

МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСМІСІЙНИХ ТЕПЛОВТРАТ ЗА ВАРІАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ЗЕЛЕНИХ БУДІВЕЛЬ

Актуальність швидкого визначення трансмісійних витрат за варіації геометричної форми зелених будівель для моделювання визначеного рівня енергоефективності зумовлена необхідністю оперативного реагування на зміни, що виникають під час проєктування нових, реконструкції, добудови або модернізації існуючих будівель. Зміна геометрії будівель впливає на їхні теплоізоляційні характеристики, а отже, на рівень енергетичних витрат, що визначає ефективність використання енергії для обігріву, охолодження та освітлення.

У контексті «зеленого» будівництва, де ключовим фактором є досягнення високих стандартів енергоефективності, швидке та точне визначення трансмісійних витрат є критично важливим для моделювання енергетичної поведінки будівлі. Це дозволяє вчасно коригувати проєктні рішення, оцінювати вплив змін на споживання енергії, а також підвищувати точність прогнозування енергоефективності в різних умовах експлуатації.

Завдяки швидкому визначенню трансмісійних витрат можна забезпечити оптимальні умови для досягнення визначеного рівня енергоефективності, знижуючи витрати енергії та зменшуючи викиди парникових газів. Це сприяє сталому розвитку в будівельній сфері, зокрема, в контексті реалізації принципів сталого будівництва та забезпечення екологічної безпеки на глобальному рівні.

У статті проведено дослідження та визначено компактність різних геометричних форм будівель. Визначено переводний коефіцієнт n_v зміни компактності будинку при зміні об'єму будівлі, за умови збереження геометричної форми будівлі.

Проведено дослідження, запропоновано спосіб швидкого визначення зміни рівня трансмісійних витрат за рахунок використання раціональної геометричної форми зеленої будівлі. Визначено вагові коефіцієнти трансмісійних тепловтрат при варіації геометричної форми. Результати дослідження можуть бути використані у проєктній практиці та навчальному

процесі студентами при розробці проєктів енергоефективних зелених будівель.

Ключові слова: зелені будівлі, трансмісійні тепловтрати, вагові коефіцієнти варіації, енергоефективні будівлі, геометричне моделювання, архітектурне проєктування.

Актуальність. Актуальність створення зелених будівель в Україні набуває все більшого значення в контексті сучасних викликів, таких як зміни клімату, енергетична криза, екологічні проблеми та зростаючі вимоги до сталого розвитку. Зелена архітектура в Україні стає важливою частиною стратегії збереження природних ресурсів та покращення якості життя громадян. Це не тільки відповідає на глобальні тенденції, але й сприяє досягненню довгострокової екологічної та економічної стабільності.

Моделювання трансмісійних витрат при проєктуванні зелених будівель, зокрема при зміні їх геометричної форми, є надзвичайно важливим для забезпечення високої енергоефективності, комфорту та екологічної стійкості. Цей процес дозволяє оптимізувати проєктні рішення, зменшити енергетичні витрати та викиди, забезпечити здорове середовище для мешканців та ефективно використовувати ресурси, що в свою чергу сприяє досягненню цілей сталого розвитку та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Аналіз попередніх досліджень. У роботі [1] запропоновано структуру заходів, щодо зменшення енергоспоживання зелених будівель з елементами оптимізації їх геометричних параметрів. Питанню оптимізації форми будівлі присвячені роботи [2] у яких досліджувалося залежність оптимальної форми тіла від характеристик теплового поля, у якому воно знаходиться. Таке тіло названо квазікулею . У роботі [3] розглядалися питання багатопараметричної оптимізації форми і товщини утеплювача окремо розташованих будівель, блокованих будівель із заданою кількістю граней. У дослідженнях [4, 5] створенні геометричної моделі та графічного представлення взаємозв'язку між характеристиками теплового балансу будівлі та її геометричними параметрами з подальшою комп'ютерною реалізацією відповідної методики. У роботі [6] розглянуто спосіб оптимізації пропорцій окремо розташованого багатоповерхової будівлі, де параметри форми, кольору враховуються у вигляді вагових коефіцієнтів, але не вирішено питання багатопараметричної оптимізації (оптимізації параметрів форми, утеплювача, розташування вікон). У дослідженнях [7, 8] розв'язувалася проблема забезпечення енергоефективності будівель і споруд за рахунок розробки основ системного аналізу огорожувальних конструкцій за характеристиками теплової надійності та енергоефективності будівель, створення аналітично-

експериментального комплексу оцінювання показників енергоефективності та теплової надійності ізоляційної оболонки будівель, що є визначальною складовою технічного розвитку будівництва України.

