

# ЕКОНОМІКА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 629.98

## МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ВИБОРУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГОГЕНЕРАЦІЇ В УМОВАХ ПРИКАРПАТТЯ

*В.П. Петренко, У.Ю. Палійчук*

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 500750,  
e-mail: ulyana.paliychuk@gmail.com*

*За запропонованою у статті методикою вибір оптимального варіанту використання відновлюваних джерел енергії для енергогенерації розглядається як багатокритеріальна задача прийняття рішення. З урахуванням ризиків рішення приймаються на основі критеріїв Вальда, критерію оптимізму, критерію песимізму, критерію мінімаксного ризику Севіджа, песимізму-оптимізму Гурвіца. Запропонований алгоритм вибору альтернативних джерел енергії може застосовуватись для будь-якої місцевості з відомими природними умовами. Особливу увагу при цьому слід приділяти підбору критеріїв, згідно з якими проводитиметься оцінка альтернативних варіантів енергозабезпечення.*

*Ключові слова: енергогенерація, відновлювана енергія, багатокритеріальна оптимізація, невизначеність, ризик, очікувана ефективність.*

*По предложенной в статье методике выбор оптимального варианта использования возобновляемых источников энергии для энергогенерации рассматривается как многокритериальная задача принятия решения. С учетом рисков решения принимаются на основе критериев Вальда, критерия оптимизма, критерия пессимизма, критерия минимаксного риска Севиджа, пессимизма-оптимизма Гурвица. Предложенный алгоритм выбора альтернативных источников энергии может применяться для любой местности с известными природными условиями. Особое внимание при этом следует уделять подбору критериев, согласно которым будет проводиться оценка альтернативных вариантов энергообеспечения.*

*Ключевые слова: энергогенерация, возобновляемая энергия, многокритериальная оптимизация, неопределенность, риск, ожидаемая эффективность.*

*Following the procedure proposed in the paper, the choice of the optimal variant of renewable energy for electricity generation is considered as a multicriteria decision problem. Risk-based decisions are based on Wald criterion, the criterion of optimism, the criterion of pessimism, Savage criterion of minimax risk, Hurwitz criterion of pessimism-optimism. The proposed algorithm for choosing alternative energy sources can be applied to any area of known natural conditions. Particular attention should be paid to the selection criteria under which the evaluation of different energy alternatives will be conducted.*

*Key words: power generation, renewable energy, multicriteria optimization, uncertainties, risks, expected performance.*

Загальновідомо, що метою розвитку сучасної енергетики є пошук надійних, якісних, але водночас дешевих та екологічно чистих джерел енергії. Як наслідок, прийняття оптимального рішення щодо вибору того чи іншого варіанту енергозабезпечення, у тому числі на основі використання енергії відновлюваних джерел, повинно здійснюватись з урахуванням багатьох критеріїв (технічних, економічних, екологічних, енергетичних, соціальних тощо). Варто враховувати також і те, що жодне джерело відновлюваної енергії не є універсальним, тобто придатним до використання за будь-яких умов,

тому для ефективного планування і розміщення систем енергогенерації на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) слід проводити систематичні дослідження умов навколишнього середовища та, насамперед, енергетичних потреб конкретної місцевості, важливим етапом при виборі найбільш раціональних технологій генерації енергії з нетрадиційних та відновлюваних енергії є правильна оцінка різних варіантів енергопостачання.

Загальний технічно-досяжний енергетичний потенціал ВДЕ Івано-Франківської області оцінюють за різними джерелами на рівні



Рисунок 1 – Джерела відновлюваної енергії на Прикарпатті

1,3-1,7 млн. т у. п./рік [1, 2] без урахування потенціалу вирощування енергетичних культур, та 2,4-2,8 млн. т у. п./рік із повним залученням під енергетичні культури малопродуктивних та деградованих земель. Джерелами відновлюваної енергії на Прикарпатті виступають:

- термальні води;
- теплові насоси;
- малі ГЕС;
- сонячні колектори;
- сонячні батареї;
- біогаз;
- моторне паливо рослинного походження (ріпакова олія);
- відходи деревини та інші вторинні органічні матеріали (пеллети);
- енергія вітру.

