

УДК 624

**ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО ВАРІАНТА ВІКОННИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ****JUSTIFICATION FOR THE SELECTION OF RATIONAL WINDOW SYSTEMS BASED ON MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION**

**Бабіч Є.Є., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-2900-8156, Гомон П.С., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-5312-0351, Поляновська О.Є., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-2811-2429, Сем'як Р.І., студент, ORCID: 0009-0004-4081-5551, (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

**Babich Ye.Ye., candidate of technical sciences, associate professor, ORCID: 0000-0003-2900-8156, Homon P.S., candidate of technical sciences, associate professor, ORCID: 0000-0002-5312-0351, Polianovska O.Ye., candidate of technical sciences, associate professor, ORCID: 0000-0003-2811-2429, Semyak R.I., student, ORCID: 0009-0004-4081-5551, (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)**

**Обґрунтовано вибір оптимальної конструкції віконних систем на основі комплексного розрахунку капітальних вкладень, вартості матеріалів та річних експлуатаційних витрат на їх реновацію. За критерієм мінімізації приведених витрат визначено пріоритетні варіанти для проектування, а верифікацію результатів здійснено за допомогою методики багатоцільової оптимізації (метод MOORA).**

**It is widely recognised that window design is a fundamental factor influencing a building's overall energy performance and thermal efficiency. Windows serve not only as sources of natural insolation and ventilation but also act as primary elements determining heat transmission and indoor climatic comfort. Consequently, the strategic selection of window configurations has a direct and significant impact on energy consumption patterns and annual heating expenditures.**

**The energy efficiency of modern window systems is evaluated through a comprehensive set of parameters, including thermal conductivity, heat transfer coefficients, and structural airtightness. Furthermore, a professional assessment must incorporate long-term operating costs, structural durability, and the feasibility of routine maintenance. A holistic approach to selection**

necessitates a detailed analysis of regional climatic conditions, building orientation, architectural typology, and specific functional requirements. Such a strategy not only minimises the thermal load on the building's HVAC systems but also ensures an optimal living environment for occupants.

This study conducts a comparative analysis of several prominent window system configurations: the Rehau 5-chamber PVC-U, Rehau 3-chamber PVC-U, WDS 5-chamber PVC-U, WDS 76 AD / WDS 76 MD profiles, and the VEKA 5-chamber system. The research methodology involved rigorous calculations of heat loss, additional heating expenditures, and initial material costs for installation. Additionally, capital investments in infrastructure and annual maintenance and repair costs were determined using the Life Cycle Costing (LCC) approach.

The preliminary economic evaluation revealed that the lowest discounted costs (1,000 UAH) are associated with the WDS 76 AD profile, followed by the VEKA Softline 70 (1,098 UAH). To ensure a scientifically grounded choice, a multi-objective optimisation was performed using the Multi-Objective Ratio Analysis (MOORA) method. This approach integrated both economic indicators and energy efficiency coefficients. The final results identify the WDS 76 AD profile as the most efficient solution, with REHAU Energy systems occupying the second position. The study concludes that the MOORA-based methodology provides a more reliable framework for selection than standard cost-based assessments, recommending the WDS 76 AD system for further engineering design and implementation.

**Ключові слова.** Матеріал, герметизація, теплоізоляція, характеристика, проектування, вартість, аналіз, навантаження, експлуатація, розрахунок, показник, коефіцієнт, норматив.

Material, sealing, thermal insulation, characteristics, design, cost, analysis, load, operation, calculation, indicator, coefficient, standard.

**Актуальність роботи.** Енергозбереження та ефективне використання ресурсів стають дедалі важливішими в сучасному будівництві, як під час планування, так і під час реконструкції будівель. Конструкція вікон є ключовим елементом енергоефективності будівлі. Вікна не лише забезпечують природне освітлення та вентиляцію, але й впливають на втрати тепла та комфорт у приміщенні. Тому вибір правильних вікон безпосередньо впливає на споживання енергії та витрати на опалення.

