

## ОГЛЯД МЕТОДИК ДЛЯ ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ СТІН

Вінницький національний технічний університет

### *Анотація*

*Виконано огляд та аналіз методик щодо оцінки енергоефективності огороджувальних конструкцій стін. Виявлено, що метод аналізу ієрархій Саати а також апарат нечіткої логіки дозволяють оцінити різні за своєю природою показники енергоефективності стін, що може бути використано для комплексної багатокритеріальної оцінки варіантів стінового огородження для оптимального вибору.*

**Ключові слова:** оцінка енергоефективності, багатокритеріальність, нечітка логіка, парні порівняння.

### *Abstract*

*The review and analysis of the methods for the evaluation of the energy efficiency of wall enclosure structures have been performed. It is revealed that the Saati hierarchy analysis method and the fuzzy logic apparatus allow to estimate different by nature of energy efficiency of walls, which can be used for complex multicriteria evaluation of wall enclosure options for optimal choice..*

**Keywords:** energy efficiency assessment, multicriteria, fuzzy logic, pairwise comparisons.

### **Вступ**

Одним з вагомих показників, який прямо впливає на статтю витрат при експлуатації будинку і опосередковано на його енергоефективність в цілому є приведений термічний опір  $R$  ( $\text{m}^2 \times \text{C}/\text{Вт}$ ) огороджувальних конструкцій [1]. Для України даний показник регламентується нормами [2]. Цей показник опосередковано залежить від градусо-днів опалювального періоду. К.т.н. В. І. Ливчак у своїй роботі [3] зазначає, що «градусо-доби опалювального періоду характеризують суворість зими будь-якого регіону (чим вище їх величина, тим холодніше). Без їх урахування неможливо проводити зіставлення рівня енергетичної ефективності будівель, побудованих в різних кліматичних районах».

Очевидно, що будь яке порівняння енергоефективності виражатиметься в економії/перевитраті коштів при експлуатації будівлі за усереднений проміжок часу (наприклад рік). Чим більше складових, що враховано тим повніше та об'єктивніша оцінка.

Іншими словами, енергоефективність можна оцінити сумою коштів, які зекономлено в результаті раціонального вибору матеріалу огороджуючих конструкцій стін для нового будівництва, або коштами, що зекономлено в результаті термомодернізації будівлі.

Для того, щоб оцінити доцільність утеплення в коротко- та довгостроковій перспективі, необхідно визначити економічний ефект від економії коштів на опалення в певний період часу [1].

Дана робота присвячена аналізу методик для оцінки енергоефективності огороджувальних конструкцій стін.

### **Результати дослідження**

Огляд літературних джерел присвячених оцінці енергоефективності за різними критеріями дозволив проаналізувати основні переваги та недоліки даних методів. Наприклад економічну ефективність будівництва індивідуального житла з підсобних матеріалів, у т.ч. зі соломи порівняно з будівництвом традиційними матеріалами і засобами можна визначити за формулою запропонованою д.е.н. Б. М. Андрушківом [4]

$$E_{б.н.м.} = \sum_{i=1}^n B_{м.м.} - \sum_{i=1}^n B_{н.м.}, \quad (1)$$

де  $B_{т.м.}$  – витрати на будівництво будинку з традиційних матеріалів;

$B_{п.м.}$  – витрати на будівництво будинку з підсобних матеріалів.

На думку авторів [4] окупність будівництва зокрема економія енергетичних ресурсів, екологічність тощо, які не можуть бути виміряні економічними показниками, може бути скороченою до 3-4 років, витратна частина зменшується більш як на третину.

### Критеріальне число Гагаріна В. Г.

Д.т.н. Гагаріним В. Г. [5] запропоновано формули розрахунку так званого критеріального числа, або граничного значення безрозмірної величини для оцінки окупності утеплення будинку, а отже й визначення потенціалу її енергоефективності

$$\Delta K \cdot p / C_T (-\Delta k) \cdot ГДОП \cdot 0,024 < 1, \quad (2)$$

де  $\Delta K$  – одноразова витрата коштів на утеплення будинку;

$-\Delta k$  – одноразова витрата коштів на зменшення коефіцієнту теплопередачі  $u = \frac{1}{R}$  (Вт/м<sup>2</sup>×°С) при

утепленні будинку;

0,024 = 24/1000 перехідний коефіцієнт, кВт×год/Вт×добу;

$C_T$  – вартість теплової енергії (грн./кВт×год);

$p$  – ставка рефінансування плюс відсоток на ризик, в долях одиниці.

Ліву частину формули (2.2) можна використовувати при оцінці інвестиційної привабливості утеплення.

