

УДК 620.98

Фесенко О.В., Негодуйко В.О. студенти

НТУУ «КПІ» Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Україна, м. Київ, вул. Борщагівська, 103, 03056

Тел.: 097-7534590, E-mail: energy\_52@ukr.net

### **Оптимальний вибір альтернативних джерел електроенергії для побудови систем розосередженої генерації**

***Анотація** – У статті розглядається багатокритеріальна оптимізація систем розосередженої генерації електроенергії. Висвітлені основні принципи прийняття рішень при наявності багатьох критеріїв. Запропоновано алгоритм оптимального вибору відновлювальних джерел енергії для електропостачання деякої місцевості.*

***Аннотация** – В статье рассмотрена многокритериальная оптимизация систем распределенной генерации электроэнергии. Показаны основные принципы принятия решений при наличии многих критериев. Предложен алгоритм оптимального выбора возобновляемых источников энергии для электроснабжения некоторой местности.*

***Annotation** – This article is devoted to the question of multi-criteria optimization of distributed generation systems. The main existing approaches of decision multi-criteria tasks and the ways of solution are considered. The algorithm for optimal selection of renewable energy sources is presented in this report.*

***Key words** – distributed generation, renewable energy, multi-criteria decision analysis, decision matrix.*

#### **Вступ**

Метою розвитку сучасної енергетики є пошук надійного та якісного, але при цьому дешевого та екологічно чистого, джерела енергії [1]. З освоєнням технологій «мирного атому» людство вважало, що знайшло таке джерело, але загроза можливих аварій на атомних електростанціях (АЕС) підштовхнула людство до перегляду свого рішення. Як наслідок, при виборі джерела енергії оптимальним рішенням за багатьма критеріями (енергетичними, економічними, екологічними, соціальними) усе частіше стають відновлювальні джерела енергії. Це зумовлено перманентним підвищенням цін на первинні енергоресурси з традиційних джерел енергії, нерівномірністю їх розміщення на Землі, що змушує транспортувати енергію або енергоносії на великі відстані з суттєвими втратами. В Україні альтернативна енергетика цілком може забезпечити значну частку енергоспоживання [2].

Для отримання ефективного результату необхідно інтегрувати в енергетичну мережу розосередженої генерації комбінації енергетичних установок, які для роботи використовують різні нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії (НВДЕ). Для електроенергетики така інтеграція, за умови наявності накопичувачів енергії та пристроїв силової електроніки, має забезпечити належну якість електроенергії, надійність, безперервність і безперебійність електропостачання [3]. Незалежно від величини інсоляції в місці, де встановлено фотоелектричну установку, або наявності вітру над місцевістю, де розташовано вітроенергетичний парк, або витрати води в річці, де працює гідроагрегат, споживачі завжди зможуть отримати необхідну кількість електроенергії відповідної якості.

#### **Принципи вибору відновлювального джерела електроенергії для заданої місцевості**

Організація розосередженої генерації з використанням НВДЕ потребує вирішення наступних питань [4]:

- оцінка потенціалу відновлювальних енергоресурсів в зоні розміщення об'єктів, яким має бути забезпечене надійне електроживлення, і виділення пріоритетних видів природної енергії;
- розробка нормативно-методичного забезпечення та аналіз техніко-економічних характеристик варіантів побудови розосереджених систем електропостачання;
- розробка критеріїв техніко-економічної експлуатації установок з НВДЕ;
- аналіз технологічного впливу, соціальних та екологічних аспектів використання відновлювальних енергоресурсів та переваг локальних систем електропостачання.

