

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОШАРОВИХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ СТІН

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Запропоновано оцінити потенціал багатошарових огороджувальних конструкцій стін на прикладі шести варіантів – арболіт, землебит, саман, цегла+утеплювач, солом'яна панель, каркасна панель з ековатою. У дослідженні використано три методики оцінювання, що включають адитивну згортку з урахуванням ваги критерію за методом аналізу ієрархії (МАІ), методику латентної змінної (МЛЗ) що базується на математичному апараті моделі Раша та сірого реляційного аналізу (GRA). В якості критеріїв порівняння запропоновано критеріальне число Савіна, сумарне значення теплової інерції стіни (h), коефіцієнт теплопередачі u -value, W/m^2K , Коефіцієнт затухання (англ. decrement factor f), Внутрішня питома теплоємність (англ. the internal area heat capacity, kJ/m^2K) та показник теплової інерції D . Проведений аналіз показав, що однозначної кращої огороджувальної конструкції стіни за всіма методиками немає, але з високою ймовірністю достовірності можна стверджувати, що стіна типу «Б» з землебиту є однією з кращих в контексті отриманого значення комплексної оцінки, а стіна типу «Г» виявилась найбільш привабливою.

Ключові слова: потенціал енергоефективності, методи оцінювання MCDA, багатокритеріальність, багатошарові огороджувальні конструкції

Abstract

It is offered to estimate potential of multilayered envelope designs of walls on an example of six variants - hampcrete, earthbags, adobe, a brick wall + insulate material, a straw panel, a SIP with ecowool. The study used three estimation methods, including additive convolution taking into account the weight of the criterion by the analytic hierarchy process (AHP), the method of latent variable (MLV) based on the mathematical apparatus of the Rasch model and Gray Relational Analysis (GRA). The comparison criteria are the Savin criterion number, the total value of thermal inertia of the wall (h), the heat transfer coefficient u -value, W/m^2K , the decrement factor f , the internal area heat capacity, kJ/m^2K and thermal inertia D . The analysis showed that there is no unambiguous best enclosing structure of the wall by all methods, but with a high probability it should be mentioned, that the wall type "B" of earthbags is one of the best in the context of the complex value estimates, and the wall type "G" (brick wall + insulate material) was the worst attractive.

Keywords: energy efficiency potential, MCDA evaluation methods, multicriteria, multilayer envelopes

Вступ

Для коректної та якомога кращої, об'єктивної, неупередженої оцінки при прийнятті рішень щодо вибору конструктиву багатошарових огороджувальних конструкцій стін в контексті оптимального варіанту, що відповідає збалансованому співвідношенню «ціна-якість», або більш широкого поняття, наприклад так званого «потенціалу енергоефективності» [1] є потреба у комплексному врахуванні фізико-механічних та еколого-економічних параметрів матеріалу [2]. Це необхідно виконувати перед остаточним рішенням щодо вибору, для зваженого та обґрунтованого прийняття цього рішення на користь того чи іншого варіанту багатошарових огороджувальних конструкцій стін [3, 4]. При чому, на думку авторів, остаточний вибір слід робити лише після порівняння кращих альтернатив, отриманими при порівнянні за різними методиками. Дана робота присвячена одному зі способів щодо

визначення інтегрального показника для комплексної оцінки багат шарових огорожувальних конструкцій стін.

Результати досліджень

Для проведення чисельного моделювання обрано шість типів стін з різних матеріалів, причому п'ять з альтернативних матеріалів та один тип з утепленої цегляної кладки:

- 1) стіна з арболіту (тип «А»);
- 2) стіна з землебиту саману (тип «Б»);
- 3) стіна з солом'яних панелей (тип «В»);
- 4) стіна із цегли+утеплювач (тип «Г»);
- 5) стіна із саману (тип «Д»);
- 6) каркасна панель з екофіброю (SIP) (тип «Е»).