Сучасний ринок пропонує широкий асортимент віконних систем, що відрізняються матеріалом профілю, типом подвійного скління, герметичністю та теплоізоляцією. Вибір зазвичай залежить від компромісу між вартістю та енергоефективністю: сучасніші та технологічно просунуті конструкції можуть мати кращі показники теплоізоляції, але вони дорожчі. Тому власник або

проектант має справу із завданням пошуку оптимального рішення, яке забезпечує мінімальні втрати тепла без надмірних витрат.

Рівень енергозбереження вікон визначається їхнім коефіцієнтом теплопередачі, коефіцієнтом проникнення тепла та здатності до герметизації. Експлуатаційні витрати, довговічність конструкції та простота обслуговування також є важливими факторами. Щоб вікна працювали максимально ефективно, їх слід обирати з урахуванням клімату, розташування будівлі відносно сонця та її призначення. Такий ґрунтовний підхід не лише оптимізує енергозатрати споруди, а й гарантує ідеальний мікроклімат усередині.

Визначення оптимальної конфігурації віконних систем базується на комплексному техніко-економічному аналізі, що враховує паритет між капітальними інвестиціями та прогнозованим рівнем енергозаміщення. Системна порівняльна характеристика функціональних параметрів сучасних світлопрозорих конструкцій дозволяє верифікувати рішення, спрямовані на підвищення експлуатаційної надійності споруди та мінімізацію витрат на енергоносії. В умовах актуалізації стратегій сталого розвитку, раціоналізація теплових втрат через огорожувальні конструкції стає детермінуючим фактором при проектуванні та реновації об'єктів різної функціональної належності.

Для проведення порівняльного аналізу було сформовано вибірку віконних систем із наступними технічними характеристиками: (таблиця 1).

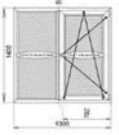

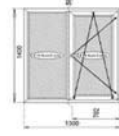

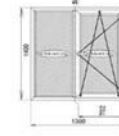

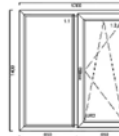

**Порівняльний аналіз вартості влаштування віконних систем.** Дослідження теплотехнічних характеристик обраних об'єктів показало, що системи WDS — наприклад, у системі WDS 76 AD / WDS 76 MD демонструють коефіцієнт теплопередачі на рівні:  $U_w \approx 0,79 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ , тоді як розсувна модифікація WDS SL 76 характеризується показником  $U_w \approx 0,82 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ . Для порівняння, профільна система VEKA — за системою VEKA SOFTLINE (70 мм) має власне значення  $U_f \approx 1,3 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$  для самого профілю. При збалансованій комплектації (профіль + якісне скло) для всієї конструкції  $U_w$  може бути значно нижчим — залежно від склопакета. Усереднені параметри енергоефективних рішень на базі профілю RENAУ — у типових ПВХ-вікнах з полімерним профілем і енергоефективним склопакетом  $U_w \approx 1,2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ , водночас застосування 5-камерної конфігурації у поєднанні з 44-мм двокамерним склопакетом (триплекс) дозволяє досягти рівня  $U_w \approx 0,8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$ .

**Математичне обґрунтування та розрахунок теплових втрат віконних систем.** Оцінка енергетичної ефективності віконних систем базується на розрахунку річних трансмісійних тепловтрат з урахуванням кліматичних параметрів регіону. Для умов помірно-континентального клімату (на прикладі м. Ковель) базовим показником є кількість градусо-днів опалювального періоду градусоднів (HDD), що становить  $3200 \text{ }^\circ\text{С} \cdot \text{дб}$ .

Питомі річні енерговтрати через одиницю площі світлопрозорої конструкції визначаються за формулою  $(\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{рік на } 1 \text{ м}^2) = U_w (\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}) \times \text{HDD} (^\circ\text{C}\cdot\text{дні}) \times 24 (\text{год}/\text{добу}) / 1000$ .

