

УДК 692:64.01:005.61+620.91

## РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНОЇ СХЕМИ РОЗТАШУВАННЯ БУДІВЛІ ТА ЗАСКЛЕННЯ ЇЇ ФАСАДІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ

Юрченко Є.Л. к.т.н., доц., Коваль О.О. к.т.н.,  
Мислицька А.О. здобувач, Трояновський О.В. студент  
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та  
архітектури»

**Формулювання проблеми.** Раніш у роботах [2, 3] були розроблені основні засади раціонального проектування конструкцій малоповерхових будівель і термореновації огорожуючих конструкцій. Дані розробки можна використовувати як основу для методики проектування енергоефективних будинків із раціональним використанням сонячної енергії.

**Метою даної роботи** є вдосконалення методики раціонального проектування житлових енергоефективних будинків у розрізі ефективного використання сонячної енергії. Ця методика заснована на визначенні мінімальної річної енергопотребы для опалення при використанні раціональної схеми розташування будівлі і проценту засклення її фасадів.

**Основний матеріал.** У загальному вигляді, раціональне проектування житлових будинків полягає в розробці проекту за заданим критерієм оптимальності, який би задовольняв усім вимогам діючих будівельних норм при заданих обмеженнях. Вимоги можна сформулювати у вигляді системи нерівностей [2, 3]:

$$y_i(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \leq 0 (i = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

де  $x_i$  - визначальні параметри проектування конструкцій будівлі;  
 $y_i$  - оператор загального виду.

Задача раціонального проектування житлових будівель полягає в тому, що при виконанні умов (1) забезпечити мінімум критерію, за яким оцінюється проект. Цей критерій залежить від параметрів  $x_i$  та називається цільовою функцією.

У якості цільової функції у даній задачі приймається мінімальна річна енергопотреба для опалення:

$$Q_{H,h}(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \Rightarrow \min \quad (2)$$

З урахуванням формул формула (2) приймає вигляд:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}, = \min \quad (3)$$

де  $Q_{H,nd,cont}$  -енергопотреба для постійного опалення будівлі, Вт год, повинна бути більше чи дорівнювати 0;

$Q_{H,ht}$  - сумарна теплопередача в режимі опалення, Вт·год;

$Q_{H,gn}$  -сумарні теплонадходження в режимі опалення, Вт·год;

$\eta_{H,gn}$  -безрозмірний коефіцієнт використання надходжень

Обмеженнями задачі оптимізації є:

- регіон будівництва, від якого залежить тривалість періоду опалення та значення сонячної радіації;

- діючи нормативи на теплотехнічні властивості огорожуючих конструкцій;

- діючи нормативи для проектування житлових будівель (архітектурно-конструктивні параметри будівлі).

Виходячи із формули (3) раціональним буде варіант проекту, який максимально використовує сонячну енергію (має великі сумарні теплонадходження), при мінімальних втратах тепла за рахунок теплопередачі (мінімальна сумарна теплопередача). Так, чим більшою мірою будівля використовує сонячну енергію для теплового комфорту приміщень (у вигляді сонячних надходжень), тим нижчі експлуатаційні витрати на опалення цієї будівлі.

Постановка задачі на прикладі реального проекту знайти оптимальну схему розташування будівлі та застосування її фасадів при проектуванні у різних температурних зонах України.

Для постановки й вирішення задачі вибору оптимального проекту енергоефективного будівлі є раціональним використанням сонячної енергії було розглянуто проект двоповерхового житлового будинку, запроєктований відповідно до вимог ДБН В.2.2-15-2005 «Житлові будинки. Основні положення» [1].

Об'єкт дослідження - типова двоповерхова будівля простої квадратної форми у плані. Об'ємно-планувальні параметри відповідають діючим в Україні будівельним нормам [3]. Загальні данні об'єкту (планівка, фасади) наведені на рис. 1.

Зовнішні габарити 9 x 9 м, внутрішні – 8,6 x 8,6 м.

Висота приміщень прийнята 2,7 м (згідно [3]) у районах із середньомісячною температурою липня 21°C і більше висоту житлових поверхів необхідно приймати не менше 3,0 м, а висоту житлових приміщень - не менше 2,7 м.)

Теплоізоляційні характеристики відповідають ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» (зі Зміною 1) [1].

Площа одного фасаду – 46,44 м<sup>2</sup>, площа всіх фасадів – 185,76 м<sup>2</sup>.

Застосування фасадів приймалося згідно [3] - відношення площі світлових прорізів житлових кімнат і кухонь до площі підлоги цих приміщень повинно бути в межах від 1:5,5 до 1:8.



Рис. 1. Об'єкт дослідження - типова двоповерхова будівля

Було запропоновано п'ять схем розташування будівлі та засклення її фасадів (рис. 2)

Регіони будівництва, розглянуті у роботі: м. Дніпропетровськ, м. Сімферополь, м. Київ, м. Чернігів.