В якості критеріїв для комплексної оцінки обрано наступні:

1. Критеріальне число Савіна Sa [55] для визначення мінімальних енергозатрат при розрахунку оболонки будівлі, що вказує, наскільки тепловтрати 1 м^2 огорожувальної конструкції, що має опір теплопередачі R^* , 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.
2. Сумарна тепла інерція багат шарової конструкції стіни, год [1];
3. Коефіцієнт теплопередачі (англ. *u-value*, $\text{Вт/м}^2\text{К}$), який є величиною, оберненою до загального термічного опору R_{Σ} стінового огородження;
4. Коефіцієнт затухання (англ. *decrement factor f*) за [6];
5. Внутрішня питома теплоємність (англ. *the internal area heat capacity*, $\text{кДж / м}^2\text{К}$) за [6];
6. Показник теплової інерції D за [7].

Схема стін, що прийнято до моделювання комплексної оцінки наведено на рис. 1.

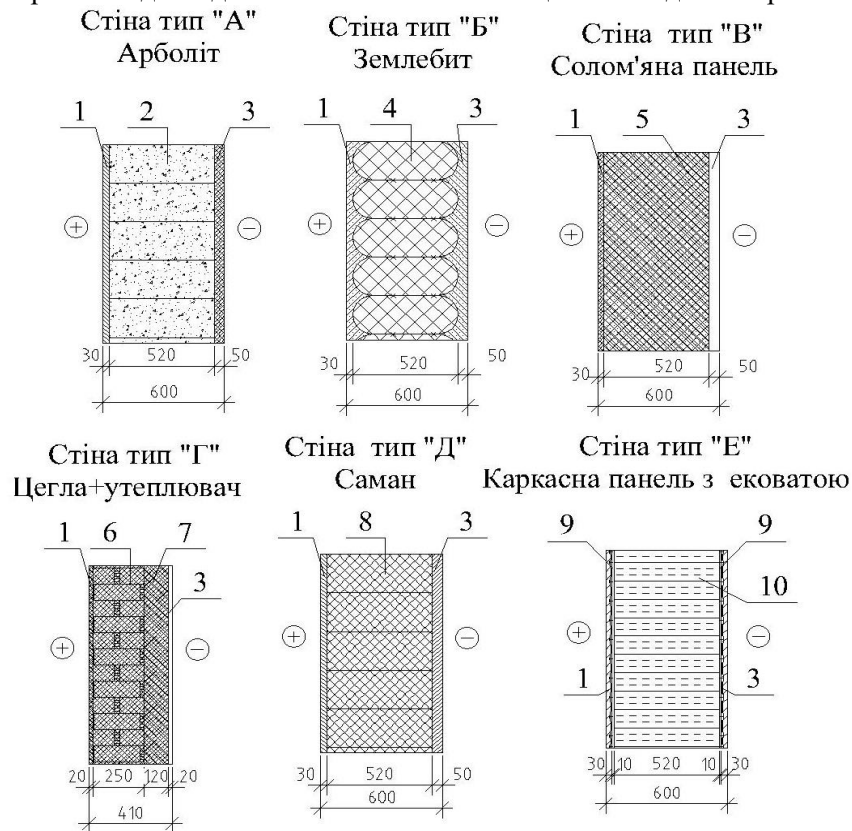


Рис. 1 Поперечний переріз багат шарових огорожувальних конструкцій стін (1- внутрішня вапняно-піщана штукатурка; 2- арболітовий блок; 3-зовнішня вапняно-піщана штукатурка; 4-щільно утрамбований ґрунт; 5- панель зі спресованої соломи; 6- кладка з керамічної цегли; 7 -утеплювач (мінеральна вата); 8 - саманний блок; 9 - фанера; 10 - екофібра (ековата).

