду, $\hat{e}\hat{A}\hat{\delta} \cdot \tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}$;

Q_s - теплові надходження через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду, $\hat{e}\hat{A}\hat{\delta} \cdot \tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}$;

ν - коефіцієнт, що враховує здатність огорожувальних конструкцій будинків акумулювати або віддавати тепло при періодичному тепловому режимі;

ζ - коефіцієнт авторегулювання подавання тепла в системах опалення;

β_h - коефіцієнт, що враховує додаткове теплоспоживання системою опалення, пов'язане з дискретністю номінального теплового потоку номенклатурного ряду опалювальних приладів і додатковими тепловтратами через зарядаторні ділянки огорож, тепловтратами трубопроводів, що проходять через неопалювані приміщення.

Для подальшого аналізу, будемо розглядати будівлю, що має форму багатогранної фігури.

В даному випадку загальні тепловтрати через огорожувальну оболонку будинку, $\hat{e}\hat{A}\hat{\delta} \cdot \tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}$, за опалювальний період можна визначити як

$$Q_k = \chi_l \cdot \xi \cdot D_d \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{F_i^{i\bar{i}}}{R_{i\bar{i}}^{i\bar{i}}} + \frac{F_i^i}{R_{i\bar{i}}^i} \right) + q_{inf} \cdot V_h, \quad (2)$$

де $\chi_l = 0,024$ - розмірний коефіцієнт;

ξ - коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати, які пов'язані з орієнтацією огорожень за сторонами світу, наявністю кутових приміщень, надходженням холодного повітря через входи в будинок [1];

D_d - осереднене значення кількості градусо-днів в районі розміщення будинку, $\hat{i}\hat{N} \cdot \tilde{a}\tilde{i}\tilde{a}\hat{e}$;

n - загальна кількість зовнішніх огорожень будівлі;

$F_i^{i\bar{i}}$, F_i^i - відповідно непрозора та прозора площі поверхонь i -ї огорожувальної конструкції, m^2 ;

$R_{i\bar{i}}^{i\bar{i}}$, $R_{i\bar{i}}^i$ - відповідно приведений опір теплопередачі непрозорої та прозорої поверхні i -ї огорожувальної конструкції, $(i^2 \cdot \tilde{a}\tilde{d}\tilde{a}) / \hat{A}\hat{\delta}$;

q_{inf} - питома витрата теплоти на нагрів зовнішнього повітря, що інфільтрує через зовнішні огороження для забезпечення нормативного

вентиляційного повітрообміну в 1 м^3 опалювального об'єму будівлі протягом опалювального періоду, $\hat{e} \hat{A} \hat{\delta} \cdot \tilde{a} \hat{a} / i^3$

$$q_{inf} = \chi_2 \cdot D_d \cdot c \cdot n_{iA} \cdot \beta_V \cdot \gamma_C \cdot \eta; \quad (3)$$

де $\chi_2 = 6,672 \cdot 10^{-3}$ - розмірний коефіцієнт;

c - питома теплоємність повітря, $\hat{e} \hat{A} \hat{e} / (\hat{e} \hat{a} \cdot \hat{E})$;

n_{iA} - середня кратність повітрообміну будинку протягом опалювального періоду, $\tilde{a} \hat{a}^{-1}$;

β_V - коефіцієнт зниження об'єму повітря у будинку, що враховує наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій;

γ_C - середня густина повітря, що надходить до приміщення за рахунок інфільтрації та вентиляції, $\hat{e} \hat{a} / i^3$;

η - коефіцієнт впливу зустрічного теплового потоку в огорожувальних конструкціях;

V_h - опалюваний об'єм будинку, i^3 .

Запишемо формулу (1) як

$$Q_k = \chi_1 \cdot \xi \cdot D_d \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot \left(\frac{1}{R_{iD_i}^{II}} + \varphi_i^I \cdot \left(\frac{1}{R_{iD_i}^I} - \frac{1}{R_{iD_i}^{II}} \right) \right) + q_{inf} \cdot V_h, \quad (4)$$

де $\varphi_i^I = F_i^I / F_i$ - коефіцієнт засклення i -ї огорожувальної конструкції;

F_i - загальна площа плоскої i -ї огорожувальної конструкції, м^2 .

Побутові теплонадходження протягом опалювального періоду, $\hat{e} \hat{A} \hat{\delta} \cdot \tilde{a} \hat{a}$, визначимо за формулою

$$Q_{Ai.I.I.} = \chi_1 \cdot q_{Ai.I.I.} \cdot z \cdot A_r, \quad (5)$$

де χ_1 - розмірний коефіцієнт, див формулу (2);

$q_{Ai.I.I.}$ - питомі побутові тепловиділення на 1 м^2 житлової або розрахункової площі будівлі, $\hat{A} \hat{\delta} / i^2$;

z - тривалість опалювального періоду, доби;

A_r - житлова або розрахункова площа будівлі, м^2 ;

Формулу для визначення теплових надходжень через вікна від сонячної радіації протягом опалювального періоду, $\hat{e} \hat{A} \hat{\delta} \cdot \tilde{a} \hat{a}$, представимо у вигляді

$$Q_s = \sum_{i=1}^i \zeta_i^{ID} \cdot \varepsilon_i^{ID} \cdot \varphi_i^I \cdot F_i \cdot Q_i^s, \quad (6)$$

де ζ_i^I - коефіцієнт, що враховує затінення світлового прорізу i -го плоского огородження відносно прозорих огорожень непрозорими елементами заповнення;

ε_i^I - коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через світловий проріз i -го плоского огородження;

Q_i^s – середній потік сонячної радіації за опалювальний період, спрямований на i -ту поверхню плоского огородження за середніх умов хмарності, $\hat{\epsilon} \hat{A} \delta \cdot \tilde{a} \tilde{a} / i^2$, залежить від орієнтації огородження.