Таблиця 1

Технічні характеристики досліджуваних віконних систем

	 <p>Вікно 1300x1400 5-ти камерний профіль Ціна від 8700 грн</p>	 <p>Металопластикове 5-ти камерне вікно Rehau</p>
	 <p>Вікно 1300x1400 3-и камерний профіль Ціна від 7450 грн</p>	 <p>Металопластикове 3-ти камерне вікно Rehau</p>
	 <p>Вікно 1300x1400 5-ти камерний профіль Ціна від 5250 грн</p>	 <p>Металопластикове 5-ти камерне вікно WDS; профіль WDS 76 AD / WDS 76 MD</p>
	 <p>5762 грн</p>	 <p>5-ти камерне вікно VEKA</p>

В результаті отримуємо  $\text{HDD} \cdot 24 / 1000 = 3200 \cdot 24 / 1000 = 76.8$ . Тобто річні втрати  $\approx U_w \times 76.8$  (кВт·год/м<sup>2</sup>·рік).

Зазначені величини коефіцієнта теплопередачі  $U_w$  мають індикативний характер і відповідають базовим конфігураціям систем. Підсумкова енергоефективність світлопрозорої конструкції є функцією багатьох змінних,

зокрема: архітектури склопакета (камерність, інертне наповнення, наявність селективного напилення), геометричних параметрів ступок, специфікації армувальних профілів та фурнітури. Крім того, на фактичні теплові втрати суттєво впливає якість влаштування монтажних швів та мінімізація лінійних теплових містків у вузлах прилягання..

Таблиця 2

$U_w$  і річні втрати на  $1 \text{ м}^2$  (припущення:  $HDD=3200$ )

Система / приклад конфігурації	Орієнт. $U_w$ (Вт/м <sup>2</sup> ·К)	Річні втрати на $1 \text{ м}^2$ (кВт·год/рік)
WDS 76 AD (типова комплектація)	0,79	60,67
WDS SL76 (розсувна)	0,82	62,98
VEKA Softline 70 (типовий 2-камерний склопакет)	1,40	107,52
VEKA Ascot / VEKA 82 (енергозберігаюча, триплекс/трикамерна)	0,80	61,44
RENAU (типовий 5-камерний профіль, звичайний склопакет)	1,20	92,16
RENAU Energy / високоефективна комплектація (триплекс/трикамерна)	0,85	65,28
Для порівняння — старе однокамерне скління	2,80	215,04

### Техніко-економічне обґрунтування додаткових витрат на опалення

Вихідні розрахункові умови:

**1 м<sup>3</sup> природного газу = 9,5 кВт·год** (середня теплота згоряння в Україні).

**Тариф на газ = 7,96 грн/м<sup>3</sup>** (середній побутовий тариф 2024–2025 рр.).

Таблиця: газ (м<sup>3</sup>) та гроші (грн) на  $1 \text{ м}^2$  вікна за рік.

Формули:

Газ (м<sup>3</sup>) = (Втрати кВт·год) / 9,5

Гроші (грн) = Газ × 7,96 грн

Висновки:

1. Різниця між вікном типової конфігурації та високотехнологічною віконною системою

Приклад:

VEKA Softline 70 (≈107 кВт·год) vs VEKA 82 (≈61 кВт·год) →

**Економія ≈46 кВт·год/м<sup>2</sup>/рік = 4.9 м<sup>3</sup> газу = 39 грн/м<sup>2</sup>/рік.**

Таблиця 3

## Вартісна оцінка щорічних втрат теплової енергії

Система	Втрати, кВт·год/м <sup>2</sup> ·рік	Газ, м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> ·рік	Вартість, грн/м <sup>2</sup> ·рік
WDS 76 AD	60,67	6,38	50,8
WDS SL 76	62,98	6,63	52,8
VEKA Softline 70	107,52	11,32	90,2
VEKA 82 / енергоефект	61,44	6,46	51,4
REHAU (звичайна комплектація)	92,16	9,70	77,2
REHAU Energy / топова	65,28	6,87	54,7
Старе однокамерне скло	215,04	22,63	180,1

2. Якщо площа вікон у квартирі 10 м<sup>2</sup>

Річні втрати газу складають: 6.4–11.3 м<sup>3</sup> × 10 ≈ 64–113 м<sup>3</sup>/рік.

