

УДК 514.18

Мартинов В. Л.¹, Мартинюк О. Л.²

¹д. т. н., професор, професор кафедри архітектурних конструкцій
arx.martynov@gmail.com,
orcid.org/0000-0002-0822-1970

²аспірант, здобувач ступеня доктора філософії
кафедри архітектурних конструкцій
martynuk@ukr.net,
orcid.org/0009-0006-0413-485X

^{1,2} Київський національний університет будівництва і архітектури

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСМІСІЙНИХ ТЕПЛОЛОВАТ В ХОДІ АРХІТЕКТУРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПРИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОПОРЦІЙ ЗЕЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ

© Мартинов В. Л., Мартинюк О. Л., 2026

<https://doi.org/10.32347/2519-8661.2026.35-36.370-375/>

Анотація. Актуальність розробки способу підвищення енергоефективності будівель шляхом оптимізації їхніх пропорцій в ході архітектурного проектування зумовлена тим, що саме на початковій стадії формоутворення закладається до 30% майбутнього енергобалансу споруди. Зміна співвідношення довжини, ширини та висоти безпосередньо впливає на трансмісійні тепловтрати через зовнішню оболонку, однак архітектори часто не мають простих інженерних інструментів для кількісної оцінки цього впливу. Розробка доступного способу оптимізації пропорцій дозволить створювати енергоефективні зелені будівлі без ускладнення проекту та додаткових витрат.

В статті запропоновано спосіб підвищення енергоефективності будівель за рахунок оптимізації пропорцій з використанням вагових коефіцієнтів для швидкої оцінки зміни енергоефективності на стадії ескізного архітектурного проектування.

У ході досліджень виведено аналітичні залежності та підготовлено довідкові матеріали, які дозволяють розрахувати раціональні пропорції будівлі з точки мінімізації тепловтрат через огорожувальні конструкції та ваговий коефіцієнт K_{113} . Він показує, як змінюються втрати тепла через огорожувальні конструкції при зміні пропорцій будівель гранної форми. Розрахунки враховують такі фактори: площу граней, геометрію будинку, співвідношення площ вікон і стін, а також теплоізоляційні якості матеріалів. Це дає змогу архітекторам проектувати енергоефективні будівлі з високими екологічними стандартами.

Підсумком роботи стала математична модель, яка допомагає визначити оптимальні пропорції будівлі та значення K_{113} , щоб максимально знизити трансмісійні теплові втрати через огорожувальні конструкції.

Ключові слова: енергоефективні будівлі, зелені будівлі, оптимізація пропорцій будівель, параметри форми, вагові коефіцієнти, трансмісійні витрати, архітектурне проектування.

Актуальність проектування зелених енергоефективних будівель стрімко зростає в умовах кліматичної кризи, високої вартості енергоносіїв та посилення будівельних норм (nZEB, стандарти «Пасивний дім»), які вимагають мінімізації теплових втрат через огорожувальні конструкції. Одним із ключових факторів, що формує рівень енергоспоживання будівлі ще до вибору матеріалів або інженерних систем, є її архітектурна форма та пропорції — співвідношення довжини, ширини та висоти, ступінь компактності, периметр зовнішніх стін. Саме тому гострої актуальності набуває розробка доступного для архітектора способу оперативної оцінки трансмісійних тепловтрат у процесі варіантного проектування при зміні пропорцій будівлі. Існуючі методи (енергетичне моделювання, складні розрахунки в програмних комплексах) часто залишаються за межами початкових етапів ескізування, що призводить до прийняття архітектурних рішень, які естетично досконалі, але термічно неефективні (наприклад, надмірно витягнута або гілляста форма з великою площею огорожень). Простий, інженерно обґрунтований спосіб оцінки впливу зміни пропорцій на трансмісійні втрати дозволить архітектору на стадії формоутворення свідомо обирати компактні об'єми, мінімізувати периметр та співвідношення площі оболонки до об'єму, закладаючи до 30% майбутньої енергоефективності без додаткових витрат на ізоляцію. Отже, створення такого способу є нагальною практичною потребою, що дозволяє інтегрувати енергетичну оптимізацію в саме тіло архітектурного методу.

Аналіз попередніх досліджень. У роботі [1] доведено доцільність системного підходу до зменшення енергоспоживання шляхом оптимізації геометричних параметрів будівель. Запропонована авторами методика моделювання енергоспоживання зелених будівель ґрунтується на використанні вагових коефіцієнтів, що описують ключові фактори впливу на енергоефективність. Це дозволяє на етапі проектування моделювати енергоспоживання, кількісно оцінювати ефективність різних варіантів теплоізоляції, визначати внесок кожного конструктивного елемента — від матеріалів стін до характеристик склопакетів, а також розраховувати раціональне співвідношення геометричних параметрів форми та блокування будівель.

