

ОПТИМІЗАЦІЯ ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОГО РІВНЯ ТЕПЛОВТРАТ

*Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського,
Кременчук, Україна*

Розроблено аналітичний і графічний способи визначення оптимальних та раціональних параметрів утеплювача (опору теплопередачі) світлопрозорих та непрозорих огорожувальних конструкцій теплоізоляційної оболонки енергоефективних будівель з метою забезпечення заданого рівня тепловтрат з урахуванням надходження тепла від сонячної радіації і підтримки комфортного мікроклімату в приміщеннях. Для автоматизації розрахунків розроблено ППП Polar, з використанням якої будуються моделі раціонального опору теплопередачі $R_{стри} = f(A_{\sigma})$ залежно від азимутальної орієнтації будівлі та розраховуються оптимальні геометричні параметри теплоізоляційної оболонки будівель.

Постановка проблеми. Підвищення енергоефективності як звичайних так і енергоефективних будівель можливе за рахунок використання позитивного теплоенергетичного впливу навколишнього середовища, що можна досягти оптимізацією геометричних параметрів (опору теплопередачі) теплоізоляційної оболонки. У зв'язку з цим при проектуванні енергоефективних будівель виникає потреба в розробці способів визначення оптимального опору теплопередачі огорожувальних конструкцій з урахуванням як тепловтрат так і теплонадходження від сонячної радіації через огорожувальні конструкції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] питання оптимізації параметрів утеплювача розглянуто в загальному вигляді без урахування гранної форми будівлі. Вирішенню задачі багатопараметричної оптимізації з точки зору мінімізації тепловтрат через огорожувальні конструкції присвячена робота [2], але при цьому не забезпечується заданий рівень тепловтрат через огорожувальні конструкції. Відсутні графічні способи розв'язання цієї задачі.

Мета та завдання статті. Запропонувати аналітичний і графічний способи оптимізації опору теплопередачі теплоізоляційної оболонки будівлі для забезпечення заданого рівня тепловтрат через огорожувальні конструкції, які можливо застосовувати під час архітектурного проектування.

Основна частина. Розроблено *аналітичний спосіб* оптимізації опору теплопередачі огорожувальних конструкцій при заданому загальному рівні тепловтрат $\Delta Q_{\text{Б}}$ через огорожувальні конструкції.

Наразі оптимізуються декілька геометричних параметрів опору теплопередачі огорожувальних конструкцій протягом опалювального періоду. Для цього складається математична модель теплового балансу $\Delta Q_{\text{гр}i}$ кожної грані будівлі, яка враховує опір теплопередачі ($R_{\text{ст}i}, R_{\text{в}i}$) непрозорих і світлопрозорих конструкцій, площу конструкцій ($S_{\text{в}i}, S_{\text{ст}i}$), геометричні параметри орієнтації для розташування вікон на фасадах будівлі ($A_{\text{в}i}, \omega_{\text{в}i}$) та ін.

Математичну модель теплового балансу грані будівлі можна зобразити у вигляді:

$$\Delta Q_{\text{д}i} = \frac{S_{\text{н}i}}{R_{\text{н}i}} \cdot \left(t_{\text{в}i} - \left(t_{\text{в}i} + \frac{r_i \cdot I_{\text{сп}i}}{\alpha_{\text{ст}i}} \right) \right) \cdot N_{\text{д}i} + \frac{S_{\text{в}i} \cdot D_{d_i}}{R_{\text{в}i}} - Q_{\text{сп}i} \cdot K_i \cdot \zeta_i \cdot \varepsilon_{o_i} \cdot S_{\text{в}i}. \quad (1)$$

Розв'язання даної задачі зводиться до оптимізації нелінійної функції з декількома змінними з використанням комп'ютера. Змінними є параметри опору теплопередачі теплопередачі ($R_{\text{ст}i}, R_{\text{в}i}$) світло прозорих та непрозорих конструкцій.