Розрахунок вхідних та вихідних параметрів для моделювання за зазначеними критеріями наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Критерії для комплексної оцінки багатопарових огорожувальних конструкцій стін

	Критерій Савіна S_a	Сумарна теплова інерція багатопарової конструкції t_i (год)	Коефіцієнт теплопередачі u -value огорожувальних конструкцій, Вт/м ² К	Коефіцієнт затування, f	Внутрішня питома теплоємність, кДж/м ² К	Показник теплової інерції D
Стіна тип "А" (арболіт)	1.81	67.43	0.149	0.003	46.401	12.97
Стіна тип "Б" (землебит)	0.64	60.60	1.329	0.068	68.268	6.19
Стіна тип "В" (солом'яна панель)	2.18	146.99	0.130	0.027	43.258	9.56
Стіна тип "Г" (цегла +утеплювач)	1.73	54.73	0.266	0.117	60.737	5.66
Стіна тип "Д" (саман)	1.54	110.79	0.642	0.024	59.583	8.66
Стіна тип "Е" (каркасна панель+ековата)	1.24	80.41	0.111	0.106	49.735	7.47

Для проведення комплексної оцінки за заданими критеріями слід використовувати методи багатокритеріального аналізу (БКА, MCDA), оскільки всі критерії мають різні розмірність та оцінку бажаності (чим більше – тим краще, або чим менше – тим краще). У якості методів для проведення комплексного оцінювання обрано найбільш популярний метод адитивної згортки [8, 9] з визначенням ваги критеріїв методом аналізу ієрархій (МАІ) [11], метод латентної змінної [10] та сірого реляційного аналізу (GRA) [12]. Результати визначення ваг критеріїв за МАІ наведено у табл.2.

Таблиця 1 – МАтриця парних порівнянь для визначення ваги кожного критерію за МАІ

Назва критерію	Критерій S_a	Сумарна теплова інерція багатопарової конструкції t_i (год)	Коефіцієнт теплопередачі u -value Вт/м ² К	Коефіцієнт затування, f	Внутрішня питома теплоємність, кДж/м ² К	Показник теплової інерції D	Нормоване значення ваги критерію
Критерій S_a	1	3	4	3	3	3	0.381
Сумарна теплова інерція багатопарової конструкції t_i (год)	1/3	1	2	2	2	2	0.192
u -value, Вт/м ² К	1/4	1/2	1	1	1	1	0.103
Коефіцієнт затування, f	1/3	1/2	1	1	1	1	0.108
Внутрішня питома теплоємність, кДж/м ² К	1/3	1/2	1	1	1	1	0.108
Показник теплової інерції D	1/3	1/2	1	1	1	1	0.108

При оцінюванні за методами MCDA виконано нормування критеріїв виконано за шкалою, запропонованою у роботі [13]. Якщо бажаним є максимум критерію, нормалізацію слід розраховувати як (1)

$$x_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}}, \quad (1)$$

де - $\min x_{ij}$, $\max x_{ij}$ мінімальне та максимальне розрахункове значення i -го параметру впливу для j -ої альтернативи; x_{ij} - нормалізоване значення i -го параметра для j -ої альтернативи.

Якщо бажаним є мінімум критерію, нормалізацію слід розрахувати за рівнянням. (2) наступним чином [Ошибка! Источник ссылки не найден.13]

$$x_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (2)$$

При використанні методу латентних змінних (МЛЗ) [10], що заснований на математичному апараті моделі Раша вирішувалась оптимізаційна задача $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_j \cdot \left(x_{ij} - \frac{e^{AP_i - AK_j}}{1 + e^{AP_i - AK_j}} \right) \rightarrow \min$, яку можна доповнити умовою невід'ємності латентних змінних $AP_i \geq 0; AK_j \geq 0; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$, де AP_i – інтегральна (комплексна) оцінка кожної багатошарової огорожувальної конструкції, AK_j – векторна оцінювальна змінна, що характеризує латентні змінні. Ця задача не має точного аналітичного вирішення, тому її було вирішено у середовищі MS Excel пакету «Поиск решения. Пронормовану оцінку кожної альтернативи багатошарової огорожувальної конструкції за запропонованими методиками оцінювання наведено на рис. 2.

