

д. т. н., професор **Мартинів В. Л.**,
arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970

д. т. н., професор **Кривенко О.В.**,
knuba.o.v.k.@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8949-0944

Київський національний університет будівництва і архітектури

МОДЕЛЮВАННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ОПОРУ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ НЕПРОЗОРИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗЕЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ

Актуальність проектування та термомодернізації зелених будівель з оптимізацією опору теплопередачі їх теплоізоляційної оболонки прямо впливає з необхідності комплексного вирішення енергетичних, економічних та екологічних завдань. У сучасних умовах, коли енергоефективність стає основою енергетичної незалежності та сталого розвитку, науково обґрунтоване визначення раціональних параметрів опору теплопередачі (R_{cmi}) зовнішніх конструкцій (стін, покриттів, перекриттів) є ключовим інженерним завданням. Воно полягає не у формальному дотриманні нормативів, а у пошуку техніко-економічного оптимуму, що забезпечує заданий високий рівень теплового захисту при мінімальних сумарних витратах. Така оптимізація безпосередньо впливає на зниження експлуатаційних витрат, підвищення комфорту, довговічності будівлі та мінімізацію її вуглецевого сліду, що робить її фундаментом для створення справді ефективних, екологічно відповідальних і економічно вигідних об'єктів.

У статті розроблено аналітичний спосіб визначення раціональних параметрів опору теплопередачі огорожувальних конструкцій при заданому рівні тепловтрат ΔQ_B через огорожувальні конструкції з урахуванням надходження сонячної радіації для зелених будівель.

Наразі оптимізуються декілька геометричних параметрів опору теплопередачі огорожувальних конструкцій протягом опалювального періоду. Для цього складається математична модель теплового балансу ΔQ_{epi} кожної грані будівлі яка враховує опір теплопередачі (R_{cmri}) непрозорих конструкцій, геометричні параметри орієнтації для фасадів будівлі (A_{ω_i} , ω_{ω_i}) рівень надходження сонячної радіації та ін. Розроблено програму та графічний спосіб визначення раціональних параметрів опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будинку.

Ключові слова: зелені будівлі, енергоефективні будівлі, оптимізація опору теплопередачі конструкцій, геометричне моделювання, архітектурне проектування.

Актуальність проектування зелених будинків в Україні сьогодні є важливим питанням. В умовах великих кліматичних змін, руху до енергетичної незалежності та масштабного відновлення країни цей підхід є стратегічною необхідністю. Зелене будівництво, орієнтоване на енергоефективність, екологічність та здоров'я мешканців, прямо відповідає на виклики підвищення вартості енергоносіїв, декарбонізації економіки та створення стійкого, комфортного житлового середовища. Реалізація таких проєктів не лише зменшує експлуатаційні витрати та вплив на довкілля, але й формує нові якісні стандарти житла, що є запорукою сталого розвитку регіонів у довгостроковій перспективі.

Ключовим технічним завданням при створенні енергоефективного будинку є науково обґрунтоване визначення раціональних параметрів опору теплопередачі (R_{cmi}) його непрозорих огорожень (стін, покриттів, перекриттів). Саме ці конструкції визначають основні теплові втрати будівлі. Актуальність цього розрахунку полягає в пошуку оптимального балансу між початковими інвестиціями в утеплення та майбутнім економічним ефектом від енергозбереження. Правильно визначене значення R гарантує дотримання сучасних норм теплового захисту, запобігає втратам тепла, утворенню конденсату та грибка, що безпосередньо впливає на довговічність конструкцій, комфорт мешканців та мінімізацію витрат на опалення. Таким чином, цей розрахунок є не просто формальністю, а фундаментальною основою енергоефективного та економічно вигідного будівництва зелених будівель.



Рис. 1. Зелена енергоефективна будівля

Аналіз основних досліджень і публікацій. На сьогодні існуючі нормативні документи [1] 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 та ін.