Сумарний опір теплопередачі непрозорих і світлопрозорих конструкцій мінімізується:

$$\sum (R_{\text{в}i} S_{\text{в}i} + R_{\text{ст}i} S_{\text{ст}i}) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Система обмежень

Кількість тепловтрат $\Delta Q_{\text{Б}}$ через огорожувальні конструкції відповідає класу енергоефективності будівлі та є незмінною:

$$\Delta Q_{\text{Б}} = \sum \Delta Q_{\text{гр}i} = \text{const}. \quad (3)$$

Кількість утеплювача мінімізується, при цьому обмежуються геометричні параметри опору теплопередачі утеплювача відповідно[3]:

$$1 \leq R_{\text{н}i} \leq 7, \quad 0,5 \leq R_{\text{в}i} \leq 0,75. \quad (4)$$

Залежно від типу будівлі уточнюються параметри обмеження, де $t_{\text{в}i}$ – фактична температура зовнішнього повітря (град); $t_{\text{в}i}$ – температура внутрішнього повітря (град); r_i – альbedo поверхні грані будівлі; $I_{\text{сп}i}$ – енергетична освітленість повітря короткохвильовою радіацією ($\text{Вт}/\text{м}^2$); $\alpha_{\text{ст}i}$ – коефіцієнт теплообміну між зовнішньою поверхнею огорожувальної конструкції та зовнішнім повітрям; $R_{\text{ст}i}$ – опір теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій ($\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$); $N_{\text{д}i}$ – кількість днів опалювального періоду [3]; $R_{\text{в}i}$ – опір теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій ($\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$) [3]; D_{d_i} – кількість градусо-днів опалювального

періоду [3]; $S_{\text{ст}i}$ – площа непрозорої грані огорожувальних конструкцій (м^2); $Q_{\text{ср}i}$ – кількість сонячної радіації, що надходить протягом опалювального періоду ($\text{кВт год}/\text{м}^2$); K_i – коефіцієнт дійсних умов хмарності, що впливають на надходження сонячної радіації [3]; ζ – коефіцієнт, що враховує затінення віконного прорізу непрозорими елементами [3]; ε_{oi} – коефіцієнт відносного надходження сонячної радіації для світлопрозорих конструкцій [3]; $g = \zeta_i \cdot \varepsilon_o$ – фактор засклення вікон.

Вирішення даної задачі зводиться до оптимізації нелінійної функції з використанням комп'ютера за декількома змінними методом Хука–Дживса.

Графічний спосіб визначення раціонального опору теплопередачі непрозорих конструкцій

Для забезпечення заданого рівня тепловтрат ($\Delta Q_{\text{ст}i} = \text{const}$) через непрозорі огорожувальні конструкції з метою підвищення енергоефективності будівлі пропонується використовувати раціональний опір теплопередачі залежно від азимутальної орієнтації.

Раціональний опір теплопередачі $R_{\text{стр}i}$ розраховується за формулою:

$$R_{\text{стр}i} = \frac{N_{\text{дiб}}}{\Delta Q_{\text{ст}i}} \left(t_{\text{в}i} - \left(t_{\text{з}i} + \frac{\rho_i \cdot I_{\text{ср}i}}{\alpha_{\text{зст}i}} \right) \right). \quad (5)$$

Для автоматизації розрахунків розроблено ППП *Polar*, з використанням якої побудовано модель раціонального опору теплопередачі $R_{\text{стр}i} = f(A_\sigma)$, залежно від азимутальної орієнтації будівлі (рис.1).

Суміщення креслень будівлі з моделлю та проведення нормалей дозволить визначити раціональний опір теплопередачі непрозорих конструкцій.

Але в огорожувальних конструкціях будівлі до 50 відсотків тепловтрат відбувається через світлопрозорі конструкції, тому спосіб моделювання раціонального опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій розглянемо далі.