Жодне джерело відновлювальної енергії не є універсальним, придатним для використання в будь-якій ситуації. Для ефективного планування електропостачання на основі НВДЕ необхідні систематичні дослідження навколишнього середовища та вивчення потреб конкретної місцевості в енергії. Тому оцінку ефективності застосування НВДЕ для електропостачання потрібно проводити на основі порівняльного техніко-економічного аналізу всіх можливих варіантів електрифікації. При цьому для характеристики відновлювальних джерел пропонується використовувати наступні групи показників:

- 1) технічні (показники  $K_1$ ):
  - потенціал природного ресурсу для даної місцевості, МВт·год/рік;
  - річний виробіток електроенергії, кВт·год/рік;
  - коефіцієнт корисної дії (ККД), %;
- 2) економічні (показники  $K_2$ ):
  - приведені річні затрати на 1 кВт встановленої потужності системи електропостачання, грн/кВт;
  - собівартість електроенергії, грн/кВт·год;
  - термін окупності, роки;
- 3) соціально-екологічні (показники  $K_3$ ):
  - шкідливі викиди  $\text{CO}_2$ , г/кВт·год;
  - рівень комфортності при експлуатації установки;
  - площа, яку займає установка,  $\text{м}^2$ .

Розглянемо вибір найбільш оптимального НВДЕ для електропостачання заданої місцевості як багатокритеріальну задачу прийняття рішення. Під прийняттям рішення розуміють особливий процес людської діяльності, спрямований на вибір найкращого варіанта з можливих альтернатив [5].

В якості критеріїв оцінки альтернатив виступають показники  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ . Критерії будемо розглядати як спосіб опису альтернативних варіантів рішень для знаходження відмінностей між ними. Критерії можуть бути залежними і незалежними. Критерії називають залежними, коли оцінка альтернативи по одному з них визначає (детерміновано або з великим ступенем вірогідності) оцінку по іншому критерію.

*Постановка задачі.* Нехай  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\} = \{A_i, i = \overline{1, n}\}$  – можливі типи НВДЕ (альтернативи), а  $f$  – функція критерія оптимізації, яка є критерієм вибору рішення. Як оптимальну визначимо таку альтернативу  $A^* \in A$ , яка забезпечує максимум (мінімум) функції  $f$ :

$$f(A^*) = \max_{a \in A} f(a).$$

Вибір оптимального джерела електропостачання можливий як в умовах визначеності, тобто при наявності достовірної інформації, так і невизначеності [6]. Невизначеність – це об'єктивна неможливість отримання абсолютного знання про об'єктивні та суб'єктивні фактори функціонування системи, неоднозначність її параметрів. Кількісно невизначеність може виступати як ймовірність відхилення результату від очікуваного значення [7].

У випадку невизначеності початкові дані про НВДЕ представляються у вигляді

матриці (табл. 1), рядки якої – це можливі типи альтернативних джерел, а стовпчики – стани системи. Станом системи будемо вважати сукупність різноманітних факторів ( $K_1, K_2, K_3$ ). Кожній альтернативі рішень і кожному стану системи відповідає результат, який визначає витрати або прибуток за вибору даної альтернативи рішення та реалізації даного стану системи.

Таблиця 1 – Вихідна матриця

	$S_1$	...	$S_m$
$A_1$	$a_{11}$	...	$a_{1m}$
...	...	...	...
$A_n$	$a_{n1}$	...	$a_{nm}$

У табл.1 введемо позначення  $A_i$  – альтернатива  $i$ -го рішення ( $i = 1, n$ );  $S_j$  – можливий  $j$ -й стан навколишнього середовища ( $j = 1, m$ );  $a_{ij}$  – результат.

Для вибору оптимальної альтернативи ( $A^*$ ) в ситуації невизначеності використовуються різні правила та критерії (див. табл. 2) [8].

Таблиця 2 – Критерії теорії прийняття рішень

Назва критерія	Принцип оптимізації	Формула розрахунку
Критерій Вальда	Орієнтація на песимістичний розвиток ситуації	$F(A^*) = \max_{i=1,m} \min_{j=1,n} a_{ij}$
Критерій Гурвіца	Орієнтація на рівень оцінки оптимістичного розвитку ситуації	$R_i(\alpha) = \alpha \min_{j=1,n} a_{ij} + (1-\alpha) \max_{j=1,n} a_{ij}$ ; $F(A^*) = \max_{i=1,m} R_i(\alpha)$ , де $\alpha \in [0;1]$ - ваговий коефіцієнт
Критерій Севіджа	Орієнтація на мінімізацію втрат або ризиків	Побудова матриці втрат з елементами $l_{ij} = \max_{i=1,m} a_{ij} - a_{ij}$ ; $F(A^*) = \min_{i=1,m} \max_{j=1,n} l_{ij}$