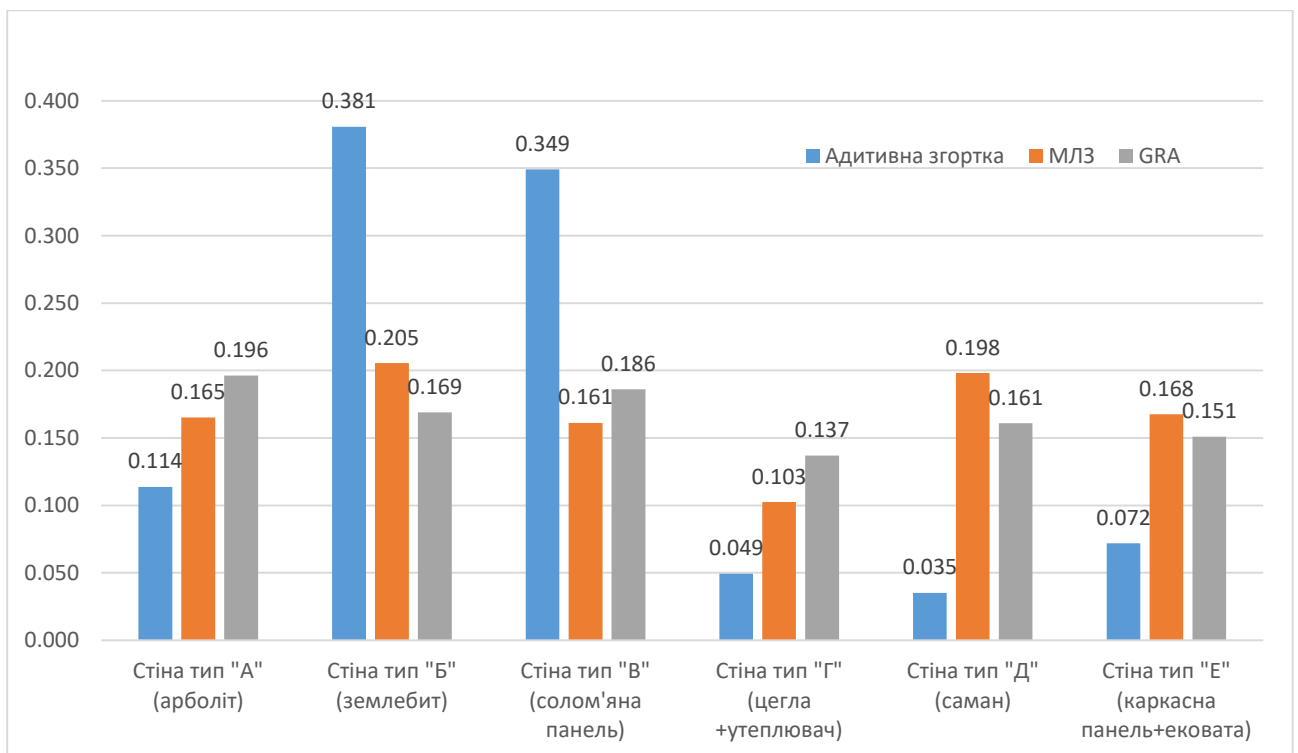


Рис. 2 Комплексна оцінка багатошарових огорожувальних конструкцій стін

Результати досліджень (рис. 2) показали, що при порівнянні за запропонованими методиками багатокритеріального аналізу параметрів оцінки, не виявлено явного «фаворита» за типом стіни, який був би кращим варіантом за всіма трьома різними способами порівняння.

Очевидно, остаточний вибір слід виконувати за більш повної інформації про вхідні параметри порівняння та проведенні додаткових досліджень щодо визначення кращого рішення.

