

Хеблов Ісмаїл – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: heblov@gmail.com.

Хуссain Валід Шер – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044.

Гур'єв Іван Миколайович – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; e-mail: ihuriev@odessa.gov.ua.

Кошулян Сергій Вікторович – Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування, пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044;

Oksana Saveleva – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Odessa National Polytechnic University, Professor, Department of oil and gas and chemical engineering; Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: okssave@gmail.com.

Ekaterina Berezovska – Odessa National Polytechnic University, Postgraduate of the Department of oil and gas and chemical engineering; Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: beresovska@gmail.com.

Heblov Ismail – Odessa National Polytechnic University, Postgraduate of the Department of oil and gas and chemical engineering; Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: heblov@gmail.com.

Walid Sher Hussain – Odessa National Polytechnic University, Postgraduate of the Department of oil and gas and chemical engineering; Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, 65044.

Ivan Guryev – Odessa National Polytechnic University, Postgraduate of the Department of oil and gas and chemical engineering; Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: ihuriev@odessa.gov.ua

Sergiy Koshulyan – Odessa National Polytechnic University, Postgraduate of the Department of oil and gas and chemical engineering; Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine, 65044; e-mail: serega12451@rambler.ru.

УДК 519.812.3: 519.816

О. В. ШУЛИМА, В. В. ШЕНДРИК, П. ДАВІДСОН

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ЗАДАЧІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ГІБРИДНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Розглядається модель прямої агрегації оціночних критеріїв в задачі багатокритеріального аналізу альтернативних варіантів побудови енергетичних мереж з відновлювальними джерелами енергії. Для розрахунку загальної функції корисності пропонується процедура приведення кількісних і якісних критеріїв до «нечіткості». За схемою Беллмана-Заде розглядається ранжування альтернативних рішень вибору структури енергетичної системи в межах трьох сценаріїв. При умові неявної переваги альтернативи пропонується оцінка альтернатив за максимумним критерієм.

Результати досліджень можуть бути використані у відповідній системі підтримки прийняття рішень.

Ключові слова: енергетична система, відновлювальні джерела енергії, альтернативи, багатокритеріальна задача прийняття рішень.

Рассматривается модель прямой агрегации оценочных критериев в задаче многокритерийного анализа альтернативных вариантов построения энергетических сетей с возобновляемыми источниками энергии. Для расчета общей функции полезности предлагается процедура приведения количественных и качественных критериев к «нечеткости». По схеме Беллмана-Заде рассматривается ранжирование альтернативных решений выбора структуры энергетической системы в пределах трех сценариев. При условии неявного преимущества альтернативы предлагается оценка альтернатив по максимумному критерию.

Результаты исследований могут быть использованы в соответствующей системе поддержки принятия решений.

Ключевые слова: энергетическая система, возобновляемые источники энергии, альтернативы, многокритерийная задача принятия решений.

The paper is considering a problem of providing energy via Hybrid Renewable Energy Systems. It is proposed a model of direct evaluation of aggregated criteria and a model of ranking alternatives in multicriteria analysis of building energy grid with renewable energy sources.

A systematic multicriteria decision analysis technique is described for alternative selection and bid evaluation based on utility theory and which permits different types of criterias to be evaluated. To do it is proposed to use the scheme Bellman-Zadeh and ranking alternatives within different scenarios: socio-economic and energy-efficient. To calculate the total utility function proposed procedure to bring quantitative and qualitative criteria to the "fuzziness". If results show implicit benefits then offered to evaluate alternatives by maximin criterion.

A Ukraine case study is used to illustrate the technique. The theoretical basis and the advantages of the technique are also presented. The research results can be used in the appropriate decision support system.

Keywords: energy system, renewable energy sources, alternatives, the multicriteria decision making problem.

Вступ. Аналіз сучасного стану проблеми щодо вибору структури гібридної енергетичної системи з відновлювальними джерелами енергії (ГЕСВДЕ) представлений в роботі [1]. Незважаючи на численні публікації стосовно підвищення ефективності рішень щодо планування електрифікації комплексу будівель за допомогою відновлювальних джерел енергії, існує ряд проблем, які вимагають подальшого дослідження.

В процесі проектування ГЕСВДЕ вирішуються завдання визначення оптимальної конфігурації ГЕСВДЕ, а саме кількості та потужності елементів

відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) системи, їх вид (сонячні панелі чи вітрові турбіни).

При прийнятті рішення найважливіше – вибрати кращий в термінах оптимальності варіант. Отже, головне – не прогнозувати, які показники забезпечить реалізація тієї чи іншої альтернативи, а визначити перевагу одного варіанту перед іншими. Під час вирішення цього завдання доцільно врахувати декілька критеріїв одразу, що можна зробити, використовуючи методи багатокритеріальної оптимізації.

© О. В. Шулима, В. В. Шендрик, П. Давідсон. 2016

Для вирішення завдань такого виду перспективно використовувати інформаційні технології, які дозволяють об'єднати в єдиному процесі найбільш ефективні математичні методи оптимізації з досвідом і знаннями особи-експерта. Такі технології реалізуються на основі так званих систем підтримки прийняття рішень (СППР) та допомагають підготувати інформацію у зручному для особи, що приймає рішення виді.

