

## МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСМІСІЙНИХ ТЕПЛОВТРАТ ПРИ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ЗЕЛЕНИХ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ

Мартинів В. Л., д. т. н., професор

[arx.martynov@gmail.com](mailto:arx.martynov@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-0822-1970>

Поляк Ю.Ю.<sup>2</sup>

<sup>2</sup>аспірант, [y\\_polyk@gmail.com](mailto:y_polyk@gmail.com), <http://orcid.org/0009-0008-4534-4006>

Мартинюк О.Л.<sup>3</sup>

<sup>3</sup>аспірант, [martynuk@ukr.net](mailto:martynuk@ukr.net), <http://orcid.org/0009-0006-0413-485X>

Банний Т.А.<sup>4</sup>

<sup>4</sup>аспірант, [tarasbannyi@gmail.com](mailto:tarasbannyi@gmail.com)

<http://orcid.org/0009-0009-4368-686X>

<sup>1,2,3,4</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури

***Анотація.** У рамках дослідження запропоновано інноваційний підхід щодо оцінки енергоефективності зелених будівель при термомодернізації, який ґрунтується на розроблених аналітичних залежностях та вагових коефіцієнтах  $K_{111}$  впливу на енергоефективність. Ці коефіцієнти дозволяють точно кількісно оцінити вплив різних варіантів утеплення, зміни параметрів будівлі на трансмісійні тепловтрати та загальне енергоспоживання будівлі.*

*Основним об'єктом дослідження стали трансмісійні тепловтрати через огорожувальні конструкції. Для їх аналізу розроблено спеціальний довідковий матеріал, що враховує комплекс параметрів: загальну площу огорожувальних конструкцій, співвідношення світлопрозорих та непрозорих поверхонь, а також теплотехнічні властивості кожної окремої конструкції. Розроблено спосіб визначення оптимальних параметрів утеплення при заданому рівні тепловтрат через огорожувальні конструкції та заданому коефіцієнті  $K_{111}$ .*

*Важливою перевагою запропонованого методу є його практична спрямованість. Використання коефіцієнтів  $K_{111}$  дає змогу проєктувальникам оперативно порівнювати ефективність різних утеплювальних рішень без застосування трудомістких розрахункових процедур, що значно спрощує процес проєктування.*

***Ключові слова:** зелені будівлі, енергоефективні будівлі, архітектурне проєктування, термомодернізація будівель, вагові коефіцієнти енергетичного впливу, трансмісійні витрати, геометричне моделювання.*

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах глобальної енергетичної кризи та постійного зростання вартості енергоносіїв питання зменшення тепловтрат (енерговитрат) будівель набуває особливої ваги. Особливо це стосується нових об'єктів будівництва будівель при термомодернізації, де енергоефективність стає ключовим критерієм якості. В умовах активного розвитку концепції "зелених" будинків, правильний підхід до утеплення огорожувальних конструкцій

перетворюється на стратегічне завдання, від вирішення якого залежить не лише економічна ефективність, а й екологічна безпека.

Для архітекторів та проєктувальників під час проєктування вкрай важливим є наявність швидких і точних методів оцінки ефективності різних варіантів утеплення. У умовах обмеженого часу на прийняття проєктних рішень, фахівці потребують доступного інструментарію, що дозволяє оперативно порівнювати варіанти, прогнозувати енергозбереження та обґрунтовувати вибір оптимальних рішень. Це особливо критично на ранніх етапах проєктування, коли закладаються основні параметри енергоефективності майбутньої будівлі.



Рис.1 Зелені будівлі

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведено аналіз попередніх досліджень. [2-13]. В них не враховують – визначення вагових коефіцієнтів для комплексної оцінки трансмісійних втрат та формування будівлі із заданим рівнем енергоспоживання, оптимізацію енергоефективності через утеплення огорожувальних конструкцій будівель різних геометричних форм для зелених будівель.

**Мета дослідження.** Розробити спосіб швидкого моделювання трансмісійних тепловтрат зелених будівель при зміні параметрів теплоізоляційної оболонки (термомодернізації) будівель, для застосування під час архітектурного проєктування.

**Основна частина.** У рамках попередніх досліджень [1] було розроблено структурований підхід до застосування вагових коефіцієнтів для підвищення енергоефективності зелених будівель. Доведено, що значна частка трансмісійних тепловтрат  $\Delta Q_T$  може бути мінімізована шляхом оптимізації геометричних параметрів об'єктів), що є ключовим фактором у реалізації заходів щодо зниження енергетичних витрат на опалення (енергоспоживання будівель). Цей підхід дозволяє не лише зменшити енергоспоживання, але й підвищити загальну стійкість будівельних конструкцій.