Вартість опалення складає: 510–900 грн/рік

**Кошторисна собівартість влаштування віконних систем.**

Сукупна вартість влаштування віконних систем визначається сукупністю показників, що включає прямі витрати (оплата праці, експлуатація машин, вартість матеріалів) та непрямі витрати (загальновиборнічі). Такий підхід до калькуляції дозволяє об'єктивно оцінити ресурсну інтенсивність процесу монтажу та сформуванню кінцевої ціни будівельної послуги.

$$V_{\text{БМР}} = V_{\text{ПР.В.}} + V_{\text{Н.В.}}; \quad (1)$$

$$V_{\text{ПР.В.}} = 3\text{П}^{\text{р.б.}} + V_{\text{Е}} + V_{\text{М.К.}}; \quad (2)$$

$$V_{\text{Н.В.}} = 3\text{ВВ}; \quad (3)$$

де -  $V_{\text{ПР.В.}}$  - прямі витрати;  $V_{\text{Н.В.}}$  - непрямі витрати;  $3\text{П}^{\text{р.б.}}$  - заробітна плата робітників-будівельників;  $V_{\text{Е}}$  - вартість експлуатації машин та механізмів;  $V_{\text{М.К.}}$  - кошторисна вартість матеріалів та конструкцій, яка враховує відпускну вартість вцілому, вартості перевезення їх на будівельний майданчик та заготівельно-складські витрати;  $3\text{ВВ}$  - загальновиборнічі витрати.

Виконуємо розрахунок вартісних показників віконних систем згідно [1...4]. При цьому було дотримано послідовності проведення економічних обчислень, апробованої у попередніх дослідженнях [6...8].

**Розрахунок кошторисної вартості базового варіанта засклення.**

Визначення базисного рівня капіталовкладень, необхідних для реалізації технологічних процесів, здійснюється за формулою:

$$K_{\text{б}} = K_{\text{к.м.}} + K_{\text{т}} + K_{\text{мех}}; \quad (4)$$

де  $K_{\text{б}}$  – капітальні вкладення в базу будівництва, грн.;  $K_{\text{к.м.}}$  – капітальні вкладення в виробництво збірних конструкцій, виробів і матеріалів для робіт, грн.;  $K_{\text{т}}$  – капітальні вкладення на придбання транспортних засобів, грн.;  $K_{\text{мех}}$  – капітальні вкладення на придбання механізмів для виконання робіт, грн.

Обсяг капітальних інвестицій на закупівлю матеріально-технічних ресурсів для інсталяції віконних систем визначається як:

$$K_{к.м.} = B_{В.К.} \quad (5)$$

де  $B_{В.К.}$  – відпускна вартість будівельних матеріалів згідно шифру ресурса, грн.

Таблиця 4

Моніторинг відпускних цін на матеріальні ресурси досліджуваних систем  $B_{В.К.}$ , грн

з пакетом <b>WDS 76 AD</b>	з пакетом <b>VEKA Softline 70</b>	з пакетом <b>REHAU (звичайна комплектація)</b>	з пакетом <b>REHAU Energy</b>
5250	5762	7450	8700
$\frac{5250}{1,3 * 1,4}$ = 2884	$\frac{5762}{1,3 * 1,4}$ = 3166	$\frac{7450}{1,3 * 1,4}$ = 4093	$\frac{8700}{1,3 * 1,4}$ = 4780

Питомі капітальні вкладення у транспортне забезпечення для доставки конструкцій від постачальника до місця влаштування визначаються за такою розрахунковою моделлю:

$$K_T = (C_6 \cdot t_{необ}) / t_p^H, \quad (6)$$

де  $C_6$  – балансова вартість транспортних засобів, грн.;  $t_{необ}$  – необхідний час роботи транспортних засобів на будівельному майданчику, маш-год.;  $t_p^H = 3000$  маш-год - нормативний час роботи транспортних засобів протягом року.