Постановка задачі прийняття рішень. Базову задачу вибору структури ГЕСВДЕ будемо розглядати в наступній постановці. Задано:

- множина елементів системи з ВДЕ, що можуть бути складовими частинами енергетичної системи, відповідно сонячних панелей, вітрогенераторів та акумуляторних батарей:

$$P = \{pv_e\}, W = \{wt_e\}, A = \{ab_e\} \quad e = \overline{1, n}$$

- набір $I = \{i\}$, $dei = \langle pv_e, wt_e, ab_e \rangle$, що містить визначену кількість альтернатив (варіантів структури ГЕСВДЕ), що задаються характеристиками ВДЕ.

- набір $K = \{j_m\}$, $m = \overline{1, m}$ означених критеріїв, згідно яких проходить оцінка альтернатив.

У роботі [2, 3] визначається структура розробленої СППР. Загалом сукупність задач процес вибору структури ГЕСВДЕ можна розділити на дві стадії.

Step¹ – структурний синтез системи. Суть задачі полягає у визначенні усіх можливих конфігурацій ГЕСВДЕ $i \in I$ ляхом уточнення множин елементів системи P, W, T .

$$Step^1 : \{Objs, P, W, T\} \rightarrow \{i, I\} \quad (1)$$

Step² – оцінка ефективності та вибір кращого варіанта системи. У процесі виконання завдання проводиться оцінка варіантів побудови ГЕСВДЕ $i \in I$ о заданій множині критеріїв $K(i)$ і вибір оптимального варіанта з $i_0 = \arg \text{opt } K(i)$, $i \in I$ Вирішення цієї задачі базується на заданих структурних і технологічних характеристиках системи, обмеженнях на рівні енергетичного ефекту: надлишок згенерованої енергії (REPG), ймовірність втрати живлення (DPSP) і витрати (COE).

$$Step^2 : \{Objs, I, B, REPG, DPSP, COE\} \rightarrow \{i_0, K(i)\} \quad (2)$$

де B – множина значень параметрів елементів системи.

Загальна математична модель задачі вибору оптимальної структури системи. Оптимізацію рішення пропонується проводити за наступними сценаріями:

I рівень: соціально-економічний за показником вартості енергії (COE) і енергетично ефективний сценарій за показником REPG надлишок згенерованої енергії, а також набором якісних критеріїв з розрахованими вагами стосовно виду сценарію.

II рівень: енергетично ефективний сценарій за показником DPSP – ймовірність втрати живлення, а також набором якісних критеріїв з розрахованими вагами стосовно виду сценарію.

Для вибору єдиного рішення задачі пропонується використовувати положення теорії корисності, відповідно до якої в рамках сценаріїв проводиться оцінка альтернатив за наборами критеріїв і здійснюється вибір оптимальних альтернатив по загальному значенню функції $R_i(z)$ рамках сценарію.

Після вибору кращих альтернатив в рамках сценаріїв I рівня, відібрані альтернативи оцінюються в новому (остаточному) сценарії, де вирішується оптимізаційна задача II рівня.

Загальна математична модель задачі вибору оптимальної структури системи може бути подана у вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_0 \rightarrow \arg \max R_i(z) \\ COE(i) \rightarrow \min_{i \in I} \\ COE(i) \leq COE^* \\ REPG(i) \rightarrow \max_{i \in I} \\ REPG(i) \geq REPG^* \\ DPSP(i) \leq DPSP^* \\ DPSP(i) \rightarrow \min_{i \in I} \end{array} \right. \quad (3)$$

де $R_i(z)$ адитивна функція загальної корисності, COE – цільова функція витрат на установку, $REPG(i)$ цільова функція енергоефективності I рівня, $DPSP(i)$ цільова функція енергоефективності II рівня, COE^* граничні значення показника вартості системи, $REPG^*$ граничні значення показника енергоефективності системи, $DPSP^*$ граничні значення показника дефіциту енергії в системі.

Ціль та задачі дослідження. Необхідно визначити оптимальний (найбільш відповідний) з множини варіант структури ГЕСВДЕ $i_0 \in I$ де I – можлива множина альтернатив, з урахуванням заданих обмежень на витрати та показники енергоефективності.

Для досягнення мети пропонується вирішити наступні задачі:

1. Визначити множину альтернатив, кожна з яких представляє собою певний вид енергетичної мережі.

2. Визначити критерії для оцінки альтернатив.

3. Визначити механізм призначення ваги критеріям, відповідно до трьох сценаріїв (етапів оптимізації наведених вище).

4. Визначити алгоритм оцінки та ранжування альтернатив з урахуванням пріоритету критеріїв, вираженим вагами в межах трьох сценаріїв.

Особливості гібридної енергетичної системи, як об'єкта спостереження. У даній роботі в якості об'єкта спостереження виступають попередньо визначені конфігурації гібридної енергетичної мережі з відновлювальними джерелами енергії.

Дані конфігурації визначаються з огляду на те, що загальна модель представляє собою комплексну

модель гібридної вітро-сонячної системи електропостачання окремого об'єкта. В ній використовуються два взаємодоповнюючі канали генерування електричної енергії від відновлюваних джерел енергії вітру та сонця, що реалізуються за допомогою, відповідно, вітроелектроустановки (ВЕУ) та сонячної батареї (СБ). Для запобігання випадків повної втрати живлення при недостатній генерації електроенергії компонентами ГЕСВДЕ, в конфігурації системи включено акумуляторні батареї (АБ).