У роботі [2] питання оптимізації параметрів утеплювача розглянуто в загальному вигляді без урахування гранної форми будівлі. У праці [3] досліджувалося залежність оптимальної форми тіла від характеристик теплового поля, у якому воно знаходиться. Таке тіло названо квазікулею. Питання оптимального розподілу утеплювача по теплоізоляційній оболонці не розглядалося. У роботах [4, 5, 6] розглядалося питання визначення оптимальної та раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій з урахуванням теплового балансу конструкцій. Дослідження [7, 8] призначені розгляду питання оптимізації форми будівлі та розміру світлопрозорих будівель за різних умов.

У роботі [9] проаналізовано та визначено напрями формування проектних рішень висотних будівель для підвищення ефективності інтегрованих в них систем для отримання сонячної енергії.

Мета дослідження. Визначити аналітичну залежність та створити графічний спосіб для визначення раціонального опору теплопередачі огорожувальних непрозорих конструкцій з забезпеченням визначеного рівня тепловтрат $\Delta Q_{\text{б}}$ кожної грані будинку з урахуванням рівня надходження сонячної радіації.

Хід дослідження. 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 (1):

$$R_{\text{стр}_i} = \frac{N_{\text{діб}}}{\Delta Q_{\text{ст}_i}} \left(t_{\text{в}_i} - \left(t_{\text{з}_i} + \frac{\rho_i \cdot I_{\text{сп}_i}}{\alpha_{\text{зст}_i}} \right) \right). \quad (1)$$

Для автоматизації розрахунків розроблено програму з використанням якої побудовано модель раціонального опору теплопередачі $R_{\text{стр}_i} = f(A_{\sigma})$, залежно від азимутальної орієнтації будівлі при визначеному рівні теплового балансу конструкції протягом опалювального періоду (рис. 2).

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

Рівень опору теплопередачі вираховується з урахуванням необхідного рівня теплового балансу конструкції $\Delta Q_{\text{сті}}$.