Пропонуємо розглядати вище перелічені джерела в розрізі наступних груп ВДЕ: 1, 2, 3 – низько- та високопотенційна енергія водних ресурсів; 4, 5 – енергія сонця; 6, 7, 8 – вторинна органічна енергетична сировина; 9 – енергія вітру.

Розглянемо вибір найбільш оптимального варіанту використання ВДЕ для енергозабезпечення визначеної місцевості як багатокритеріальну задачу прийняття рішення [3].

На нашу думку, для характеристики відновлюваних джерел енергії в межах Прикарпаття можна виокремити наступні інтегральні критерії, які впливають на привабливість щодо перспектив використання того чи іншого джерела:

1) доступність джерела енергії (економічно-доцільний та технічно-досяжний потенціал природного ресурсу в даній місцевості) ( $K1$ );

2) наявність функціонального обладнання та його досконалість (наявність вітчизняного або іноземного виробника, потужність обладнання, коефіцієнт корисної дії) ( $K2$ );

3) економічний чинник (вартість обладнання, термін окупності) ( $K3$ );

4) екологічний чинник (шкідливі викиди, позитивний або негативний вплив на довкілля, площа, яку займає установка) ( $K4$ );

5) соціальний чинник (покращення умов праці, наявність кінцевого споживача, можливість створення додаткових робочих місць) ( $K5$ ).

Вплив кожного чинника визначається інтегральним показником на основі експертного аналізу, методики проведення якого описані, зокрема, у [4], із наступним максимальним значенням інтегрального показника:  $K1$  – 30%;  $K2$  – 10%;  $K3$  – 30%;  $K4$  – 20%;  $K5$  – 10%.

Відзначимо, що різноманітні методи експертних оцінок постійно використовуються для вирішення завдань стратегічного та оперативного управління, техніко-економічного аналізу, забезпечення екологічної безпеки, управління природокористуванням і охорони навколишнього природного середовища тощо.

Вагомість кожного критерію визначається в балах, сумарна кількість балів за усіма критеріями дорівнює 30 (100%). Для кожного критерію приймемо, що максимальна кількість балів, яку він може одержати при оцінці, становить:  $K1$  – 9;  $K2$  – 3;  $K3$  – 9;  $K4$  – 6;  $K5$  – 3.

Позначимо джерела відновлюваної енергії через  $E$ :

- E1 – термальні води;
  - E2 – теплові насоси;
  - E3 – малі гідроелектростанції;
  - E4 – сонячні теплогенеруючі колектори;
  - E5 – сонячні електрогенеруючі батареї;
  - E6 – біогаз;
  - E7 – моторне паливо рослинного походження (ріпакова олія);
  - E8 – відходи деревини, солома та інші вторинні органічні матеріали;
  - E9 – енергія вітру.
- Вихідна матриця оцінок має вигляд:

**Таблиця 1 – Вихідна матриця оцінок для різних груп критеріїв**

	K1	K2	K3	K4	K5
E1	1	3	5	6	3
E2	6	2	5	6	3
E3	5	2	6	3	2
E4	9	3	4	6	3
E5	9	3	5	6	3
E6	9	3	7	6	3
E7	4	2	6	2	1
E8	7	2	4	4	2
E9	8	3	5	5	2

Згрупуємо джерела за видами первинної енергії:

- категорія A1 (E1, E2, E3) – низько- та вископотенційна енергія води;
- категорія A2 (E4, E5) – енергія сонця;
- категорія A3 (E6, E7, E8) – енергія перетворення біомаси;
- категорія A4 (E9) – енергія вітру.

