

Вячеслав МАРТЫНОВ

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГРАННЫХ ЗДАНИЙ

При проектировании новых домов актуальным является повышение их энергоэффективности, использование возобновляемых экологически чистых источников энергии, разработка энергоэкономичных и энергоэффективных зданий. Повышение энергоэффективности зданий возможно за счет оптимизации их параметров (формы, пропорций, распределения утеплителя, ориентации, расположение окон).

Ключевые слова: многопараметрическая оптимизация, гранные здания энергоэкономичные и энергоэффективные здания, энергоэффективность

ВВЕДЕНИЕ

В нынешнее время проблема энергосбережения в Украине обостряется и приобретает глобальное значение. До 40 процентов добываемых энергоносителей, расходуется на отопление и горячее водоснабжение зданий.

Удельное энергопотребление в Украине значительно больше, чем в странах Европы, это касается и строительной отрасли. Подавляющее большинство домов в Украине на сегодня не отвечает существующим требованиям энергосбережения.

При проектировании новых домов актуальным является повышение их энергоэффективности, использование возобновляемых экологически чистых источников энергии (солнца, земли, ветра и др.), т.е. разработка энергоэкономичных и энергоэффективных зданий. Повышение энергоэффективности зданий возможно за счет оптимизации их параметров (формы, пропорций, распределения утеплителя, ориентации, расположение окон) и прочее.

На рисунке 1 приведены геометрические параметры здания, влияющие на энергоэффективность. Для оптимизации параметров энергоэффективных зданий необходимо разработать математическую модель.

1. АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Решению вопроса повышения энергоэффективности зданий посвящены работы [1-4], но в них определялись оптимальные пропорции зданий с точки

зрения минимизации теплопотерь через ограждающие конструкции по одному параметру (пропорций). В работах [5, 6] отдельно оптимизировалась форма здания и отдельно параметры утепления непрозрачных конструкций здания с точки зрения минимального теплового баланса ограждающих конструкций.

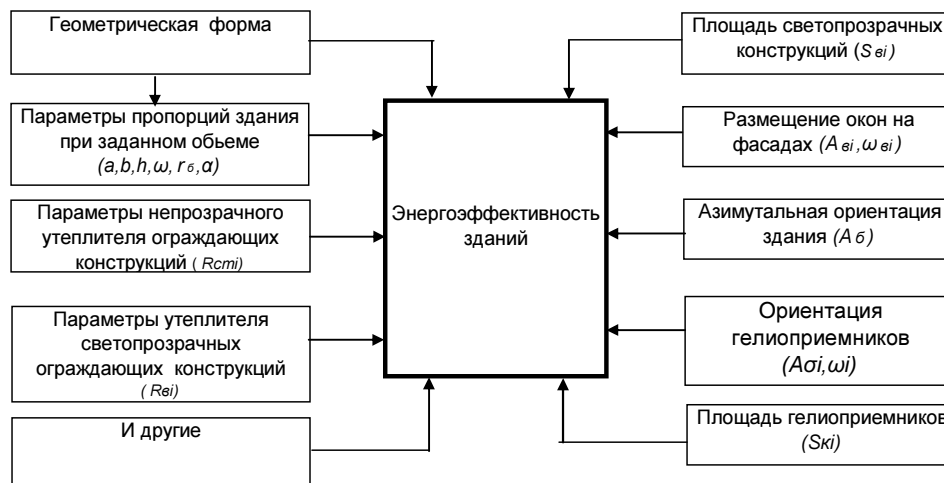


Рис. 1. Параметры, влияющие на энергоэффективность зданий

Поставлена задача разработать способ оптимизации нескольких геометрических параметров граничных энергоэффективных зданий одновременно с целью минимизации теплового баланса ограждающих конструкций с окружающей средой для повышения энергоэффективности зданий.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА

Большая часть зданий имеют гранную форму. Если здание имеет криволинейные поверхности, то они аппроксимируются плоскостями, образуя грани. Для таких зданий предлагается способ оптимизации одновременно нескольких геометрических параметров с целью уменьшения теплового баланса ΔQ_i ограждающих конструкций. Для этого составляется математическая модель теплового баланса каждой грани здания, которая включает параметры пропорций дома ($a, b, h, r_{\sigma}, \omega, \alpha$), сопротивление теплопередаче R_{cmi} непрозрачных конструкций (граней), сопротивление теплопередаче R_{bi} светопрозрачных конструкций, площадь светопрозрачных конструкций S_{bi} , параметры расположения окон на фасадах здания (A_{bi}, ω_{bi}), азимутальную ориентацию здания (A_{σ}), параметры ориентации гелиоприемников ($A_{\sigma i}, \omega_{\sigma i}$), площадь гелиоприемников (S_{ki}) и др.

Площадь окон на грани можно найти по формуле:

$$S_{B_i} = f(S_{\text{плд}} \cdot N_{\text{пов}} \cdot F \cdot P_i) \quad (1)$$

где:

$S_{\text{плд}} = f(a, b, r_6, \alpha)$ - площадь пола этажа, зависящая от параметров пропорций дома;

$N_{\text{пов}}$ - количество этажей в здании;

F - соотношение площади окон к площади пола этажа (от 0,2 до 0,125);

P_i - коэффициент остекления стен дома (от 0 до 1).

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

Целевая функция имеет вид:

$$\Delta Q_i = \frac{S_{\text{ст}_i}}{R_{\text{ст}_i}} \cdot \left(t_{B_i} - t_{3_i} + \frac{r_i \cdot Q_{\text{ср}_i}}{\alpha_{\text{зст}_i}} \right) \cdot 183 + \frac{S_{B_i} \cdot D_{d_i}}{R_{B_i}} - Q_{\text{ср}_i} \cdot K_i \cdot \zeta_i \cdot \varepsilon_{B_i} \cdot S_{B_i} \quad (2)$$

Тепловой баланс ограждающих конструкций гранного здания при этом минимизируется со следующими граничными условиями:

$$\Delta Q_6 = \sum \Delta Q_i - \sum Q_{\kappa i} \quad (3)$$

$$\Delta Q_6 \rightarrow \min \quad (4)$$

Количество утеплителя при этом остается неизменной:

$$\sum R_{\text{ст}_i} \cdot S_{\text{ст}_i} + \sum R_{B_i} \cdot S_{B_i} = \text{const} \quad (5)$$

но ограничиваются параметры сопротивления теплопередаче:

$$1 \leq R_{\text{ст}_i} \leq 7, \quad 0,5 \leq R_{B_i} \leq 0,7 \quad (6)$$

В формулах (2)-(6):

t_{B_i}, t_{3_i} - температуры внутреннего и наружного воздуха;

r_i - коэффициент поглощения солнечной радиации поверхности грани;

$Q_{\text{ср}_i}$ - энергетическая освещенность грани коротковолновой радиацией;

$Q_{\text{ср}_i} = f(A_{\text{ст}_i}, \omega_{\text{ст}_i})$ или $Q_{\text{ср}_i} = f(A_6 + \lambda_i, \omega_{\text{ст}_i})$ при оптимизации ориентации здания;

A_6 - азимут здания;

λ_i - угол между ориентацией здания и грани;

$Q_{\kappa i}$ - количество коротковолновой солнечной радиации, поступающей на солнечный коллектор;

$\alpha_{\text{зст}_i}$ - коэффициент теплообмена между наружной поверхностью ограждения и наружным воздухом;

- $S_{ст_i}$ - площадь непрозрачной грани ограждающих конструкций;
 $R_{ст_i}$ - сопротивление теплопередаче непрозрачных ограждающих конструкций;
 183 - количество суток отопительного периода;
 $R_{в_i}$ - сопротивление теплопередаче светопрозрачных ограждающих конструкций [8];
 D_d - количество градусо-суток отопительного периода [8];
 ζ_i - коэффициент, учитывающий затенение оконного проема непрозрачными элементами [8];
 $\varepsilon_{в_i}$ - коэффициент относительного проникновения солнечной радиации для светопрозрачных конструкций [8];
 K_i - коэффициент реальных условий облачности, которые влияют на поступление солнечной радиации [8].