Тестове дослідження моделі відбувалось на основі 5-ти конфігурацій, які приведені в табл. 1:

Таблиця 1 – Конфігурації ГЕСВДЕ

№	СБ	ВЕУ	АБ
1	ACS-50D	Techmlv1kw	Varta lad60
2	ACS-100D	Techmlv1kw	Varta lad260
3	ACS-250D	Techmlv3kw	Varta lad260
4	ACS-100D	Techmlv5kw	Varta lad115
5	ACS-250D	Techmlv5kw	Varta lad260

Кожен вид сонячної батареї характеризується власною потужністю, кількістю сонячних модулів, ціною, вартістю обслуговування та ін. Параметри ВЕУ визначаються потужністю, площею лопастей, вартістю обслуговування та ціною. Параметри АБ визначаються ємністю батареї, ціною та кількістю одиниць.

Методи вибору оптимальних рішень при багатокритеріальній постановці задачі оптимізації

Основна мета багатокритеріального процесу прийняття рішень полягає у виборі альтернатив, що мають найвищі оцінки відповідно до набору оціночних критеріїв.

Серед методик, які дозволяють провести вибір оптимальної альтернативи серед запропонованих, найбільш популярним є спосіб прямого агрегування [4], де, як правило, відбір проходить в два етапи:

1. Оцінка альтернативи за кожним критерієм і агрегацію оцінок в єдину глобальну функцію корисності з врахуванням вагових коефіцієнтів;

2. Ранжування альтернатив на основі отриманої оцінки.

Спосіб розрахунку такої агрегованої функції корисності залежить від двох різних груп методологій.

Традиційні моделі прийняття рішень (так звані «чіткі моделі»), дають в результаті числовий індекс. Така оцінка дозволяє провести пряме ранжування потенційних альтернатив.

Якщо s_{ij} оцінка i -ї альтернативи за критерієм j , а w_j – вага кожного критерію, в чіткому аналізі найпростіший спосіб агрегації полягає в їх лінійній комбінації. В умовах, що $\sum_{j=1}^m w_j = 1$, оцінка (корисність) кожної альтернативи розраховується як:

$$R_i = \sum_{j=1}^m w_j s_{ij} \quad (4)$$

В умовах, коли судження краще представлене в якісному відношенні, тобто за допомогою термінів

мови (добре, гірше, досить добре, і т.д.), можуть виникнути проблеми в підрахунку загального числового індексу.

Друга група методів вирішує дану проблему з використанням методів «нечіткої логіки». Зокрема, існують методи багатокритеріальної оцінки, такі як ELECTRE III [5], Promethee [6], VIKOR [7], TOPSIS [7], та ін. Вони засновані на побудові глобальної моделі переваг із використанням значення ваги критеріїв. Альтернативи оцінюються за допомогою показника їх відповідності або НЕ відповідності моделі переваг, використовується дихотомія так / ні (0 або 1), представлена як ступінь впевненості.

«Нечіткі» множини здатні управляти «лінгвістичними змінними», через які експерти дають свої оцінки. Такий підхід дозволяє збільшити гнучкість алгоритму ранжування.

З огляду на це для вирішення задачі пропонується використання наступного методу нечіткого багатокритеріального аналізу варіантів:

1) критерії розглядаються як нечіткі множини, які задані на універсальній множині альтернатив за допомогою функції приналежності;

2) функції приналежності нечітких множин визначаються за методом статистичної експертної оцінки інформації;

3) коефіцієнти важливості критеріїв концентрують відповідні нечіткі множини;

4) рішення приймається за схемою Беллмана-Заде [8] шляхом перетину нечітких множин критеріїв, що відповідає вибору варіанту, який краще за інших задовольняє одночасно всім критеріям.

5) ранжування отриманих рішень методом побудови матриці поступок.

Модель нечіткого багатокритеріального аналізу варіантів. Використаємо наступну методіку:

Нехай \tilde{s}_{ij} нечітка оцінка за критерієм j альтернативи i , представлена через функцію приналежності $\mu_{\tilde{s}_{ij}}(s_{ij})$ нехай \tilde{w}_j нечітка вага критерію j з функцією приналежності $\mu_{\tilde{w}_j}(w_j)$. Аналіз серед альтернатив проводиться в п'ять етапів:

1. Необхідно виділити критерії і розділити їх на дві групи: якісні і кількісні.

Якісні критерії виражаються через лінгвістичні змінні, які можуть бути переведені в нечіткі множини. Крім того, кількісними критеріями будемо управляти як нечіткими множинами.

2. Необхідно розрахувати функції приналежностей якісних критеріїв.

Задача побудови функції приналежності для якісних критеріїв постає в наступній умові:

Дано дві множини: множина термів U і універсальна множина $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$. Нечітка оцінка \tilde{L}_h якою описується лінгвістичний терм l_h , $h = \overline{1, m}$ на універсальній множині U представляється у вигляді [8]:

$$\tilde{L}_h = \left(\frac{\mu_{l_h}(u_1)}{u_1}, \frac{\mu_{l_h}(u_2)}{u_2}, \dots, \frac{\mu_{l_h}(u_n)}{u_n} \right) \quad (5)$$

Необхідно визначити ступені приналежності елементів множини U до елементів множини L тобто знайти $\mu_h(u_b)$ для всіх $h = \overline{1, m}$, $b = \overline{1, n}$.

