

О.В. Самков д-р техн. наук, професор,
Н.П. Соколова, Н.В. Мигович, Н.В. Рижиков
Національний авіаційний університет

МЕТОДИ ВИБОРУ ЗРАЗКІВ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Метою досліджень є розробка методичного підходу для оцінки та вибору кращих зразків енергозберігаючого обладнання та технологій (ЕОТ) за критерієм «ефективність - вартість» на основі комплексного застосування двох методів: методу аналізу ієрархій (МАІ) та методу розпізнавання образів (МРО). Такий підхід спрямований на мінімізацію їх недоліків та збільшення переваг. Застосування даних методів апробовано на прикладі вибору кращого зразку котлового обладнання з 6 альтернативних зразків, які порівнювалися за сімома показниками, розподілених за двома глобальними показниками: технічна досконалість та економічність. Результати апробації обраних методів підтвердили достовірність отриманих результатів. На основі запропонованого методичного підходу розроблена система підтримки прийняття рішення «Вибір ЕОТ», яка дозволить оперативно отримувати результати рішень, аналізувати їх в графічному вигляді та своєчасно уточнювати пріоритети в умовах процесів вибору.

Ключові слова: енергозбереження, порівняльна оцінка та вибір, метод розпізнавання образів, метод аналізу ієрархій, котлове обладнання, попарне порівняння, система підтримки прийняття рішення.

Вступ. У зв'язку із неперервним зростанням світових цін на енергоносії проблема енергоефективності становиться однією з пріоритетних в державі, а питання енергозбереження та енергоефективних витрат енергії набуває все більшої актуальності [1]. Очевидно, що в сучасних ринкових умовах неможливо зберегти стабільний розвиток у державі без реалізації політики у сфері енергозбереження та енергоефективності на базі відповідних законів, нормативних документів, концепцій, програм і проектів різного рівня. Реалізація таких проектів проводиться на основі концепції управління проектами та вимагає впровадження нового енергозберігаючого обладнання, сучасних енергоефективних технологій, засобів автоматизації управління, розробки методології обґрунтування рішень при управлінні проектами та багатьох інших підходів.

Застосування сучасних методів управління проектами дозволяє більш обґрунтовано проводити планування процесів енергоспоживання та розподілу ресурсів, визначати цілі інвестицій і оптимально планувати інвестиційну діяльність, більш повно враховувати проектні ризики, оптимізувати використання наявних ресурсів і контролювати виконання складеного плану, аналізувати фактичні показники і вносити своєчасну корекцію в хід робіт, накопичувати, аналізувати і використовувати надалі досвід реалізованих проектів.

Незважаючи на широко застосовувані сучасні технології управління проектами, вони мають серйозні недоліки, пов'язані, в першу чергу, з недостатньою формалізацією процесів управління, суб'єктивністю прийняття рішень, що можуть призвести до серйозних помилок у запланованих результатах проекту та необґрунтованих економічних витрат.

Одним з таких недоліків планування проекту є суб'єктивна процедура вибору складу обладнання та технологій на початку проекту. Даний етап являє особливу важливість для проекту в цілому, тому що на ньому плануються всі помилки та успіхи. З урахуванням того, що номенклатура зразків такого обладнання постійно розширюється, створюються нові енергозберігаючі технології, покращуються їх характеристики та зростає вартість інноваційних проектів енергозабезпечення, розмірність такої задачі, складність її та наслідки можливих помилок постійно зростають.

У зв'язку з чим, виникає наукова задача з розробки методичного підходу для оцінки та вибору кращих зразків енергозберігаючого обладнання та технологій (ЕОТ) за критерієм «ефективність - вартість». Результати її розв'язання дають змогу забезпечити оптимальний вибір зразків енергозберігаючого обладнання та технологій з кращими показниками ефективності застосування та уникнути необґрунтованих економічних витрат.

Відомі дослідження авторів в цьому напрямі [2] для вирішення задачі вибору котлового обладнання на основі методу аналізу ієрархій (МАІ). Однак, даний метод має ряд недоліків, пов'язаних з суб'єктивністю експертних оцінок та помилками при призначенні вагових коефіцієнтів. Крім того, з урахуванням можливих помилок на етапі вибору комплексу ЕОТ, що може призвести до

багатомільйонних економічних витрат, доцільно вдосконалити технологію прийняття рішень.

У зв'язку з цим, метою досліджень є розробка методичного підходу для оцінки та вибору кращих зразків ЕОТ за критерієм «ефективність - вартість» на основі комплексного застосування деяких методів, що спрямовано на мінімізацію їх недоліків та збільшення переваг.