Зокрема, у галузі архітектурно-будівельної теплотехніки розроблено геометричне моделювання процесу тепловологоперенесення в огорожувальних конструкціях будівель [9, 10]. У роботі [11] в основу побудови моделі покладено метод миттєво-векторних перетворень.

Так, питання оптимізації форми по одному змінному параметру пропорцій розглядалося у роботах [12], де з точки зору тепловтрат через огорожувальні конструкції оптимізувалися пропорції будівлі у вигляді прямокутного паралелепіпеда без урахування площі вікон.

Але питання методики визначення вагових коефіцієнтів трансмісійних витрат зелених будівель за рахунок варіації геометричної форми не розглядалося.

Мета. Розробити метод швидкого визначення зміни рівня трансмісійних витрат залежно від варіації геометричної форми зеленої будівлі з застосуванням вагових коефіцієнтів.

Основна частина. У ході проведеного дослідження [1] встановлено, що трансмісійні тепловтрати будівель через огорожувальні конструкції теплоізоляційної оболонки детермінуються комплексом чинників, пов'язаних із геометричними параметрами об'єкта. До ключових впливових параметрів належать:

- теплофізичні характеристики утеплювача (товщина, коефіцієнт теплопровідності);
- геометрична форма будівлі (компактність, відношення площі огороження до об'єму);
- пропорції архітектурних об'ємів (співвідношення висоти, ширини та глибини, що впливає на розподіл температурних полів);
- ступінь блокування будівлі сусідніми об'єктами (зменшення площі огорожувальних конструкцій);
- площа віконних світлопрозорих конструкцій, яка забезпечує нормативний рівень природного освітлення без порушення теплотехнічної рівноваги;
- функціонування системи "розумний дім" (адаптивне управління режимами опалення на основі аналізу мікрокліматичних параметрів).

Результати дослідження підтверджують, що оптимізація зазначених параметрів дозволяє мінімізувати енерговтрати та досягти синергії між енергоефективністю та функціональністю будівель. Це створює передумови

для розробки уточнених методик проектування з урахуванням динамічних теплових навантажень.

В цілому трансмісійні витрати DQ_T через огорожувальні конструкції за варіації геометричних параметрів будівлі визначаються за формулою

$$DQ_T = Q_{Tр\text{ існ}} \cdot K_{1.1.1} \cdot K_{1.1.2} \cdot K_{1.1.3} \cdot K_{1.1.4} \cdot K_{1.1.5} \cdot K_{1.1.6} \cdot K_{1.1.7} \cdot K_{1.1.8} \quad (1)$$

де

$Q_{Tр\text{ існ}}$ – існуючі трансмісійні тепловитрати;

Коефіцієнти впливу.

$K_{1.1.1}$ – коефіцієнт впливу за варіацією опору теплопередачі огорожувальних конструкцій;

$K_{1.1.2}$ – коефіцієнт впливу за варіацією форми будівель;

$K_{1.1.3}$ – коефіцієнт впливу за варіацією пропорцій будівель;

$K_{1.1.4}$ – коефіцієнт впливу за варіацією блокування будівель для зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції;

$K_{1.1.5}$ – коефіцієнт впливу за варіацією площі вікон з забезпеченням КПО;

$K_{1.1.7}$ – коефіцієнт впливу за варіацією системи опалення;

$K_{1.1.8}$ – коефіцієнт впливу за варіацією використання системи розумний дім.

Проведено дослідження та визначено компактність різних геометричних форм будівель та можливість перетворення (варіації) однієї форми в іншу (рис.1).

