

Самков О.В., д-р техн. наук  
Захарченко Ю.А.,  
Скрипніченко А.А.,  
Хамровська М.М.

## МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДЛЯ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ ТА ВИБОРУ ЗРАЗКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОТЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Національний авіаційний університет

*Для розв'язання задач порівняльної оцінки та вибору зразків енергетичного котлового обладнання запропонований комбінований методичний підхід на основі методу аналізу ієрархій та методу згортки для цільової функції, що описує потенційні можливості порівнювальних зразків*

### Вступ

У сучасних умовах значного зростання вартості на енергоносії у світі, інтенсивного впровадження енергозберігаючих технологій в діяльність держави, широкої номенклатури нових зразків енергозберігаючого обладнання (ЕЗО), що пропонуються на світовому ринку, виникає задача вибору їх кращих зразків за критерієм «ефективність (якість) – вартість».

Помилки, що можуть виникати при виборі та закупці таких зразків ЕЗО та їх партій, приводять до відставання від світового рівня в ефективності їх застосування, створення неконкурентоспроможної продукції, необґрунтованим витратам та ін., що і обумовлює актуальність вирішення даної задачі досліджень.

### Постановка задачі

Для вирішення задачі вибору зразків ЕЗО, які відносяться до широкого класу складних технічних систем (СТС), існує ряд підходів. Проте, вони, в більшій мірі, ґрунтовані на емпіричних експертних оцінках, в яких присутні суб'єктивні помилки, що не дозволяє приймати відповідне рішення по вибору кращих зразків ЕЗО з достатнім рівнем обґрунтованості.

У зв'язку з цим, для широкого класу задач прийняття рішень, які включають задачу порівняльної оцінки та вибору кращих зразків ЕЗО, необхідно розробити відповідне методичне забезпечення для вирішення цих задач. В склад такого за-

безпечення повинні входити методи, методики, алгоритми, показники та критерії.

### Вирішення поставленої задачі

Задача порівняльної оцінки та вибору оптимальних зразків ЕЗО за критеріями «якість (ефективність) – вартість» може мати однокритеріальну і багатокритеріальну постановку.

Постановку такої багатокритеріальної задачі можна сформулювати в наступному вигляді: з множини  $J$  порівнювальних зразків (варіантів) ЕЗО ( $j_k = \overline{1; J}$ ) заданого  $k$ -го класу та одного призначення зі своїм переліком  $X$  характеристик (показників), що порівнюються, ( $x = \overline{1; X}$ ), які описуються інтегральним показником якості ЕЗО (ПЯ), необхідно вибрати за критеріями їх якості (ефективності) й вартості оптимальний зразок ЕЗО  $j_{k_{\text{но}}}$  з максимальним рівнем інтегрального показника якості ПЯ<sub>max</sub> при мінімальному рівні вартісних витрат  $C_{\text{min}}$ .

При зведенні одного з критеріїв «якість (ефективність) – вартість» в розряд обмежень задача вибору ЕЗО може бути зведена до однокритеріальної.

Задача порівняльної оцінки та вибору оптимальних зразків СТС (ЕЗО) відноситься до класу задач кваліметрії [1]. Для її розв'язання на прикладі вибору кращих зразків енергетичного котлового обладнання (ЕКО) запропонований методичний

підхід, який базується на комплексі методів, методик, алгоритмів та ін.

### **Метод аналізу ієрархії для розв'язання задачі порівняльної оцінки та вибору**

Для вирішення поставленої задачі запропонований метод аналізу ієрархій (МАІ) [2], який відноситься до багатокритеріальних методів прийняття рішень. Він базується на ієрархічній послідовності або мережевій структурі представлення моделі прийняття рішень і визначення пріоритетів альтернативних варіантів на підставі міркувань особи, яка приймає рішення.