Проблема вибору зразків ЕОТ виникає досить часто на етапах їх закупівлі, експлуатації та модернізації при управлінні проектами на стадіях життєвого циклу. Вимоги до обґрунтованості вибору ЕОТ та математичному апарату, що використовується при цьому, постійно підвищуються. Це пов'язано з високою вартістю сучасних проектів модернізації ЕОТ, значними витратами ресурсів на їх виконання (часовими, людськими ресурсами та ін.), високим ризиком прийняття помилкових рішень та серйозними наслідками від них при розробці та управлінні проектами.

Постановка завдання. Задача полягає у розробці методичного підходу до вибору складу ЕОТ, при якому його склад повинен забезпечити: а) оптимальні значення критерію «ефективність - вартість» (для багатокритеріальної задачі) або б) максимум критерію ефективності його роботи (мінімум вартості (витрат) при заданих обмеженнях на інший критерій (для однокритеріальної задачі), тобто

$$E \rightarrow \max E(s) \quad (1)$$

при обмеженнях на його витрати від впровадження проекту

$$C_{заг} \leq C_{прз}, \quad (2)$$

де $E(s)$ – приріст ефективності застосування обраної складної технічної системи (ЕОТ); $C_{заг}$, $C_{прз}$ – економічні затрати на придбання ЕОТ (потрібні та наявні, відповідно).

Таким чином, задача зводиться до формування такого оптимального складу ЕОТ, який би забезпечував оптимальне значення критерію «ефективність - вартість» з урахуванням індивідуальних переваг споживачів щодо технічних характеристик ЕОТ та економічності обраного зразка та технологій.

Для вирішення задачі вибору широкого класу складних технічних систем існує ряд методів [3,4], серед яких найбільш відомими є: МАІ, метод розпізнавання образів (МРО), метод зважених сум, метод аналізу мереж, інтегрований метод, метод ранжирування ваг критеріїв та ін. Всі методи мають свої недоліки та переваги в залежності від специфіки задач вибору.

Результати досліджень. Розглянемо методичний підхід щодо розв'язання задачі з порівняльної оцінки та вибору кращих зразків ЕОТ, який базується на сумісному використанні таких методів, як МАІ [4] та МРО [5], що спрямовано на мінімізацію їх недоліків та збільшення переваг. Відомо, що дані методи належать до багатокритеріальних методів прийняття рішень [4,5]. МАІ [4,6,7] ґрунтується на ієрархічному представленні елементів, які визначають суть проблеми, та, як правило, на попарному порівнянні альтернатив. Матриці попарного порівняння заповнюються на основі тверджень експертів за дев'ятибальною шкалою.

В якості основних параметрів для порівняння зразків котлового обладнання (КО) (на основі результатів експертного опитування) обрані 7 з найбільшими ваговими коефіцієнтами (табл.1), серед яких: номінальна потужність, ККД, площа приміщень, які опалюються, максимальна витрата газу, гарантійний термін експлуатації, вага та ціна.

Для порівняння обрано 6 альтернативних зразків КО за 7 параметрами (табл. 1).

Таблиця 1

Вихідні дані для дослідження МРО та МАІ

Марки котлів	Номінальна потужність, кВт	ККД, %	Площа приміщень, які опалюються, м ²	Максимальна витрата газу, м ³ /год	Гарантійний термін, міс.	Вага, кг	Ціна, грн.
Данко-24	24	92	220	2,8	29	85,5	3370
Маяк-20 КС	20	90	225	2,24	30	64	3081
КС-Г-24Д	24	90	240	2,75	24	80	3320
Палій-25	25	91	280	2,9	24	100	3450
Атем КС-020 СН	22,5	90	220	2,6	24	80	3325
АТОН АТМО 20Е	20	90	200	2,4	24	89	3400

При проведенні розрахунків використовувалась методика порівняльної оцінки та вибору зразків енергетичного обладнання на основі МАІ [3]. В результаті застосування МАІ визначена кількість альтернатив і критерії їх порівняння для всіх зразків, що розглядаються, проведені парні порівняння на основі шкали Сааті, отримані результати розрахунків, а також значення глобальних пріоритетів (ГП) порівняльної оцінки (табл. 2) та діаграма результатів вибору на основі МАІ (рис.1).