Необхідний час роботи транспортних засобів на перевезенні вантажів від постачальника на будівельний майданчик визначають за виразом:

$$t_{необ} = 0,25 \cdot (P \cdot L / Q \cdot V \cdot K_{вант}), \quad (7)$$

де  $P$  – об'єм вантажу, що підлягає перевезенню при максимальному завантаженню, м<sup>3</sup>;  $L$  – відстань перевезення вантажу, км;  $Q$  – місткість транспортних засобів, м<sup>3</sup>;  $V$  – середня швидкість руху транспортних засобів;  $K_{вант}$  – коефіцієнт використання транспортних засобів по вантажопідйомності в залежності від виду будівельного вантажу.

Таблиця 5

Кількісна оцінка часових витрат транспортних засобів на логістичне забезпечення інсталяційних робіт  $t_{необ}^R$ , маш-год

з пакетом <b>WDS 76 AD</b>	з пакетом <b>VEKA Softline 70</b>	з пакетом <b>REHAU (звич. комплект.)</b>	з пакетом <b>REHAU Energy</b>
$\frac{0,88 * 12}{5 * 60 * 1}$ = 0,035	$\frac{0,86 * 12}{5 * 60 * 1}$ = 0,034	$\frac{1,18 * 12}{5 * 60 * 1}$ = 0,047	$\frac{1,35 * 12}{5 * 60 * 1}$ = 0,054

Балансова вартість транспортного засобу для перевезення конструкцій

$$Ц = V_B \cdot K_{т.м.}, \quad (9)$$

де -  $V_B$  - відпускна вартість транспортного засобу згідно прайс-листів ;  $K_{т.м.} = 1,07$  - коефіцієнт, що враховує витрати на перевезення та монтаж транспортного засобу від заводу - постачальника до будівельного майданчика.

Балансова вартість транспортного засобу для перевезення всіх матеріалів складає:

$$Ц = 1680000 \cdot 1,07 = 1797600 \text{ грн.}$$

Таблиця 6

Калькуляція капітальних вкладень у транспортні засоби  
для перевезення матеріалів  $K_r$ , грн

з пакетом <b>WDS 76 AD</b>	з пакетом <b>VEKA Softline 70</b>	з пакетом <b>REHAU (звичайна комплектація)</b>	з пакетом <b>REHAU Energy</b>
(1797600·0,035) /3000=21	(1797600·0,034) /3000=21	(1797600·0,047) /3000=28	(1797600·0,054) /3000=32

Таблиця 7

Обґрунтування обсягу капітальних вкладень  $K^R_b$ , грн

з пакетом <b>WDS 76 AD</b>	з пакетом <b>VEKA Softline 70</b>	з пакетом <b>REHAU (звичайна комплектація)</b>	з пакетом <b>REHAU Energy</b>
2884 + 21 = 2905	3166 + 21 = 3186	4093 + 28 = 4121	4780 + 32 = 4812

### Обґрунтування річних експлуатаційних витрат

Прогнозування річних експлуатаційних витрат на технічне обслуговування та відновлення первинних властивостей віконних систем здійснюється за такою математичною залежністю:

$$E_p = \frac{V_{БМР}}{T_c} + \frac{V_{БМР}(\%)}{100}, \quad (9)$$

де  $E_p$  – річні експлуатаційні витрати на ремонт та відновлення конструкцій, грн.;  $V_{БМР}$  - кошторисна собівартість конструкцій стіни у споруді (кошторисна вартість будівельно - монтажних робіт), грн.;  $T_c$  – термін служби конструкцій, років; (%) – відсоток відрахування на ремонт і відновлення конструкцій від собівартості.

Таблиця 8

Калькуляція річних експлуатаційних витрат на технічне обслуговування та відновлення віконних систем  $E_p$ , грн

з пакетом <b>WDS 76 AD</b>	з пакетом <b>VEKA Softline 70</b>	з пакетом <b>REHAU (звичайна комплектація)</b>	з пакетом <b>REHAU Energy</b>
(3576/50)+3576 *0,05/100)=73	(3925/50)+3925 *0,05/100)=80	(5075/50)+5075 *0,05/100)=104	(5927/50)+5927 *0,05/100)=121

### Калькуляція приведених витрат

Техніко-економічна оцінка конструктивних рішень цивільних будівель і споруд проводиться за приведеними витратами.

