

## **ОПТИМІЗАЦІЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФОРМИ, СВІТЛОВИХ ПРОРІЗІВ І УТЕПЛЮВАЧА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ**

Мартинов В.Л.

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
м. Київ, Україна

**АНОТАЦІЯ:** Для підвищення енергоефективності будинків, збереження екології розроблено комп'ютеризований спосіб оптимізації параметрів енергоефективних гранних будинків (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.

**АННОТАЦИЯ:** Для повышения энергоэффективности зданий разработан компьютеризированный 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.

**ABSTRACT:** To improve energy efficiency of buildings, preserving ecology a computerized method for optimizing the parameters of energy efficient buildings sided blocked (the shape parameters, thermal resistance of translucent and opaque envelope each face area of windows on each side of the building) by minimizing the heat balance of the building with the environment during the heating period is developed.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Оптимізація параметрів, енергоефективні будівлі, гранна форма, геометричне моделювання, тепловий баланс.

### **ВСТУП**

На сьогодні проблема енергозбереження в Україні загострюється і набуває глобального значення. До 40 відсотків видобутих енергоносіїв, витрачається на опалення та гаряче водопостачання будівель. Питоме енергоспоживання в Україні значно більше, ніж у країнах Європи, це стосується і будівельної галузі. Переважна більшість будинків в Україні нині не відповідає існуючим вимогам енергозбереження. При проектуванні нових будинків актуальним є підвищення їх енергоефективності, використання відновлюваних екологічно чистих джерел енергії (сонця, землі, вітру та ін.), тобто розробка енергоекономічних і енергоефективних будівель. Підвищення енергоефективності будівель можливо за рахунок оптимізації їх параметрів (форми,

пропорцій, розподілу утеплювача, орієнтації, розташування вікон) та ін. На рис. 1 наведено геометричні параметри будівлі, що впливають на енергоефективність. Для оптимізації параметрів енергоефективних будівель необхідно розробити математичну модель.

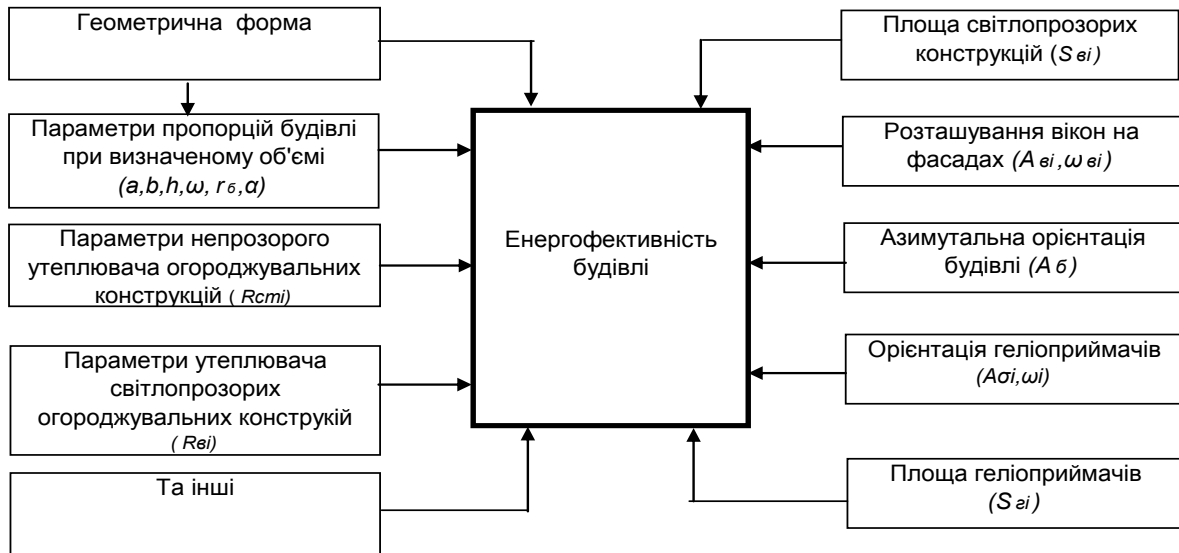


Рис. 1. Параметри, що впливають на енергоефективність

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Вирішенню питання підвищення енергоефективності будівель присвячені роботи [1–4], але в них визначалися оптимальні пропорції будівель з точки зору мінімізації тепловтрат через огорожувальні конструкції за одним параметром (пропорцій). У роботах [5, 6] окремо оптимізувалася форма будівлі і окремо параметри утеплення непрозорих конструкцій будівлі з точки зору мінімального теплового балансу огорожувальних конструкцій.