Решение данной задачи сводится к оптимизации нелинейной функции с использованием ЭВМ с несколькими переменными методом Хука-Джевеса [7]. В зависимости от типов оптимизации параметров уточняются ограничения и формулы.

Данный алгоритм реализован в виде программы SOLAR по оптимизации нескольких параметров зданий. В следующем разделе приводятся примеры многопараметрической оптимизации некоторых типов зданий.

3. ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ И УТЕПЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩИХ ЗДАНИЙ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ СТЕНАМИ

3.1. Дома в виде прямоугольного параллелепипеда

С использованием программы SOLAR для здания в виде прямоугольного параллелепипеда (рис. 2), расположенного в г. Киеве оптимизированы пропорции, перераспределен утеплитель по граням. Сокращение теплопотерь за отопительный период составило 11,38%.

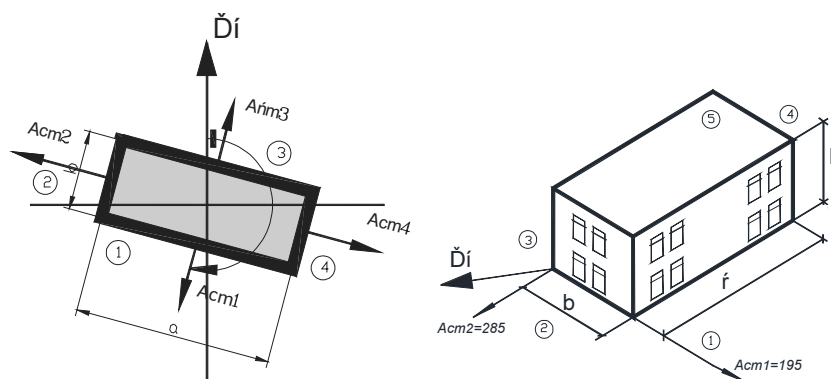


Рис. 2. Исследуемое здание

3.2. Мансардные дома

Оптимизированы параметры мансардного дома (рис. 3) (типового проекта здания Леон -119) - параметры пропорций и утеплителя: 3 параметра формы (a, b, h), 6 параметров сопротивления теплопередаче утеплителя для непрозрачных конструкций $R_{ст_i}$, 6 параметров площади окон $S_{в_i}$, 6 параметров сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций $R_{в_i}$).

