

УДК 514.18

DOI: 10.32347/0131-579x.2025.109.96-104

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

аспірант, **Поляк Ю.Ю.**,
y_polyk@gmail.com, ORCID: 0009-0008-4534-4006

аспірант **Мартинюк О.Л.**
martynuk@ukr.net, ORCID: 0009-0006-0413-485X

аспірант **Стаднійчук Д.М.**,
111222@ukr.net, ORCID: 0009-0000-9998-6604

аспірант **Банний Т.А.**
tarasbannyi@gmail.com, ORCID: 0009-0009-4368-686X

Київський національний університет будівництва і архітектури

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСМІСІЙНИХ ВИТРАТ З ВИКОРИСТАННЯМ ВАГОВИХ КОЕФІЦІЄНТІВ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОПОРЦІЙ ЗЕЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ

Підвищення енергоефективності зелених будівель є критично важливим у сучасних умовах зростання енерговитрат та зміни клімату. Зважаючи на те, що будівельний сектор споживає значну частку світових ресурсів, оптимізація енергоспоживання дозволяє не лише знизити експлуатаційні витрати, а й зменшити вуглецевий слід. Впровадження інноваційних рішень у проектуванні та будівництві стає ключовим фактором для досягнення сталого розвитку міст.

Особливу вагу дослідження набувають у контексті зростаючих вимог до екологічності будівель та державних ініціатив щодо енергозбереження. Розробка нових методів аналізу та оптимізації енергоефективності дозволить архітекторам, інженерам та девелоперам створювати об'єкти, які поєднують економічну доцільність із екологічною відповідальністю.

На основі проведених досліджень були отримані аналітичні залежності та розроблені довідкові матеріали для розрахунку вагових коефіцієнтів K_{113} зміни трансмісійних витрат при зміні пропорцій будівель гранної форми. У розрахунках враховано: площу огорожувальних конструкцій, параметри форми будівлі, співвідношення світлопрозорих та непрозорих елементів, а також теплотехнічні характеристики кожної конструкції. Отримані

результати відкривають нові можливості для оптимізації проєктування зелених будівель з метою досягнення високого рівня енергоефективності.

Розроблено математичну модель для визначення оптимальних пропорцій та коефіцієнта K_{113} з метою зменшення трансмісійних витрат будівлі.

Ключові слова: зелені будівлі; енергоефективні будівлі; оптимізація пропорцій будівель; параметри форми; вагові коефіцієнти; трансмісійні витрати; геометричне моделювання; архітектурне проєктування.

Актуальність. У сучасних умовах проєктування зелених будівель з високим рівнем енергоефективності стає не просто актуальним напрямком, а стратегічною необхідністю для України. Для досягнення оптимальних показників архітекторам та інженерам необхідно ретельно моделювати енергоспоживання об'єктів, враховуючи всі ключові аспекти їх функціонування.

Особливе значення набуває аналіз трансмісійних втрат при оптимізації архітектурних рішень. Інноваційний підхід з використанням вагових коефіцієнтів дозволяє: кількісно оцінити ефективність різних теплоізоляційних рішень, визначити вплив кожної конструктивної складової (від матеріалів стін до параметрів віконних систем), розрахувати оптимальне співвідношення геометричних параметрів огороджувальних конструкцій.

Такий комплексний аналіз відкриває нові можливості для створення архітектурних форм, де кожен елемент не просто естетично довершений, а й максимально функціональний з точки зору енергозбереження. У результаті можливо створювати будівлі нового покоління - екологічно чисті, економічно вигідні та комфортні для життя, що особливо важливо в умовах сучасних енергетичних викликів.

Аналіз попередніх досліджень. У дослідженні [1] запропоновано системний метод зниження енергоспоживання шляхом оптимізації геометричних характеристик будівель. Робота [2] вводить концепцію "квазікулі" – ідеальної форми для мінімізації теплових втрат, що визначається особливостями теплового поля навколишнього середовища. Дослідження [3] розвиває цей підхід, запропонувавши багатокритеріальну оптимізацію як форми споруди, так і товщини теплоізоляції для окремо стоячих та блокованих будівель різної конфігурації.

Роботи [4,5] презентують комплексні геометричні моделі, які візуалізують взаємозв'язок між тепловим балансом та архітектурними

параметрами, реалізовані у спеціалізованому програмному забезпеченні для архітектурного проєктування. Дослідження [6] пропонує методику оптимізації параметрів багатопверхових будівель з урахуванням вагових коефіцієнтів для форми та кольору, проте не враховує комплексної взаємодії усіх факторів, таких як оптимальна конфігурація, характеристики утеплення та параметри віконних систем.