Мінімізація трансмісійних тепловтрат  $\Delta Q_T$  через огорожувальні конструкції може бути досягнута шляхом комплексної оптимізації геометричних параметрів будівлі та впровадження низки енергоефективних заходів.

Кількісна оцінка зменшення тепловтрат при зміні параметрів будівель визначається за формулою:

$$\Delta Q_T = Q_T \cdot K_{111} \cdot K_{112} \cdot K_{113} \cdot K_{114} \cdot K_{115} \cdot K_{116} \cdot K_{117} \cdot K_{118}, \quad (1)$$

де

$Q_T$  – існуючі (базові) трансмісійні тепловтрати будівлі через огорожувальні конструкції до оптимізації параметрів будівель;

Коефіцієнти впливу є наступними.

$K_{111}$  – оптимізація опору теплопередачі огорожувальних конструкцій;

$K_{112}$  – оптимізація архітектурної форми будівлі;

$K_{113}$  – оптимізація пропорцій об'ємно-планувальних рішень будівлі;

$K_{114}$  – блокування будівель для зменшення тепловтрат через огорожувальні конструкції;

$K_{115}$  – оптимізація площі віконних прорізів із забезпеченням коефіцієнта природної освітленості (КПО);

$K_{117}$  – удосконалення інженерних систем опалення;

$K_{118}$  – інтеграція системи «розумний дім» для адаптивного управління енергоспоживанням.

Окрему увагу варто приділити коефіцієнту  $K_{111}$ , що відображає вплив удосконалення теплоізоляційної оболонки на зниження трансмісійних витрат.

*Ваговий коефіцієнт зміни тепловтрат  $K_{111}$*  — це безрозмірна величина, що кількісно характеризує ефективність заходу з термомодернізації. Він являє собою відношення питомих трансмісійних тепловтрат будівлі після термомодернізації  $Q_{\text{тр.нов}}$  у модернізованому стані до аналогічних тепловтрат  $Q_{\text{тр.і}}$  (існуючих або початкових) у базовому стані.

Даний коефіцієнт застосовується для:

- оцінки ефективності всього теплоізоляційного контуру (оболонки) будівлі;
- аналізу окремих огорожувальних конструкцій (стін, покриття, підлоги тощо);
- розрахунку впливу утеплення окремих граней будівлі на трансмісійні тепловтрати.

Якщо значення  $K_{111} < 1$ , це свідчить про зменшення тепловтрат, що є метою проведення термомодернізації.

#### *Визначення коефіцієнта $K_{111}$ при утепленні теплоізоляційної оболонки будівлі*

У рамках дослідження енергоефективності будівельних об'єктів було проведено комплексний аналіз зміни трансмісійних при утепленні будівлі (зміні параметрів теплоізоляційної оболонки). Запропоновано коефіцієнт  $K_{111}$  є ключовим параметром, що кількісно визначає залежність між змінами трансмісійних характеристик та енергетичною ефективністю об'єкта та геометричними параметрами будівель (кількістю граней, площею граней, площею прозорих та непрозорих конструкцій, опорю теплопередач прозорих та непрозорих конструкцій граней).

Проведено дослідження та визначено аналітичні залежності для розрахунку коефіцієнту енергетичного впливу  $K_{111}$ , для ділянки грані будівлі, для грані будинку, для багатогранного будинку.

Для багатогранного будинку, що складається з непрозорих та прозорих конструктивних елементів  $K_{111}$  визначається

$$K_{111} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left( \frac{S_{г.неп.i}}{R_{г.н.нов.i}} + \frac{S_{г.пр.i}}{R_{г.пр.нов.i}} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} \left( \frac{S_{г.неп.i}}{R_{г.неп.i}} + \frac{S_{г.пр.i}}{R_{г.пр.i}} \right)} \quad (2)$$

де

$n$  – кількість граней будинку;

$S_{г.неп.i}$  – площа непрозорої конструкції  $i$  грані ;

$S_{г.пр.i}$  – площа прозорої конструкції  $i$  грані;

$R_{г.неп.i}$  – опір теплопередачі непрозорих конструкцій  $i$  грані існуючий ;

$R_{г.пр.i}$  – опір теплопередачі прозорих конструкцій  $i$  грані існуючий;

$R_{г.неп.нов.i}$  – опір теплопередачі непрозорих конструкцій  $i$  грані новий;

$R_{г.пр.нов.i}$  – опір теплопередачі прозорих конструкцій  $i$  грані новий.