Для регіону узагальнена матриця оцінок матиме вигляд:

**Таблиця 2 – Узагальнена матриця оцінок для різних груп критеріїв**

	K1	K2	K3	K4	K5
A1	6	3	6	6	3
A2	9	3	5	6	3
A3	9	3	7	6	3
A4	8	3	5	5	2

Вибір оптимального джерела енергопостачання можливий як в умовах визначеності (при наявності достовірної інформації), так і невизначеності [5]. Під невизначеністю слід розуміти об'єктивну 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 [6].

Розглянемо модель прийняття рішень в умовах невизначеності [7, с. 79-86]. При виборі відновлюваних джерел енергії, визначенні критеріїв впливу на їх ефективне використання, зокрема, дані про природні ресурси являють собою стохастичні величини, відомі лише з певною ймовірністю. Ця обставина принципово

впливає на оцінку ефективності рішень. Між методами оптимального планування при наявності визначеності та невизначеності існує певний зв'язок. Оптимальне планування при наявності невизначеності збагачує принципи та методи оптимального планування в умовах визначеності.

Розглянемо модель прийняття рішення щодо вибору джерела відновлюваної енергії в регіоні при обмеженнях критеріями K1...K5. При прийнятті *i*-того рішення очікується отримати максимальні економічні вигоди  $a_{ij}$  при реалізації *j*-того варіанту. Множина можливих варіантів може бути організована матрицею  $A = \| a_{ij} \|$ , де  $i=1...m$ ;  $j=1...n$ , яка є матрицею максимальних вигод  $a_{ij} = \max a_{ij}$ .

Приймаючи *i*-те рішення, можемо отримати економічну вигоду, яка відрізняється від максимальної, що приймається за величину ризику  $r_{ij}$  *i*-го рішення:

$$r_{ij} = a_j - a_{ij} = \max_i a_{ij} - a_{ij} \quad (1)$$

З урахуванням ризиків приймаємо рішення на основі критеріїв: Вальда, критерію оптимізму, критерію песимізму, критерію мінімаксного ризику Севіджа, песимізму-оптимізму Гурвіца [7, с.61-70; 8, с.170-178].

Розглянемо **критерій Вальда** – критерій крайнього песимізму, або критерій гарантованого результату. В матриці (табл. 2) задано відновлювані джерела енергії, які розглядаються, та критерії, які визначають їхню ефективність. Вибираємо джерело, яке є найбільш вигідним. Запишемо матрицю у вигляді таблиці 3.

Знайдемо найменше значення  $\min_i a_{ij}$  для кожного рядка. Слід вибрати джерело серед варіантів  $A_i$  ( $i = (1,4)$ ), яке є найбільш оптимальним за формулою:

$$\alpha_B = \max_i (3,3,3,2) = 3, \quad (2)$$

що вказує на прийнятність трьох груп джерел A1, A2, A3, а це означає гарантований позитивний результат при використанні на Прикарпатті енергії води, сонця та біомаси.

Прийняття рішення за критерієм Вальда виключає будь-який ризик.

Критерій оптимізму, який називають **критерієм максимаксу**, використовується, коли рішення орієнтується на найбільш сприятливі умови. Критерій оптимізму запишемо у вигляді:

$$\alpha_o = \max_i \max_j a_{ij} \quad (3)$$

В матриці (табл. 3) знайдемо найбільше значення  $\max_i a_{ij}$  для кожного рядка (правий стовпчик).