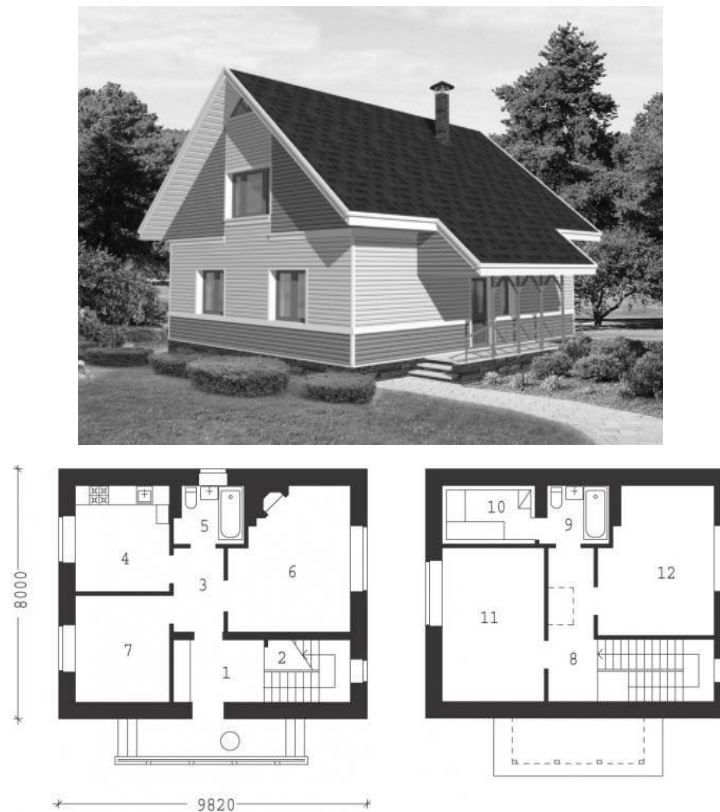


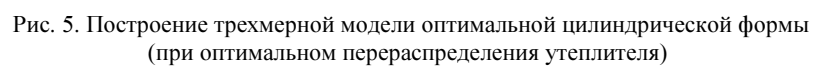
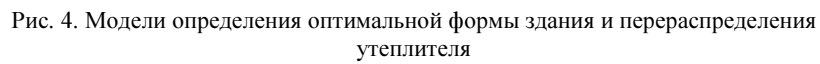
Рис. 3. Исследуемое здание

Сокращение теплопотерь через ограждающие конструкции типового проекта здания Леон-119 составляет 12,69%.

3.3. Оптимизация параметров цилиндрических домов

Оптимизировано форму и распределение утеплителя цилиндрического здания с точки зрения теплового баланса. Программа SOLAR моделирует оптимальные параметры (рис. 4, 5).

Сокращение теплопотерь после оптимизации формы и оптимального перераспределения утеплителя составило 17,84%.



4. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ БЛОКИРОВАННЫХ ЗДАНИЙ

Оптимизированы параметры здания частично блокированного одной гранью (рис. 6).

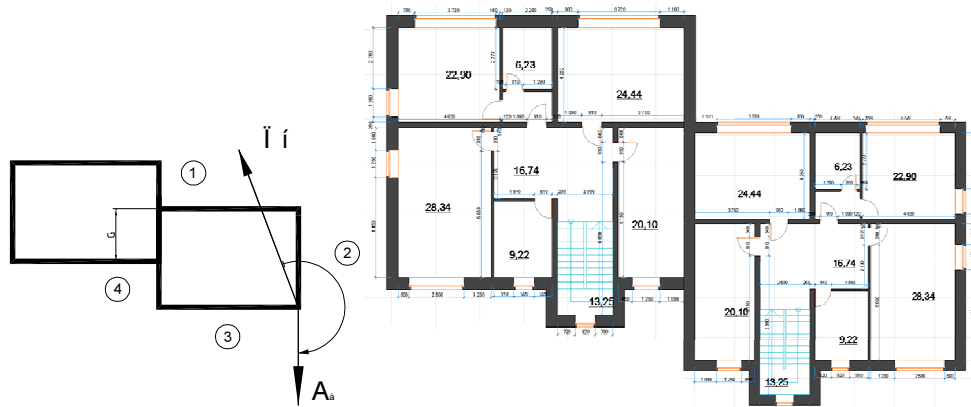


Рис. 6. План здания частично блокированной одной гранью

Оптимизированы параметры формы здания (a, b, h), сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций $R_{ст}$, $R_{в}$ и площади $S_{в}$ светопрозрачных конструкций каждой грани. Сокращение теплопотерь через ограждающие конструкции составило 25,54%.

5. ОПТИМИЗАЦИЯ ОРИЕНТАЦИИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ГРАНЫХ МНОГОЭТАЖНЫХ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ ЗДАНИЙ. ИЗМЕНЕНИЕ ОРИЕНТАЦИИ В ТЕЧЕНИЕ ГОДА

Оптимизирована ориентация здания цилиндрической формы (45° с.ш., г. Симферополь), с точки зрения минимального теплового баланса (теплопотерь) через ограждающие конструкции за отопительный период (с 15 октября по 15 апреля). Оптимальная ориентация здания южная.

Для летнего периода возникает задача уменьшения теплопоступления через ограждающие конструкции (защита от перегрева). В результате моделирования определена оптимальная ориентация здания для периода с 1 июня по 31 августа с целью уменьшения перегрева дома от солнечной радиации (рис. 7). Здание должно иметь северную ориентацию. Теплопоступления через стены после оптимизации ориентации здания уменьшились на 25%.