Представимо формулу (2.2) дещо в іншій формі

$$-\frac{\Delta K}{\Delta k} < \frac{C_T \cdot ГДОП \cdot 0,024}{p} = \omega \quad (3)$$

то отримаємо нерівність, яка виражає умову окупності одноразових витрат на підвищення теплозахисту огорожувальних конструкцій – питоме значення одноразових витрат має бути менше граничного значення, яке залежить від градусо-діб опалюваного періоду (ГДОП), вартості теплової енергії та облікової ставки по кредитах банку.

Саме така формула дає можливість оцінити в першому наближенні доцільність або недоцільність утеплення з точки зору окупності витрат [13].

З параметрів рівняння (3) впливає те, що даний критерій (критеріальне число) є параметром який враховує кліматичні умови об'єкту будівництва (ГДОП) та економічні фактори (вартість теплової енергії), тобто більш повно охоплює різномірні вихідні дані, а тому може бути прийнятою до уваги при оцінці енергоефективності огорожувальної конструкції будівлі.

Слід зазначити, що вартість теплової енергії та відсоток по кредитній ставці (ставка рефінансування+ризик) носять наближений характер, що в свою чергу робить значення параметру  $\omega$  ще більш наближеним, проте інформативність даної величини дозволяє зробити відповідні висновки на етапі розгляду проекту утеплення.

### Методика оцінки енергоефективності огорожувальних конструкцій будинку за допомогою інструментарію нечіткої логіки

У праці к.т.н. Ратушняк Г. С. та к.т.н. Ратушняк О. Г. [Ошибка! Источник ссылки не найден.6] запропоновано методику обґрунтування еколого-економічної доцільності матеріалів для термореновації будівель, яка ґрунтується на моделюванні при використанні математичного інструментарію нечіткої логіки та лінгвістичних змінних, які базуються на ідеях д.т.н. О. П. Ротштейна [7, 8]. Експертно моделювальна система дозволяє враховувати кількісні та якісні характеристики при виборі матеріалів для термореновації будівель.

Класифікація впливаючих факторів за кількісними та якісними ознаками (економічними, екологічними, теплофізичними, художньо-естетичними) дозволяє встановити їхні взаємозв'язки, які потім трансформуються у систему логічних рівнянь цільової функції щодо вибору оптимального теплоізоляційного матеріалу при термореновації будівель.

Очевидно, що при використанні апарату нечіткої логіки та лінгвістичних змінних які враховують не тільки кількісні але й якісні характеристики оцінка енергоефективності будівлі буде більш повною.

### Критеріальне число Савіна для розрахунку енерговитрат при проектуванні зовнішніх огорожувальних конструкцій

Д.т.н. Савіним В. К. [9] запропоновано методику для визначення мінімальних енергозатрат при розрахунку оболонки будівлі. Для цього визначають безрозмірний критерій  $Sa$ , що вказує, наскільки тепловтрати  $1 \text{ м}^2$  огорожувальної конструкції, що має опір теплопередачі  $R_0^*$ , більше чи менше теплової енергії, що затрачена на виготовлення, монтаж (демонтаж) протягом терміну служби огорожувальної конструкції без капітального ремонту. Це пов'язує енергоємність конструкції, теплозахисну характеристику, район будівництва та довговічність, що є додатковим комплексним критерієм для об'єктивного вибору типу огорожувальної конструкції стіни. Величина безрозмірного критерію  $Sa$  визначається за формулою (6.22)[59]

$$Sa = \frac{Q_k \cdot R_0^*}{24 \cdot D}, \quad (4)$$

де  $Q_k^*$  – енергоємність еталонного елемента, що дорівнює  $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$ ;

$R_0^*$  – опір теплопередачі конструкції, що дорівнює  $1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ ;

$D$  – кількість градусо-днів опалювального періоду для міста будівництва,  $\text{°C} \cdot \text{днів}$ ;

$z = \frac{z_{\text{експл}}}{z_{\text{оп.період}}}$  – безрозмірна величина, яка є співвідношенням періоду експлуатації без капітального

ремонту будівлі, год до тривалості опалювального періоду, год. Чисельно вона дорівнює строку служби огорожувальної конструкції, років;

В першому наближенні енергоємність конструкції може бути визначена за формулою

$$Q_k^* = \frac{c^*}{c_m}, \quad (5)$$

де  $c^*$  – вартість влаштування еталонного елемента  $1 \text{ м}^2$  стіни, що дорівнює  $1 \text{ грн} / \text{м}^2$ ;