Числові значення глобальних пріоритетів

№	Альтернативи	Глобальні пріоритети (ГП)
1	Данко-24	0,959
2	Маяк-20 КС	0,982
3	КС-Г-24Д	0,970
4	Палій-25	0,989
5	Атем КС-020 СН	0,959
6	АТОН АТМО 20Е	0,936

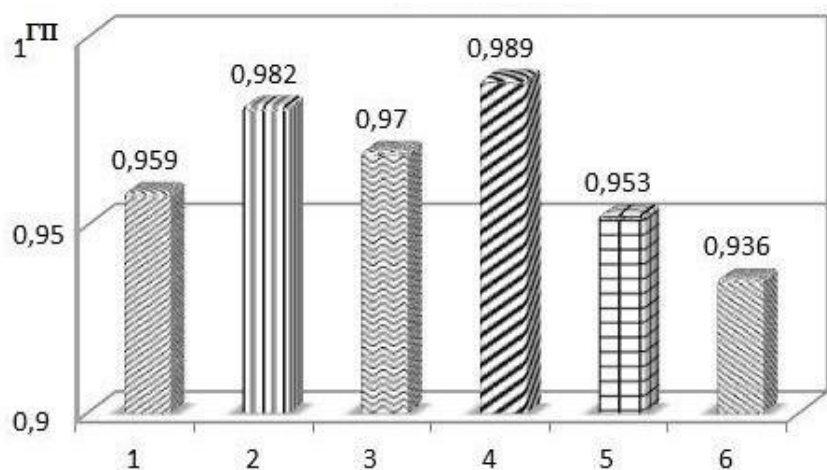


Рис.1 Результат вибору кращих зразків ЕОТ на основі МАІ

Інший метод – МРО, заснований на зведенні альтернатив до еталонів ідеалу («ідеальна» і «неідеальна» альтернативи) з використанням методу стохастичної апроксимації для визначення ступеню наближення кожної альтернативи до цих класів.

Застосування МРО для вирішення задачі вибору ЕОТ виконувалося по заданому алгоритму, який включав:

- вибір критеріїв та альтернатив порівняльної оцінки;
- визначання класів оцінок (клас 1 - перевага «Технічна досконалість», клас 2 – перевага «Економічна досконалість», клас 3 – «Глобальні пріоритети») (табл.3);
- задання числових значень кожного класу по заданим критеріям і коефіцієнтам важливості критеріїв;
- проведення розрахунків за методиками МРО для альтернатив та отримання порівняльних оцінок;
- побудову діаграм на основі отриманих результатів та вибір кращих варіантів (рис.2).

Результати розрахунків за МРО підтверджують результати, отримані на основі МАІ.

Таблиця 3

Результати порівняльної оцінки для визначених класів за МРО

	Альтернативи	I клас	II клас	III клас
A1	Данко-24	0,990	0,984	0,992
A2	Маяк-20 КС	0,967	0,998	0,997
A3	КС-Г-24Д	0,991	0,997	0,995
A4	Палій-25	0,983	0,998	0,998
A5	Атем КС-020 СН	0,980	0,996	0,990
A6	АТОН АТМО 20Е	0,978	0,988	0,988

Результати застосування обраних методів для вирішення задачі вибору ЕОТ показують їх збіг, щодо пріоритетного ряду вибору зразків при різних кількісних значеннях в оцінках кожного зразку.

Для практичного застосування цих методів проведений їх аналіз і визначені їх переваги та недоліки (табл. 4).

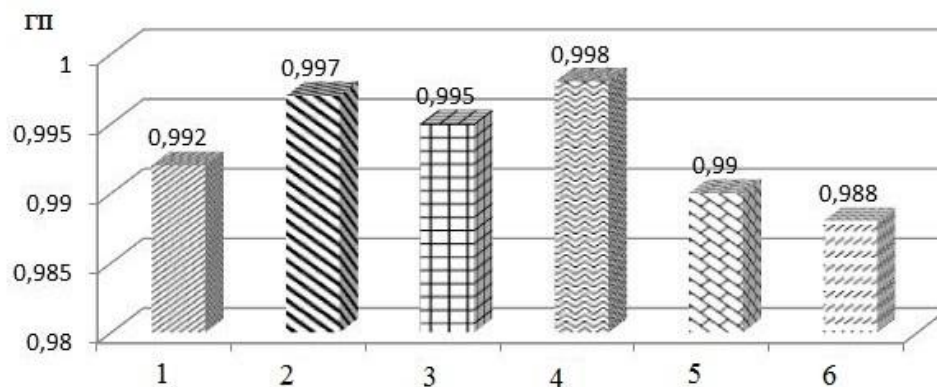


Рис.2 Результат вибору кращих зразків ЕОТ на основі МРО

Таблиця 4

Переваги та недоліки методів вибору кращих зразків ЕОТ

Методи	Переваги	Недоліки
МРО	Розбиття на класи дає можливість вибору альтернатив із різних груп показників (економічність, технічна досконалість)	Недостатня інтерпретація результатів.
МАІ	Покроковий аналіз кожного критерію та вагових показників, що дозволяє оцінювати їх вплив на результати вибору	Суб'єктивність експертних оцінок та помилки при призначенні вагових коефіцієнтів.