Як метод побудови функцій приналежності, у роботі пропонується метод статистичної обробки суджень групи експертів.

Метод статистичної обробки експертної інформації. Кожен експерт заповнює анкету, в якій вказує своє судження про наявність у елементів u_b , $i = \overline{1, n}$ властивостей деякої нечіткої множини \widetilde{L}_h ($h = \overline{1, m}$) Введемо наступні позначення: K – кількість експертів; $b_{h,b}^k$ думка k -го експерта про наявність у елемента u_b властивостей нечіткої множини \widetilde{L}_h $k = \overline{1, K}$, $h = \overline{1, m}$, $b = \overline{1, n}$ Будемо вважати, що експертні оцінки бінарні, тобто: $b_{h,b}^k \in \{0,1\}$ де 1 (0) вказує на наявність (відсутність) у елемента u_b властивостей нечіткої множини \widetilde{L}_h За результатами опитування експертів, ступінь приналежності нечіткій множині \widetilde{L}_h ($h = \overline{1, m}$) розраховуються наступним чином [9]:

$$\mu_h(u_b) = \frac{1}{K} \sum_{k=1, K} b_{h,b}^k \quad (6)$$

3. Необхідно привести оцінки кількісних критеріїв до єдиного простору з якісними. Під час розрахунку кількісних критеріїв, необхідно нормалізувати відповідні бали, щоб отримати, як і для якісних критеріїв, значення в просторі $[0,1]$. Рівняння (5) показує алгоритм нормалізації, де ϵ оцінкою кількісного критерію:

$$s_{ij} = \left(\frac{v_i(s) - v_i^-}{v_i^+ - v_i^-} \right)^{\mathcal{G}_i} \quad (7)$$

де $v_i(s)$ значення i -го критерію для варіанта системи; v_i^+, v_i^- максимальне і мінімальне значення критерію відповідно.

\mathcal{G}_i параметр, що визначає вид залежності. При $\mathcal{G}_i = 1$ реалізується лінійна залежність, при $0 < \mathcal{G}_i < 1$ випукла, при $\mathcal{G}_i > 1$ увігнута.

4. Провести розрахунок загальної нечіткої множини альтернативи. Розрахунок представляє собою сукупну оцінку критеріїв кожної альтернативи. Якщо ми припустимо, що в рівнянні (1) деякі значення s_{ij} w_j представлені нечіткими множинами, то значення R_i уде також нечітким, і має бути проранжоване. Агрегована оцінка кожної з альтернатив (адитивна функція загальної корисності) виходить шляхом модифікації рівняння (4) у такий спосіб:

$$R_i(z) = \frac{\sum_{j=1}^m w_j s_{ij}}{\sum_{j=1}^m w_j}, \quad z = (w_1 \dots w_m; s_{i1} \dots s_{im}) \quad (8)$$

5. Провести остаточне ранжування альтернатив. Як правило, при виборі альтернатив ГЕСВДЕ необхідно не тільки вибрати одну оптимальну, а ранжувати їх в деяку послідовність так, щоб у випадку необхідності можна було б обрати найближчу до найкращої альтернативи.

Така ситуація може виникнути, коли на кроці 4 отримаємо однакові оцінки для альтернативних рішень. Для вирішення сформованої задачі застосуємо метод, запропонований у [10].

Сформуємо матрицю Rang:

$$\text{Rang} = \begin{matrix} & \begin{matrix} j_1 & j_2 & \dots & j_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} i_1 \\ i_2 \\ \vdots \\ i_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} r_{i_1 j_1} & r_{i_1 j_2} & \dots & r_{i_1 j_m} \\ r_{i_2 j_1} & r_{i_2 j_2} & \dots & r_{i_2 j_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i_n j_1} & r_{i_n j_2} & \dots & r_{i_n j_m} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (9)$$

де $r_{ij} = w_j s_{ij}$ оцінка альтернативи i по критерію j .

Для кожної альтернативи введемо до розгляду матрицю $\widetilde{\text{Rang}}^{-i}$ яку визначимо наступним чином. Для кожної альтернативи i видалимо i -й рядок, що відповідає за її оцінки. Матрицю $\widetilde{\text{Rang}}_i$ можна розглядати як матрицю поступок усіх альтернатив до i -ї.

Найгіршим випадком для кожної альтернативи є мінімум поступок з боку інших альтернатив. Цей мінімум визначається як мінімальне значення по кожному із критеріїв (операція перетину елементів кожного рядку матриці поступок по кожному з критеріїв), тобто:

$$\mu_m = \min \{ \mu_m^{-i}(x) \} \quad (10)$$

де m – кількість критеріїв.

Таким чином отримаємо нові матриці поступок для кожної з альтернатив, що містять один рядок – мінімальні оцінки за кожним із критеріїв.

До отриманих матриць застосовуємо максимінний підхід [10]: відповідно до цього підходу рекомендується обирати таку з альтернатив i , песимістична оцінка якої є найкращою, тобто серед мінімальних значень обираємо максимальне:

$$\mu(x) = \max \{ \mu_k \} \quad (11)$$

Визначення нечіткої ваги критеріїв. В табл. 2 наведені кількісні і якісні критерії, які використовуються при оцінці альтернатив.

