

УДК 515.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩИХ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ**В. Л. Мартынов**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: ddd151@yandex.ru

Для повышения энергоэффективности отдельно стоящих зданий, соблюдения экологичности разработан компьютеризованный способ оптимизации параметров энергоэффективных гранных зданий (параметров формы, сопротивления теплопередаче светопрозрачных и непрозрачных ограждающих конструкций каждой грани, площади окон на каждой грани здания) по критерию минимизации теплового баланса здания с окружающей средой за отопительный период. Для здания в виде прямоугольного параллелепипеда, расположенного в городе Киеве, оптимизация этих параметров дает снижение тепловпотерь на 7,6 %. Данный способ возможно применять при проектировании энергоэффективных и обычных зданий.

Ключевые слова: оптимизация параметров, энергоэффективные здания, гранная форма, геометрическое моделирование, тепловой баланс.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ОКРЕМО РОЗТАШОВАНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ**В. Л. Мартинов**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ddd151@yandex.ru

Для підвищення енергоефективності окремо розташованих будівель, дотримання екологічності розроблений комп'ютеризований спосіб оптимізації параметрів енергоефективних гранних будівель (параметрів форми, опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій кожної грані, площі вікон на кожній грані будівлі) за критерієм мінімізації теплового балансу будівлі з навколишнім середовищем за опалювальний період. Для будівлі у вигляді прямокутного паралелепіпеда, що розташована в місті Києві, оптимізація цих параметрів дає зменшення тепловтрат на 7,6 %. Даний спосіб можливо застосовувати при проектуванні енергоефективних і звичайних будинків.

Ключові слова: оптимізація параметрів, енергоефективні будівлі, гранна форма, геометричне моделювання, тепловий баланс.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Одним из путей экологически чистого развития человечества, выхода Украины из энергетического кризиса является использование экологически чистых возобновляемых источников энергии (солнца, ветра, земли и др.) для отопления и горячего водоснабжения зданий. До 40 % энергоносителей в наше время в Украине расходуется на отопление и горячее водоснабжение зданий. Таким образом, возрастает актуальность строительства энергоэффективных зданий, использующих экологически чистые возобновляемые источники энергии.

При проектировании энергоэффективных зданий возникает задача оптимизации теплоэнергетического воздействия наружного климата на тепловой баланс здания за счет:

- выбора формы здания (для зданий прямоугольной формы принимаются в расчет такие параметры, как его размеры и ориентация);
- расположения и площади световых проемов;
- оптимального распределения утеплителя по ограждающим конструкциям.

Удачный выбор ориентации, размеров и пропорций прямоугольного здания, расположения светопроемов дает возможность увеличить воздействие солнечной радиации на оболочку здания и уменьшить затраты на отопление.

Решению вопроса повышения энергоэффективности зданий посвящены работы [1–3], но в них определялись оптимальные пропорции зданий с точки зрения минимизации тепловпотерь через ограждаю-

щие конструкции по одному параметру пропорций. В работах [4, 5] отдельно оптимизировалась форма здания и отдельно параметры утеплителя непрозрачных конструкций здания с точки зрения минимального теплового баланса ограждающих конструкций. В [6] рассматривалась многопараметрическая оптимизация энергоэффективных зданий. В работе [7] оптимизировалась цилиндрическая форма здания и распределение утеплителя за отопительный период. В работе [8] предлагался способ оптимизации многогранной формы энергоэкономичных зданий, но вопрос оптимального расположения окон и выбор их площади не рассматривался.

Целью работы является предложить способ оптимизации формы многогранных зданий, сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, оптимального расположения окон для повышения энергоэффективности зданий.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Критерием оптимизации выступает минимизация теплового баланса ограждающих конструкций с окружающей средой.

Для расчетов оптимальных параметров многогранного здания (переменными являются параметры здания) составляется тепловой баланс каждой ограждающей конструкции с окружающей средой [6].

Площадь окон можно найти по формуле:

$$S_{\text{ок}i} = f(S_{\text{пол}} \cdot N_{\text{эт}} \cdot F \cdot P_i), \quad (1)$$

где $S_{\text{пол}}=f(a, b, r_{\text{б}}, \alpha)$ – площадь пола этажа, которая зависит от параметров пропорций здания; $N_{\text{эт}}$ – количество этажей в здании; F – соотношение площади окон к площади пола этажа (от 0,2 до 0,125); P_i – коэффициент остекления граней здания (от 0 до 1).