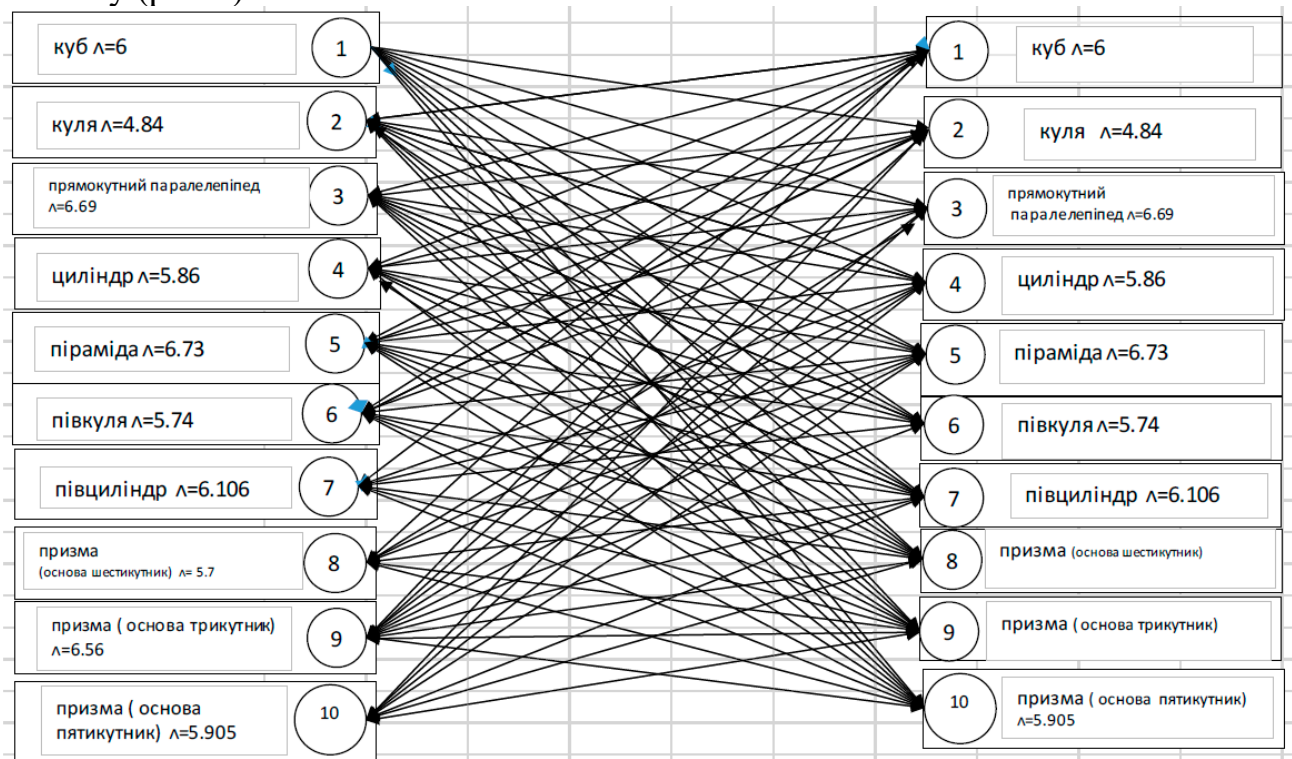


Рис.1. Варіації перетворення геометричної форми зелених будівель

Трансмісійні тепловтрати DQ_T при варіації форми визначаються за формулою

$$DQ_T = Q_{\text{тр існ}} K_{1.1.2} \quad (2)$$

де

DQ_T – трансмісійні тепловтрати будівлі після зміни геометричної форми;

$Q_{\text{тр існ}}$ – існуючі трансмісійні тепловтрати будівлі до зміни геометричної форми;

$K_{1.1.2}$ – коефіцієнт впливу на трансмісійні тепловтрат при варіації геометричної форми при проєктуванні.

Коефіцієнт зміни трансмісійних тепловтрат K_{112} при варіації геометричної форми при проєктуванні визначається як відношення компактності нової форми до компактності існуючої

$$K_{1.1.2} = \Lambda_{\text{нов}} / \Lambda_{\text{існ}} \quad (3)$$

де

$\Lambda_{\text{нов}}$ – коефіцієнт компактності геометричної форми будівлі після варіації (перетворення);

$\Lambda_{\text{існ}}$ – існуючий коефіцієнт компактності геометричної форми будівлі до варіації.