Серія робіт [7, 8] розвиває системний аналіз огорожувальних конструкцій, пропонуючи методи оцінки теплової надійності та показники енергоефективності, адаптовані до українських будівельних умов. У галузі архітектурної теплотехніки [9, 10] розроблено моделі тепловологоперенесення та методи аналізу огорожувальних конструкцій. Інноваційний підхід [11] застосовує метод миттєво-векторних перетворень для моделювання теплових процесів.

Існуючі роботи не враховують ключових аспектів: визначення вагових коефіцієнтів для комплексної оцінки трансмісійних втрат та підвищення енергоефективності при зміні пропорцій будівель різних конфігурацій у контексті зелених технологій.

Мета дослідження. Визначити аналітичні залежності та створити спосіб та довідкові данні для визначення вагових коефіцієнтів зміни трансмісійних витрат при зміні пропорцій будівель.

Хід дослідження. Проведено дослідження [1] та визначено, що на трансмісійні тепловтрати DQ_T впливають наступні чинники, що залежать від геометричних параметрів будівель (рис.1).

Проведено дослідження та визначено аналітичні залежності для розрахунку коефіцієнту впливу K_{113} при зміні пропорцій будівлі, який визначається за наступною формулою

$$K_{113} = \sum_{i=1}^{i=n} \left(\frac{(S_{г.н.i} - S_{г.н.н.i})/R_{г.н.i} - (S_{г.пр.i} - S_{г.пр.н.i})/R_{г.пр.i}}{\frac{S_{г.н.i}}{R_{г.н.i}} + \frac{S_{г.пр.i}}{R_{г.пр.i}}} \right) \dots \dots (1)$$

де

$I..n$ – кількість граней будинку;

$S_{г.н.}$ – площа непрозорої частини грані;

$S_{г.н.н.}$ – площа непрозорої частини грані (після зміни пропорцій);

$S_{г.пр.}$ – площа світлопрозорої частини грані ;

$S_{г.пр.н.}$ – площа світлопрозорої частини грані (після зміни пропорцій);

$R_{г.н.}$ – опір теплопередачі непрозорих конструкцій;

$R_{г.пр.}$ – опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій.

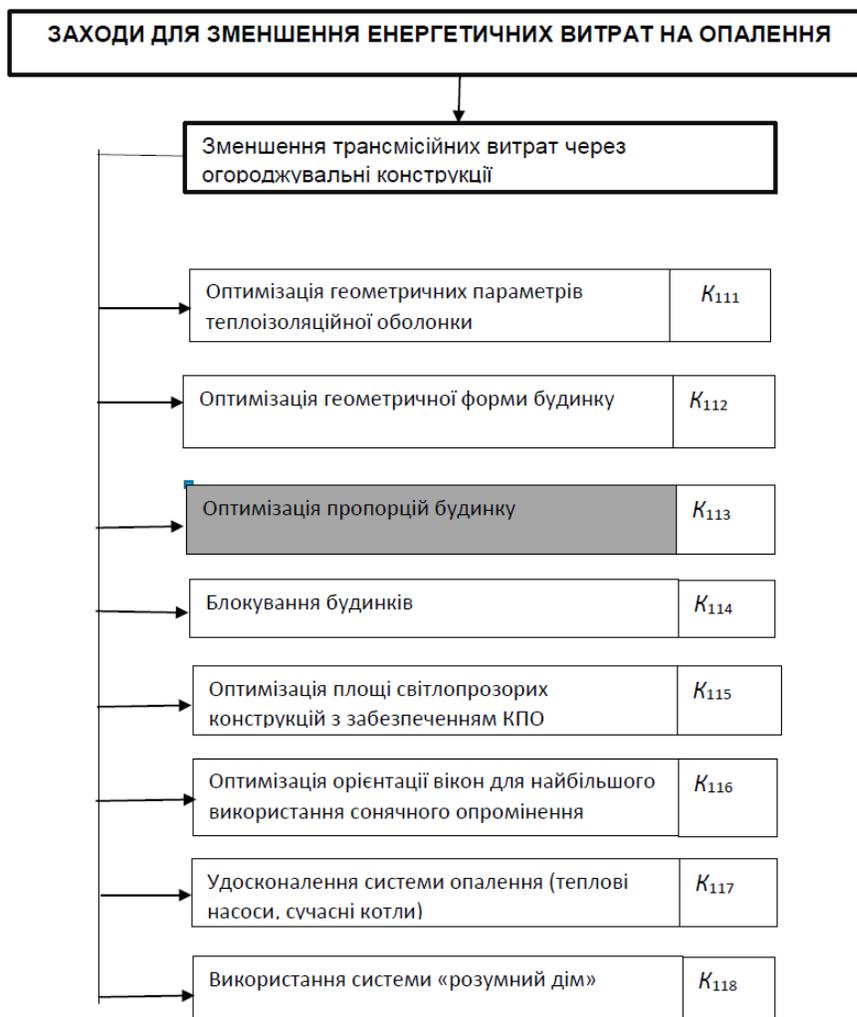


Рис. 1. Заходи для зменшення трансмісійних витрат

Ваговий коефіцієнт K_{113} показує яку частину будуть становити трансмісійні тепловтрати від існуючих при змінні пропорції будівлі, та дозволяє точніше прогнозувати енергоспоживання, оптимізувати пропорції будинку, оцінювати ефективність після енергетичної модернізації.