Для порівняльної оцінки та вибору зразків вибрана чотирьохрівнева ієрархічна структура (рис. 1), яка включає комплексне представлення даних для порівнюваних зразків ЕКО, що включають: їх призначення, класифікацію, вирішувемі задачі (перший рівень); характеристики, показники, критерії (другий рівень); інтегральні критерії зразків ЕКО (третій рівень); результат вибору зразків ЕКО на основі загального критерію (четвертий рівень).

МАІ базується на оцінках ступеня впливу факторів нижнього рівня ієрархії для зразків ЕКО на критерії та показники вищих рівнів ієрархій при найбільш повному урахуванні усіх вагомих показників,

що характеризують властивості порівнювальних зразків.

Алгоритм порівняльної оцінки та вибору зразків ЕКО розроблений на основі аналогічного для зразків СТС, що наведений в роботі [3]. До його основних етапів віднесені наступні:

1. Вибір показників й інтегральних критеріїв для проведення порівняльної оцінки.

2. Розробка структури вирішення задачі порівняльної оцінки та вибору зразків ЕКО.

3. Проведення попарного порівняння показників.

4. Розрахунок векторів пріоритетів нижчих рівнів.

5. Розрахунок глобальних пріоритетів.

Вирішення задачі вибору на основі МАІ приводить до знаходження кращого варіанту ЕКО за критерієм «якість (ефективність) – вартість». Ця методика була апробована при вирішенні задачі порівняння зразків ЕКО. Результати рішень підтверджені на тестових прикладах.

Вибір показників й інтегральних критеріїв для проведення порівняльної оцінки зразків ЕКО проведений на основі аналізу зразків сучасного котлового обладнання (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристика деяких зразків ЕКО

Перелік зразків ЕКО	вага ЕКО, кг	номінальна теплова потужність, кВт	коефіцієнт корисної дії (ККД)	об'єм бойлера, л	вартість ЕКО, грн.
1. Котел газовий <i>Beretta Fabula 31 CAI 120</i>	118	31	0,88	120	1739
2. Котел газовий <i>Beretta Fabula 31 CAI 80</i>	126	31	0,86	80	1640
3. Котел газовий <i>Beretta Fabula 32 CSI 120</i>	150	32	0,94	120	1800
4. Котел газовий <i>Beretta Fabula 32 CAI 120</i>	224	32	0,95	120	1910

**Етап 1.** В якості ІК обрано технічна досконалість та економічність, а за показники обрані такі, що мають найбільшу інформативність та вплив. Серед них:

номінальна теплова потужність, кВт, коефіцієнт корисної дії (ККД), вага ЕКО, кг, об'єм бойлера, л, вартість, грн.

**Етап 2.** На основі аналізу взаємозв'язків між об'єктами, показниками, ІК та ціллю, розроблена відповідна структурна схема (рис. 1).

**Етап 3.** Проведено порівняння суджень експертів, щодо визначення впливу показників на ІК та застосовано 9-ти ба-

льну шкалу порівнянь альтернатив. Порівняння проводяться таким чином: якщо показник П2 значно переважає П4, то елементу таблиці присвоюється значення згідно шкали, а при зворотному порівнянні П4 з П2 елементів таблиці присвоюється обернене значення.

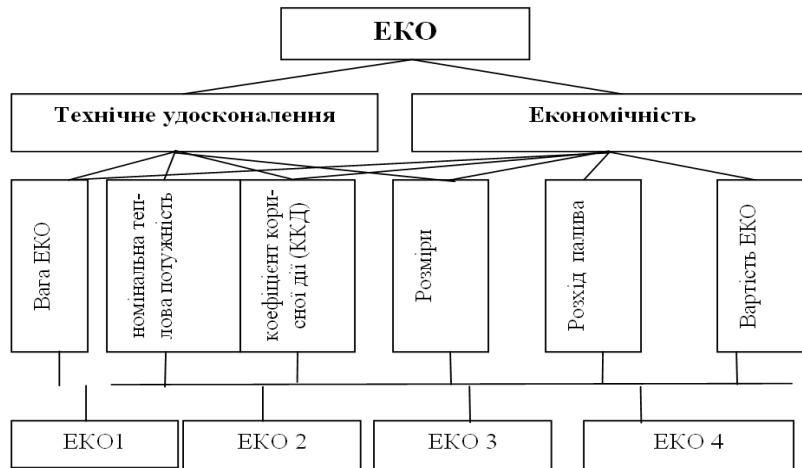


Рис. 1. Структурна схема зв'язків показників при виборі зразків ЕКО на основі МАІ