Автори дослідження [2] запропонували концепцію «квазікулі» як найбільш оптимальної форми для мінімізації тепловтрат, що базується на аналізі теплового поля навколишнього середовища. Подальший розвиток ця ідея отримала в роботі [3], де представлено багатокритеріальну оптимізацію як форми споруди, так і товщини теплоізоляційного шару для окремо розташованих та блокованих будівель різної конфігурації.

Значний внесок у розвиток інструментарію проектування зробили праці [4, 5], у яких представлено комплексні геометричні моделі, що наочно демонструють зв'язок між тепловим балансом та архітектурними параметрами. Ці моделі реалізовано у спеціалізованому програмному забезпеченні, орієнтованому на потреби архітектурного проектування. У дослідженні [6] запропоновано методіку оптимізації параметрів багатоповерхових будівель із застосуванням вагових коефіцієнтів для форми та кольору фасадів. Однак поза увагою авторів залишилася комплексна взаємодія таких факторів, як оптимальна конфігурація споруди, характеристики утеплення та параметри віконних систем.

Окремий напрям досліджень становлять роботи [7, 8], у яких розвивається системний аналіз огорожувальних конструкцій, пропонуються методи оцінки їхньої теплової надійності та показники енергоефективності, адаптовані до українських будівельних умов. У галузі архітектурної теплотехніки [9, 10] розроблено моделі тепловологоперенесення та методи аналізу роботи огорожувальних конструкцій. Інноваційним підходом вирізняється дослідження [11], де для моделювання теплових процесів застосовано метод миттєво-векторних перетворень. У дослідженні [12] розглянуто сучасний рівень застосування та систематизацію «зелених конструкцій» в архітектурному проектуванні та зведенні різноманітних будівель і споруд. Авторами розроблено та теоретично обґрунтовано класифікацію таких конструкцій для їх використання у процесі архітектурного проектування.

Незважаючи на значний обсяг досліджень, існуючі розробки не повною мірою враховують низку ключових аспектів, зокрема: визначення вагових коефіцієнтів для комплексної оцінки трансмісійних втрат та обґрунтування шляхів підвищення енергоефективності при зміні пропорцій будівель різних конфігурацій у контексті впровадження зелених технологій.

Мета дослідження. Визначити аналітичні залежності та створити спосіб та довідкові дані, вагові коефіцієнти для визначення трансмісійних витрат при підвищенні енергоефективності будівель за рахунок зміни пропорцій будівель для застосування в ході архітектурного проектування.

Основний текст. У роботі [1] було виконано дослідження та окреслено заходи, здатні знизити енерговитрати на обігрів і зменшити трансмісійні втрати теплоти крізь огорожувальні конструкції. На величину трансмісійних втрат DQ_{tr} впливають фактори, пов'язані з геометричними характеристиками будівель (рис. 1). До таких заходів належать: оптимізація теплоізоляційної оболонки, форми та пропорцій будівель, а також їх блокування тощо. Кожен захід із підвищення енергоефективності має свій ваговий коефіцієнт впливу. Особливе значення відіграє оцінка трансмісійних втрат при оптимізації архітектурних рішень і зміні пропорцій будівлі.