Вибір альтернативи в умовах визначеності зводиться до розв'язання задач векторної оптимізації. Існує кілька методів рішення задач багатокритеріальної оптимізації [9]:

- метод виділення головного критерія (недоліком такого методу є те, що всі критерії, крім одного, не враховуються при оптимізації);
- метод лексикографічної оптимізації (полягає у ранжуванні часткових критеріїв на основі їх пріоритетності);
- метод згортки векторного критерія в скалярний (основною проблемою цього методу є знаходження функції  $f$ , яка називається згорткою).

Розглянемо метод згортки векторного критерія детальніше. Нехай  $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\} = \{A_i, i = 1, n\}$  – можливі види НВДЕ для електропостачання, які

характеризуються множиною критеріїв  $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\} = \{K_j, j = \overline{1, m}\}$  – у нашому випадку це технічний, економічний та соціально-екологічний критерії, тобто  $\{K_j, j = \overline{1, 3}\}$ .

Кожен критерій  $K_j$  з множини  $K$ , у свою чергу, характеризується підмножиною часткових критеріїв, а саме:  $K_j = \{K_{j1}, K_{j2}, \dots, K_{jT}\} = \{K_{jT}, t = \overline{1, T}\}$ , причому елементи цих підмножин рівнозначні.

Представимо початкові дані у табличному вигляді (табл. 3).

Таблиця 3 – Вихідні матриці для різних груп критеріїв

	$K_{11}$	$K_{12}$	$K_{13}$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$
...	...	...	...
$A_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	$a_{n3}$
	$K_{21}$	$K_{22}$	$K_{23}$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$
...	...	...	...
$A_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	$a_{n3}$
	$K_{31}$	$K_{32}$	$K_{33}$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$
...	...	...	...
$A_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	$a_{n3}$

Для розв'язку задачі виконується згортка нормалізованих елементів матриці та знаходиться їх максимум (мінімум) з урахуванням градієнта ( $E$ ) матриці прийняття рішень [10]:

$$F(A^*) = \begin{cases} \max_{i=1, n} a_{i1}, E = E^+; \\ \min_{i=1, n} a_{i1}, E = E^- \end{cases} \quad (1)$$

Щоб візуально оцінити результати оптимізації, зобразимо отримані значення критеріїв на рис. 1. Вибір альтернативи здійснюється згідно формули (1), згорнувши критерії  $K_1, K_2, K_3$  в один  $K$  (як середнє значення критеріїв), якщо вони рівнозначні, або, в протилежному випадку, із врахуванням думки про пріоритетність критеріїв для особи, яка приймає рішення [11].

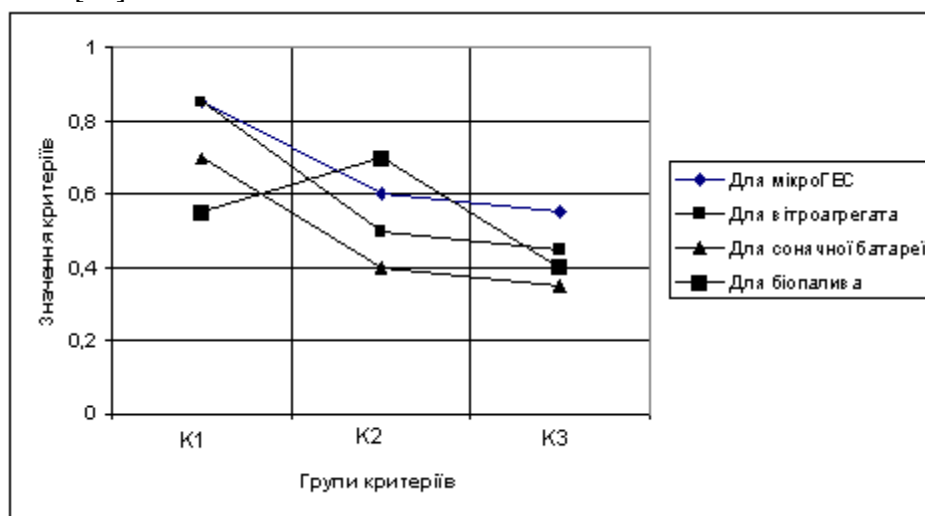


Рис. 1 – Результати оптимізації по кожній групі критеріїв  
Для розв'язку розглянутої багатокритеріальної задачі вибору оптимального