**Раціональний опір теплопередачі непрозорих конструкцій $R_{стр} = f(A_{\sigma})$
для опалювального періоду м. Київ**

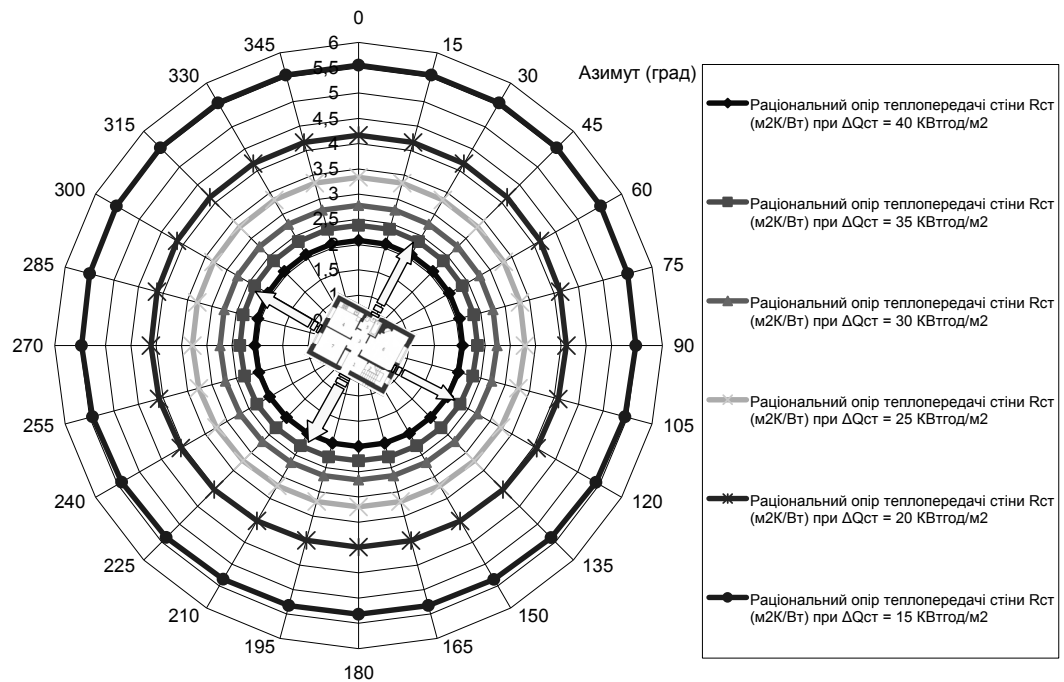


Рис. 1. Графічна модель раціонального опору теплопередачі $R_{стри} = f(A_{\sigma})$ при $\omega=90$ непрозорих конструкцій стін, залежно від азимутальної орієнтації, при заданому рівні тепловтрат $\Delta Q_{cti} = \text{const}$

Графічний спосіб визначення раціонального опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій

Для забезпечення заданого рівня теплового балансу $\Delta Q_{vi} = \text{const}$ світло прозорих конструкцій (тепловтрат і тепло надходжень від СР протягом опалювального періоду) виведено аналітичні залежності для визначення раціонального опору теплопередачі конструкцій.

Раціональний опір теплопередачі вікон $R_{вpi}$ визначається:

$$R_{вpi} = \frac{D_{di}}{\Delta Q_{vi} + Q_{cp i} \cdot K_i \cdot \zeta_i \cdot \varepsilon_{vi}} \quad (6)$$

Розроблено комп'ютерні програми та побудовано графічні моделі $R_{вpi} = f(A_{\sigma})$ раціонального опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій (рис. 2) (що забезпечують рівень теплового балансу 100, 80, 60, 40 кВт год/м² протягом опалювального періоду) які можуть використовувувати ся ще на етапі архітектурного проектування.

Рациональний опір теплопередачі вікна
 $R_{врі} = f(A_{\sigma})$ при $w = 90$ та $w = 0$ для опалювального періоду м. Київ, $g = 0,5$

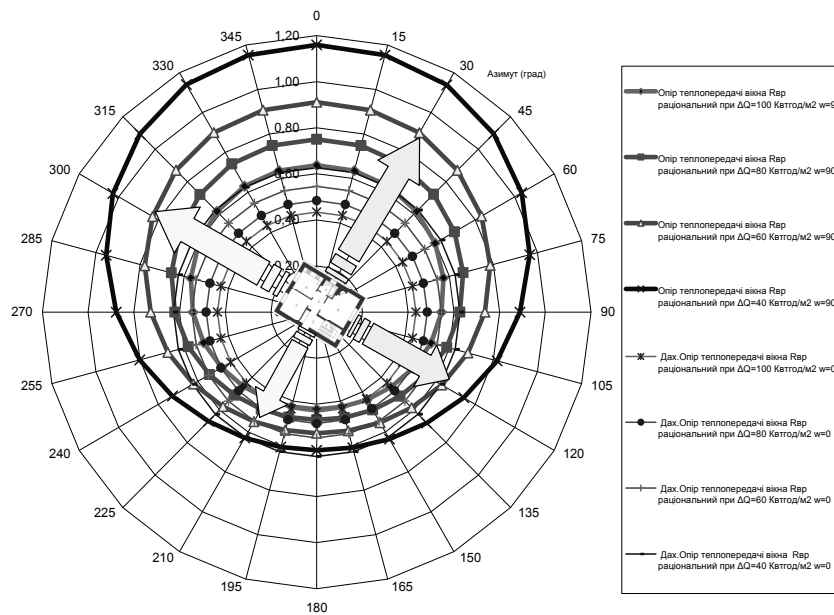


Рис. 2. Визначення раціонального опору теплопередачі вікон залежно від орієнтації та зон раціонального розташування вікон на фасадах будівлі

