

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, энергоэффектив-ность

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 энерго-сбережения.

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.

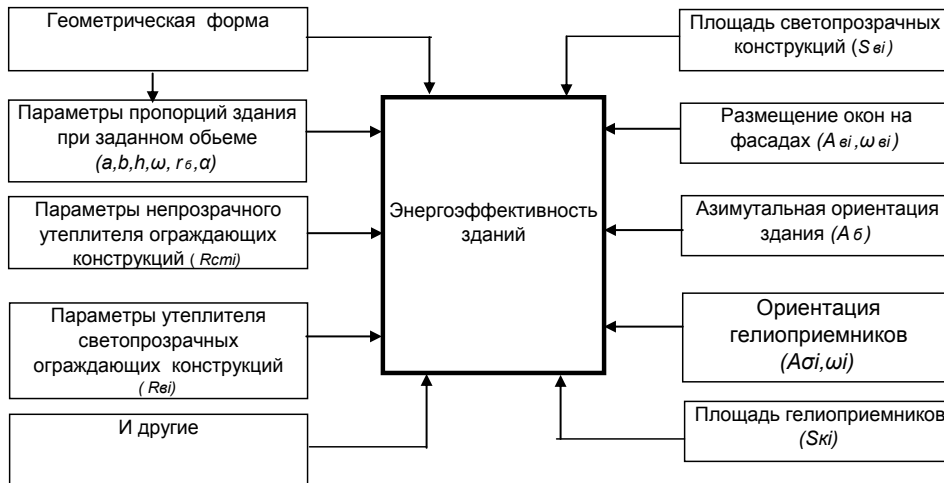


Рис. 1. Параметры, влияющие на энергоэффективность зданий

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 $(a, b, h, r_\delta, \omega, \alpha)$, сопротивление теплопередаче R_{ct_i} непрозрачных конструкций (граней), сопротивление теплопередаче $R_{в_i}$ светопрозрачных конструкций, площадь светопрозрачных конструкций $S_{в_i}$, параметры располо-

жения окон на фасадах здания ($A_{в_i}, \omega_{в_i}$), азимутальную ориентацию здания (A_{δ}), параметры ориентации гелиоприемников ($A_{к_i}, \omega_{к_i}$), площадь гелиоприемников ($S_{к_i}$) и др.

Площадь окон на грани можно найти по формуле:

$$S_{в_i} = f(S_{пид} \cdot N_{пов} \cdot F \cdot P_i) \quad (1)$$

где:

$S_{пид} = f(a, b, r_{\delta}, \alpha)$ - площадь пола этажа, зависящая от параметров пропорций дома;

$N_{пов}$ - 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:

$$\Delta Q_i = \frac{S_{ст_i}}{R_{ст_i}} \cdot \left(t_{в_i} - t_{з_i} + \frac{r_i \cdot Q_{сп_i}}{\alpha_{зст_i}} \right) \cdot 183 + \frac{S_{в_i} \cdot D_{d_i}}{R_{в_i}} - Q_{сп_i} \cdot K_i \cdot \zeta_i \cdot \varepsilon_{в_i} \cdot S_{в_i} \quad (2)$$

Тепловой баланс ограждающих конструкций гранного здания при этом мини-мизируется со следующими граничными условиями:

$$\Delta Q_{\delta} = \sum \Delta Q_i - \sum Q_{к_i} \quad (3)$$

$$\Delta Q_{\delta} \rightarrow \min \quad (4)$$

Количество утеплителя при этом остается неизменной:

$$\sum R_{ст_i} \cdot S_{ст_i} + \sum R_{в_i} \cdot S_{в_i} = \text{const} \quad (5)$$

но ограничиваются параметры сопротивления теплопередаче:

$$1 \leq R_{ст_i} \leq 7, \quad 0,5 \leq R_{в_i} \leq 0,7 \quad (6)$$

В формулах (2)-(6):

$t_{в_i}, t_{з_i}$ - температуры внутреннего и наружного воздуха;

r_i - коэффициент поглощения солнечной радиации поверхности грани;

$Q_{сп_i}$ - энергетическая освещенность грани коротковолновой радиацией;

$Q_{сп_i} = f(A_{ст_i}, \omega_{ст_i})$ или $Q_{сп_i} = f(A_{\delta} + \lambda_i, \omega_{ст_i})$ при оптимизации ориентации здания;

A_{δ} - азимут здания;

- λ_i - угол между ориентацией здания и грани;
- $Q_{\kappa i}$ - количество коротковолновой солнечной радиации, поступающей на солнечный коллектор;
- $\alpha_{зст i}$ - 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-Джевуса [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%.