Наприклад, одним з недоліків МАІ є необхідність завдання експертних оцінок та можливі помилки при формуванні вагових коефіцієнтів. Недоліком МРО є процес вибору, пов'язаний з недостатньою інтерпретацією результатів розрахунків.

МРО може успішно застосовуватися при виборі кращих зразків складних технічних систем по визначеному переліку порівнювальних параметрів та обраним критеріям. Даний метод дає можливість виділити класи, по яким можна розділити порівнювані зразки за цільовим використанням, масштабом виконуючих завдань та іншими вимогами. Ця можливість спрощує вирішення завдання та прискорює процес вибору.

МАІ доцільно використовувати у випадку наявності якісних характеристик процесу вибору та наявності досвідчених експертів.

Сумісне використання розглянутих двох методів дозволяє використовувати їх переваги, уточнювати отримані результати порівняльної оцінки, а також аналізувати вплив на них характеристик обладнання та технологій.

Дані методи застосовані в системі підтримки прийняття рішень (СППР) «Вибір ЕОТ», яка дозволяє оперативно отримувати результати рішень, аналізувати їх в графічному вигляді та своєчасно уточнювати пріоритети в умовах процесів вибору ЕОТ.

Алгоритм вибору складу обладнання та технологій проектів енергоспоживання на основі СППР включає наступні етапи (рис.3):

1. Введення вихідних даних для варіантів складу обладнання та технологій проекту;
2. Оцінка термінів окупності варіантів складу обладнання та технологій (на основі відомих співвідношень) і формування пріоритетного ряду.
3. Проведення аналізу (на третьому етапі) можливих заміни обладнання та технологій на альтернативні енергоефективні зразки та формування нових їх варіантів за кількісною оцінкою на основі критерію «ефективність - вартість» з застосуванням двох методів (МАІ і МРО);
4. Уточнення пріоритетного ряду (етапи циклу 2,3,4).
5. Проведення кінцевого вибору кращого варіанту (заключний 5 етап) і уточнення складу проекту на основі критерію «ефективність - вартість».

Автоматизація проведення розрахунків за наведеним алгоритмом та введення елементів СППР «Вибір ЕОТ» дозволяє оперативно отримувати результати рішень, порівнювати їх в графічному вигляді та своєчасно вносити зміни в умови задачі вибору.

Проведена апробація обраних методів для вирішення задачі порівняльної оцінки та вибору кращих зразків котлового обладнання за критерієм «ефективність - вартість», а також розроблені пропозиції із застосуванням цих методів.



Рис.3. Алгоритм вибору складу обладнання та технологій проектів енергоспоживання на основі СППР

Висновки.

В результаті проведених досліджень вирішена задача вибору кращих зразків енергетичного обладнання та технологій за критерієм «ефективність - вартість» на основі MAI та MPO.

Порівняння результатів вирішення задачі вибору на прикладі котлового обладнання підтвердило достовірність отриманих результатів, дозволило визначити їх переваги та недоліки, які доводять необхідність застосування цих методів у комплексі.

З урахуванням складності проведення розрахунків на базі цих методів, значних витрат часу на отримання результатів порівняння, а також для забезпечення оперативного внесення змін в умови вирішення задачі вибору зразків ЕОТ розроблена СППР «Вибір ЕОТ», яка дозволить оперативно отримувати результати рішень, аналізувати їх у графічному вигляді та своєчасно уточнювати пріоритети в умовах процесів вибору.

СППР «Вибір ЕОТ» може знайти широке застосування при розробці та управлінні проектами енергоспоживання, як для державних підприємств та установ, так і для бізнес-структур. Використання даної СППР дає можливість забезпечити оптимальний вибір зразків енергетичного обладнання та сучасних технологій з кращими показниками ефективності застосування та уникнути необґрунтованих економічних витрат.