Для визначення раціонального опору теплопередачі та розташування вікон на гранях будівлі гранної форми разом з отриманими графічними моделями $R_{врі} = f(A_{\sigma})$ застосовуються і креслення будівлі. При цьому план будівлі суміщується з моделями, і проектувальник у діалоговому режимі за комп'ютером визначає раціональний рівень опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій і зони раціонального, допустимого та небажаного розташування вікон в огорожувальних конструкціях будівлі.

Приклад. Для присадибного будинку в м. Київ, використовуючи графічні моделі рис. 2 можна зробити такі рекомендації щодо забезпечення заданого рівня тепловтрат вікон $\Delta Q_{vi} = 60$ кВт год/м² за рахунок раціонального опору теплопередачі та орієнтації світлопрозорих конструкцій, а саме:

- розташовувати вікна з великими розмірами доцільно на фасаді з орієнтацією $A_{\sigma} = 210^{\circ}$ ($R_{врі} = 0,48$ м² · К/Вт) та $A_{\sigma} = 120^{\circ}$ ($R_{врі} = 0,52$ м² · К/Вт) та відповідно використовувати раціональний опір теплопередачі;

- розташування вікон на фасаді з орієнтацією $A_{\sigma} = 300^{\circ}$ можливо при встановленні вікон з раціональним опором теплопередачі $R_{врі} = 0,82$ м² · К/Вт;

- вікна з орієнтацією $A_{\sigma} = 30^{\circ}$ розташовувати на фасаді недоцільно, але за необхідності їх використання необхідно довести опір теплопередачі до $R_{врі} = 0,9$ м² · К/Вт;

- пропонується по можливості для приміщень з орієнтацією світлопрозорі конструкції $A_{\sigma} = 30^{\circ}$ перенести вікно на стіну з азимутальною

орієнтацією $A_{\sigma} = 120^{\circ}$, а для приміщень з орієнтацією $A_{\sigma} = 300^{\circ}$ перенести вікно на стіну з азимутальною орієнтацією $A_{\sigma} = 210^{\circ}$.

Висновки. Розроблено аналітичний і графічний способи визначення оптимального і раціонального опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій з урахуванням теплоенергетичного впливу навколишнього середовища за умови дотримання заданого рівня тепловтрат через огорожувальні конструкції.

Література

1. *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». – Сімферополь, 2009. – С. 44–49.

2. *Мартинов В. Л.* Багатопараметрична оптимізація гранних енергоефективних будівель / В. Л. Мартинов // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Геометричне моделювання, комп'ютерні технології та дизайн: теорія, практика, освіта». – Ужгород, 2011. – С. 135–139.

3. 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).

ОПТИМИЗАЦИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ОБОЛОЧКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАДАННОГО УРОВНЯ ТЕПЛОПОТЕРЬ

В. Л. Мартынов

Разработан аналитический и графический способы определения оптимальных и рациональных параметров утеплителя (сопротивления теплопередаче) светопрозрачных и непрозрачных ограждающих конструкций теплоизоляционной оболочки энергоэффективных зданий с целью обеспечения заданного уровня теплопотерь с учетом поступления тепла от солнечной радиации и поддержания комфортного микроклимата в помещениях. Для автоматизации расчетов разработан ППП *Polar*, с использованием которой строятся модели рационального сопротивления теплопередачи $R_{стри} = f(A_{\sigma})$ в зависимости от азимутальной ориентации здания и рассчитываются оптимальные геометрические параметры теплоизоляционной оболочки здания.

**OPTIMIZATION OF HEAT TRANSFER RESISTANCE OF HEAT-
INSULATING SHEATH OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS FOR
PREDETERMINED LEVEL OF HEAT LOSS**

V. Martynov

Developed analytical and graphical methods for determining the optimal and rational parameters of insulation (thermal resistance) of translucent and opaque walling heat insulating sheath of energy efficient buildings in order to provide a given level of heat with the heat input from solar radiation and maintain a comfortable indoor climate. To automate the calculations developed program Polar, using which management model built heat resistance $R_{\text{wri}} = f(A_{\sigma})$ in dependence on the azimuthal orientation of the building and the calculated optimal geometrical parameters insulating building envelope.