Для будівель у вигляді прямокутного паралелепіпеда визначено коефіцієнт K_{113} зміни трансмісійних витрат при раціональній зміні пропорцій будівлі (рис.2).

$$h_{max} \geq h \geq h_{min} \quad (10)$$

$$r_{max} \geq r \geq r_{min} \quad (11)$$

$$R_{г.пр} = \text{const}, \quad R_{г.н} = \text{const} \quad (12)$$

Залежно від типу будівлі уточнюються параметри обмеження, де :

$I..n$ – кількість граней будинку;

$S_{г.н.}$ – площа непрозорої частини грані;

$S_{г.пр}$ – площа світлопрозорої частини грані ;

$R_{г.н}$ – опір теплопередачі непрозорих конструкцій;

$R_{г.пр}$ – опір теплопередачі світлопрозорих конструкцій;

$t_{в}$ – температура повітря в будинку;

$t_{з}$ – температура (середня) зовнішнього повітря протягом опалювального періода;

T – період часу (опалювальний період);

(a, b, h, r) – геометричні параметри форми будівлі;

$DQ_{тр.існ}$ – початкові (базові) трансмісійні витрати енергії

$DQ_{тр.}$ – трансмісійні витрати енергії після зміни пропорцій

Оптимізація нелінійною функції відбувається за способом Хука-Дживса.

Висновок. У ході дослідження визначено аналітичні залежності та розроблено методику з обґрунтуванням вагових коефіцієнтів K_{113} для оцінки змін трансмісійних витрат залежно від пропорцій зелених будівель. Запропонований підхід супроводжується довідковими даними, що спрощує його практичне застосування. Розроблено математичну модель для визначення оптимальних пропорцій та коефіцієнта K_{113} з метою зменшення трансмісійних витрат будівлі.

Отримані результати можуть бути корисними для студентів-архітекторів та проектних організацій під час проектування енергоефективних та екологічно збалансованих будівель. Використання наведених розрахункових методик дозволить оптимізувати проектні рішення та підвищити ефективність використання ресурсів у будівництві.

Література

1. *Мартинов В. Л., Мартинюк О. Л., Поляк Ю. Ю., Банний Т. А.* Структуризація заходів щодо зменшення енергоспоживання зелених будівель з елементами оптимізації геометричних параметрів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2024. Вип. 107. С. 90–95.
2. *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.

3. *Мартинюк 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.
4. *Natalia Bolharova.* Application of graph theory in the energy efficient architectural design. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*: Lublin-Rzeszow, 2015. Vol. 17. No. 8. P. 75–82 .
5. *Болгарова Н. М.* Геометрична модель формування раціональної структури архітектурного об'єкту за параметрами енергоефективності : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01. Київ, 2018. 22 с.
6. *Кащенко Т. О.* Підвищення енергоефективності житлових будинків на основі оптимізації форми : дис. ... канд. архітектури : 18.00.02. Київ, 2001. 190 с.
7. *Фаренюк Г. Г.* Теплова надійність огорожувальних конструкцій та енергоефективність будинків при новому будівництві та реконструкції : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01. Київ, 2010. 341 с.
8. *Фаренюк Г. Г., Фаренюк Е. Г.* О закономерностях теплопередачи через светопрозрачные конструкции. *Оконные технологии*. 2001. № 7. С. 38–40.
9. *Козлов А. П.* Геометричне моделювання та аналіз деяких фізичних полів стосовно процесів масопереносу : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01. Київ, 2003. 19 с.
10. *Плоский В. А.* Мгновенно-векторные преобразования. *Прикладная геометрия и инженерная графика*. 1990. Вып. 50. С. 75–77.
11. *Плоский В. О., Козлов А. П.* Системне уявлення та конструювання геометричної моделі задачі тепловологопереносу у вологонасиченій бетонній огорожуючій конструкції. *Вісник Херсонського державного технічного університету*. 2003. № 3 (19). С. 351–353.