Приведені витрати визначають на основі [5] за формулою:

$$V_{\text{пр}} = [V_{\text{БМР}} + E_n \cdot K_6] \cdot \beta + \frac{E_p}{\xi_{\text{пр}}}, \quad [10]$$

де -  $V_{\text{пр}}$  – приведені витрати по будівлі, споруді, грн.;  $V_{\text{БМР}}$  - кошторисна собівартість конструкцій у споруді (кошторисна вартість будівельно - монтажних робіт), грн.;  $E_n = 0,15$  - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень;  $K_6$  – капітальне вкладення в базу, грн.;  $\beta$  – коефіцієнт приведення одночасових витрат по різновдовговічних варіантах до вихідного рівня, грн.;  $\xi_{\text{пр}}=0,08$  - коефіцієнт приведення.

### Висновки та науково-технічне обґрунтування вибору раціонального варіанта для подальшого проектування

Спираючись на результати порівняльного техніко-економічного дослідження альтернативних світлопрозорих систем, здійснено детермінацію раціонального проектного рішення. Для подальшої деталізації інженерних розрахунків прийнято оптимальну конструкцію віконної системи, обрану за критерієм мінімізації приведених витрат.

Таблиця 9

Приведені витрати на влаштування віконних систем,  $V_{\text{пр}}$ , грн

з пакетом <b>WDS 76 AD</b>	з пакетом <b>VEKA Softline 70</b>	з пакетом <b>REHAU (звичайна комплектація)</b>	з пакетом <b>REHAU Energy</b>
(3576+0,15*2905) *0,021 + 73/0,08)=1000	(3925+0,15*3186) *0,021 + 80/0,08)=1098	(5075+0,15*4093) *0,021 + 104/0,08)=1420	(5927+0,15*4812) *0,021 + 121/0,08)=1658

Згідно з результатами проведених розрахунків, попередній аналіз приведених витрат вказує на економічну перевагу віконних конструкцій на основі профілю WDS 76 AD, показник яких фіксується на рівні 1000 грн. Другу позицію за рівнем фінансової ефективності посідає система VEKA Softline 70 із показником 1098 грн. Однак, враховуючи варіативність теплотехнічних характеристик та різний рівень енергоефективності досліджуваних зразків, використання лише вартісного критерію є недостатнім для прийняття стратегічного проектного рішення. Виникає необхідність інтеграції енергетичних параметрів у загальну модель оцінки. Для верифікації результатів та забезпечення комплексної оптимізації вибору, доцільно застосувати метод багатоцільової оптимізації на основі аналізу співвідношень

(метод MOORA). Даний інструментарій дозволяє збалансувати економічні видатки з експлуатаційними перевагами кожної системи, забезпечуючи об'єктивність вибору оптимального варіанта для подальшого впровадження.

### **Багатокритеріальна оптимізація та прийняття проектних рішень щодо вибору віконних профілів на основі методу MOORA**

Реалізація процедури вибору оптимального проектного рішення за допомогою методу MOORA (9) базується на використанні системи детермінованих вихідних параметрів. До розрахункової моделі включено такі показники:

Питома вартість монтажу віконних блоків у розрахунку на 1 м<sup>2</sup>;

1. Капітальні інвестиції у формування базисного рівня технічного забезпечення будівельної організації;
2. Амортизаційні втрати вікон, пов'язані з їх реновацією та відновленням;
3. Енергоефективність системи, виражена через вартісну оцінку річних тепловтрат (в грн.).

Повний масив обчислених значень, що підлягають подальшій обробці, систематизовано у таблиці 10.