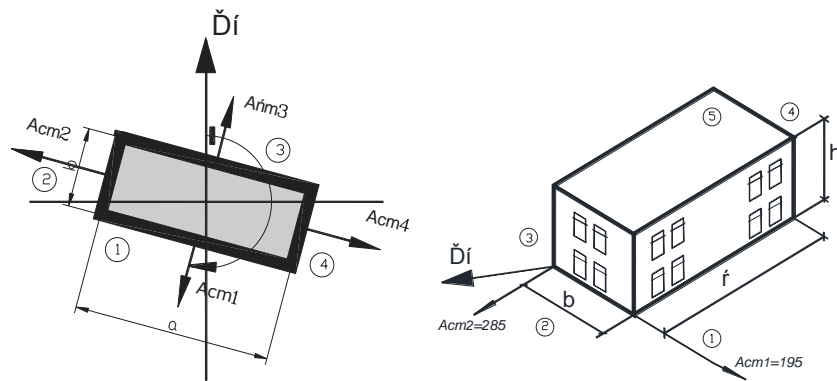


Рис. 2. Исследуемое здание

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_{ct_i} , 6 параметров площади окон S_{b_i} , 6 параметров сопротивления теплопередаче светопрозрачных конструкций R_{bi}).



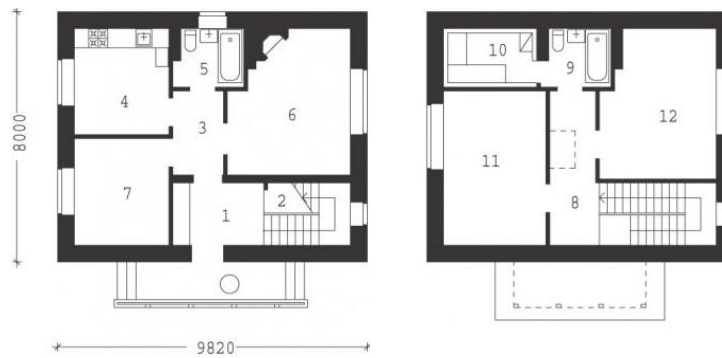


Рис. 3. Исследуемое здание

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%.

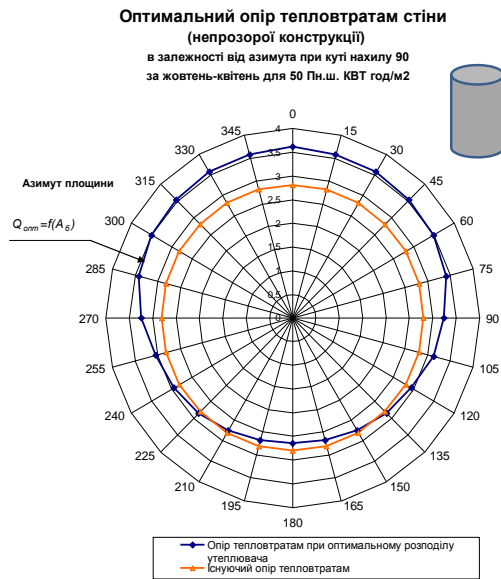


Рис. 4. Модели определения оптимальной формы здания и перераспределения утеплителя

