



МАРТИНОВ Вячеслав Леонідович,

д-р техн. наук, професор,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ORCID ID: 0000-0002-0822-1970

СЕРГЕЙЧУК Олег Васильович,

д-р техн. наук, професор,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ORCID ID: 0000-0003-0226-3923

Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОЇ ОБОЛОНКИ БУДІВЛІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАДАНОГО РІВНЯ ТЕПЛОВТРАТ

Існуючі нормативні документи¹ регламентують мінімальний рівень опору теплопередачі через огорожувальні конструкції будівель, але при цьому не враховуються такі особливості теплоенергетичного впливу навколишнього середовища, як рівень надходження тепла від сонячної радіації (СР) і вплив вітру. Так, правомірним залишається питання з визначення оптимального опору теплопередачі граней теплоізоляційної оболонки будівлі для забезпечення визначеного рівня тепловтрат ΔQ_A з урахуванням просторової орієнтації граней будівлі та теплового впливу навколишнього середовища, з метою мінімізації тепловтрат через огорожувальні конструкції в цілому, що сприятиме підвищенню енергоефективності будівель.

У роботі розроблено аналітичний спосіб оптимізації опору теплопередачі огорожувальних конструкцій при заданому загальному рівні тепловтрат ΔQ_B через огорожувальні конструкції.

Наразі оптимізуються декілька геометричних параметрів опору теплопередачі огорожувальних конструкцій протягом опалювального періоду. Для цього складається математична модель теплового балансу $\Delta Q_{\text{гр}}$ кожної грані будівлі², яка враховує опір теплопередачі ($R_{\text{стi}}$, $R_{\text{вi}}$) непрозорих і світлопрозорих конструкцій, площу конструкцій ($S_{\text{вi}}$, $S_{\text{стi}}$),

1 Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2021. [Чинні від 2022-09-01], Мінбуд України. К. : Укрархбудінформ, 2021. 27 с. (Державні будівельні норми України).

2 Мартинов В. Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранчасті форми: дис. ...доктор техн. наук : 05.01.01 / Мартинов Вячеслав Леонідович. М., 2015. 351 с.

геометричні параметри орієнтації для розташування вікон на фасадах будівлі ($A_{\text{в}i}$, $\omega_{\text{в}i}$) та ін.

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

Сумарний опір теплопередачі непрозорих і світлопрозорих конструкцій мінімізується:

$$\sum (R_{\text{а}i}, S_{\text{а}i} + R_{\text{б}i}, S_{\text{б}i}) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Система обмежень

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

$$\Delta Q_{\text{А}} = \sum \Delta Q_{\text{б}i} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Кількість утеплювача мінімізується, при цьому обмежуються геометричні параметри опору теплопередачі утеплювача відповідно¹:

$$1 \leq R_{\text{н}0i} \leq 7, 0,5 \leq R_{\text{в}i} \leq 0,75. \quad (3)$$

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

Визначення раціонального опору теплопередачі непрозорих конструкцій

Для забезпечення заданого рівня тепловтрат ($\Delta Q_{\text{стр}i}$) 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:

$$R_{\text{н}0i} = \frac{N_{\text{а}^3\text{а}}}{\Delta Q_{\text{б}i}} \left(t_{\text{а}i} - \left(t_{\text{с}i} + \frac{\tilde{n}_i \cdot I_{\text{п}i}}{\text{а}_{\text{сн}0i}} \right) \right). \quad (4)$$

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.

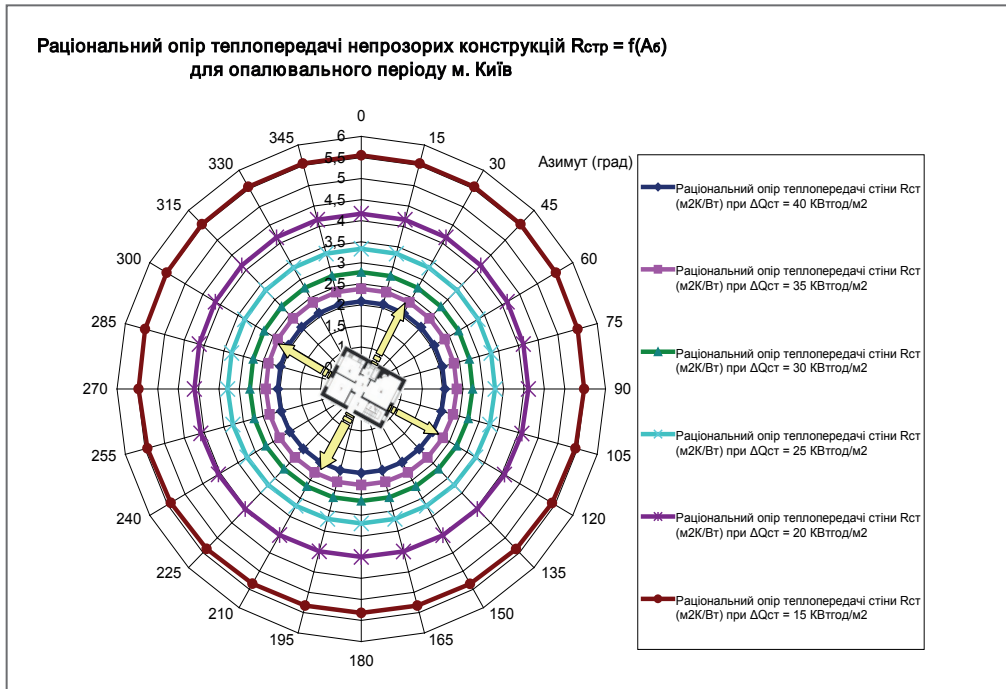


Рис.1. Графічна модель раціонального опору теплопередачі $R_{стр} = f(A_\phi)$ при $\omega=90$ непрозорих конструкцій стін, залежно від азимутальної орієнтації, при заданому рівні тепловтрат $\Delta Q_{ст} = \text{const}$