Визначено вагові коефіцієнти $K_{1.1.2}$ зміни трансмісійних витрат будівель при варіації геометричної форми та зведено до таблиці на рис.2.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		куб $\lambda=6$	куля $\lambda=4.84$	прямокутний паралелепіпед $\lambda=6.69$	циліндр $\lambda=5.86$	піраміда $\lambda=6.73$	півкуля $\lambda=5.74$	півциліндр $\lambda=6.106$	призма (основа шестикутник) $\lambda=5.72$	призма (трик. основа) $\lambda=6.56$	призма (основа пятикутник) $\lambda=5.905$
1	куб $\lambda=6$		1,240	1,120	0,980	0,892	0,957	0,917	0,950	0,915	1,016
			0,807	0,886	1,023	1,120	1,045	1,017	1,048	1,093	0,984
2	куля $\lambda=4.84$	0,807		0,723	0,826	0,719	0,843	0,792	0,846	0,730	0,819
		1,240		1,380	1,210	1,390	1,190	1,261	1,180	1,370	1,220
3	прямокутний паралелепіпед $\lambda=6.69$	0,886	1,120		1,142	0,994	1,165	1,100	1,170	1,020	1,136
		1,120	0,893		0,876	1,006	0,858	0,909	0,855	0,980	0,880
		1,023	1,210	0,880		0,870	1,020	0,960	1,025	0,890	0,990
4	циліндр $\lambda=5.86$	0,980	0,826	1,136		1,149	0,980	1,042	0,976	1,124	1,010
		1,120	1,390	1,010	1,148		1,172	1,100	1,180	1,025	1,139
5	піраміда $\lambda=6.73$	0,892	0,719	0,990	0,871		0,853	0,909	0,847	0,976	0,878
		1,045	1,190	0,858	0,980	0,850		0,940	1,003	0,875	0,972
6	півкуля $\lambda=5.74$	0,957	0,840	1,166	1,020	1,176		1,064	0,997	1,143	1,029
		1,017	1,261	0,912	1,041	0,907	1,064		1,067	0,930	1,034
7	півциліндр $\lambda=6.106$	0,917	0,793	1,096	0,961	1,103	0,940		0,937	1,075	0,967
		1,048	1,180	0,855	0,976	0,850	0,997	0,936		0,873	0,968
8	призма (основа шестикутник) $\lambda=5.72$	0,950	0,847	1,170	1,025	1,176	1,003	1,068		1,146	1,033
		1,093	0,738	0,980	1,190	1,031	1,142	1,073	1,146		1,100
9	призма (основа трикутник) $\lambda=6.56$	0,915	1,355	1,020	0,840	0,970	0,876	0,932	0,873		0,909
		0,984	1,220	0,880	1,010	0,878	1,029	0,967	1,033	0,909	
10	призма (основа багатокутник) $\lambda=5.905$	1,016	0,820	1,136	0,990	1,139	0,972	1,034	0,968	1,100	

Рис.2. Вагові коефіцієнти K_{112} трансмісійних тепловтрат при варіації геометричної форми будівлі

Також на коефіцієнт компактності впливає і кореляція об'єму зеленої будівлі. У результаті аналізу виявлено кореляцію між об'ємом будівлі та її коефіцієнтом компактності. Для математичного опису цієї залежності введено перехідний коефіцієнт n_v який кількісно визначає зміну компактності при зростанні або зменшенні об'єму за сталі геометричні параметри.

Розраховано переводний коефіцієнт n_v зміни компактності будинку за варіації об'єму будівлі, при збереженні геометричної форми будівлі. Визначається n_v за формулою

$$n_v = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{нов}}}{V_{\text{існ}}}} \quad (4)$$

де $V_{\text{існ}}$ – об'єм будинку, що існує (м^3), $V_{\text{нов}}$ – об'єм нового будинку (м^3).

Висновок. Проведено дослідження, в рамках якого запропоновано метод швидкого визначення зміни рівня трансмісійних витрат залежно від зміни геометричної форми зеленої будівлі та обґрунтовано вибір її раціональних параметрів. Визначено вагові коефіцієнти $K_{1.1.2}$ трансмісійних тепловтрат, що дозволяють оцінити вплив варіації геометрії будівлі на енергоефективність, та переводний коефіцієнт n_v зміни компактності при варіації об'єму будівлі.

Отримані результати можуть знайти практичне застосування:

- при проєктуванні сучасних зелених будівель;
- у навчальному процесі для студентів, які розробляють проєкти енергоефективних будівель.

Дослідження сприяє підвищенню точності розрахунків та оптимізації енергетичних показників у будівельній практиці.

Література

1. *Мартинів 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 міжсвід. науково-техніч. збірник*. Київ : КНУБА, 2024 р. Вип. 107. С. 90–95.
2. *Сергейчук О. В.* Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків : Автореферат дис. ... доктора техн. наук : 05.01.01 / Сергейчук Олег Васильович. Київ, 2008. 341 с.
3. *Мартинів 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 / Болгарова Наталія Михайлівна. Київ, 2018. 22 с.*
6. *Кащенко Т. О. Підвищення енергоефективності житлових будинків на основі оптимізації форми : дис. ... канд. архітектури : 18.00.02 / Кащенко Тетяна Олександрівна. 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 / Фаренюк Геннадій Григорович. 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» / А. П. Козлов. Київ, 2003. 19 с*
10. *Плоский В. А. Мгновенно-векторные преобразования / Прикл. геом. и инж. графика : респуб. межвед. научн.-техн. сб. Київ : Будівельник, 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. Херсон : ХДТУ, 2003. № 3 (19). С. 351–353.*
12. *Маркус, Т. А., Моррис, Е. Н. (1985). Здание, климат и энергия. (С. Ф. Лемешко, А. Я. Миневич, С. И. Чибисова, В. Г. Янута, пер. з англ.; Н. В. Кобышева, Е. Г. Малявкина, ред.). Ленинград : Гидрометеиздат. 1985. 542 с.*