**Раціональний опір теплопередачі непрозорих конструкцій $R_{\text{стр}} = f(A_6)$
для опалювального періоду м. Київ**

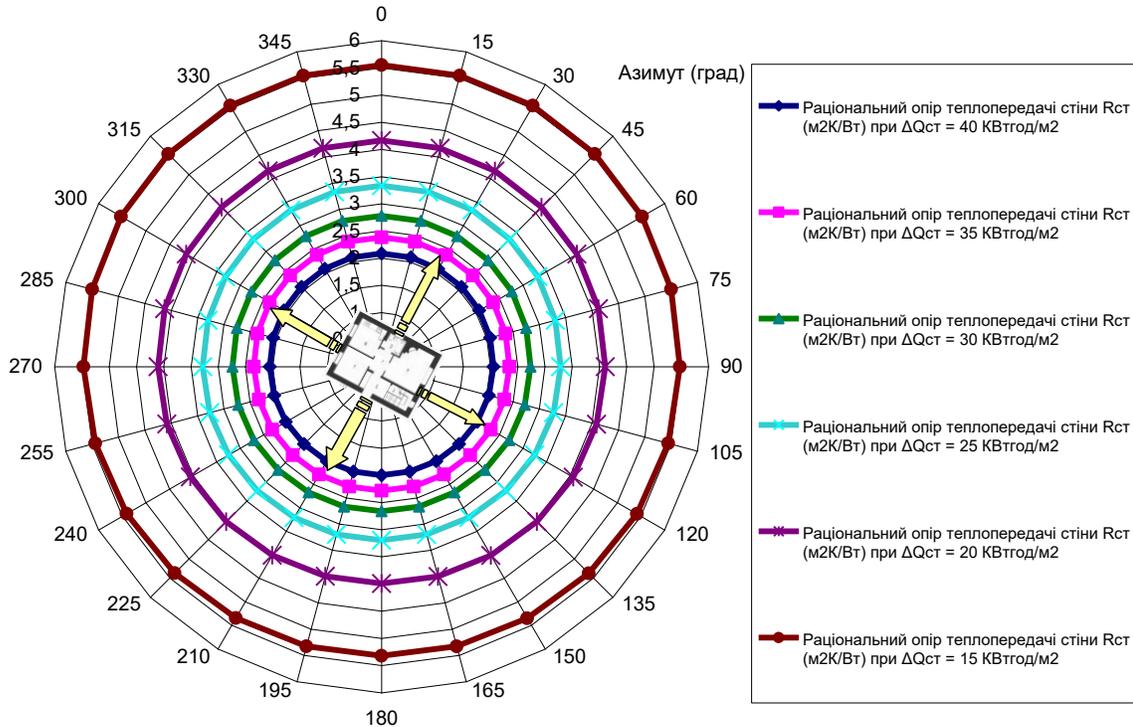


Рис.2. Графічна модель раціонального опору теплопередачі $R_{\text{стри}} = f(A_6)$ при $\omega=90$ непрозорих конструкцій стін, залежно від азимутальної орієнтації, при заданому рівні тепловтрат $\Delta Q_{\text{сті}} = \text{const}$

При однаковому рівня теплового балансу стін 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 вцілому до скорочення тепловтрат будівлі.

Висновок. У ході дослідження визначено аналітичні залежності та розроблено комп'ютерні програми та графічні моделі для визначення раціонального опору теплопередачі непрозорих огорожувальних непрозорих конструкцій з забезпеченням визначеного рівня тепловтрат $\Delta Q_{\text{сті}}$ кожної грані будинку з урахуванням надходження сонячної радіації. Результати проведених досліджень можуть використовуватися при проектуванні зелених будівель та в ході дипломного проектування для студентів архітекторів.

Література

1. *Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine. (2021). Teplova izoliatsiia budivel [Thermal insulation of buildings] (DBN V.2.6-31:2021). Ukrarkhbudininform.*
2. *Сергейчук О. В. Оптимізація розподілу утеплювача по поверхні будівлі при заданому класі його ефективності. Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн : матеріали VI Міжнар. Крим. наук.-практ. конф. Сімферополь, 2009. С. 44–49.*
3. *Сергейчук О. В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.01. Київ, 2008. 36 с.*
4. *Мартинов В. Л. Визначення допустимої зони розташування світлопрозорих конструкцій на фасадах енергоекономічних будівель. Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. 2011. Вип. 1/2011 (66), ч. 1. С. 104–108.*
5. *Мартинов В. Л. Раціональна орієнтація віконних прорізів енергоефективних будівель. Енергоефективність в будівництві та архітектурі. Київ : КНУБА, 2013. Вип. 4. С. 185–189.*
6. *Мартинов В. Л. Оптимальне розташування вікон в огорожувальних конструкціях енергоефективних будівель для п'яти кліматичних районів України. Енергоефективність в будівництві та архітектурі. Київ : КНУБА, 2014. Вип. 6. С. 192–198.*
7. *Sergeychuk O., Martynov V. Virchenko G., Usenko I. Optimization of forms and size of windows for energy conservation International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.2) (2018) 399-403 [https://DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27278](https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27278)*
8. *Sergeychuk O., Martynov V., Usenko I. The definition of the optimal energy-efficient form of the building International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.2) (2018) 667-671. DOI: [10.14419/ijet.v7i3.2.14611](https://doi.org/10.14419/ijet.v7i3.2.14611)*
9. *Кривенко О. В., Сингаєнко О. І. Оптимізація процесу проектування висотних будівель з інтегрованими геліосистемами. Містобудування та територіальне планування. 2022. Вип. 81. С. 208–218.*
10. *Мартинов В. Л. Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.01.01 / Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. Київ, 2015. 39 с.*

Reference

1. *Ministry of Communities and Territories Development of Ukraine. (2021). Teplova izoliatsiia budivel [Thermal insulation of buildings] (DBN V.2.6-31:2021). Ukrarkhbudininform.*