Розподіл ваги критеріїв відбувається у відповідності до трьох сценаріїв:

1. Соціально-економічний – ранжування альтернатив у відповідності до економічної і соціальної корисності

2. Енергетично ефективний сценарій 1 рівня – ранжування альтернатив у відповідності до мінімізації надлишків згенерованої енергії.

3. Енергетично ефективний сценарій 2 рівня – ранжування альтернатив у відповідності до мінімізації ймовірності втрати живлення.

Таблиця 2 – Оціночні критерії

Позначення	Критерій	Описання
A	Витрати (COE)	власне витрати коштів на основні установки ВДЕ, не враховуються витрати на типове обладнання для всіх конфігурацій системи, кількісна оцінка
C	Шум	Якісна оцінка, являє собою лінгвістичну змінну, оцінюється на основі даних про потужність вітрогенератора та відстань розташування установки до дому
D	Естетична цілісність	Якісна оцінка, являє собою лінгвістичну змінну, оцінюється на основі даних про площу ділянки монтажу, площі даху, площі вітрогенератора.
F	Вплив особливостей ділянки на виробництво електроенергії	Якісна оцінка, являє собою лінгвістичну змінну, оцінюється на основі даних про затіненість специфічної ділянки, форму рельєфу.
G	Витрати на обслуговування	Якісна оцінка, являє собою лінгвістичну змінну, оцінюється на основі даних про вид генеруючих потужностей, якість компонентів та ціну системи.
H	Витрати на ремонт	Якісна оцінка, являє собою лінгвістичну змінну, оцінюється на основі даних про вид генеруючих потужностей, виробника та ціну системи.
M	REPG	Розрахункове значення показника надлишків згенерованої енергії, кількісна оцінка
N	DPSP	Розрахункове значення показника ймовірністю втрати живлення, кількісна оцінка

Процедура зважування полягає в наступному: критерії на першому етапі розподіляються на низький, середній і високий пріоритет. Потім, для кожної з цих груп критеріїв класифікуються як більш і менш важливі. Це обумовлено тим, щоб уникнути:

- рішення по абсолютній шкалі (Са краще Сb краще, ніж Сg і так далі);
- внесення ряду довічного порівняння.

До шести груп критеріїв були призначені значення лінгвістичних змінних. На рисунку 1 показано нечіткі ваги критеріїв через які представлені лінгвістичні змінні критеріїв.

У табл. 3 показаний розподіл ваги критеріїв для трьох сценаріїв.

Ваги критеріїв

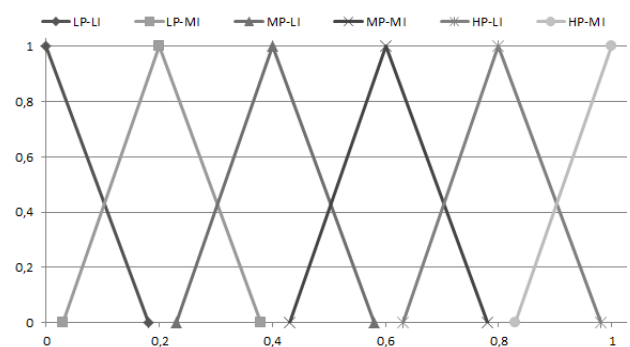


Рис. 1 – Ваги критеріїв

Таблиця 3 – Розподіл ваги критеріїв

Соціально-економічний сценарій					
Високий пріоритет		Середній пріоритет		Низький пріоритет	
Менш важливо	Більш важливо	Менш важливо	Більш важливо	Менш важливо	Більш важливо
G, H	A	D	C	M, N	F
Енергетично ефективний сценарій 1 рівня					
Високий пріоритет		Середній пріоритет		Низький пріоритет	
Менш важливо	Більш важливо	Менш важливо	Більш важливо	Менш важливо	Більш важливо
F	M	C	D, N	A, G	H
Енергетично ефективний сценарій 2 рівня					
Високий пріоритет		Середній пріоритет		Низький пріоритет	
Менш важливо	Більш важливо	Менш важливо	Більш важливо	Менш важливо	Більш важливо
M	N	F, G	H	C, D	A

Приклад побудови функцій приналежності критеріїв на основі обробки експертної інформації

Розглянемо методику побудови функції належності на прикладі критерію «Шум».

У загальному вигляді модель нечіткого логічного виведення рішення щодо значення критерію «Шум» можна подати функцією:

$$Z = F(ZY, BY) \tag{12}$$

де ZY – змінна, що характеризує «ВідстаньВідДому», BY – змінна, що характеризує «ПотужністьВЕУ».

Визначимо лінгвістичну змінну ZY – «ВідстаньВідДому» на універсальній множині U(ZY) = [0,50] (м). Терм-множина лінгвістичної змінної

T(ZY) = < мала, середня, велика> складається із термів лінгвістичних змінних ZY1, ZY2, ZY3.

Визначимо лінгвістичну змінну BY – «ПотужністьВЕУ» на універсальній множині U(Y) = [0,10] (кВт). Терм-множина лінгвістичної змінної T(BY) = < мала, середня, велика> із термів лінгвістичних змінних BY1, BY2, BY3.

Лінгвістична змінна Z визначається на універсальній множині U(Z) = [0,1]. Терм-множина лінгвістичної змінної T(Z) = <тихо, помірно, гучно> складається із термів лінгвістичних змінних Z1, Z2, Z3.