альтернативного джерела електроенергії для будь-якої місцевості може бути запропонований наступний алгоритм:

1. Провести дослідження природних умов та потенціалу НВДЕ обраної території.
2. Обрати можливі варіанти джерел енергії (альтернативи) для заданого регіону.
3. Сформулювати початкові дані для подальших розрахунків.
4. Оцінити обрані альтернативи за критеріями (показники  $K_1, K_2, K_3$ ).
5. Побудувати багатокритеріальну математичну модель (табл. 3) обраних об'єктів.
6. Вибрати метод для розв'язку поставленої задачі.
7. Пронормувати матрицю прийняття рішень, оскільки часткові критерії оптимізації мають різні одиниці виміру та градієнти.
8. Знайти оптимальний вибір по кожній групі критеріїв  $K_1, K_2, K_3$  (технічні, економічні, соціально-екологічні) за формулою (1).
9. Проаналізувати отримані результати (рис. 1). Обрати оптимальний варіант електропостачання, враховуючи пріоритетність технічних, економічних або соціально-екологічних критеріїв.

Запропонований вище алгоритм дозволяє врахувати різноманітні фактори (технічні, економічні, соціально-екологічні) при проектуванні джерел електроенергії та обґрунтувати прийняття рішень щодо їхнього розміщення, беручи до уваги різні показники їх функціонування.

### **Висновки**

Задача вибору оптимального НВДЕ для побудови системи розосередженої генерації є багатокритеріальною, для свого вирішення потребує застосування теорії прийняття рішень. Запропонований алгоритм вибору альтернативних джерел енергії може застосовуватись для будь-якої місцевості з відомими природними умовами.

Проведений аналіз показав, що для отримання рішення багатокритеріальної задачі побудови системи розосередженої генерації на базі НВДЕ необхідно приділяти особливу увагу підбору критеріїв, за якими проводиться оцінка альтернатив побудови енергосистеми.

Для отримання адекватної моделі потрібно пересвідчитись у достовірності вихідних даних; щоб надати можливість користувачу обирати НВДЕ, керуючись власними побажаннями, необхідно проводити візуалізацію отриманих результатів.

### Література

4. Системы генерирования электрической энергии с использованием возобновляемых энергоресурсов: учебное пособие / С. Г. Обухов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 140 с.
5. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А. К. Шидловського. - Київ.: Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.
6. Ильина Н. А., Сабалаев А. Н. Перспективы внедрения альтернативных источников энергии в систему электроснабжения. Международный научно-технический журнал «Светотехника и Электроэнергетика» - №7-8, 2006.
7. Лукутин Б. В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.
8. Лотов А. В., Поспелова И. И. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.
9. Методические указания «Принятие решения в условиях риска и неопределенности» - Челябинск, ГОУВПО «ЧелГУ», 2006. – 40 с.
10. Клименко С. М., Дуброва О. С. Обґрунтування господарських рішень та оцінка ризиків: Навч. посібник. – К.: КНЕУ, 2005. – 252 с.
11. Орлов А. И. Теория принятия решений. Учебное пособие. – М.: Издательство «Экзамен», 2005. - 656 с.
12. Интернет-ресурс: <http://zashita-informacii.ru/node/97>.

13. Кутковецький В. Я. Дослідження операцій: Навчальний посібник. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П. Могили, 2003. – 260 с.
14. Юкаева В. С. Управленческие решения: Учеб. пособие. – М.: Издательский дом «Дашков и К<sup>о</sup>», 1999. – 292 с.