**Етап 4.** З групи матриць парних порівнянь формується набір локальних пріоритетів, що виражають відносний вплив множини елементів на елемент верхнього рівня та на їх основі отримується вектор пріоритетів.

**Етап 5.** Розрахунок глобальних пріоритетів (ГП) для ІК проводиться на основі суми добутків локальних пріоритетів і пріоритету відповідного показника (табл. 2).

Таблиця 2. Глобальні пріоритети

ЕК О	ГП для ІК технічна досконалість	ГП для ІК економічність
1	0,241	0,249
2	0,203	0,205
3	0,283	0,301
4	0,273	0,245

Для розрахунку значення першого рівня (визначення найкращого ЕКО), визначаємо, як впливають ГП на кінцевий результат.

Значення пріоритетів першого рівня для зразків ЕКО розраховувалось як сума добутку коефіцієнтів впливу ІК і відповідних значень ГП. Для нашого прикладу

найкращим зразком із запропонованих варіантів є ЕКО 3 (табл. 3).

Таблиця 3. Вектор пріоритетів першого рівня

ЕКО1	ЕКО2	ЕКО3	ЕКО4
0,245	0,204	0,292	0,259

На практиці порівняння та вибір зразків СТС (ЕКО) часто потребує розширення номенклатури показників технічного рівня. Така номенклатура для ЕКО може включати десятки характеристик, об'єднаних в групи показників якості. Серед цих показників можна, в першу чергу, виділити: характеристики і показники ЕКО, які характеризують корисний ефект від використання за призначенням; економічні показники, що включають витрати на розробку, створення або закупку, експлуатацію, ремонт, модернізацію та утилізацію; показники надійності функціонування ЕКО; технологічні показники; показники стандартизації, уніфікації та ін.

Збільшення переліку порівнюваних показників приводить до розширення множини Парето-оптимальних рішень [4], ускладнення рішення задачі вибору зразків ЕКО, що значно ускладнює обґрунтування рекомендацій для ОПР з їх вибору.

Застосування МАІ дозволяє визначити варіанти порівнювальних ЕКО, що відповідають вимогам критерію «якість (ефективність) – вартість», та знайти кращий зразок.

**Метод згортки для розв'язання задачі порівняльної оцінки та вибору**

При наявності більш одного варіанту рішення методика реалізує вибір кращого зразка ЕКО на основі другого методу шляхом порівняння їх технічних характеристик. В цьому випадку запропонований адитивний вид цільової функції, що описує технічний рівень порівнювальних зразків ЕКО. Така цільова функція описує технічний рівень зразків ЕКО та уявляє собою коефіцієнт потенційних можливостей (КПМ), який комплексно враховує вплив широкої номенклатури їх технічних характеристик та параметрів систем ЕКО.

КПМ представлений у вигляді адитивної функції згортки, що враховує відносні оцінки приросту технічних характеристик і параметрів ЕКО з урахуванням коефіцієнтів їх важливості та ваг функціональних систем (ФС).