Поставлено завдання розробити спосіб оптимізації декількох геометричних параметрів гранних енергоефективних будівель одночасно з метою мінімізації теплового балансу огорожувальних конструкцій з навколишнім середовищем для підвищення енергоефективності будівель.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ

Значна частина будівель мають гранну форму. Якщо будівля має криволінійні поверхні, то вони апроксимуються площинами, утворюючи грані. Для таких будівель пропонується спосіб оптимізації одночасно декількох геометричних параметрів з метою зменшення теплового балансу  $\Delta Q$  огорожувальних конструкцій. Для цього складається математична модель теплового балансу кожної грані будівлі, яка включає параметри пропорцій будинку ( $a, b, h, r_{\text{б}}, \omega, \alpha$ ), опір теплопередачі  $R_{\text{ст}i}$  непрозорих конструкцій (граней), опір теплопередачі  $R_{\text{в}i}$  світлопрозорих конструкцій, площу світлопрозорих конструкцій  $S_{\text{в}i}$ , параметри розташування вікон на фасадах будівлі ( $A_{\text{в}i}, \omega_{\text{в}i}$ ), азимутальну орієнтацію будівлі ( $A_{\text{б}}$ ), параметри орієнтації геліоприймачів ( $A_{\text{с}i}, \omega_{\text{с}i}$ ), площу геліоприймачів ( $S_{\text{с}i}$ ) та ін. Площу вікон на грані можна знайти за формулою.

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

де  $S_{\text{під}} = f(a, b, r_0, \alpha)$  - площа підлоги поверху, що залежить від параметрів пропорцій будинку;

$N_{\text{пов}}$  - кількість поверхів будівлі;

$F$  - співвідношення площі вікон до площі поверху (від 0,2 до 0,125);

$P_i$  - коефіцієнт засклення стін будинку ( від 0 до 1).

Математичну модель теплового балансу грані будівлі можливо представити у вигляді нелінійної функції з декількома змінними.

Цільова функція має вигляд

$$\Delta Q_i = \frac{S_{\text{ст}_i}}{R_{\text{ст}_i}} \cdot (t_{\text{в}_i} - t_{\text{з}_i} + \frac{r_i \cdot Q_{\text{сп}_i}}{\alpha_{\text{зст}_i}}) \cdot 183 + \frac{S_{\text{в}_i} \cdot D_{d_i}}{R_{\text{в}_i}} - Q_{\text{сп}_i} \cdot K_i \cdot \zeta_i \cdot \varepsilon_{\text{в}_i} \cdot S_{\text{в}_i} \cdot \quad (2)$$

Тепловий баланс огорожувальних конструкцій гранної будівлі при цьому мінімізується з наступними граничними умовами:

$$\Delta Q_a = \sum \Delta Q_{i \in a}, \quad (3)$$

$$\Delta Q_b \rightarrow \min. \quad (4)$$

Кількість утеплювача при цьому залишається незмінною:

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

але обмежуються параметри опору теплопередачі:

$$1 \leq R_{\text{ст}_i} \leq 7, \quad 0,5 \leq R_{\text{а}_i} \leq 0,75. \quad (6)$$

У формулах (2) – (6):

$t_{\text{в}_i}, t_{\text{з}_i}$  – температури внутрішнього і зовнішнього повітря;

$r_i$  – коефіцієнт поглинання сонячної радіації поверхні грані;

$Q_{\text{сп}_i}$  – енергетична освітленість грані короткохвильовою радіацією;

$A_b$  – азимут будівлі;

$Q_{\text{к}_i}$  – кількість короткохвильової сонячної радіації, що надходить на сонячний колектор;

$\alpha_{\text{зст}_i}$  – коефіцієнт теплообміну між зовнішньою поверхнею огороження і зовнішнім повітрям;

$S_{\text{ст}_i}$  – площа непрозорої грані огорожувальних конструкцій;

$R_{\text{ст}_i}$  – опір теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій;

183 – кількість днів опалювального періоду;

$R_{\text{в}_i}$  – опір теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій [8];

$D_{d_i}$  – кількість градусо-днів опалювального періоду [8];

$\zeta_i$  – коефіцієнт, що враховує затінення віконного прорізу непрозорими елементами [8];

$\varepsilon_{\text{в}_i}$  – коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації для світлопрозорих конструкцій [8];

$K_i$  – коефіцієнт дійсних умов хмарності, що впливають на надходження сонячної радіації [8].

Розв'язання даної задачі зводиться до оптимізації нелінійної функції з використанням ЕОМ з декількома змінними методом Хука-Джевіса [7]. Залежно від типів оптимізації параметрів уточнюються обмеження і формули. Даний алгоритм реалізований у вигляді програми SOLAR щодо оптимізації декількох параметрів будинків. У наступному розділі наводяться приклади багатопараметричної оптимізації деяких типів будівель.

# ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ ТА УТЕПЛЕННЯ ОКРЕМО РОЗТАШОВАНИХ БУДІВЕЛЬ З ВЕРТИКАЛЬНИМИ СТІНАМИ

## Будівлі у вигляді прямокутного паралелепіпеда

З використанням програми SOLAR для будівлі у вигляді прямокутного паралелепіпеда (рис. 2), розташованої в м. Запоріжжя, оптимізовані пропорції, перерозподілено утеплювач по гранях, оптимізовано параметри вікон. Скорочення тепловтрат за опалювальний період склало 7,62 %.

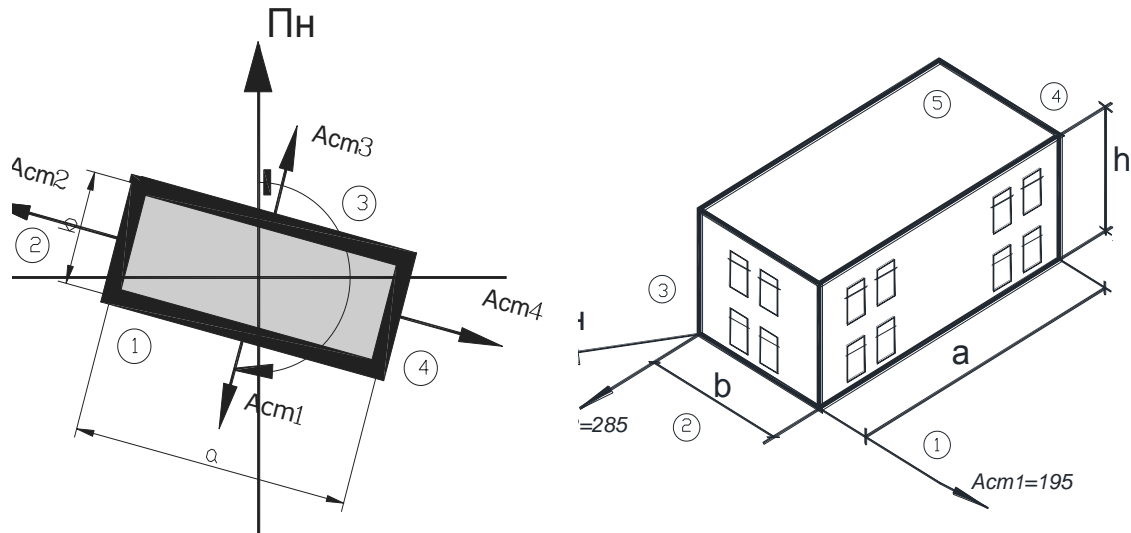


Рис. 2. Будівля що досліджується

## Мансардні будинки

Оптимізовані параметри мансардного будинку (рис. 3) (типового проекту будівлі Леон-118) - параметри пропорцій і утеплювача: три параметри форми ( $a$ ,  $b$ ,  $h$ ), шість параметрів опору теплопередачі утеплювача для непрозорих конструкцій  $R_{стi}$ , шість параметрів площі вікон  $S_{ві}$ , шість параметрів опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій  $R_{ві}$ ).

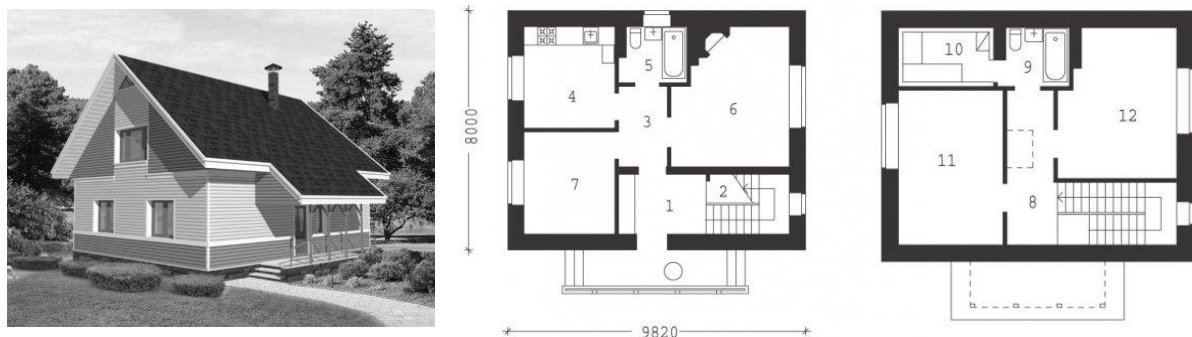


Рис. 3. Досліджувана будівля

Скорочення тепловтрат через огорожувальні конструкції типового проекту будинку для будинку Леон-118 становило 12,69 %.

### Оптимізація параметрів блокованих будівель

Оптимізовано параметри будинку частково блокованого однією гранню (рис. 4).