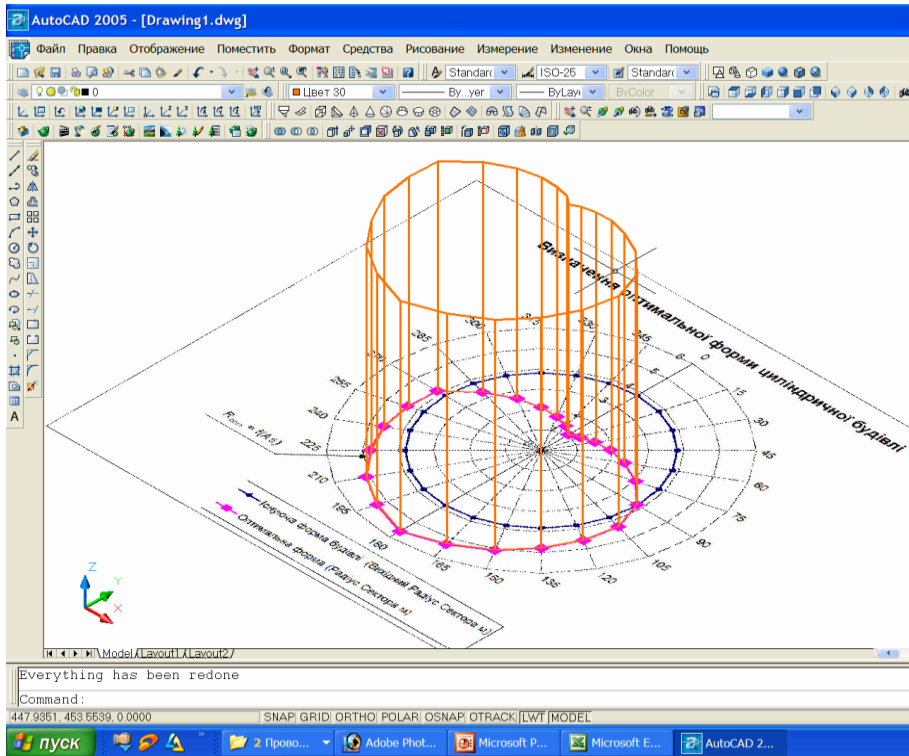


Рис. 5. Построение трехмерной модели оптимальной цилиндрической формы (при оптимальном перераспределении утеплителя)

4. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ БЛОКИРОВАННЫХ ЗДАНИЙ

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

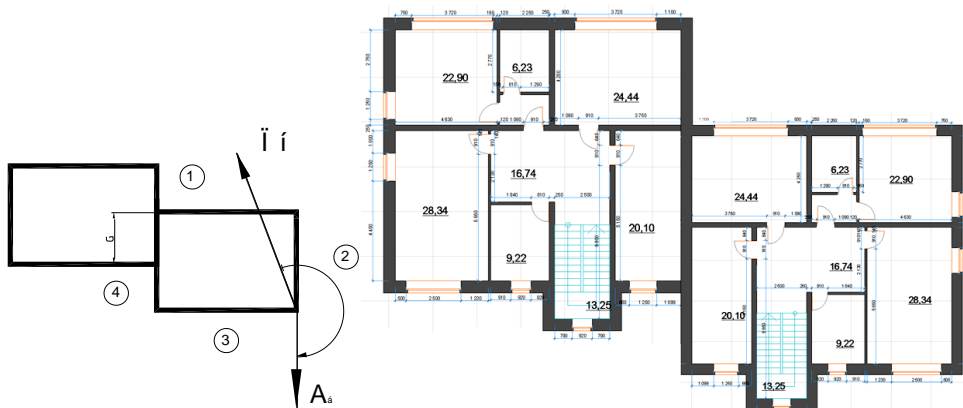


Рис. 6. План здания частично блокированной одной гранью

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

5. ОПТИМИЗАЦИЯ ОРИЕНТАЦИИ ВРАЩАЮЩИХСЯ ГРАННЫХ 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%.

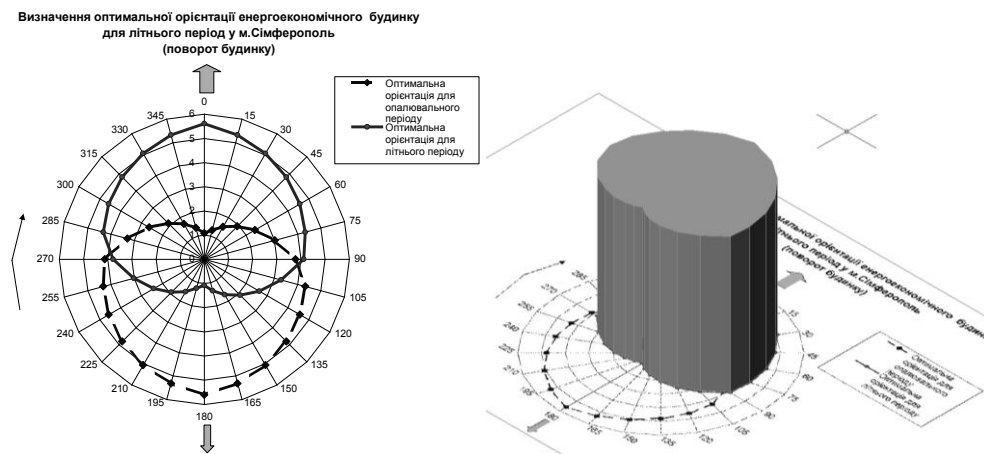


Рис. 7. Определение оптимальной ориентации цилиндрического здания для летнего периода

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, Гидрометео-издат, 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 «Геометричне моделювання і комп'ютерні технології: теорія, практика, освіта», Харків 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, Укрархбудінформ, 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