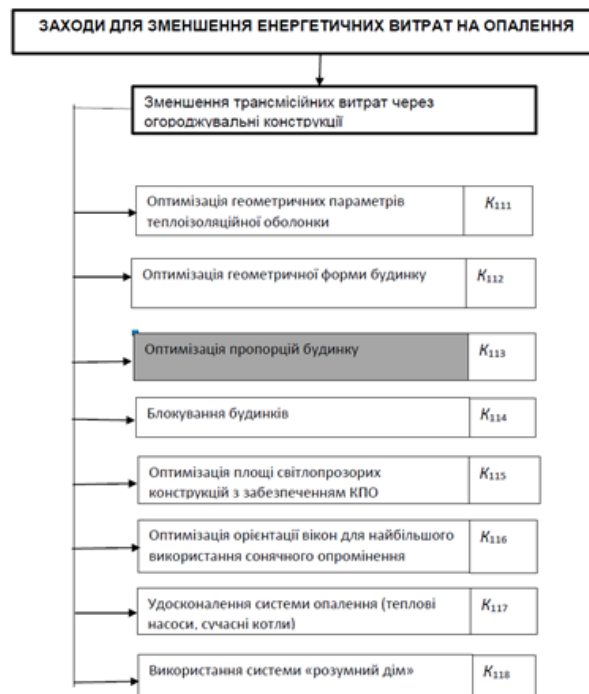


Рис. 1 . Заходи для зменшення трансмісійних витрат будівель

Ваговий коефіцієнт K_{113} відображає частку трансмісійних тепловтрат DQ_{tr} відносно початкових Q_{tr} у разі зміни пропорцій будівлі. Цей коефіцієнт дає змогу точніше прогнозувати енергоспоживання, оптимізувати пропорції будинку та оцінювати результати енергетичної модернізації. У межах дослідження отримано аналітичні залежності для обчислення коефіцієнта впливу K_{113} (зменшення трансмісійних втрат тепла) при варіюванні пропорцій будівлі, який розраховується за наведеною нижче формулою.

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

де

$l..n$ – 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.

Для будівель, що мають форму прямокутного паралелепіпеда, розраховано коефіцієнт K_{113} , який відображає зміну трансмісійних тепловтрат за умови раціонального коригування пропорцій споруди (рис. 2). Встановлено діапазон можливих значень цього коефіцієнта — від 1 до 0,616.







	Варіанти зміни пропорцій будівлі об'ємом 1м ³	Коефіцієнт впливу K_{113}
1		$K_{113}=1$
2		$K_{113}=0,897$
3		$K_{113}=0,79$
4		$K_{113}=0,706$
5		$K_{113}=0,88$
6		$K_{113}=0,616$

Рис. 2 – Вплив зміни пропорцій будівлі на ваговий коефіцієнт K_{113}

Для будівлі гранної форми для підвищення енергоефективності також запропоновано спосіб визначення оптимальних пропорцій та коефіцієнта K_{113} з метою скорочення трансмісійних тепловтрат та підвищення енергоефективності зелених будівель.

Висновок. У рамках проведеного дослідження отримано аналітичні залежності та розроблено методику обчислення вагових коефіцієнтів K_{113} , які дають змогу оцінити зміну трансмісійних тепловтрат залежно від варіювання пропорцій зеленої будівлі. Запропонований підхід супроводжується довідковими матеріалами, що полегшує його застосування на практиці. Створено математичну модель для визначення оптимальних пропорцій зелених споруд і відповідного значення коефіцієнта K_{113} з метою мінімізації трансмісійних втрат.

Отримані результати можуть бути використані студентами архітектурних напрямів, а також проектними організаціями під час створення енергоефективних та зелених будівель. Застосування описаних розрахункових інструментів дозволяє оптимізувати проектні рішення та сприяє підвищенню ресурсоефективності у будівельній галузі.

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 міжвід. науково-техніч. збірник*. Вип. 107. Київ: КНУБА, 2024. С. 90–95.
2. *Сергейчук О. В.* Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків: автореферат дис. ... доктора техн. наук: 05.01.01. Київ, 2008. 341 с.
3. *Мартинов В. Л.* Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми: автореф. дис. докт. техн. наук : 05.01.01 / Київський національний університет будівництва і архітектури. 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: автореферат 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. ... доктора техн. наук : 05.23.01. Київ, 2010. 341 с.
8. *Фаренюк Г. Г. Фаренюк Е. Г.* О закономерностях теплопередачи через светопрозрачные конструкции. Оконные технологии. Київ, 2001. № 7. С. 38–40.
9. *Козлов А. П.* Геометричне моделювання та аналіз деяких фізичних полів стосовно процесів масопереносу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.01.01 «прикл. геометрія, інж. графіка». Київ, 2003. 19 с.
10. *Плоский В. А.* Мгновенно-векторные преобразования. *Прикл. геом. и инж. графика : респуб. межвед. научн.-техн. сб.* Київ: Будівельник, 1990. Вип. 50. С. 75–77.
11. *Плоский В. О., Козлов А. П.* Системне уявлення та конструювання геометричної моделі задачі теплового переносу у вологонасиченій бетонній огорожувальній конструкції / О. В. Плоский, // Вісник Херсонського державного технічного університету. Херсон: ХДТУ, 2003. Вип. 3, № 19. С. 351–353.
12. *Авдеева Н.Ю., Захаров Ю.О.* Проблеми класифікації та використання «зелених конструкцій» в архітектурному проектуванні. *International scientific journal Internauka*. 2022. №5. С. 1-20.