Таким чином, постановка задачі на для проекту - знайти із запропонованих п'яти схем, оптимальну схему розташування будівлі та засклення її фасадів при проектуванні у різних температурних зонах України

Математична модель розроблена для вирішення задачі - вибору оптимальної схеми розташування та засклення фасадів малоповерхового житлового будинку.

Задача пошуку оптимального варіанта формулюється в такий спосіб: визначити із запропонованих альтернативних схем розташування варіант із мінімальним значенням річної енергопотреби для постійного опалення будівлі.

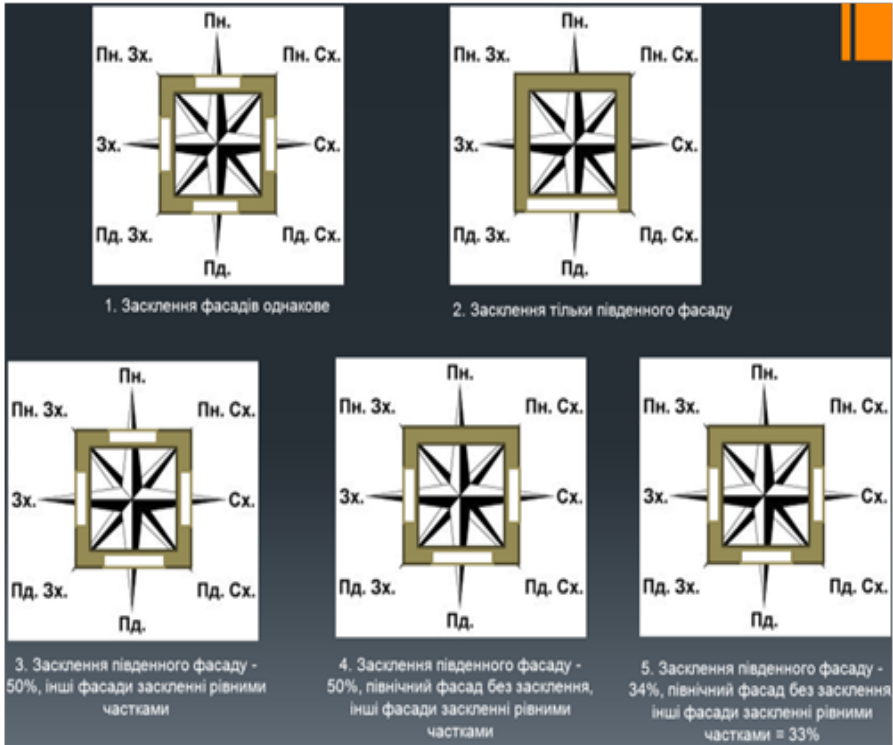


Рис. 2. Схеми розташування будинку та засклення фасадів

Математична модель задачі пошуку варіанту проекту енергоефективної будівлі з раціональним використанням сонячної енергії формулюється у формі задачі нелінійного програмування: мінімізувати річні енергопотребити для постійного опалення будівлі за визначених обмежень. З урахуванням формул визначення втрат тепла за рахунок трансмісії та сонячних теплонадходжень [6, 7, 8], а також враховуючи певні обмеження, математична модель має вигляд:

$$Q_{(H,ht)} = \sum_i^{12} \left[ \left[ H_{(D,k)} \cdot (20 - \theta_{e}) \cdot t - \sum_k (g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{(w,p)} \cdot I_{(sol,k)} + \alpha_{se} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c) \right] \rightarrow \min \right]$$

де  $i$  – місяці року

$k$  – орієнтація огорожуючої конструкції за сторонами світу (північ - ПН, південь - ПД, схід - СХ, захід - ЗХ);

$HD$  – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К;

$20 - (\theta_{int,set,H})$  – задана температура зони будівлі для опалення для житлових будівель,  $\theta_{int,set,H} = 20^{\circ}\text{C}$ ;

- t – тривалість місяцю для якого проводиться розрахунок, год, визначена згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія [6].
- сонячна радіація, значення енергетичної освітленості сприймаючої площі k-ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності Вт/м<sup>2</sup>, визначена згідно з [6];
- загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії світлопрозорої частини елемента, визначений згідно з формулою (2.10);
- частка площі обрамлення, відношення площі проекції обрамлення до загальної площі проекції зашкленого елемента;
- загальна площа проекції зашкленого елемента (наприклад, площа вікна), м<sup>2</sup>
- безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною, приймають згідно з даними таблиці 2.2;
- тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини, м<sup>2</sup>·К/Вт, приймають 0,043 м<sup>2</sup>·К/Вт;
- коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини, Вт/(м<sup>2</sup>·К); для фасадної теплоізоляції з вентиляваним повітряним прошарком та вентиляваних горищних покриттів значення необхідно помножити на коефіцієнт 0,04;
- площа проекції непрозорої частини, м<sup>2</sup>.