$c_m$  – фактичний тариф на теплову енергію,  $\text{грн} / \text{Гкал}$ ;

Після знаходження критерію  $Sa$  визначають мінімальне значення опору теплопередачі за формулою (6.20) [9]

$$R_0^{\min} = \frac{R_0^*}{\sqrt{Sa}} \cdot \frac{1}{\sqrt{Sa}}, \left[ \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}} \right] \quad (6)$$

Мінімальний сумарний коефіцієнт теплопередачі та акумуляції тепла  $1 \text{ м}^2$  елемента зовнішнього огородження при різниці температур в  $1 \text{ °C}$  знаходимо за формулою (6.21) [9]

$$K_{\text{сум}}^{\min} = 2 \cdot K_e^* \cdot \sqrt{Sa} = 2 \cdot 1 \cdot \sqrt{Sa} = 2 \cdot \sqrt{Sa}, \left[ \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}} \right]. \quad (7)$$

Тоді мінімальні сумарні річні енергетичні витрати, що враховують витрати на створення конструкції та її експлуатацію обчислюють за формулою [9]

$$q_{\text{сум}}^{\min} = 0,024 \cdot D \cdot K_{\text{сум}}^{\min}, \left[ \text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 \cdot \text{°C} \right] \quad (8)$$

Варіант стіни з мінімальним значенням сумарних енерговитрат отриманих за формулою (8) і буде гіпотетично оптимальним типом огорожувальної конструкції стіни. Цей критерій дозволить обчислювати в першому наближенні енергоефективність оболонки будівлі, тобто огорожувальної конструкції, що пов'язує енергоємність конструкції, теплозахисну характеристику, район будівництва та довговічність, отже є об'єктивним показником.

У роботі [10] автори виконали спробу комплексно оцінити енергоефективність огорожувальних конструкцій будівель використовуючи апарат парних порівнянь Сааті для оцінки різнорозмірних параметрів, при чому одним з факторів впливу було обрано критерій Савіна [9], що свідчить про багатопараметричну оцінку, яка більш дозволяє більш об'єктивно обрати найкращий варіант стінового огородження для зведення енергоефективного будинку.

## Висновки

Встановлено, що відсутня єдина методика щодо багатокритеріального оцінювання енергоефективності огорожувальних конструкцій стін, що дозволяє самостійно, на розсуд експерта обирати вагомні критерії. Це необхідно виконувати для об'єктивного вибору найраціональнішого з точки зору енергоефективності типу багатопарової огорожувальної конструкції стіни.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коршунов О. В., Зуев В. И. Время тепловой инерции термическое сопротивление слоистых стен. *Энергоресурсосбережение и энергоэффективность*. 2011. №4(40). С.23–26.
2. ДБН В.2.6-31:2016.Теплова ізоляція будівель. Норми проектування, виготовлення і монтажу: [Чинний від 2017-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінегінбуд України, 2017. 33 с.
3. Ливчак В. И. Градусо-сутки отопительного периода как инструмент сравнения уровня энергоэффективности зданий в России и в других странах. *Энергосбережение*. 2015. №6. С. 20–26.
4. Андрушків Б. Прикладні аспекти наукової діяльності кафедри або як здешевити індивідуальне житлове будівництво. Соціально-економічні проблеми і держава: електрон. наук. фахове вид. 2011. Вип. 2 (5). URL: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2011/11abmizb.pdf> (дата звернення 27.12.2018).
5. Гагарин В. Г. Методы экономического анализа повышения уровня теплосащиты зданий. Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). 2009. №2. С. 10–18.
6. Ратушняк Г. С., Ратушняк О. Г. Управління енергозберігаючими проектами термореновації будівель. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2009. 131с.
7. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации. Нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. Винница: УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. 320 с.
8. Ротштейн А.П. Надежность и интеллектуальные вычисления. Избранные статьи. Винница: ООО «Нилан-ЛТД», 2018. 382 с.
9. Савин В. К. Строительная физика: энергопренос, энергоеффективность, энергосбережение. Москва: Лазурь, 2005. 432 с.
10. Biks Y., Ratyshnyak G., Ratushnyak O. Energy performance assessment of envelopes from organic materials / *Architecture Civil Engineering Environment*. 2019. №3. P. 55-67.

**Смашнюк Дмитро Васильович** — студент групи Б-18м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: bm16ms.smashniuk@gmail.com.

Науковий керівник: **Бікс Юрій Семенович** — кандидат техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**Smashniuk Dmytro V.** — Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email : bm16ms.smashniuk@gmail.com.

Supervisor: **Biks Yuriy S.** — PhD, Assistant Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.