З урахуванням вищенаведених формул залежність для визначення розрахункових витрат енергії на опалення будинку буде визначатися за формулою

$$Q_{iI} = \left[\sum_{i=1}^n F_i \cdot \left[\chi_l \cdot \xi \cdot D_d \cdot \left(\frac{I}{R_{I D_i}^{II}} + \varphi_i^I \cdot \left(\frac{I}{R_{I D_i}^I} - \frac{I}{R_{I D_i}^{II}} \right) \right) - \zeta_i^{ID} \cdot \epsilon_i^{ID} \cdot \varphi_i^I \cdot Q_i^s \cdot \nu \cdot \zeta \right] + \right. \\ \left. + q_{inf} \cdot V_h - \chi_l \cdot q_{AI} \cdot i \cdot z \cdot A_r \cdot \nu \cdot \zeta \right] \cdot \beta_h; \quad (7)$$

або ввівши позначення

$$A_i = \sum_{i=1}^n \chi_l \cdot \xi \cdot D_d \cdot \left(\frac{I}{R_{I D_i}^{II}} + \varphi_i^I \cdot \left(\frac{I}{R_{I D_i}^I} - \frac{I}{R_{I D_i}^{II}} \right) \right) - \zeta_i^{ID} \cdot \epsilon_i^{ID} \cdot \varphi_i^I \cdot Q_i^s \cdot \nu \cdot \zeta; \quad (8)$$

за формулою

$$Q_{iI} = \left[\sum_{i=1}^n A_i \cdot F_i + q_{inf} \cdot V_h - \chi_l \cdot q_{AI} \cdot i \cdot z \cdot A_r \cdot \nu \cdot \zeta \right] \cdot \beta_h. \quad (9)$$

Отриманий вираз (9) є початковою математичною моделлю для знаходження оптимальних об'ємно-планувальних рішень заданого опалювального об'єму або площі будівлі, що визначають забезпечення мінімального значення розрахункової витрати теплової енергії на опалення.

Площі зовнішніх огорожень в загальному випадку є функції незалежних змінних x_1, x_2, \dots, x_k , що визначають їх геометричні розміри. Опалювальну площу або опалювальний об'єм також можна виразити через ці змінні.

Для знаходження змінних x_1, x_2, \dots, x_k , при яких функція (9) буде мати мінімальне значення, потрібно розв'язати систему рівнянь

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial Q_{iI}}{\partial x_1} = 0; \quad i \delta \epsilon \frac{\partial^2 Q_{iI}}{\partial x_1^2} > 0 \\ \frac{\partial Q_{iI}}{\partial x_2} = 0; \quad i \delta \epsilon \frac{\partial^2 Q_{iI}}{\partial x_2^2} > 0 \\ \dots \dots \dots \\ \frac{\partial Q_{iI}}{\partial x_{k-1}} = 0; \quad i \delta \epsilon \frac{\partial^2 Q_{iI}}{\partial x_{k-1}^2} > 0 \\ i \delta \epsilon V_h = f(x_1, x_2, \dots, x_k) = const \\ \dots \dots \dots \\ i \delta \epsilon A_h = \psi(x_1, x_2, \dots, x_k) = const \end{array} \right. \quad (10)$$

Наступним етапом даної роботи є реалізація запропонованої моделі для оптимізації об'ємно-планувальних рішень окремих випадків будівель у формі багатогранних фігур з метою зниження затрат енергії на їх опалення.

Література

1. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція: ДБН В.2.6-31:2006. - [Чинний від 2007-04-01]. – К. : Мінбуд України, 2008. – 71 с. - (Національні стандарти України).
2. 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.
3. Маркус Т.А., Морис Э.Н., Здания, климат и энергия, Т.А. Маркус, Э.Н. Морис, Гидрометеоиздат, Л.: 1985, 540 с.
4. Табунщиков Ю. А. Бродач М. М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.: ил.
5. Сергейчук О.В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.01.01 “ Прикладна геометрія, інженерна графіка” / Сергейчук Олег Васильович; Київський національний університет будівництва і архітектури. – К., 2008. – 29 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ЗДАНИЙ В ФОРМЕ МНОГОГРАННИКОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЗАТРАТ ЭНЕРГИИ НА ИХ ОТОПЛЕНИЕ

В.А.Волощук

В работе предложена общая математическая модель и подходы по ее реализации при оптимизации объемно-планировочных решений зданий в форме многогранных фигур с целью снижения затрат энергии на их отопление.

MATHEMATICAL MODEL FOR OPTIMIZATION OF SHAPE AND ORIENTATION OF HOUSES IN FORM OF POLYHEDRONS FOR PURPOSE OF DECREASING HEATING ENERGY

V.Voloshchuk

The article proposes a general mathematical model and approaches to its realization for optimization of shape and orientation of houses in form of polyhedrons for purpose of decreasing heating energy.