Список літератури

1. Денисюк С.П. Особливості реалізації політики енергоефективності – пріоритети України//Енергетика: економіка, технології, екологія.– 2013.– №2.– С. 7 – 20.
2. Самков О.В. Методичний підхід для порівняльної оцінки та вибору зразків енергетичного котлового обладнання/О.В.Самков, Ю.А. Захарченко, А.А. Скрипніченко, М.М. Хамровська //Проблеми інформатизації та управління. – №4 (28), 2009. – С.120–129.
3. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике /Т. Р. Брахман. – М.: Радио и связь, 1984. – 288 с.

4. Саати Т.Л. Аналитическое планирование. Организация систем: пер. с англ. / Т.Л. Саати, К.П. Керис – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
5. Фомин Я. А. Распознавание образов: теория и применения. – 2-е изд. – М.: ФАЗИС, 2012.– 429 с.
6. A. Labib, A. Ishizaka. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems and Applications*, 38 (11):14336– 14345, 2011.
7. Thomas L. Saaty. *The analytic hierarchy process*. Pittsburg, 1990. RWS Publications.

A.V. Samkov, N.P. Sokolova, N.V. Mygovych, N.V. Ryzhykov
National Aviation University

METHODS OF SAMPLE SELECTION ENERGY-SAVING EQUIPMENT AND TECHNOLOGIES

The purpose of research is to develop a methodical approach for the evaluation and selection of the best examples of energy saving equipment and technologies (ESET) based on the criterion of "efficiency - cost" in the complex application of two methods: the method of analysis Hierarchy Process (AHP) and pattern recognition method (PRM). This approach aims to minimize the disadvantages of the methods and improve their benefits. The application of these methods to solve the problem of choice was tested on a sample selection of the best boiler equipment (BE) of 6 samples BE alternative and compared for the seven indicators and were divided into two groups: technical excellence and efficiency. Results of testing selected methods confirmed the reliability of the results. On the basis of the proposed methodical approach developed decision support system "Selection of ESET", which will quickly get results solutions, analyze them graphically and in a timely manner to refine priorities in terms of the selection process.

Keywords: energy saving, comparative evaluation and selection, pattern recognition technique, analytic hierarchy process, boiler equipment, pairwise comparison, a decision support system.

1. S. P. Denysyuk. Features of Energy Efficiency Policy - Priorities of Ukraine // *Energetics: economy, technology, ecology*. - 2013. - № 2. - P. 7 - 20.
2. O. V. Samkov, J. A. Zaharchenko, A. A. Skrypnychenko, M. M. Hamrovska. Methodological approach for comparative evaluation and selection of samples of power boiler equipment // *Problems of Information and Control*. - № 4 (28), 2009. - P.120-129.
3. T. R. Brahman. Multicriteriaity and Choice of Alternatives in Technics / T. R. Brahman. -M.: Radio and Communications, 1984. - 288 p.
4. T. L. Saaty. *Analytic planning. Organization Systems: Lane*. Translated with English. / T. Saaty, K. P. Kerys - M.: Radio and Communications, 1991. - 224 p.
5. Y. A. Fomin. *Pattern Recognition: Theory and application*. - 2nd ed. - Moscow: FAZYS, 2012. - 429 p.
6. A. Labib, A. Ishizaka. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. *Expert Systems and Applications*, 38 (11):14336– 14345, 2011.
7. Thomas L. Saaty. *The analytic hierarchy process*. Pittsburg, 1990. RWS Publications.

УДК 621.3.036.5 (043.2)

А.В. Самков д-р техн. наук, профессор,
Н.П. Соколова, Н.В. Мигович, Н.В. Рыжиков
Национальный авиационный университет

МЕТОДЫ ВЫБОРА ОБРАЗЦОВ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ

Целью исследований является разработка методического подхода для оценки и выбора лучших образцов энергосберегающего оборудования и технологий (ЭОТ) на основе критерия «эффективность – стоимость» при комплексном применении двух методов: метода анализа иерархий (МАИ) и метода распознавания образов (МРО). Такой подход направлен на минимизацию недостатков этих методов и повышения их преимуществ. Применение данных методов для решения задачи выбора апробировано на примере выбора лучшего образца котлового оборудования из 6 альтернативных образцов, которые сравнивались по семи показателям и входили в две группы: техническое совершенство и экономичность. Результаты апробации выбранных методов подтвердили достоверность полученных результатов. На основе предложенного методического подхода разработана система поддержки принятия решений «Выбор ЭОТ», которая позволит оперативно получать результаты решений, анализировать их в графическом виде и своевременно уточнять приоритеты в условиях процесса выбора.

Ключевые слова: энергосбережение, сравнительная оценка и выбор, метод распознавания образов, метод анализа иерархий, котловое оборудование, попарное сравнение, система поддержки принятия решений.