КПМ визначається з урахуванням вимог теорії кваліметрії [1] у відповідності з виразом (1):

$$K_{\tilde{H}} = \mu \sum_{q=1}^Q \eta_q \sum_{k_q=1}^{M_q} a_{k_q} \frac{X_{k_q} - \tilde{X}_{k_q}^{\text{баз}}}{\tilde{X}_{k_q}^{\text{баз}}}, \quad (1)$$

де  $a_{k_q}$  – ваговий коефіцієнт  $k$ -й технічної характеристики  $q$ -й ФС ЕКО;  $M_q$  – кількість технічних характеристик  $q$ -й ФС ЕКО;  $\mu$  – коефіцієнт пропорційності;  $\eta_q$  – ваговий коефіцієнт  $q$ -й ФС ЕКО;  $Q$  – кількість ФС ЕКО;  $\tilde{X}_{k_q}$ ,  $\tilde{X}_{k_q}^{\text{баз}}$  – значення  $k$ -й технічної характеристики  $q$ -й ФС порівнювального та базового зразків ЕКО, відповідно.

Негативна динаміка зниження функції  $K_{\tilde{H}}$  означає, що технічний рівень порівнювального зразку ЕКО нижче базового та дозволяє віднести цей зразок до неефективних.

Вагові коефіцієнти технічних характеристик і ФС ЕКО можуть бути визначені двома стандартними підходами на основі методу експертного опитування та методів регресійного й факторного аналізу.

Застосування даного комбінованого методичного підходу для вибору кращих зразків ЕКО дозволяє усунути недоліки підходів на основі окремих методів і використовувати їх переваги при рішенні задач вибору ЕКО, зменшити кількість помилкових рішень та підвишити їх обґрунтованість.

Застосування даного комбінованого методичного підходу для вибору кращих зразків ЕКО дозволяє усунути недоліки підходів на основі окремих методів і використовувати їх переваги при рішенні задач вибору ЕКО, зменшити кількість помилкових рішень та підвишити їх обґрунтованість.

**Розробка комбінованого алгоритму для розв'язання задачі порівняльної оцінки**

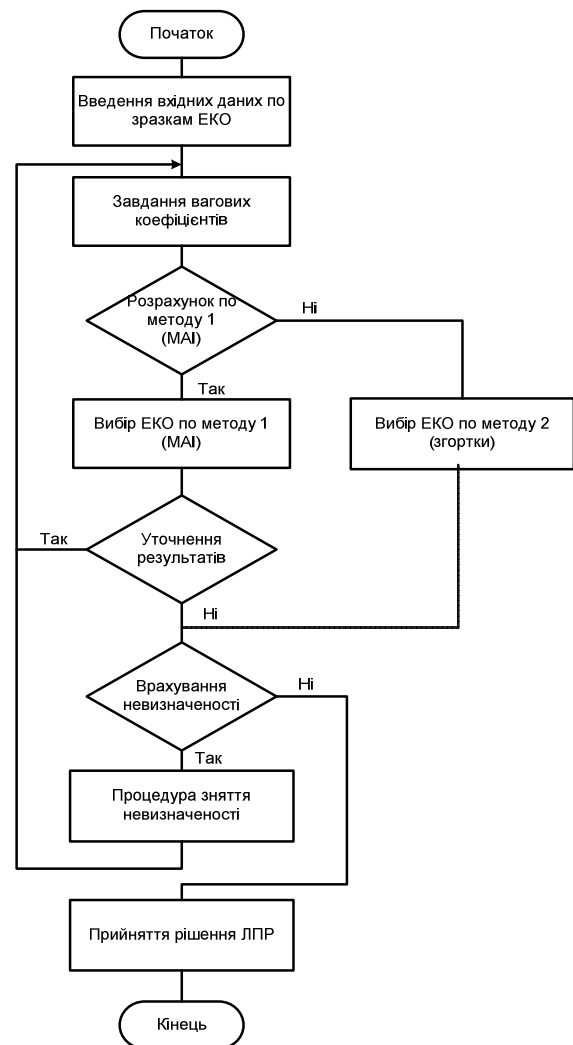


Рис. 2. Узагальнений алгоритм рішення задачі вибору ЕКО комбінованим методом

Узагальнений алгоритм (рис. 2) вирішення даної задачі на основі комбінованого методу включає два основних етапи: на першому для вибору кращих зразків ЕКО застосовується МАІ, на другому (при необхідності) застосовується метод згортки для цільової функції КПМ.