З метою об'єктивізації процесу прийняття рішень та врахування різного ступеня впливу чинників на кінцевий результат, встановлено наступні вагові коефіцієнти:

1. Вартість інсталяції прийнята за базисний показник;
2. Капітальні вкладення, враховані з ваговим коефіцієнтом 0,15;

3. Амортизаційні витрати прирівняні до повної вартості конструктивного рішення;

З метою імплементації сучасних стратегій енергозбереження, показник річних енергетичних витрат прийнято з пріоритетним коефіцієнтом 2,0;

Кількісна оцінка пріоритетності кожного з варіантів (визначення значень вибору) реалізується за допомогою наступної розрахункової залежності (11):

$$y_i = \sum_{j=1}^d w_j x_{ij}^* - \sum_{j=d+1}^n w_j x_{ij}^* \quad (11)$$

Нормалізація матриці вибору (12) виконувалась за формулою (13):

$$x_{ij} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$x_{ij}^* = x_{ij} / \left[ \sum_{i=1}^m x_{ij}^2 \right]^{1/2} \quad (13)$$

Таблиця 10

Система вихідних техніко-економічних параметрів  
для багатокритеріального вибору віконних систем

Віконна система	Вартість встановлення, грн	Капітальні вкладення в базу, грн	Річна амортизація, грн	Річні витрати на енергоносії, грн
WDS	3576	2905	73	50,8
VEKA	3926	3186	80	90,2
RAHAU	5075	4121	104	77,2
REHAU Energy	5927	4812	121	54,7
Ваговий коефіцієнт	1,0	0,15	1,0	2,0

Нормалізована матриця вихідних параметрів для багатокритеріальної оптимізації віконних систем 11.

Таблиця 11

Нормалізована аналітична матриця для обґрунтування вибору  
оптимального варіанта системи

Віконна система	Вартість встановлення	Капітальні вкладення в базу	Річна амортизація	Річні витрати на енергоносії
WDS	0,379	0,379	0,379	0,362
VEKA	0,416	0,416	0,415	0,643
RAHAU	0,538	0,538	0,539	0,550
REHAU Energy	0,628	0,628	0,627	0,390

У таблиці 12 відображено результати підбору оптимальної віконної системи, отримані шляхом зваженої оцінки техніко-економічних критеріїв. Дані показники дозволяють ідентифікувати варіант із найвищим рівнем цільової ефективності.

На основі оцінки за допомогою багатоцільової оптимізації вибору на основі методу аналізу співвідношень (MOORA), для подальших інженерно-технічних розрахунків проведено вибір оптимального варіанту конструкції віконних систем з врахуванням енергоефективності. Згідно виконаних розрахунків оптимальним варіантом є віконні системи з профілем WDS 76 AD. На другому місці віконні системи REHAU Energy. Проаналізувавши стандартну методику та методику (MOORA), котра врахувала енергоефективність вікон, слід обрати до встановлення віконні системи з профілем WDS 76 AD.

Підсумкова матриця пріоритетності вибору на основі зважених показників ефективності

Віконна система	Нормалізовані коефіцієнти матриці					
	Вартості встановлення	Капітальних вкладень в базу	Річної амортизації	Річних витрат на енергоосі	Показник пріоритетності	Пріоритет
WDS	-0,379	-0,057	-0,379	-0,724	-1,54	1
VEKA	-0,416	-0,062	-0,415	-1,286	-2,18	3
RAHAU	-0,538	-0,081	-0,539	-1,101	-2,26	4
REHAU Energy	-0,628	-0,094	-0,627	-0,780	-2,13	2

1. Правила визначення вартості будівництва : ДБН Д.1.1-1-2000 (з урахуванням змін та доповнень). [Чинний від 2000-10-01]. Київ : Мінбуд України, 2006. № 1 (січень). (Ціноутворення у будівництві : збірник офіційних документів та роз'яснень).

Pravyla vyznachennia vartosti budivnytstva : DBN D.1.1-1-2000 (z urakhuvanniam zmin ta dopovnen). [Chynnyi vid 2000-10-01]. Kyiv : Minbud Ukrainy, 2006. № 1 (sichen). (Tsinoutvorennia u budivnytstvi : zbirnyk ofitsiinykh dokumentiv ta roziasnen).

