УДК 515.2

В. Л. Мартинов, к.т.н.

ОПТИМІЗАЦІЯ БАГАТОГРАННОЇ ФОРМИ ТА ПАРАМЕТРІВ УТЕПЛЮВАЧА ПРИБУДОВАНОЇ ЕНЕРГОЕКОНОМІЧНОЇ БУДІВЛІ

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук, Україна

Анотація – пропонується спосіб оптимізації багатогранної форми та параметрів утеплювача прибудованої енергоекономічної будівлі з метою підвищення енергоефективності протягом опалювального періоду. Кількість граней будівлі, об'єм, кількість утеплювача залишаються незмінними.

Постановка проблеми. При проектуванні нових прибудованих об'ємів до енергоефективних та енергоекономічних будівель постає задача підвищення їх енергоефективності за рахунок використання оптимальної енергоефективної гранної форми з точки зору мінімального енергетичного балансу огороджувальних конструкцій з атмосферою та землею, існуючим будинком та оптимізації параметрів утеплювача (при визначеній його кількості). При цьому враховуються як тепловтрати через огороджувальні конструкції, так і надходження тепла від сонячної радіації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенню питання підвищення енергоефективності будівель присвячено роботи [1–3], але в них визначалися оптимальні пропорції будівель з точки зору мінімізації тепловтрат через огороджувальні конструкції за одним параметром пропорцій. У роботах [4, 5] окремо оптимізувалася форма будівлі та окремо параметри утеплення непрозорих конструкцій будівлі з точки зору мінімального теплового балансу огороджувальних конструкцій. У роботі [6] розглядалася багатопараметрична оптимізація енергоефективних будівель. У роботі [7] оптимізувалася форма циліндричної будівлі та розподіл утеплювача для опалювального періоду.

Постановка задачі. Для підвищення енергоефективності прибудованих будівель запропонувати спосіб оптимізації багатогранної форми та параметрів утеплювача (при визначеній кількості граней та кількості утеплювача) з метою мінімізації теплового балансу огороджувальних конструкцій з навколишнім середовищем протягом опалювального періоду.

Основна частина. Для розрахунків оптимальної багатогранної форми прибудованого будинку, де змінними є координати вершин граней, необхідно провести наступні розрахунки. Просторова орієнтація кожної грані (рис. 1) з вершиною у точці G визначається наступним чином: за координатами трьох точок грані розраховується рівняння площини (що проходить через грань) та за коефіцієнтами рівняння – її просторова орієнтація.

Переведення координат точок (вузлів грані) з глобальної горизонтальної у локальну горизонтальну систему координат $X'Y'Z'$ (з вершиною в точці G) розраховується:

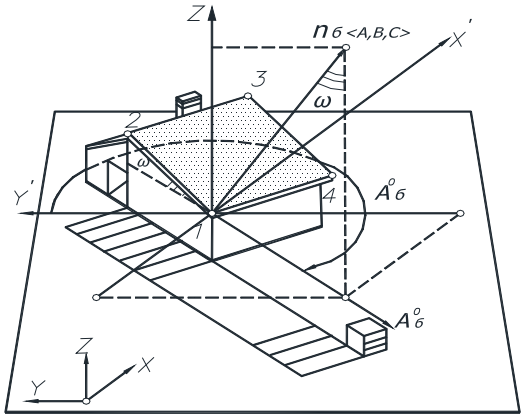


Рис. 1 Будівля – багатогранник

$$X'_I=X_I-X_{G,} \qquad Y'_G=Y_I-Y_{G,} \qquad Z'_I=Z_I-Z_{G.} \tag{1}$$

Рівняння площини відповідно [8]: $A(X-X_G)+B(Y-Y_G)+C(Z-Z_G)=0.$ (2)

Оскільки площина проходить через початок координат XYZ, то $D=0$

$$A=\begin{vmatrix} Y'_2-Y'_1 & Z'_2-Z'_1 \\ Y'_3-Y'_1 & Z'_3-Z'_1 \end{vmatrix} \qquad B=-\begin{vmatrix} X'_2-X'_1 & Z'_2-Z'_1 \\ X'_3-X'_1 & Z'_3-Z'_1 \end{vmatrix}$$

$$C=\begin{vmatrix} X'_2-X'_1 & Y'_2-Y'_1 \\ X'_3-X'_1 & Y'_3-Y'_1 \end{vmatrix} \qquad D=-\left(A_{X'_1}+B_{Y'_1}+C_{Z'_1}\right), \tag{3}$$

де $\overline{n_\sigma}\langle A,B,C\rangle$ – коефіцієнти нормального вектора площини σ. Кут ω нахилу грані з площиною горизонту визначається:

$$tg\omega=\frac{\sqrt{A^2+B^2}}{C}, \qquad \cos\omega=\frac{|\,C\,|}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}}, \quad \sin\omega=\frac{\sqrt{A^2+B^2}}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}}. \tag{4}$$

Азимут A_σ відсіку площини σ розраховується:

$$\cos A_\sigma=\frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}}; \qquad \sin A_\sigma=\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2+C^2}}; \quad tgA_\sigma=\frac{A}{B}. \tag{5}$$

Площу грані можливо визначити наступним чином: ділянку площини σ послідовним обертанням (на кут A_σ навколо осі Z' та на кут ω навколо осі X') суміщують з площиною $X'GY'$.