Аналіз побудованих моделей для різних регіонів України показав, що для стін з північною орієнтацією раціональним є підвищення опору теплопередачі на 5–6 відсотків, для стін зі східною та західною орієнтацією, порівняно з південною, на 2–3 відсотки, що приведе до скорочення тепловтрат будівлі.

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

Визначення раціонального опору теплопередачі світлопрозорих конструкцій

Для забезпечення заданого рівня теплового балансу $\Delta Q_{vj} = \text{const}$ світлопрозорих 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:

$$R_{вpi} = \frac{D_{di}}{\Delta Q_{vi} + Q_{спi} \cdot K_i \cdot \zeta_i \cdot \epsilon_{vi}}. \quad (5)$$

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

Для визначення раціонального опору теплопередачі та розташування вікон на гранях будівлі гранної форми разом з отриманими графічними моделями $R_{\text{врі}} = f(A_{\sigma})$ 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.

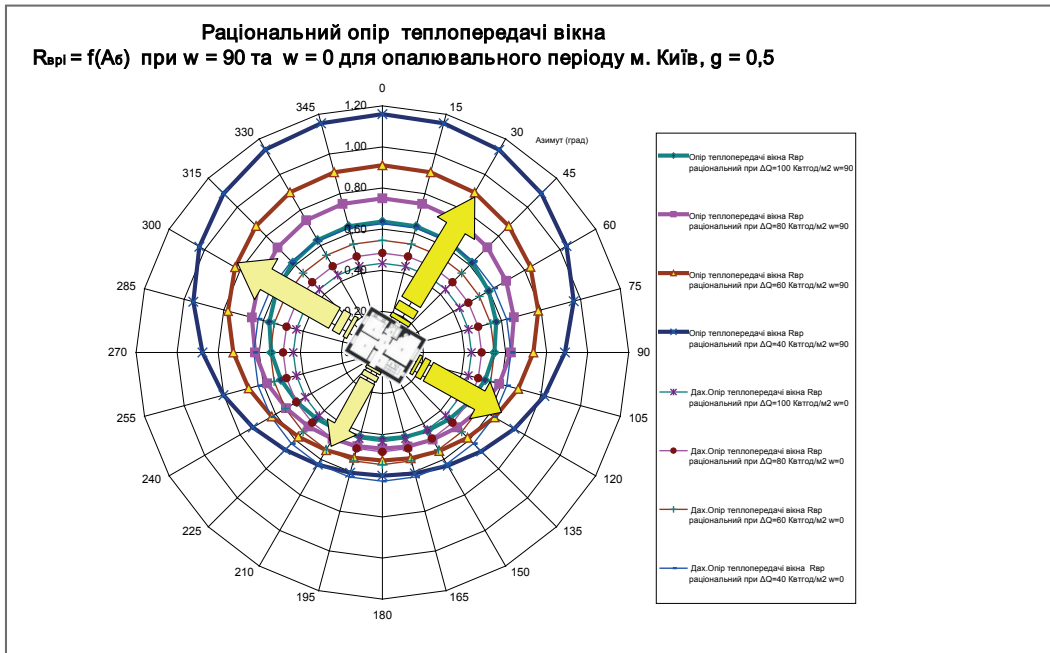


Рис.2. Визначення раціонального опору теплопередачі вікон залежно від орієнтації та зон раціонального розташування вікон на фасадах будівлі

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

– розташовувати вікна з великими розмірами доцільно на фасаді з орієнтацією $A_{\sigma} = 210^{\circ}$ ($R_{\text{вр}} = 0,48$ м²·К/Вт) та $A_{\sigma} = 120^{\circ}$ ($R_{\text{вр}} = 0,52$ 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 $R_{\text{вр}} = 0,82 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$;
- вікна з орієнтацією $A_{\sigma} = 30^{\circ}$ розташовувати на фасаді недоцільно, але за необхідності їх використання необхідно довести опір теплопередачі до $R_{\text{вр}} = 0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$;
- пропонується по можливості для приміщень з орієнтацією світло прозорої 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 $A_{\sigma} = 210^{\circ}$.

Аналіз моделей для всіх природно-кліматичних районів України показав, що на тепловий баланс світлопрозорих конструкцій значною мірою впливає опір теплопередачі, g -фактор засклення та орієнтація світлопрозорих конструкцій.

Таким чином, розроблено аналітичний спосіб визначення оптимального опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій (перерозподілу утеплювача по огорожувальних конструкціях) з урахуванням теплоенергетичного впливу навколишнього середовища (при визначеній кількості утеплювача), а також графічний спосіб визначення раціонального опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих вертикальних конструкцій будівлі (перерозподілу утеплювача по огорожувальних конструкціях), залежно від азимутальної орієнтації, за умови дотримання заданого рівня тепловтрат.

DOI: 10.51587/9798-9866-95907-2022-009-19-23