Для визначення значення критерію «Шум» сформовано правила вигляду

$$\text{If } ZY \text{ is } ZY1 \text{ and } BY \text{ is } BY2 \text{ then } Z=Z2.$$

У даному правилі передумовами є ZY і $ZY1$, BY і $BY2$. Інтерпретація правила: Якщо «ВідстаньВідДому» = $ZY1$ і «ПотужністьВЕУ» = $BY2$, то значення критерію шум = NC .

Фрагмент бази правил для формування рішення наведено на рис. 2.

Приклад побудови функції приналежності термів лінгвістичної змінної BY – «ПотужністьВЕУ» на універсальній множині $U(Y) = [0,10]$ подано нижче. Результати опитування трьох експертів наведені в табл. 4.

Результати обробки експертних суджень представлені в табл. 5. Числа над пунктирною лінією - це

кількість голосів, відданих експертами за приналежність нечіткій множині відповідного елемента. Числа під пунктирною лінією - ступінь приналежності, розрахований за формулою (4).

Аналогічним чином будуються функції приналежності термів лінгвістичної оцінки змінної «ВідстаньВідДому».

Реалізація нечіткого логічного висновку моделі визначення значення критерію «Шум» здійснюється за алгоритмом Мамдані. Для дефазифікації обрано метод середнього центру [11]. Вікно переглядів результатів моделювання з функцією належності для всіх лінгвістичних змінних наведено на рис. 3.

```

1. If (ВідстаньДоДому is Мала) and (ПотужністьВЕУ is Мала) then (Шум is Помірно) (1)
2. If (ВідстаньДоДому is Мала) and (ПотужністьВЕУ is Середня) then (Шум is Помірно) (1)
3. If (ВідстаньДоДому is Мала) and (ПотужністьВЕУ is Велика) then (Шум is Гучно) (1)
4. If (ВідстаньДоДому is Середня) and (ПотужністьВЕУ is Мала) then (Шум is Тихо) (1)
5. If (ВідстаньДоДому is Середня) and (ПотужністьВЕУ is Велика) then (Шум is Гучно) (1)
6. If (ВідстаньДоДому is Велика) and (ПотужністьВЕУ is Мала) then (Шум is Тихо) (1)
7. If (ВідстаньДоДому is Велика) and (ПотужністьВЕУ is Середня) then (Шум is Помірно) (1)
8. If (ВідстаньДоДому is Велика) and (ПотужністьВЕУ is Велика) then (Шум is Гучно) (1)
9. If (ВідстаньДоДому is Середня) and (ПотужністьВЕУ is Середня) then (Шум is Помірно) (1)
    
```

Рис. 2 – Фрагмент бази правил для формування рішення щодо критерію «Шум»

Таблиця 4 – Результати анкетування експертів

	терми	1-2 кВт	3-4 кВт	5-6 кВт	7-8 кВт	9-10 кВт
Експерт 1	мала	1	1	0	0	0
	середня	0	0	1	0	0
	велика	0	0	1	1	1
Експерт 2	мала	1	1	0	0	0
	середня	0	0	1	0	0
	велика	0	0	1	1	1
Експерт 3	мала	1	1	0	0	0
	середня	0	0	1	0	0
	велика	0	0	0	1	1

Таблиця 5 – Результати обробки суджень експертів

терми	1-2 кВт	3-4 кВт	5-6 кВт	7-8 кВт	9-10 кВт
Мала ($ZY1$)	3 ----- 1	3 ----- 1	0 ----- 0	0 ----- 0	0 ----- 0
Середня ($ZY2$)	0 ----- 0	0 ----- 0	3 ----- 1	3 ----- 1	3 ----- 1
Велика ($ZY3$)	0 ----- 0	0 ----- 0	2 ----- 0,5	3 ----- 1	3 ----- 1

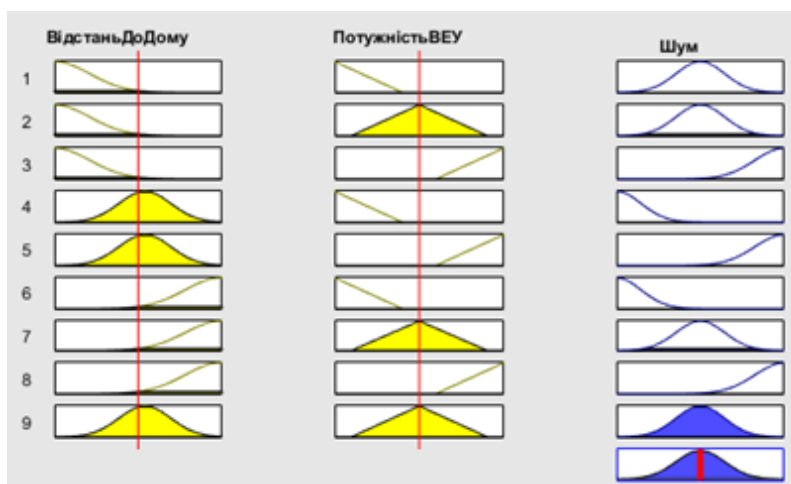


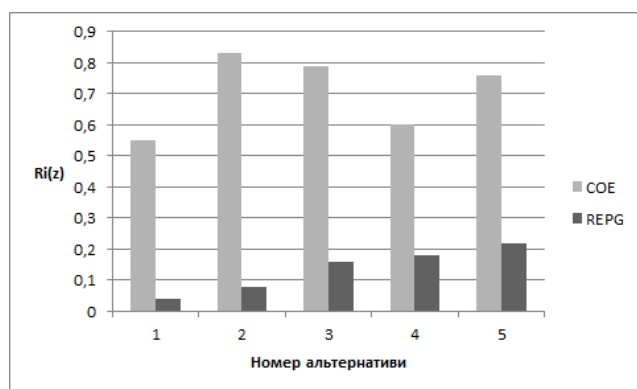
Рис. 3 – Функції приналежності нечітких множин для критерію «Шум»

Аналогічним чином будують функції приналежності на основі експертної інформації для всіх інших критеріїв.