2. Serheichuk, O. V. (2009). *Optymizatsiia rozpodilu utepliuвачa po poverkhni budivli pry zadanomu klasi yoho efektyvnosti* [Optimization of insulation distribution on the building surface for a given efficiency class]. *Heometrychne ta komp'uterne modeliuвання: enerhozberezhennia, ekolohiia, dyzain*, 44–49.
3. Serheichuk, O. V. (2008). *Heometrychne modeliuвання fizychnykh protsesiv pry optymizatsii formy enerhoefektyvnykh budynkiv* [Geometric modeling of physical processes in optimizing the shape of energy-efficient buildings] (Doctoral dissertation summary). Kyiv.
4. Martynov, V. L. (2011). Vyznachennia dopustymoi zony roztashuvannia svitloprozorykh konstruktsii na fasadakh enerhoekonomichnykh budivel [Determination of the permissible location zone of translucent structures on the facades of energy-efficient buildings]. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho*, (1/2011 (66)), 104–108.
5. Martynov, V. L. (2013). Ratsionalna oriientatsiia vikonnykh proriziv enerhoefektyvnykh budivel [Rational orientation of window openings in energy-efficient buildings]. *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi*, (4), 185–189.
6. Martynov, V. L. (2014). Optymalne roztashuvannia vikon v ohorodzhuvalnykh konstruktsiiakh enerhoefektyvnykh budivel dlia p'iaty klimatychnykh raioniv Ukrainy [Optimal placement of windows in the building envelopes of energy-efficient buildings for five climatic regions of Ukraine]. *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi*, (6), 192–198.
7. Sergeychuk O., Martynov V., Virchenko G., Usenko I. Optimization of forms and size of windows for energy conservation *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2) (2018) 399-403 [https://DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27278](https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.8.27278)
8. Sergeychuk O., Martynov V., Usenko I. The definition of the optimal energy-efficient form of the building *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2) (2018) 667-671. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14611
9. Kryvenko, O. V., & Synhaienko, O. I. (2022). Optymizatsiia protsesu proiektuvannia vysotnykh budivel z intehrovanymy heliosystemamy [Optimization of the design process of high-rise buildings with integrated solar systems]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*, (81), 208–218.
10. Martynov, V. L. (2015). *Modeliuвання optymalnykh heometrychnykh parametriv enerhoefektyvnykh budivel hrannoi formy* [Modeling of optimal geometric parameters of energy-efficient buildings of faceted shape] (Doctoral dissertation summary). Kyiv National University of Construction and Architecture.

Doctor of Technical Sciences, Professor **V. Martynov**,
arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970
Doctor of Technical Sciences, Professor **O. Krivenko**,
knuba.o.v.k.@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8949-0944

Kyiv National University of Construction and Architecture

MODELING OF RATIONAL HEAT TRANSFER RESISTANCE OF OPAQUE STRUCTURES OF GREEN BUILDINGS

The relevance of designing and thermal modernization of green buildings with optimization of the heat transfer resistance of their thermal insulation shell directly follows from the need for a comprehensive solution to energy, economic and environmental problems. In modern conditions, when energy efficiency becomes the basis of energy independence and sustainable development, scientifically based determination of rational parameters of heat transfer resistance (R_{st}) of external structures (walls, coatings, ceilings) is a key engineering task. It consists not in formal compliance with standards, but in finding a technical and economic optimum that provides a given high level of thermal protection at minimal total costs. Such optimization directly affects the reduction of operating costs, increased comfort, durability of the building and minimization of its carbon footprint, which makes it the foundation for creating truly effective, environmentally responsible and economically profitable objects.

The article develops an analytical method for determining the rational parameters of the heat transfer resistance of building structures at a given level of heat loss through building structures, taking into account the inflow of solar radiation for green buildings.

Currently, several geometric parameters of the heat transfer resistance of building structures are being optimized during the heating period. For this purpose, a mathematical model of the heat balance of each face of the building is being developed, which takes into account the heat transfer resistance of opaque structures, geometric orientation parameters for building facades, the level of solar radiation inflow, etc. A program and a graphical method for determining the rational parameters of the heat transfer resistance of building structures have been developed.

Keywords: green buildings; energy-efficient buildings; optimization of heat transfer resistance of structures; geometric modeling; architectural.