Математическую модель теплового баланса грани здания можно представить в виде нелинейной функции с несколькими переменными.

Целевая функция теплового баланса грани согласно [6] определяется как

$$\Delta Q_i = \left[\frac{1}{R_{\text{ст}_i}} \right] \cdot [S_{\text{ст}_i}] \cdot (t_{\text{в}_i} - (t_{\text{н}_i} + \frac{r_i \cdot I_{\text{сп}_i}}{a_{\text{нст}_i}})) \cdot N_{\text{сут}} + \left[\frac{1}{R_{\text{ок}_i}} \right] [S_{\text{ок}_i} \cdot D_{di} - Q_{\text{сп}_i} \cdot K_i \cdot z_i \cdot e_{\text{ок}_i} \cdot S_{\text{ок}_i}] \quad (2)$$

Тепловой баланс ограждающих конструкций здания

$$\Delta Q_{\text{зд}} = \sum \Delta Q_i, \quad \Delta Q_{\text{зд}} \rightarrow \min \quad (3)$$

Система ограничений:

– суммарное количество утеплителя и площадь окон остаются неизменными, ограничиваются параметры сопротивления теплопередаче утеплителя и площадь окон на каждой из граней

$$\sum R_{\text{ст}_i} \cdot S_{\text{ст}_i} + \sum R_{\text{ок}_i} \cdot S_{\text{ок}_i} = \text{const} \quad (4)$$

– сопротивление теплопередаче окон $R_{\text{ок}_i}$ и стен $R_{\text{ст}_i}$ нормируется [9] при следующих ограничениях:

$$0,5 \leq R_{\text{ок}_i} \leq 0,7 \quad 2,8 \leq R_{\text{ст}_i} \leq 7 \quad (5)$$

$$\sum S_{\text{ок}_i} = \text{const} \quad (6)$$

$$V = abh = \text{const} \quad (7)$$

В формулах (1) – (7):

$t_{\text{в}_i}, t_{\text{н}_i}$ – температуры внутреннего и наружного воздуха;

r_i – коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью грани; $Q_{\text{сп}_i}$ – энергетическая освещенность грани коротковолновой радиацией за отопительный период; $I_{\text{сп}_i}$ – интенсивность энергетической освещенности грани коротковолновой радиацией в течении отопительного периода; $A_{\text{зд}}$ – азимут здания; $b_{\text{нст}_i}$ – коэффициент теплообмена между наружной поверхностью ограждения и наружным воздухом; $S_{\text{ст}_i}$ – площадь непрозрачной грани ограждающих конструкций; $R_{\text{ст}_i}$ – сопротивление теплопередаче непрозрачных ограждающих конструкций; $N_{\text{сут}}$ – количество суток отопительного

периода; $R_{\text{ок}_i}$ – сопротивление теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций; D_{di} – количество градусо-суток отопительного периода; ζ_i – коэффициент, учитывающий затенение оконного проема непрозрачными элементами; $e_{\text{ок}_i}$ – коэффициент относительного проникновения солнечной радиации для светопрозрачных конструкций; K_i – коэффициент реальных условий облачности, которые влияют на поступление солнечной радиации.

Решение данной задачи сводится к оптимизации нелинейной функции с использованием ЭВМ с несколькими переменными методом Хука–Дживса.

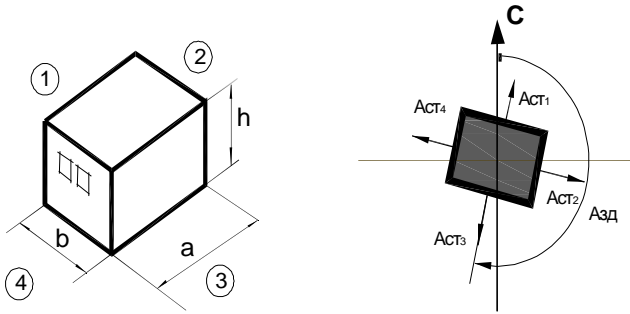
Для исследования рассматривалась здание объемом $V = 400,4 \text{ м}^3$ в виде прямоугольного параллелепипеда (рис. 1), которое расположено в г. Киев (50-й градус северной широты). Азимут здания $A_{\text{зд}} = 195$ градусов (рис. 2). Азимуты вертикальных стен $A_{\text{ст}_1} = 15^\circ, A_{\text{ст}_2} = 105^\circ, A_{\text{ст}_3} = 195^\circ, A_{\text{ст}_4} = 285^\circ$.