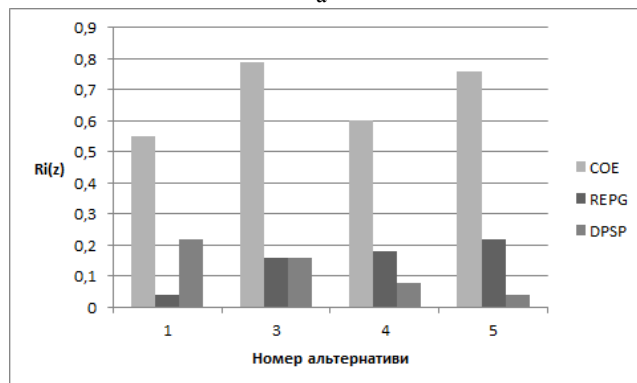
Обговорення результатів. Згідно представленої методики був проведений тестовий розрахунок, який проводиться для п'яти альтернатив. Було проведено їх ранжування згідно визначеної за методикою в параграфі 6 функції приналежності якісних критеріїв та визначеної в параграфі 7 ваги критеріїв.

Після оптимізаційного сценарію I рівня для подальшого вивчення за соціально-економічними показниками були обрані альтернативи під номером 1, 4, 5 (табл. 1), а за енергетично ефективними показниками були обрані конфігурації 3, 4, 5 (рис 4а). На другому етапі поміж альтернатив 1, 3, 4, і 5 проводиться ранжування з точки зору енергетично-ефективного сценарію за показником DPSP.

Згідно отриманих результатів альтернатива під номером 5 – є оптимальним рішенням (рис. 4б).



а



б

Рис. 4 – Результат ранжування альтернатив: а – Результати I рівня; б – Результати II рівня

Висновки. У роботі сформована постановка задачі структурної оптимізації ГЕСВДЕ і запропоновано підхід для визначення оптимальної конфігурації системи в умовах невизначеності в процесі багатокритеріального аналізу альтернативних варіантів побудови енергетичних мереж.

Даний підхід дозволяє проранжувати альтернативи згідно трьох оптимізаційних сценаріїв в нечітких умовах за схемою Беллмана-Заде. При умові неявної переваги альтернативи пропонується оцінка альтернатив за максимумним критерієм.

Наукові результати, одержані в результаті проведеного дослідження, полягають у наступному:

- Запропоновано та науково обґрунтовано модель прямої агрегації усіх критеріїв, яка дозволяє привести до «нечіткості» як кількісні, так і якісні показники.

Зведення до нечіткості кількісних показників відбувається за алгоритмом нормалізації, в процесі всі значення звелися до одного діапазону.

Реалізація нечіткого логічного висновку щодо визначення значень якісних показників здійснюється за алгоритмом Мамдані з використанням методу обробки експертної інформації.

Список літератури:

1. Шендрік, В. В. Актуальность моделирования распределенных энергосистем эффективного использования возобновляемых источников энергии [Текст] / В. В. Шендрік, С. М. Ващенко, О. В. Шульма, К. А. Омеляненко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 5/8 (65). – С. 4–8. Режим доступа: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/18118/15866>
2. Shulyma, O. The Architecture of an Information System for the Management of Hybrid Energy Grids [Text] / O. Shulyma, P. Davidsson, V. Shendryk, A. Marchenko // Annals of Computer Science and Information Systems. – 2015. – № 6. – P. 281–288. doi: [10.15439/2015f402](https://doi.org/10.15439/2015f402)
3. Beccali, M. Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a FUZZY-SETS methodology [Text] / M. Beccali, M. Cellura, D. Ardenete // Energy Conversion and Management. – 1998. – № 39 (16–18). – P. 1869–1881. doi: [10.1016/s0196-8904\(98\)00053-3](https://doi.org/10.1016/s0196-8904(98)00053-3)
4. Figueira, J. Electre methods [Text] / Figueira, J., Mousseau, V., Roy, B. // Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys. – 2005. – P. 133–153.
5. Halouani, N. (2009). PROMETHEE-MD-2T method for project selection [Text] / Halouani, N., Chabchoub, H., Martel, J. // European Journal of Operational Research. – 2009. – № 195 (3). – 841–849. doi: [10.1016/j.ejor.2007.11.016](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.016)
6. Opricovic, S. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS [Text] / S. Opricovic, G. H. Tzeng // European journal of operational research. – 2004. – № 156 (2). – P. 445–455. doi: [10.1016/s0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(03)00020-1)
7. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях [Текст] / Р. Беллман, Л. Заде. – Москва: Мир, 1976. – 215 с.
8. Штовба, С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>. – 2001.
9. Чернов, В. Г. Основы теории нечетких множеств. Решение задач многокритериального выбора альтернатив [Текст] / В. Г. Чернов. – Владимирский государственный университет, 2005. – 100 с.
10. Рыков, А. С. Системный анализ: модели и методы принятия решений и поисковой оптимизации [Текст] / А. С. Рыков. – Москва: МИСиС, 2009. – 608 с.
11. Кравець, П. Системи прийняття рішень з нечіткою логікою [Текст] / П. Кравець, Р. Куркало // Вісник національного університету “Львівська політехніка”. Комп’ютерні науки та інформаційні технології. – 2009. – № 650. – С. 115–123.