В комбінованому алгоритмі також застосована функція вибору ЕКО з урахуванням невизначеності рекламних вихідних даних щодо зразків ЕКО, які пропонуються на ринку. Вирішення задачі з невизначеністю базується на застосуванні песимістичних, оптимістичних і середніх оцінок [5].

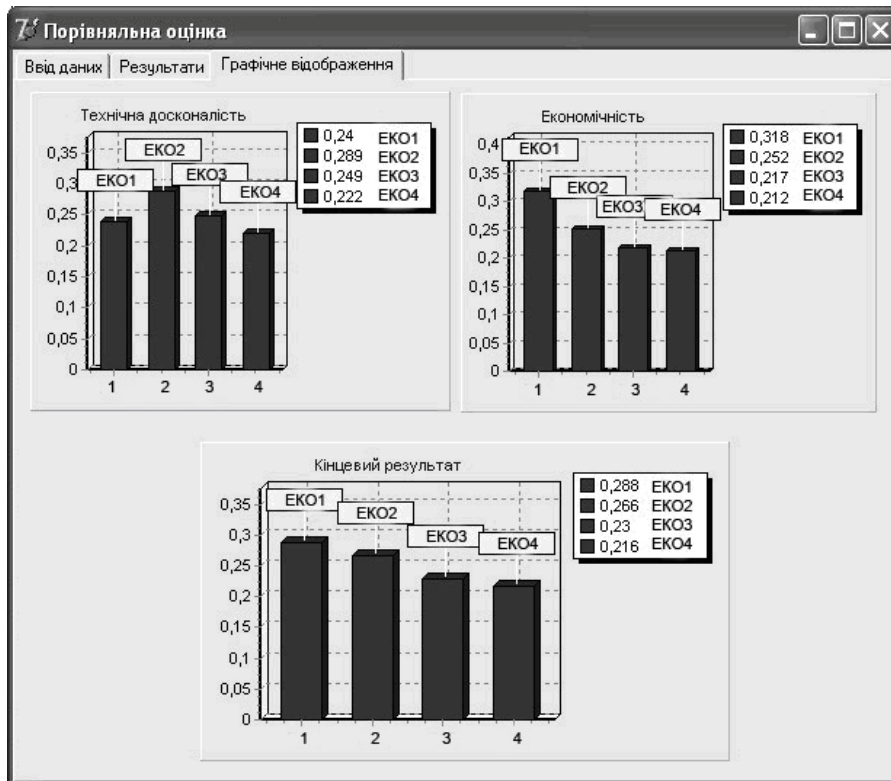


Рис. 3. Одна з форм представлення результатів рішення в СППР

### Висновки

З метою вирішення задачі порівняльної оцінки та вибору зразків ЕКО, уникнення помилкових рішень та підвищення їх обґрунтованості запропонований комбінований методичний підхід на основі методу аналізу ієрархій та методу згортки. На його основі розроблена відповідна система підтримки та прийняття рішень, яка дозволяє забезпечити вирішення в реальному масштабі часу задач з вибору порівнювальних зразків ЕКО, оперативне внесення змін при уточненні вхідних даних та уникнення значних втрат на основі помилкових рішень.

### Список літератури

1. *Азгальдов Г.Г.* Теория и практика оценки качества товаров. – М.: Экономи-

ка, 1982. – 258 с.

2. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.

3. *Самков О.В., Захарченко Ю. А., Корнієнко О.В.* Алгоритм вибору зразків безпілотних літальних апаратів на основі показників їх досконалості// Автоматика. Автоматизация. Електротехнические комплексы и системы. – Херсон, ХНТУ. – №1(23). – 2009. – С.110–114.

4. *Брахман Т.Р.* Многокритериальность и выбор альтернативы в технике. – М.: Радио и связь, 1984. – 288 с.

5. *Зайченко Ю.П.* Исследование операций. – К.: Вища шк., 1988. – 552 с.