Слід вибрати джерело серед варіантів  $A_i$  ( $i = (1,4)$ ), яке є найбільш оптимальним, тому за формулою (3) маємо:  $\alpha_o = \max_i (6,9,9,8) = 9$ , що вказує на прийнятність джерел A2 і A3. Це означає, що при використанні відновлюваних

Таблиця 3 – Матриця вигод

	K1	K2	K3	K4	K5	$\min_i a_{ij}$	$\max_i a_{ij}$
A1	6	3	6	6	3	3	6
A2	9	3	5	6	3	3	9
A3	9	3	7	6	3	3	9
A4	8	3	5	5	2	2	8

Таблиця 4 – Матриця ризиків

	K1	K2	K3	K4	K5	$\max_i r_{ij}$
R1	3	0	1	0	0	3
R2	0	0	2	0	0	2
R3	0	0	0	0	0	0
R4	1	0	2	1	1	2

джерел енергії A2 і A3 гарантований найбільш сприятливий позитивний результат.

Слід відмітити, що висновки, отримані за критерієм Вальда та критерієм оптимізму, співпадають та надають перевагу джерелам A2 і A3.

Якщо орієнтуватись на найменш сприятливі умови та неконтрольовані фактори, слід застосовувати **критерій песимізму**. За критерієм песимізму визначається варіант рішення, який мінімізує мінімальні позитиви для кожного джерела, або який максимізує максимальні негативи. Критерій песимізму записується у вигляді:

$$\alpha_i = \min_j \min_i a_{ij}. \quad (4)$$

За критерієм песимізму передбачається, що неконтрольовані чинники можуть бути використані “несприятливим” чином.

За матрицею варіантів, наведених у таблиці 3 за формулою (4), маємо:  $\alpha_i = \min(3,3,3,2) = 1$ .

Це означає, що найбільш очікуваний негативний результат може бути одержаний при використанні джерела A4. Цей висновок збігається з критерієм Вальда.

Виникають ситуації, в яких неконтрольовані чинники діють більш належним чином порівняно з найкращим становищем. У цих умовах виникає необхідність визначення можливих відхилень отриманих результатів від їх оптимальних значень. У цьому випадку застосовують **критерій Севіджа**.

Цей критерій аналогічний критерію Вальда, але використовуємо не матрицю позитивних результатів A, а матрицю ризиків R. За критерієм Севіджа кращим є результат, при якому максимальний ризик буде найменшим, тобто:

$$\alpha_c = \min_i \max_j r_{ij}. \quad (5)$$

Запишемо матрицю ризиків у вигляді таблиці 4 відповідно до приведеної раніше матриці (табл.3). При цьому враховуємо, що максимальне значення критерію кожного чинника дорівнює 9.

Слід вибрати джерело серед варіантів  $A_i$  ( $i = (1,4)$ ), яке має найменший ризик, тому за формулою (5) маємо:  $\alpha_c = \min_i(3,2,0,2) = 0$ , тобто джерело A3 (енергія перетворення біомаси) при його застосуванні матиме найменший ризик у найгіршій ситуації.

Бачимо, що цей результат для джерела A3 збігається із вибором за критеріями Вальда і оптимізму. Критерій Севіджа використовується з метою уникнення значного ризику під час вибору рішення.

При прийнятті рішення в умовах, коли можливі варіанти характеризуються станом між крайнім песимізмом і крайнім оптимізмом, доцільно використовувати **критерій песимізму-оптимізму Гурвіца**. Перевага надається варіанту, який визначається максимумом серед комбінацій мінімального і максимального значень:

$$\alpha_r = \max_i \{ \lambda \min_j a_{ij} + (1 - \lambda) \max_j a_{ij} \}, \quad (6)$$

де  $\lambda$  – показник оптимізму ( $0 \leq \lambda \leq 1$ ).

Значення  $\lambda$  є проміжним між ризиком і обережністю та вибирається із суб’єктивних міркувань залежно від конкретних умов та схильності до ризику.

Розглянемо матрицю результатів джерел відновлюваної енергії і знайдемо найбільше значення  $\min_j a_{ij}$  і найбільше значення  $\max_j a_{ij}$  для кожного рядка (табл. 3).