Висновки

Проведені дослідження щодо комплексної оцінки потенціалу енергоефективності багатошарових огорожувальних не дозволили виявити кращий варіант стіни, який би був кращим за всіма методиками.

Але дозволила виявити ймовірно один з кращих варіантів та гірший варіант: варіант стіни «Б» (землебит) виявився на першому місці у двох (адитивна згортка, МЛЗ) та на третьому (GRA), а найгіршим варіантом виявилась стіна типу «Г» (цегла+ утеплювач) (відповідно шосте місце за адитивною згорткою та GRA та п'яте місце за МЛЗ). Подальша робота з удосконалення методик оцінювання дозволить в більш повній мірі вирішити поставлену задачу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Biks Y., Ratushnyak G., Ratushnyak, O. Energy performance assessment of envelopes from organic materials. *Architecture Civil Engineering Environment*. 2019. № 3: P. 55-67. DOI: 0.21307/ACEE-2019-036.
2. Wang J. J., Jing Y. Y., Zhang C. F., Zhao J. H. Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2009. Vol. 13. №9. P. 2263-2278. DOI: 10.1016/j.rser.2009.06.021.
3. Basińska M. The use of multi-criteria optimization to choose solutions for energy-efficient buildings. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences*. 2017. Vol. 65, №. 6. P. 815-826. DOI: 10.1515/bpasts-2017-0084.
4. Stazi F. Thermal Inertia in Energy Efficient Building Envelopes. Butterworth-Heinemann, 2017. DOI: 10.1016/B978-0-12-813970-7.00001-7.
5. Савин В. К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение. Москва: Лазурь, 2005. 432 с.
6. ISO 13786:2017. Thermal performance of building components – Dynamic thermal characteristics – Calculation methods. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/65711.html> (Last accessed: 10.10.2020).
7. ДСТУ-Н. Б. В. 2.6-190:2013. Настанова з розрахункової оцінки теплостійкості будівлі. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2014. 40 с.
8. Кини, Р. Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. Москва: Радио и связь, 1981. 560 с.
9. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений. Метод достижимых целей. Москва: МАКС Пресс, 2008. 197 с.
10. Баркалов С.А., Глушкова А.Ю., Моисеев С.И. Математические методы многокритериального оценивания привлекательности проектов. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника»*. 2020 Т. 20, № 1. С. 111–119.
11. Саати Т. Л. Принятие решений при завистимостях и обратних связях: Аналитические сети. Москва: LIBROCOM Book House 2009. 360 с.
12. Wang J. J., Jing Y. Y., Zhang C. F., Zhang X. T., Shi G. H. Integrated evaluation of distributed triple-generation systems using improved grey incidence approach. *Energy*. 2008. Vol. 33. № 9. P. 1427-1437. DOI: 10.1016/j.energy.2008.04.008.
13. Sarpkaya C., Sabir E. C. Optimization of the sizing process with grey relational analysis. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2016. №1(115). P. 49-55. doi: 10.5604/12303666.1172087.

Бікс Юрій Семенович – кандидат техн. наук, доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: biksyuriy@gmail.com.

Ратушняк Ольга Георгіївна - кандидат техн. наук, доцент кафедри економіка підприємства і виробничого менеджменту, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця. e-mail: ogratushnyak@gmail.com.

Лялюк Андрій Олександрович – магістр, Вінницький національний технічний університет. e-mail: 1b16blyalyuk@gmail.com.

Biks Yuriy S. — PhD, Associate Professor, Department of Construction, Urban Economy and Architecture, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: biksyuriy@gmail.com

Ratushnyak Olga G. – PhD, Associate Professor, Department Of Enterprise Economics and Production Management, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia.

Lyalyuk Andrey A. – Master’s student, Vinnytsia National Technical University. Email: 1b16blyalyuk@gmail.com.