Здание имеет следующие параметры: три переменные параметра формы ($a = 8,82 \text{ м}, b = 7 \text{ м}, h = 6,5 \text{ м}$ по внутренней поверхности конструкций), шесть параметров сопротивления теплопередаче непрозрачных ограждающих конструкций каждой из граней $R_{\text{ст}_1} = 2,8 \text{ м}^2\text{К/Вт}, R_{\text{ст}_2} = 2,8 \text{ м}^2\text{К/Вт}, R_{\text{ст}_3} = 2,8 \text{ м}^2\text{К/Вт}, R_{\text{ст}_4} = 2,8 \text{ м}^2\text{К/Вт}, R_{\text{кр}} = 4,0 \text{ м}^2\text{К/Вт}, R_{\text{пол}} = 4,0 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, пять параметров площади окон каждой из граней $S_{\text{ок}_1} = 0,9 \text{ м}^2, S_{\text{ок}_2} = 5,85 \text{ м}^2, S_{\text{ок}_3} = 0 \text{ м}^2, S_{\text{ок}_4} = 5,85 \text{ м}^2, S_{\text{оккр}} = 0 \text{ м}^2$, пять параметров сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций на каждой из граней $R_{\text{ок}_1} = 0,7 \text{ м}^2\text{К/Вт}, R_{\text{ок}_2} = 0,7 \text{ м}^2\text{К/Вт}, R_{\text{ок}_3} = 0,7 \text{ м}^2\text{К/Вт}, R_{\text{ок}_4} = 0,7 \text{ м}^2\text{К/Вт}, R_{\text{оккр}} = 0,7 \text{ м}^2\text{К/Вт}$. Для оптимизации параметров энергоэффективных зданий разработана программа *OPTIMPARAM*.

Оптимизировано три группы параметров: параметры формы здания (a, b, h), сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций $R_{\text{ст}_i}, R_{\text{ок}_i}$ и площади $S_{\text{ок}_i}$ светопрозрачных конструкций каждой грани. В результате сокращение теплопотерь через ограждающие конструкции составило 7,6 % (рис. 3).



Рисунок 1 – План первого и второго этажей здания



$R_{ст3}=3,26 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, $R_{ст4}=3,38 \text{ м}^2\text{К/Вт}$,
 $R_{кр}=3,21 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, $R_{пол}=3,05 \text{ м}^2\text{К/Вт}$; параметри
 площі вікон: $S_{ок1}=0,6 \text{ м}^2$, $S_{ок2}=1,8 \text{ м}^2$, $S_{ок3}=3,3 \text{ м}^2$,
 $S_{ок4}=1,8 \text{ м}^2$, $S_{оккр}=5,1 \text{ м}^2$.

Рисунок 2 – Азимутальна орієнтація будівлі
 Оптимізовані параметри форми становлять: $a = 7,64 \text{ м}$, $b = 7,62 \text{ м}$, $h=6,86 \text{ м}$; параметри опору теплопередачі огорожуючих конструкцій: $R_{ст1}=3,42 \text{ м}^2\text{К/Вт}$, $R_{ст2}=3,33 \text{ м}^2\text{К/Вт}$,



Рисунок 3 – Оптимізація пропорцій будівлі, розподілення утеплителя і розташування вікон

ВИВОДИ. Розроблено комп'ютеризований спосіб оптимізації параметрів енергоефективних гранних будівель (параметрів форми, опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих огорожуючих конструкцій кожної грані, площі вікон на кожній грані будівлі) за критерієм мінімізації теплового балансу будівлі з оточуючим середовищем за опісний період. Для будівлі в формі прямокутного паралелепіпеда оптимізація цих параметрів дає зменшення теплопотерь на 7,6 %.