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. *Bolharova N.M.* Geometric model of forming a rational structure of an architectural object according to energy efficiency parameters. Abstract of the dissertation ... candidate of technical sciences: 05.01.01 / Bolharova Natalia Mikhailovna. Kyiv, 2018. 22 p.
6. *Kashchenko T. O.* Increasing the energy efficiency of residential buildings based on shape optimization: dissertation ... candidate of technical sciences architecture : 18.00.02 / Kashchenko Tetyana Oleksandrivna. Kyiv, 2001. 190 p.
7. *Farenyuk 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 / Farenyuk Gennady Grigorovich. Kyiv, 2010. 341 p.
8. *Farenyuk G. G.* On the laws of heat transfer through translucent structures / G. G. Farenyuk, E. G. Farenyuk / Window technologies. Kyiv, 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. dissertation for the degree of candidate of technical sciences : spec. 05.01.01 “Applied geometry, engineering graphics” / A. P. Kozlov. Kyiv, 2003. 19 p.
10. *Plosky V. O.* Instantaneous vector transformations / *Applied geom. and engineering graphics: republican inter-scientific scientific-technical collection* . Kyiv: Builder, 1990. Issue 50. P. 75–77
11. *Plosky V. O., Kozlov A. P.* System representation and construction of a geometric model of the problem of heat and moisture transfer in a moisture-saturated concrete enclosing structure / *Bulletin of the Kherson State Technical University*. Kherson: KhDTU, 2003. No. 3 (19). P. 351–353.
12. *Marcus T. A.* Knowledge, climate and energy / Vol. AND. Marcus, E. N. Morris; trans. with English [WITH. F. Lemeshko, A. I. Minevych, S. I. Chibysovoy, V. G. Yanuta] ; under the editorship N. IN. Kobyshevoy, E. G. Malyavkina - L. : Hydrometeoizdat, 1985. 542

Graduate student **O.L.Martyniuk**,
martynuk@ukr.net

graduate student, **Yu.Poliak**,
y_polyk@gmail.com

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

Kyiv National University of Construction and Architecture

MODELING TRANSMISSION HEAT LOSS UNDER VARIATIONS IN THE GEOMETRIC SHAPE OF GREEN BUILDINGS

The relevance of quickly determining transmission costs under variations in the geometric shape of green buildings for modeling a certain level of energy efficiency is due to the need to respond promptly to changes that arise during the design of new, reconstruction, additions or modernization of existing buildings. Changing the geometry of buildings affects their thermal insulation characteristics, and therefore, the level of energy costs, which determines the efficiency of energy use for heating, cooling and lighting.

In the context of "green" construction, where the key factor is the achievement of high energy efficiency standards, quick and accurate determination of transmission costs is critically important for modeling the energy behavior of a building. This allows for timely adjustment of design solutions, assessment of the impact of changes on energy consumption, and also increases the accuracy of energy efficiency prediction under different operating conditions.

Thanks to the rapid determination of transmission costs, it is possible to provide optimal conditions for achieving a certain level of energy efficiency, reducing energy consumption and reducing greenhouse gas emissions. This contributes to sustainable development in the construction sector, in particular, in the context of implementing the principles of sustainable construction and ensuring environmental safety at the global level.

The article conducts research and determines the compactness of various geometric shapes of buildings. The conversion factor n_v of the change in the compactness of the building when changing the volume of the building is determined, provided that the geometric shape of the building is preserved.

The study is conducted and a method is proposed for quickly determining the change in the level of transmission costs by using the rational geometric shape of a green building. The weighting factors of transmission heat loss when varying the geometric shape are determined. The results of the study can be used in design practice and the educational process by students when developing projects for energy-efficient green buildings.

Keywords: green buildings, transmission heat loss, weighting factors of variation, energy-efficient buildings, geometric modeling, architectural design.