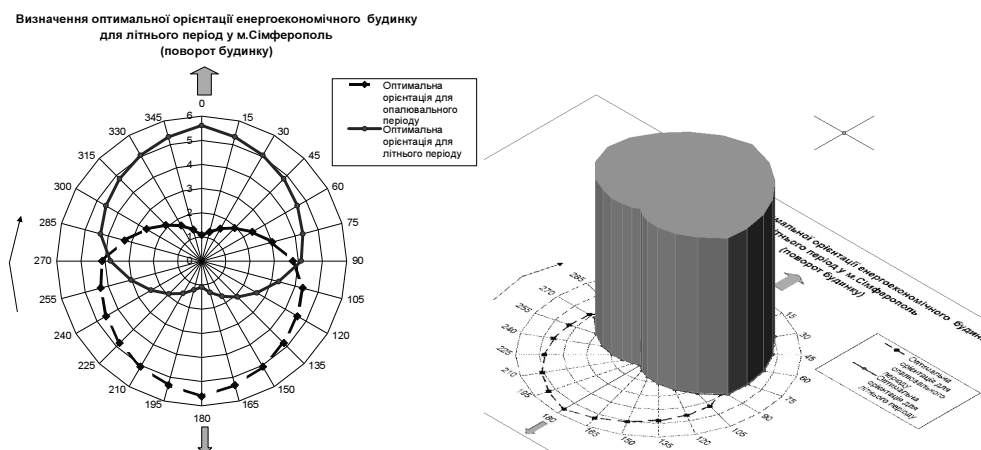


Рис. 7. Определение оптимальной ориентации цилиндрического здания для летнего периода

6. ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗРАБОТОК

Для повышения энергоэффективности предложен способ многопараметрической оптимизации энергоэффективных зданий (параметров пропорций и распределения утеплителя, ориентации зданий и др.), который реализован в виде программы SOLAR для оптимизации нескольких параметров зданий с целью минимизации теплового баланса ограждающих конструкций с окружающей средой.

Для отдельно стоящего дома в форме прямоугольного параллелепипеда в городе Киеве оптимизация пропорций и перераспределения утеплителя по ограждающим конструкциям, дает уменьшение теплопотерь 11,38% в течение отопительного периода. Для мансардного дома - 12,69%. Для блокированного частично одной стороной дома сокращение теплопотерь составило 25,54%.

Для здания в виде цилиндра оптимизация формы и перераспределение утеплителя дает сокращение теплопотерь 17,84%.

Оптимизация ориентации цилиндрического здания для летнего периода уменьшит теплопоступления через ограждающие конструкции на 25%.

Данный способ целесообразно использовать при проектировании энергоэффективных и энергоэкономичных зданий.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Маркус Т.А., Морис Э.Н., Здания, климат и энергия, Т.А. Маркус, Э.Н. Морис, Гидрометеопиздат, Л.: 1985, 540 с.
- [2] Табунщиков Ю.А., Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий, Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, АВОК-ПРЕСС, М.: 2002, 194 с.

- [3] Беляев В.С., Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий, В.С. Беляев, П.П. Хохлова, Высш. шк., М.: 1991, 256 с.
- [4] 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.
- [5] 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», Симферополь 2009, с. 44-49.
- [6] 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», Симферополь 2010, с. 150-155.
- [7] Банди Б., Методы оптимизации. Вводный курс [пер. с англ. О.В. Шихеевой]; под ред. В.А. Волынского, Б. Банди, Радио и связь, М.: 1988, 128 с.
- [8] Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006, (Чинний від 2007-04-01), Мінбуд України, Укразхбудінформ, К. 2006, 65 с. (Державні будівельні норми України).

MULTI-PARAMETERS OPTIMIZATION OF THE ENERGY EFFICIENCY OF CUBOID BUILDINGS

There has been presented a method of simultaneously optimizing of multiple energy efficient buildings parameters (shape, aspect ratio, heat loss resistance building envelope, building azimuth, etc.) to improve energy efficiency.

Keywords: energy efficiency, multi- parameters optimization, parameters simultaneously energy efficient, cuboid buildings