Змінним параметром задачі є узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, HD , Вт/К, який у даному випадку розраховується за формулою:

$$H_D = \sum k^4 \cdot [A_{ost} \cdot U_{ost} + \sum k^4 \cdot [A_{wool} \cdot U_{wool} ] ] \quad (5)$$

де:

HD – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К;

k – орієнтація огорожжючої конструкції за сторонами світу (північ - ПН, південь - ПД, схід - СХ, захід - ЗХ);

A<sub>ost</sub>, A<sub>wool</sub> - відповідно площа зашклення фасаду (вікна) k-ї орієнтації та площа світонепрозорої огорожжючої конструкції (стіни) k-ї орієнтації;

U<sub>ost</sub>, U<sub>wool</sub> - відповідно коефіцієнт теплопередачі зашклення фасаду (вікна) k-ї орієнтації та коефіцієнт теплопередачі світонепрозорої огорожжючої конструкції (стіни) k-ї орієнтації;

Безпосередньо у даній задачі змінювались геометричні показники, а саме площі огорожжючих конструкцій - A<sub>ost</sub>, A<sub>wool</sub> з певними обмеженнями.

Обмеженнями задачі оптимізації є:

- коефіцієнт теплопередачі огорожжючих конструкцій відповідають діючим нормам [2];

- у даній задачі розрахунок тепловтрат здійснювався через вертикальні огорожжючі конструкції – вікна та стіни. Тепловий потік через покриття та пол по ґрунту у запропонованих схемах приймався однаковим і не враховувались у розрахунках;

- теплопередача вентиляцією і внутрішні теплонадходження у запропонованих схемах приймалися однаковими і не враховувались у розрахунках;
- сума площі стіни та вікна не повинна перевищувати площі фасаду;
- тривалість періоду опалення та значення сонячної радіації обмеженні відповідно до регіону будівництва (м. Дніпропетровськ, м. Сімферополь, м. Київ, м. Чернігів);
- коефіцієнт застакнення фасадів змінювався згідно [1] - відношення площі світлових прорізів житлових кімнат і кухонь до площі підлоги цих приміщень повинно бути в межах від 1:5,5 до 1:8.

Оптимальним варіантом проекту будівлі є раціональне сполучення архітектурної, конструктивної й інженерно-технологічної складової енергетичної ефективності будівлі, що дозволить одержати мінімальні значення річної енергопотреби для постійного опалення.

На прикладі об'єкта дослідження, доведено розрахунками, що для всіх розрахункових регіонів оптимальної схемою розташування будівлі є друга схема (при застакненні тільки південного фасаду). При мінімальному нормативному коефіцієнті застакнення (1/8) будівля має мінімальні річні енергопотреби на опалення.

### **Висновки:**

1. Розроблено математичну модель для вирішення задачі - вибору оптимальної схеми розташування та застакнення фасадів малоповерхового житлового будинку. Задача пошуку оптимального варіанта формулюється в такий спосіб: визначити із запропонованих альтернативних схем розташування варіант із мінімальним значенням річної енергопотреби для постійного опалення будівлі.
2. Поставлено і вирішено задачу пошуку оптимальної схеми розташування та застакнення фасадів малоповерхового житлового будинку для чотирьох регіонів України.

### **ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА**

1. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. – [Чинний з 01.04.2007].- К.: Мінбуд України, 2006. - 64 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Коваль Е.А. Энергоэффективность архитектурно-конструктивных систем малоэтажных жилых зданий: Дис. канд. техн. наук: 05.23.01. / Коваль Е.А. – Днепропетровск, 2012. – 152с.
3. Савицкий Н.В., Юрченко Е.Л., Коваль Е.А. Совершенствование методики рационального проектирования малоэтажных жилых зданий с учетом их жизненного цикла / Н.В. Савицкий, Е.Л. Юрченко,

Е.А. Коваль , Т.А. Ковтун-Горбачева // Theoretical foundations of civil engineering. – Warsaw: WUT, 2011. vol. №19/ – p. 307-312.

4. ДБН В.2.2-15-2005 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення / К.: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2005. – 36 с.

5. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції: ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 – [Чинний з 01.07.2008].- К.: Мінрегіонбуд України, 2008. - 44 с. – (Державний стандарт України).

6. EN ISO 13790:2008 Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling – CEN – 162 p.

7. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні: ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 – [Чинний з 01.01.2013] – (Державний стандарт України).

8. Довідник з питань сертифікації будівель /ENSI Saving International. – К: 2013.-98с.