References

1. *Martynov V.L., Martynyuk O.L., Polyak Yu.Yu., Bannyi T.A.* Structuring measures to reduce energy consumption of green buildings with elements of optimization of geometric parameters// Applied geometry and engineering graphics interdisciplinary scientific and technical collection. – Issue 107. – Kyiv: KNUBA, 2024 – P. 90–95
2. *Sergeychuk O. V.* Geometric modeling of physical processes in optimizing the shape of energy-efficient buildings: Abstract of the dissertation ... of the doctor of technical sciences: 05.01.01 / Sergeychuk Oleg Vasilyevich. – Kyiv, 2008. – 341 p.
3. *Martynov V. L.* Modeling of optimal geometric parameters of energy-efficient buildings of a faceted shape: author's dissertation, doctor of technical sciences Sciences: 05.01.01 / Kyiv National University of Construction and Architecture. Kyiv, 2015. 39 p.
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. Bolgarova N.M. Geometric model of the formation of a rational structure of an architectural object according to energy efficiency parameters. Abstract of the dissertation ... candidate of technical sciences: 05.01.01 / Bolgarova Nataliya Mykhailivna. – K., 2018. – 22 p.
6. Kashchenko T. O. Increasing the energy efficiency of residential buildings based on shape optimization: dissertation ... candidate of architecture: 18.00.02 / Kashchenko Tetyana Oleksandrivna. – K., 2001. – 190 p.
7. Farenjuk G. G. Thermal reliability of enclosing structures and energy efficiency of buildings in new construction and reconstruction: dissertation ... doctor of technical sciences: 05.23.01 / Farenjuk Gennadiy Grigorovich. – K., 2010. – 341 p.
8. Farenjuk H.G. On the regularities of heat transfer through translucent structures / H.G. Farenjuk, E.G. Farenjuk // Window technology. - K., 2001. - No. 7. - P. 38–40.
9. Kozlov A. P. Geometric modeling and analysis of some physical fields in relation to mass transfer processes: author's abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences: special 05.01.01 "Applied geometry, engineering graphics" / A. P. Kozlov. – K., 2003. – 19 p.
10. Plosky V. A. Instantaneous vector transformations / V. A. Plosky // Applied geom. and engineering graphics: republican inter-disciplinary scientific-technical collection – K.: Budivel'nik, 1990. – Vol. 50. – P. 75–77
11. Plosky V. O. System representation and construction of a geometric model of the problem of heat and moisture transfer in a moisture-saturated concrete enclosing structure / O. V. Plosky, A. P. Kozlov // Bulletin of the Kherson State Technical University. – Kherson: KhSdTU, 2003. – No. 3 (19). – P. 351–353.
12. Avdeeva N.Yu. Problems of classification and use of "green structures" in architectural design / Zakharov Y.O., // International scientific journal Internauka №5:1-20.2022.

Viacheslav Martynov ¹, Oleh Martyniuk ²

¹*Dr. of Engineering, Professor, Professor of the Department of Architectural Structures*

²*post-graduate student, candidate for the degree of Doctor of Philosophy of the Department of Architectural Structures*

MODELING OF TRANSMISSION HEAT LOSS DURING ARCHITECTURAL DESIGN WHEN OPTIMIZING THE PROPORTIONS OF GREEN BUILDINGS

© Martynov V.L., Martyniuk O.L., 2026

Abstract. The relevance of developing a method for increasing the energy efficiency of buildings by optimizing their proportions during architectural design is due to the fact that up to 30% of the future energy balance of the structure is laid down at the initial stage of form formation. Changing the ratio of length, width and height directly affects the transmission heat loss through the outer shell, however, architects often do not have simple engineering tools to quantify this impact. Developing an accessible method for optimizing proportions will allow creating energy-efficient green buildings without complicating the project and additional costs.

A method for increasing the energy efficiency of buildings by optimizing proportions using weighting factors for a quick assessment of changes in energy efficiency during draft architectural design is proposed.

In the course of research, analytical dependencies were derived and reference materials were prepared that allow calculating rational building proportions from the point of minimizing heat loss through enclosing structures and the weighting factor K_{113} . It shows how heat loss through the building envelope changes when the proportions of buildings with a faceted shape change. The calculations take into account the following factors: the area of the faces, the geometry of the building, the ratio of the areas of windows and walls, as well as the thermal insulation qualities of the materials. This allows architects to design energy-efficient buildings with high environmental standards.

The result of the work was a mathematical model that helps determine the optimal proportions of the building and the value of K_{113} to minimize transmission heat loss through the building envelope.

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