2. Ціноутворення у будівництві : збірник офіційних документів та роз'яснень. Київ: Мінбуд України, 2006. № 2 (лютий).

Tsinoutvorennia u budivnytstvi : zbirnyk ofitsiinykh dokumentiv ta roziasnen. Kyiv: Minbud Ukrainy, 2006. № 2 (liutyi).

3. Додатки до ДБН Д.1.1-1-2000 (з урахуванням змін та доповнень). Правила визначення вартості будівництва. Київ : Мінбуд України, 2006. № 1, № 2. (Ціноутворення у будівництві : збірник офіційних документів та роз'яснень).

Dotatky do DBN D.1.1-1-2000 (z urakhuvanniam zmin ta dopovnen). Pravyla vyznachennia vartosti budivnytstva. Kyiv : Minbud Ukrainy, 2006. № 1, № 2. (Tsinoutvorennia u budivnytstvi : zbirnyk ofitsiinykh dokumentiv ta roziasnen).

4. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи. Оздоблювальні роботи : ДСТУ Б Д.2.2-15:2012. (Збірник 15). [Чинний від 2013-01-01]. Київ : Мінрегіон України, 2012.

Resursni elementni koshtorysni normy na budivelni roboty. Ozdobliuvalni roboty : DSTU B D.2.2-15:2012. (Zbirnyk 15). [Chynnyi vid 2013-01-01]. Kyiv : Minrehion Ukrainy, 2012.

5. Гомон П. С., Савицький В. В. Ціноутворення та інвесторська кошторисна документація будівництва : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2021. 214 с.

Homon P. S., Savytskyi V. V. Tsinoutvorennia ta investorska koshtorysna dokumentatsiia budivnytstva : navch. posib. Rivne : NUVHP, 2021. 214 s.

6. Бабіч Є. Є., Гомон П. С., Полянська О. Є., Ласкевич А. Вибір оптимального варіанту покрівельного матеріалу. Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2024. Вип. 46. С. 389–398.

Babich Ye. Ye., Homon P. S., Polianovska O. Ye., Laskevych A. Vybir optymalnoho variantu pokrivelnogo materialu. Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2024. Vyp. 46. S. 389–398.

7. Бабіч Є. Є., Гомон П. С., Полянська О. Є. Оптимальний варіант утеплення стін фасадним утеплювачем. Ресурсоекономі матеріали, конструкції, будівлі та споруди : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2024. Вип. 45. С. 378–385.

Babich Ye. Ye., Homon P. S., Polianovska O. Ye. Optymalny variant uteplennia stin fasadnym utepliuвачem. Resursoekonomni materialy, konstruktsii, budivli ta sporudy : zb. nauk. prats. Rivne : NUVHP, 2024. Vyp. 45. S. 378–385.

8. Brauers K. W. M. et al. Multi-objective decision-making for road design. Transport. 2008. Vol. 23, No. 3. P. 183–193.

Brauers K. W. M. et al. Multi-objective decision-making for road design. Transport. 2008. Vol. 23, No. 3. P. 183–193.

<b>Відомості про статтю:</b>		<b>Article information</b>	
Отримано	11.04.2026	Received	11.04.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді	16.04.2026	Received in revised form	16.04.2026
Прийнято	20.04.2026	Accepted	20.04.2026
Опубліковано	31.05.2026	Published	31.05.2026

### **Політика відкритого доступу**

Політика відкритого доступу збірника передбачає безкоштовний та безперешкодний доступ до наукових матеріалів. Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

### **Open access policy**

The open access policy of the collection provides free and unhindered access to scientific materials. All data is available in digital or graphical form in the main text of the article.

### **Конфлікти інтересів**

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

### **Conflicts of Interest**

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the current study, including financial, personal, authorial or any other that could be included in the study, as well as the results presented in this document.

### **Використання штучного інтелекту**

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

### **Use of Artificial Intelligence**

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies in the creation of the current work.