Згідно з [8] визначаються координати W – точок вершин грані та за ними її площа S грані :

$$S=\frac{1}{2}\left|\sum_{i=0}^{i=w}\left(X_i-X_{i+1}\right)\cdot\left(Y_i-Y_{i+1}\right)\right|, \qquad \text{де } (X_0Y_0)=(X_wY_w). \tag{6}$$

Об'єм трикутної піраміди з вершинами в точках P_1, P_2, P_3, P_4 дорівнює

$$V = \frac{1}{6}\begin{vmatrix} X1 & Y1 & Z1 & 1 \\ X2 & Y2 & Z2 & 1 \\ X3 & Y3 & Z3 & 1 \\ X4 & Y4 & Z4 & 1 \end{vmatrix} . \qquad (7)$$

Цільова функція теплового балансу грані згідно з [6] визначається

$$\Delta Q_i = \left[\frac{1}{R_{cmi}}\right] * [\ S_{cmi}\ ] \cdot (t_{ві} - (t_{зі} + \frac{r_i \cdot Q_{cpi}}{\alpha_{зcmi}})) \cdot 183 + \left[\frac{1}{R_{ві}}\right] * S_{ві*} D_{di} - \\ - Q_{cp_i} \cdot K_i \cdot \zeta_i \cdot \varepsilon_{oi} \cdot S_{ві} \ . \qquad (8)$$

Тепловий баланс будівлі

$$\Delta Q_д = \sum \Delta Q_i \ , \qquad \Delta Q_б \to \min \ . \qquad (9)$$

Система обмежень:

кількість утеплювача залишається незмінною, обмежуються параметри опору тепловтратам утеплювача та зміна координат точок

$$\sum R_{cmi} \cdot S_{cmi} + \sum R_{ві} \cdot S_{ві} = const \, , \qquad (10)$$

$$1 \le R_{cmi} \le 7 \ , \quad 0.5 \le R_{ві} \le 0.7, \quad Z_K = 0, \ Z_E = 0, \ Z_D = 0 \ . \qquad (11)$$

За наведеним алгоритмом для трикутної піраміди об'ємом 96 м^3 (для 50 градуса північної широти) (рис. 2) з використанням програми *SOLAROPTIM* оптимізувалася гранна форма та розподіл утеплювача по поверхні. У системі координат $X'Y'Z'$ вісь Y' збігається з напрямком на північ.

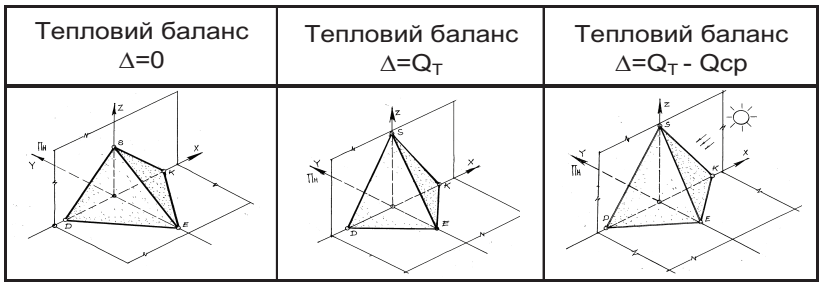


Рис. 2 Оптимізація форми та розподілу утеплювача по поверхні прибудованої трикутної піраміди (а – вихідні дані при тепловому балансі граней $\Delta=0$, б – оптимальна форма при $\Delta=Q_T$, в – оптимальна форма при $\Delta=Q_T$-Q_{CP}).

Було взято наступні вихідні дані. Трикутна піраміда з координатами вершин (D(-6, 0, 0), E(0,-8, 0), S (0, 0, 6), K(6, 0, 0)). Опір тепловтратам (R_{SDE} = 2,8 м^{2}К^0/Вт, R_{SEK}=2,8 м^{2}К^0/Вт, R_{SKD} = 0,05 м^{2}К^0/Вт, R_{DEK}=3,5 м^{2}К^0/Вт).

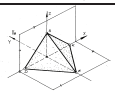
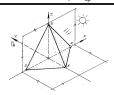
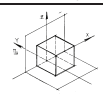
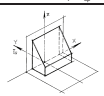
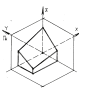
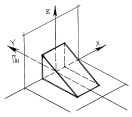
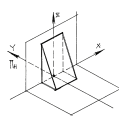
Після оптимізації з точки зору тепловтрат через огороджувальні конструкції ($\Delta=Q_T$) оптимальні параметри утеплювача (R_{SDE}=3,6,8м^{2}К^0/Вт, R_{SEK}=3,6,8 м^2 К^0/Вт, R_{SKD}=0,1 м^2 К^0/Вт, R_{DEK}=3,2 м^2 К^0/Вт).

Координати вершин становили (D (–5,36.14, 0, 0), E(0,–5.37, 0), S (0, 0, 9.70), K (5,37, 0, 0)). Ефект за рахунок зменшення тепловтрат становив 22,52 відсотка.