Bibliography (transliterated):

1. Shendrik, V. V., Vashhenko, S. M., Shulima, O. V., Omeljanenko, K. A. (2013). Relevance of modeling distributed energy systems for efficient use of renewable energy sources. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 5(8(65)), 4–8. Available at: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/18118/15866>
2. Shulyma, O., Davidsson, P., Shendryk, V., Marchenko, A. (2015). The Architecture of an Information System for the Management of Hybrid Energy Grids. Position Papers of the 2015 Federated Conference on Computer Science and Information Systems, 6, 281–288. doi: [10.15439/2015f402](https://doi.org/10.15439/2015f402)
3. Beccali, M., Cellura, M., Ardenete, D. (1998). Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a FUZZY-SETS methodology. Energy Conversion and Management, 39 (16–18), 1869–1881. doi: [10.1016/s0196-8904\(98\)00053-3](https://doi.org/10.1016/s0196-8904(98)00053-3)

4. Figueira, J., Mousseau, V., Roy, B. (2005). ELECTRE methods. Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys, 133–153.
5. Halouani, N., Chabchoub, H., Martel, J. M. (2009). PROMETHEE-MD-2T method for project selection. European Journal of Operational Research, 195(3), 841–849. doi: [10.1016/j.ejor.2007.11.016](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.11.016)
6. Opricovic, S., Tzeng, G. H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. European Journal of Operational Research, 156 (2), 445–455. doi: [10.1016/s0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/s0377-2217(03)00020-1)
7. Bellman, R., Zade, L. (1976). Prinjatje reshenij v raspivchatyh uslovijah. Moscow: Mir, 215.
8. Shtovba, S. D. (2001). Vvedenie v teoriju nechetkih mnozhestv i nechetkiju logiku. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php>
9. Chernov, V. G. (2005). Osnovy teorii nechetkih mnozhestv. Reshenie zadach mnogokriterial'nogo vybora al'ternativ. Vladimirskij gosudarstvennyj universitet, 100.
10. Rykov, A. S. (2009). Sistemnyj analiz: modeli i metody prinjatija reshenij i poiskovoj optimizacii. Moscow: MISIS, 608.
11. Kravec, P., Kyrkalo, R. (2009). Sy'stemy pry'jnyattya rishen' z nechitkoyu logikoyu. Visnyk nacional'nogo universy'tetu "L'viv's'ka politexnika". Komp'yuterni nauky ta informacijni tehnologiyi, 650, 115–123.

Надійшла (received) 07.06.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Формалізація задачі прийняття рішень для вибору оптимальної структури гібридної енергетичної системи/ О. В. Шулима, В. В. Шендрік, П. Давідсон// Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 49(1221). – С.62–69. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Формализация задачи принятия решений для выбора оптимальной структуры гибридной энергетической системы/ О. В. Шулима, В. В. Шендрік, П. Давідсон // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – No 49(1221). – С.62–69. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

The formalization of decision-making problem to select the optimal structure of a hybrid energy system/ O. Shulyma, V. Shendryk, P. Davidsson//Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 49 (1221). – P.62–69. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Шулима Ольга Василівна – Сумський державний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук; вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007; тел.: 095-17-48-606; e-mail: o.shulyma@gmail.com.

Шулима Ольга Васильевна – Сумский государственный университет, ассистент кафедры компьютерных наук; ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, Украина, 40007; e-mail: o.shulyma@gmail.com.

Shulyma Olha – Sumy State University, assistant at computer science department; 2, Rymskogo-Korsakova st., 40007 Sumy, Ukraine; e-mail: o.shulyma@gmail.com.

Шендрік Віра Вікторівна – Сумський державний університет, асистент кафедри комп'ютерних наук; вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007; e-mail: vira.shendryk@gmail.com.

Шендрік Вера Викторовна – Сумский государственный университет, доцент кафедры компьютерных наук; ул. Римского-Корсакова, 2, г. Сумы, Украина, 40007; e-mail: vira.shendryk@gmail.com.

Shendryk Vira – Sumy State University, Associate Professor at computer science department; 2, Rymskogo-Korsakova st., 40007 Sumy, Ukraine; e-mail: vira.shendryk@gmail.com.

Давідсон Пол – Університет м. Мальме, професор кафедри комп'ютерних наук і медіа технологій, м. Мальме, Швеція, 205 06; e-mail: pauldavidsson@mah.se.

Давідсон Пол – Університет г. Мальме, професор кафедри комп'ютерних наук і медіа технологій, г. Мальме, Швеція, 20506; e-mail: pauldavidsson@mah.se.

Davidsson Paul – Malmö högskola, Professor at Department of Computer Science and Media Technology, Malmö, Sweden, 20506; e-mail: pauldavidsson@mah.se.