Виберемо найбільш вигідний варіант за критерієм Гурвіца при  $\lambda=0,7$ . Визначимо максимум серед комбінацій мінімального і максимального значень за формулою (6):

$$\alpha_r = \max_i \{ 0,7 \cdot 3 + (1 - 0,7) \cdot 6;$$

$$0,7 \cdot 3 + (1 - 0,7) \cdot 9; \quad 0,7 \cdot 3 + (1 - 0,7) \cdot 9;$$

$$0,7 \cdot 2 + (1 - 0,7) \cdot 8 \} = \max\{3,9;4,8;4,8;3,8\} = 4,8.$$

Таким чином, за критерієм Гурвіца у разі значення показника оптимізму  $\lambda=0,7$  слід вибрати джерела A2 і A3, що збігається із вибором за критерієм Вальда.

Прийняття рішення в умовах часткової невизначеності розглядається як випадок із відомим розподілом ймовірностей.

Критерії  $K_1 \dots K_5$ , які впливають на прийняття рішення щодо ефективності використання відновлюваних джерел енергії в регіоні (в даному випадку на Прикарпатті) є випадковою величиною  $A_i$  з розподілом ймовірностей  $P=(P_1, P_2, \dots, P_m)$ , тож математичне очікування результату дорівнює:

$$M(A_i) = \sum_{j=1}^n a_{ij} P_j, \quad (7)$$

при чому слід шукати рішення, за якого досягається максимум  $M(A_i)$ :

$$\max_i M(A_i) = \max_i \sum_{j=1}^n a_{ij} P_j. \quad (8)$$

Водночас необхідно мінімізувати очікуваний ризик. Якщо ризики  $R_i$  при прийнятті  $i$ -того рішення є випадковими величинами, то рішення вибирається з умови:

$$\min M(R_i) = \min \sum_{j=1}^n r_{ij} P_j. \quad (9)$$

Інше визначення ризиків полягає в оцінюванні середнього квадратичного відхилення, тобто розкид можливих значень навколо очікуваного середнього:

$$r_i = \sigma(A_i) = \sqrt{D(A_i)} = \sqrt{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2 P_j - \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} P_j \right)^2}. \quad (10)$$

Якщо за оцінку обирати ризик  $r = \sigma(A_i)$ , то можна прийняти рішення на основі оцінки двох критеріїв: середніх очікувань  $M(A_i)$  і ризиків  $r_i = \sigma(A_i)$ ,  $i = \overline{1, m}$ . Якщо при порівнянні  $i$ -тих рішень серед пар  $(M(A_i), r_i = \sigma(A_i))$ ,  $i = \overline{1, m}$  існує рішення  $i_0$ , яке домінує над іншими, таке, що задовольняє нерівностям

$$M(A_{i_0}) \geq M(A_i), \quad r_{i_0} \leq r_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (11)$$

то воно є оптимальним.

В іншому випадку необхідно будувати множину оптимальних рішень за Паретто, тобто таких, що не можуть бути покращені за двома критеріями, і здійснювати вибір серед них.

Відповідно до розглянутих критеріїв можемо зробити висновок, що найбільш прийнятними відновлюваними джерелами енергії для Прикарпаття є використання енергії сонця та енергії від перетворення біомаси.

Необхідно врахувати те, що значення критеріїв, які визначають вплив різних чинників на ефективну роботу і, як наслідок, на вибір відновлюваних джерел енергії, вибираються за результатами експертної оцінки з певною долею суб'єктивізму.

Для підвищення об'єктивності отриманого результату розглянемо механізм прийняття рішення при відомому розподілі ймовірностей критеріїв.