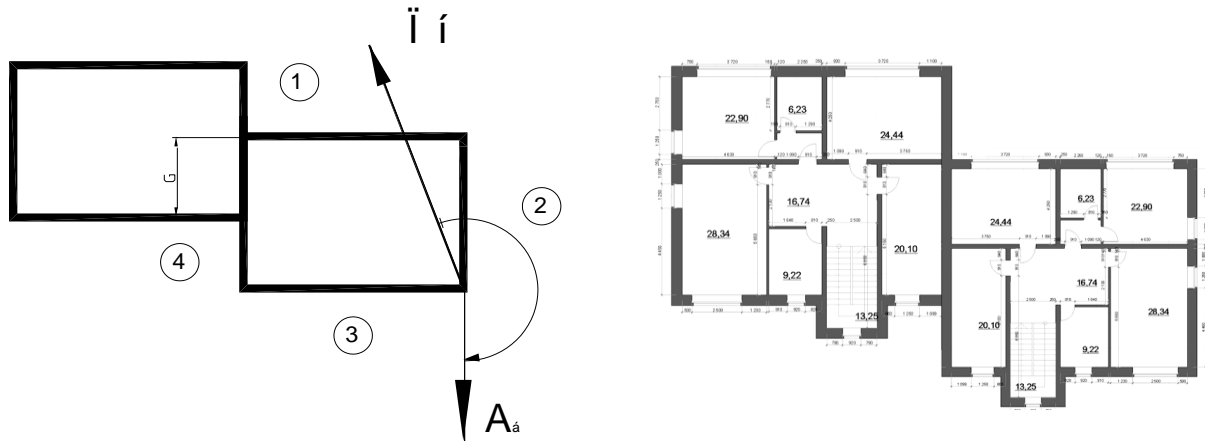


Рис. 4. План будинку, що частково блокується однією гранню

Оптимізовано параметри форми будинку ( $a$ ,  $b$ ,  $h$ ), опору теплопередачі огорожувальних конструкцій  $R_{стb}$ ,  $R_{вi}$  та площі  $S_{вi}$  світлопрозорих конструкцій кожної грані. Скорочення тепловтрат через огорожувальні конструкції становило 22,34 %.

### ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ РОЗРОБОК

Для підвищення енергоефективності запропонований спосіб багатопараметричної оптимізації енергоефективних будівель (параметрів пропорцій і розподілу утеплювача, орієнтації, площі вікон та ін.), який реалізований у вигляді програми SOLAR для оптимізації декількох параметрів будинків з метою мінімізації теплового балансу огорожувальних конструкцій з оточуючим середовищем. Для окремо розташованого будинку, у формі прямокутного паралелепіпеда в місті Запоріжжя оптимізація пропорцій і перерозподілу утеплювача по огорожувальних конструкцій, дає зменшення тепловтрат на 7,62% протягом опалювального періоду. Для мансардного будинку - 12,69%. Для блокованого частково однією стороною будинку скорочення тепловтрат склало 22,34 %. Даний спосіб доцільно використовувати при проектуванні енергоефективних, енергоекономічних та звичайних будівель.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Маркус Т.А. Здания, климат и энергия / Т.А. Маркус, Э.Н. Морис. – Л. : Гидрометеиздат, 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. Беляев В.С. Проектирование энергоэкономичных и энергоактивных гражданских зданий / В.С. Беляев, П.П. Хохлова. – М. : Высш. школа, 1991. – 255 с.

4. Мартинов В.Л. Геометричне моделювання параметрів енергоактивних житлових будинків / В.Л. Мартинов // Геометрическое моделирование и компьютерные технологии: теория, практика, образование: Матер. VI Міжнародної науково-практичної конференції. – Харьков, 2009. – С. 153–158.
5. Сергейчук О.В. Оптимізація розподілу утеплювача по поверхні будівлі при заданому класі його ефективності / О.В. Сергейчук // Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн: Матер. VI Міжнародної Кримської науково-практичної конференції. – Сімферополь, 2009. – С. 44–49.
6. Сергейчук О.В. Оптимізація форми енергоефективної будівлі, зовнішня оболонка якого p-параметрична поверхня / О.В. Сергейчук // Геометричне моделювання та комп'ютерний дизайн: Матер. VII Міжнародної Кримської науково-практичної конференції. – Сімферополь, 2010. – С. 150–155.
7. Банди Б. Методы оптимизации. Вводный курс; пер. с англ. О.В. Шихеевой; под ред. В.А. Волынского / Б.Банди. – М. : Радио и связь, 1988. – 128 с.
8. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2006. – (Чинний від 2007-04-01). – К.: Укрархбудінформ, 2006. – 65 с. – ( Державні будівельні норми України).

Стаття надійшла до редакції 15.03.2013 р.