References

1. *Martynov, V. L., Martyniuk, O. L., Poliak, Yu. Yu., & Bannyi, T. A.* (2024). Strukturyzatsiia zakhodiv shchodo zmenshennia enerhospozhyvannia zelenykh budivel z elementamy optymizatsii heometrychnykh parametriv [Structuring measures to reduce the energy consumption of green buildings with elements of optimization of geometric parameters]. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*, (107), 90–95.
2. *Serheichuk, O. V.* (2008). *Heometrychne modeliuvannia fizychnykh protsesiv pry optymizatsii formy enerhoefektyvnykh budynkiv* [Geometric modeling of physical processes in optimizing the shape of energy-efficient buildings] (Doctoral dissertation summary). Kyiv.
3. *Martynov, V. L.* (2015). *Modeliuvannia optimalnykh 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.

4. *Natalia Bolharova*. (2015) Application of graph theory in the energy efficient architectural design. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*: Lublin-Rzeszow. Vol. 17. No. 8, 75–82 .

5. *Bolharova, N. M.* (2018). *Heometrychna model formuvannia ratsionalnoi struktury arkhitekturnoho obiektu za parametry enerhoefektyvnosti* [Geometric model of forming the rational structure of an architectural object according to energy efficiency parameters] (Doctoral dissertation summary). Kyiv.

6. *Kashchenko, T. O.* (2001). *Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti zhytlovykh budynkiv na osnovi optymizatsii formy* [Improving the energy efficiency of residential buildings based on shape optimization] (Candidate dissertation). Kyiv.

7. *Fareniuk, H. H.* (2010). *Teplova nadiinist ohorodzhuvalnykh konstrukttsii ta enerhoefektyvnist budynkiv pry novomu budivnytstvi ta rekonstrukttsii* [Thermal reliability of building envelopes and energy efficiency of buildings in new construction and reconstruction] (Doctoral dissertation). Kyiv.

8. *Fareniuk, H. H., & Fareniuk, E. H.* (2001). O zakonomernostiakh teploperedachi cherez svetoprozrachnye konstrukttsii [On the patterns of heat transfer through translucent structures]. *Okonnye tekhnologii*, (7), 38–40.

9. *Kozlov, A. P.* (2003). *Heometrychne modeliuвання ta analiz deiakyykh fizychnykh poliv stosovno protsesiv masoperenosu* [Geometric modeling and analysis of some physical fields concerning mass transfer processes] (Doctoral dissertation summary). Kyiv.

10. *Ploskyi, V. A.* (1990). Mhnovenno-vektornye preobrazovanyia [Instantaneous-vector transformations]. *Prykladnaia heometryia y inzhenernaia hrafyka*, (50), 75–77.

11. *Ploskyi, V. O., & Kozlov, A. P.* (2003). Systemne uiavlennia ta konstruiuvannia heometrychnoi modeli zadachi teplovolohoperenosu u volohonasychenii betonnoi ohorodzhuiuchii konstrukttsii [Systemic representation and construction of a geometric model of the heat and moisture transfer problem in a moisture-saturated concrete envelope structure]. *Visnyk Khersonskoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu*, (3), 351–353.

Doctor of Technical Sciences, Professor **V. Martynov**,
arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970

graduate student, **Yu. Polyak**,
y_polyk@gmail.com, ORCID: 0009-0008-4534-4006

graduate student **O.L. Martyniuk**,
martynuk@ukr.net, ORCID: 0009-0006-0413-485X

graduate student **D.M. Stadniichuk**

111222@ukr.net, ORCID: 0009-0000-9998-6604
graduate student **T. Bannyi**
tarasbannyi@gmail.com, ORCID: 0009-0009-4368-686X
Kyiv National University of Construction and Architecture

TRANSMISSION COST MODELING USING WEIGHTING COEFFICIENTS IN OPTIMIZING THE PROPORTIONS OF GREEN BUILDINGS

Increasing the energy efficiency of green buildings is critically important in today's conditions of increasing energy costs and climate change. Given that the construction sector consumes a significant share of the world's resources, optimizing energy consumption allows not only to reduce operating costs, but also to reduce the carbon footprint. The implementation of innovative solutions in design and construction is becoming a key factor in achieving sustainable urban development.

Research is gaining particular importance in the context of growing requirements for the environmental friendliness of buildings and government initiatives for energy conservation. The development of new methods for analyzing and optimizing energy efficiency will allow architects, engineers and developers to create objects that combine economic feasibility with environmental responsibility.

Based on the research, analytical dependencies were obtained and reference materials were developed for calculating the weight coefficients K_{113} of the change in transmission costs when the proportions of faceted buildings change. The calculations take into account: the area of the enclosing structures, the parameters of the building shape, the ratio of translucent and opaque elements, as well as the thermal characteristics of each structure. The results obtained open up new opportunities for optimizing the design of green buildings in order to achieve a high level of energy efficiency.

A mathematical model has been developed to determine the optimal proportions and the K_{113} coefficient in order to reduce the transmission costs of the building.

Keywords: green buildings, energy-efficient buildings, optimization of building proportions, shape parameters, weight coefficients, transmission costs, geometric modelin, and architectural design.