Для прикладу задаємо значення ймовірностей критеріїв:

$$P = (0,8; 0,5; 0,8; 0,7; 0,5).$$

Знайдемо для кожного варіанту  $A_i$  очікуваний результат за формулою (8):

$$M(A_1) = 6 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,5 + 6 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,5 = 16,8;$$

$$M(A_2) = 9 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,5 = 18,4;$$

$$M(A_3) = 9 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,5 + 7 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,5 = 20;$$

$$M(A_4) = 8 \cdot 0,8 + 3 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,8 + 5 \cdot 0,7 + 2 \cdot 0,5 = 16,4.$$

Очікуваний ризик для різних варіантів (табл.4) визначимо за формулою (9):

$$M(R_1) = 3 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,7 + 0 \cdot 0,5 = 3,2;$$

$$M(R_2) = 0 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,7 + 0 \cdot 0,5 = 1,6;$$

$$M(R_3) = 0 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,7 + 0 \cdot 0,5 = 0;$$

$$M(R_4) = 1 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,7 + 1 \cdot 0,5 = 3,44.$$

Точки, які характеризують множину рішень  $(M(A_i), M(R_i), i = \overline{1, 4})$ , наступні:

$$(1) - (3,2; 16,8) \quad (2) - (1,6; 18,4)$$

$$(3) - (0; 20) \quad (4) - (3,44; 16,4)$$

При порівнянні  $i$ -тих рішень (рис. 2) серед пар  $M(A_i), \sigma(A_i), i = \overline{1, 4}$  існує рішення  $i_3$ , яке домінує над іншими, таке, що задовольняє нерівностям  $M(A_3) \geq M(A_i), r_3 \leq r_i, i = \overline{1, 4}$ , то воно є оптимальним.

Для визначення впливу рівня ймовірності критеріїв на отриманий результат задамо значно нижчий їх рівень  $P=(0,3; 0,2; 0,3; 0,25; 0,2)$ .

$$M(A_1) = 6 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,3 + 6 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 = 6,3;$$

$$M(A_2) = 9 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,3 + 6 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 = 6,9;$$

$$M(A_3) = 9 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 + 7 \cdot 0,3 + 6 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,2 = 7,5;$$

$$M(A_4) = 8 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,2 = 6,35.$$

$$M(R_1) = 3 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,25 + 0 \cdot 0,2 = 1,2;$$

$$M(R_2) = 0 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,25 + 0 \cdot 0,2 = 0,6;$$

$$M(R_3) = 0 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,2 + 0 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,25 + 0 \cdot 0,2 = 0;$$

$$M(R_4) = 1 \cdot 0,3 + 0 \cdot 0,2 + 2 \cdot 0,3 + 1 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,2 = 1,14.$$

Точки, які характеризують множину рішень  $(M(A_i), M(R_i), i = \overline{1, 4})$ , зображено на рис. 3:

$$(1) - (1,2; 6,3) \quad (2) - (0,6; 6,9)$$

$$(3) - (0; 3,75) \quad (4) - (1,14; 6,35)$$

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що для Прикарпаття домінуючим за макси-