Після оптимізації з точки зору тепловтрат через огороджувальні конструкції та теплонадходження від сонячної радіації ($\Delta = Q_T$-Q_{CP}) оптимальні параметри (R_{SDE}=3,37м^{2}К^0/Вт, R_{SEK}=3,37 м^2 К^0/Вт, R_{SKD}=0,1 м^2 К^0/Вт, R_{DEK}=3,54 м^2 К^0/Вт). Координати вершин становили (D (–6.14,0, 0), E(0,–5,16, 0), S (0, 0, 9.43), K (6.14, 0, 0)). Ефект за рахунок зменшення тепловтрат становив 24,72 відсотка.

Таблиця 1.

Оптимізація форми прибудованих багатогранників та теплового балансу кожної грані

	Вихідна форма	Оптимізована форма		Вихідна форма	Оптимізована форма
Баланс	Δ=0	Δ=Q_T, Q_{cp}	Баланс	Δ=0	Δ=Q_T, Q_{cp}
Тетраедр			Куб		
Змінні параметри	Xi,Yi,Zi, Rn, Rcti	Xi,Yi,Zi, Rn, Rcti	Змінні параметри	Xi,Yi,Zi, Rn, Rcti, R дах	Xi,Yi,Zi, Rn, Rcti, R дах
Баланс	Δ=0	Δ=Q_T, Q_{cp}	Баланс	Δ=0	Δ=Q_T, Q_{cp}
Тетраедр			Куб		
Змінні параметри	Xi,Yi,Zi, Rn, Rcti, R дах	Xi,Yi,Zi, Rn, Rcti, R дах	Змінні параметри	Xi,Yi,Zi, Rn, Rcti, R дах	Xi,Yi,Zi, Rn, Rcti, R дах
Баланс	Δ=0	Δ=Q_T, Q_{cp}			
Призма					
Змінні параметри	Xi,Yi,Zi, Rn, Rcti, R дах	Xi,Yi,Zi, Rn, Rcti, R дах			

Висновок. Розроблено спосіб та програму SOLAROPTIM для моделювання оптимальної форми гранної прибудованої будівлі та параметрів утеплювача огороджувальних конструкцій з точки зору мінімального теплового балансу з навколишнім середовищем.

Для гранної прибудованої будівлі у вигляді трикутної піраміди скорочення тепловтрат за рахунок оптимізації форми та розподілу утеплювача становило 24,72 відсотка протягом опалювального періоду.

Література

1. *Маркус Т. А., Морис Э. Н.* Здания, климат и энергия / Т. А. Маркус, Э. Н. Морис. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 540 с.

2. *Табунщиков Ю. А*. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач. — М. : АВОК-ПРЕСС, 2002. — 194 с.

3. *Мартинов В. Л.* Геометричне моделювання параметрів енергоактивних житлових будинків/ В. Л. Мартинов // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Геометрическое моделирование и компьютерные технологии: теория, практика, образование». – Харьков, 2009. – С. 153–158.

4. *Сергейчук О. В.* Оптимізація розподілу утеплювача по поверхні будівлі при заданому класі його ефективності/ О. В. Сергейчук // Матеріали VI Міжнародної Кримської науково-практичної конференції «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн». – Сімферополь, 2009. – С. 44–49.

5. *Сергейчук О. В.* Оптимізація форми енергоефективної будівлі, зовнішня оболонка якого n–параметрична поверхня / О. В. Сергейчук // Матеріали VII Міжнародної Кримської науково-практичної конференції «Геометричне моделювання та комп'ютерний дизайн».– Сімферополь, 2010. – С. 150–155.

6. *Мартинов В. Л.* Багатопараметрична оптимізація гранних енергоефективних будівель / В. Л. Мартинов // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Геометричне моделювання, комп'ютерні технології та дизайн : теорія, практика, освіта». – Ужгород, 2011. – С. 135–139.

7. *Мартинов В. Л.* Оптимізація циліндричної форми енергоефективних будівель та розподілу утеплювача / В. Л. Мартинов // Матеріали XIII Міжнародна науково-практичної конференції "Актуальні проблеми геометричного моделювання". – Мелітополь,– 2011. – С. 133–138.

8. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн. –М.: Наука, 1977. – 832 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ МНОГОГРАННОГО ФОРМЫ И ПАРАМЕТРОВ УТЕПЛИТЕЛЯ ПРИСТРОЕННОГО ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНОГО ЗДАНИЯ

В. Л. Мартынов

Аннотация - предлагается способ оптимизации многогранной формы и параметров утеплителя пристроенного энергоэкономичного здания с целью повышения энергоэффективности в течение отопительного периода. Количество граней здания, объем, количество утеплителя остаются неизменными.

OPTIMIZATION MULTIFACETED FORMS AND HEATER PARAMETERS ADJUSTED ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS

V.L. Martynov

Abstract - offer a versatile way to optimize the shape and parameters of the built energy efficient building insulation to improve energy efficiency during the heating period. The number of facets of the building, volume of insulation remain unchanged.