Использование энергоэффективных зданий – путь к решению экологических проблем, экономии энергии в строительстве, энергетической независимости Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Здания, климат и энергия / Т.А. Маркус, Э.Н. Морис. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 540 с.
2. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий / Ю.А. Табунчиков, М.М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. – 194 с.
3. Мартинов В.Л. Геометричне моделювання параметрів енергоактивних житлових будинків // 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 // Матеріали VI Міжнародної Кримської науково-практичної конференції «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбе-

реження, екологія, дизайн». – Сімферополь, 2009. – С. 44–49.

5. Сергейчук О.В. Оптимізація форми енергоефективної будівлі, зовнішня оболонка якого n-параметрична поверхня // 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 // 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 // Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми геометричного моделювання». – Мелітополь, 2011. – С. 133–138.

8. Мартинов В.Л. Оптимізація багатогранної форми енергоекономічної будівлі та розподілу його утеплювача // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Технічна естетика і дизайн». Вип. 89. – К.: КНУБА, 2012. – С. 143–147.

9. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6–31:2006. – [Чинні від 2007–04–01] // Мінбуд України. – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 65 с. – (Державні будівельні норми України).

PARAMETER OPTIMIZATION OF DETACHED ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS

V. Martynov

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ddd151@yandex.ru

A computer-aided method for parameter optimization of energy-efficient separate faceted buildings, namely, shape parameters, thermal resistance of translucent and opaque envelope facilities and window size on each side of the building, is developed in order for energy-efficiency enhancement and based on the building-environment thermal balance minimization criterion during the heating season. Such parameter optimization for a rectangular building located in Kyiv results in heat loss reduction by 7.6 per cent. This method may be used for design of energy efficiency and conventional buildings.

Key words: parameters optimization, energy-efficient buildings, faceted form, geometric modeling, thermal balance.

REFERENCES

1. Markus T.A., Maurice J.E. *Buildings, climate, energy*. – Leningrad.: Gidrometeoizdat, 1985. – 540 p. [in Russian]

2. *Mathematical modelling and optimization of buildings thermal efficiency* / Y.A. Tabunskykov, M. Brodach. – Moscow: AVOK-PRESS, 2002. – 194 p. [in Russian]

3. Martynov V.L. Geometric parameter modelling energy-active buildings // *Proceedings of the VI International Scientific Conference "Geometrical modelling and computer technology: Theory, practice and education*. – Kharkiv, 2009. – PP. 153–158. [in Ukrainian]

4. Sergeychuk O.V. Optimization of insulant distribution on the building surface at the electroefficiency class specified // *Proceedings of the VI International Crimean scientific conference «Geometrical and computer design: energy-savings, ecology, design»* – Kharkiv, 2009. – PP. 44–49. [in Ukrainian]

5. Sergeychuk O.V. Optimization of energyeffective building shape with n-parametric external surface // *Proceedings of the VI International Crimean scientific conference «Geometrical and computer design: energy-savings, ecology, design»*. – Simpheropol, 2010. – PP. 150–155. [in Ukrainian]

6. Martynov V.L. Multiparameter optimization of faceted energy-efficient buildings // *Proceedings of VII International scientific conference "Geometric modeling, computer technology and design: theory, practice and education"*. – Uzhgorod, 2011. – PP. 135–139. [in Ukrainian]

7. Martynov V.L. Optimization of cylindric shape of energyeffective buildings and insulant distribution // *Proceedings of the XIII International scientific conference "Topical problems of geometrical design"*. Melitopol, 2011. – PP. 133–138. [in Ukrainian]

8. Martynov V.L. Optimization of multifaceted shape of an energy-efficient building and its insulation distribution // *Interdepartmental Scientific-Technical Collection "Technical aesthetics and design"*. Iss. 89. – Kyiv: KNUCA, 2012. – PP. 143–147. [in Ukrainian]

9. *Thermal insulation of buildings: DBN V.2.6–31:2006*. – [Valid from 01.04.2007] / Ministry of Construction of Ukraine. – Kyiv: Ukrarhbudinform, 2006. – 65 p. – (State Building Standards of Ukraine). [in Ukrainian]

Стаття надійшла 30.11.2012.

Рекомендована до друку
к.т.н., доц. Жорняком М.С.