Створено спеціальні довідкові дані для визначення коефіцієнта  $K_{111}$ , що враховують: загальну площу огорожувальних конструкцій, співвідношення світлопрозорих та непрозорих елементів, теплотехнічні характеристики кожної огорожувальної конструкції.

Разом з тим в ході проектування часто постає задача визначення параметрів утеплювача прозорих та непрозорих конструкцій для забезпечення визначеного рівня зменшення трансмісійних тепловтрат при заданому коефіцієнті  $K_{111}$ . Розроблено спосіб оптимізації параметрів утеплювача огорожувальних конструкцій будинку при заданому коефіцієнті  $K_{111}$ .

**Висновок.** Виведено аналітичні співвідношення для розрахунку вагових коефіцієнтів  $K_{111}$ , що дають змогу кількісно оцінити, як утеплення будівлі впливає на її енергоспоживання. Основний акцент зроблено на дослідженні трансмісійних втрат тепла крізь огорожувальні конструкції. Для цього сформовано довідкові дані, яка враховують: загальну площу цих конструкцій, пропорції між світлопрозорими й непрозорими ділянками, а також теплотехнічні параметри кожної конструкції. Практична значущість роботи — у можливості швидко й аргументовано оцінювати ефективність різних варіантів утеплення без громіздких обчислень. Запропоновану методику та отримані дані доцільно використовувати в будівельній практиці, проектуванні «зелених» будівель із високими вимогами до енергоефективності, енергоощадних житлових і громадських об'єктів, а також для термомодернізації звичайних будівель.

#### **Бібліографічний список**

1. Мартинов В.Л., Мартинюк О.Л., Поляк Ю.Ю., Банний Т.А. Структурізація заходів щодо зменшення енергоспоживання зелених будівель з елементами оптимізації геометричних параметрів// Прикладна геометрія та інженерна

- графіка міжвід. науково-техніч. збірник. – Вип. 107. – К.: КНУБА, 2024 р. – С. 90–95. <http://ageg.knuba.edu.ua/article/view/323804>
2. Сергейчук О. В. Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків : Автореферат дис. ... доктора техн. наук : 05.01.01 / Сергейчук Олег Васильович. – К., 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 / Болгарова Наталія Михайлівна. – К., 2018. – 22 с.
  6. Кащенко Т. О. Підвищення енергоефективності житлових будинків на основі оптимізації форми : дис. ... канд. архітектури : 18.00.02 / Кащенко Тетяна Олександрівна. – К., 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. – К., 2010. – 341 с.
  8. Фаренюк Г. Г., Фаренюк Е. Г. О закономерностях теплопередачи через светопрозрачные конструкции // Оконные технологии. – К., 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. – К., 2003. – 19 с
  10. Плоский В. А. Мгновенно-векторные преобразования / В. А. Плоский // Прикл. геом. и инж. графика : респуб. межвед. научн.-техн. сб. – К. : Будівельник, 1990. – Вип. 50. – С. 75–77
  11. Плоский В. О. Системне уявлення та конструювання геометричної моделі задачі тепловологопереносу у вологонасиченій бетонній огорожуючій конструкції / О. В. Плоский, А. П. Козлов // Вісник Херсонського державного технічного університету. – Херсон : ХДТУ, 2003. – № 3 (19). – С. 351–353.
  12. Маркус Т. А. Здание, климат и энергия / Т. А. Маркус, Э. Н. Моррис ; пер. с англ. [С. Ф. Лемешко, А. Я. Миневиц, С. И. Чибисовой, В. Г. Янута] ; под ред. Н. В. Кобишевой, Е. Г. Малявкиной. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 542 с.
  13. Авдеева Н.Ю., Захаров Ю.О. Проблеми класифікації та використання «зелених конструкцій» у архітектурному проектуванні/ /International scientific journal Internauka №5:1-20.1922. [https://www.researchgate.net/publication/361774706\\_Problemi\\_klasifikacii\\_ta\\_vikoristanna\\_zelenih\\_konstrukcij\\_u\\_arhitekturnomu\\_proektuvanni](https://www.researchgate.net/publication/361774706_Problemi_klasifikacii_ta_vikoristanna_zelenih_konstrukcij_u_arhitekturnomu_proektuvanni)