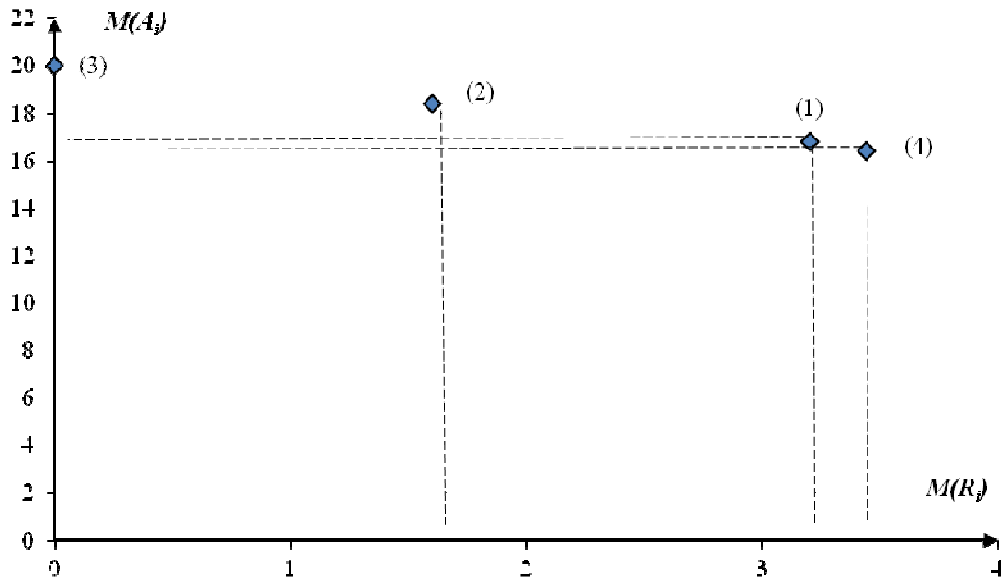


Рисунок 2 – Характеристики рішень за двома критеріями: очікувана ефективність і ризик (при вискій ймовірності)

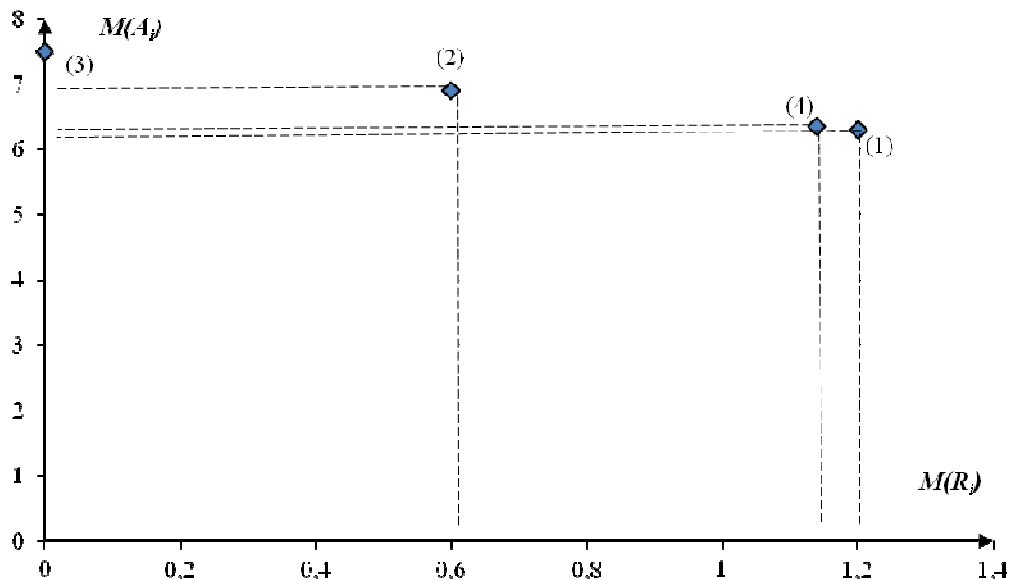


Рисунок 3 – Характеристики рішень за двома критеріями: очікувана ефективність і ризик (при низькій ймовірності)

мальною ефективністю та мінімальним ризиком є відновлюване джерело енергії від перетворення біологічної маси при різних ймовірностях критеріїв. Вагомі позитивні результати маємо також для джерела енергії сонця.

В окремих районах Прикарпаття, за конкретними значеннями критеріїв, може змінюватись розташування точок, що характеризують множину рішень щодо вибору того чи іншого джерела відновлюваної енергії. Для прикладу розглянемо Богородчанський та Калуський райони Івано-Франківської області.

Узагальнена матриця оцінок (враховуючі найбільш пріоритетні джерела в цілому для Прикарпаття) для *Богородчанського району* матиме вигляд:

Таблиця 5 – Узагальнена матриця оцінок для Богородчанського району

	K1	K2	K3	K4	K5
A2	9	1	5	6	3
A3	6	1	7	6	3

Відповідно до табл. 5 запишемо матрицю ризиків:

Таблиця 6 – Матриця ризиків

	K1	K2	K3	K4	K5	$\max_i r_{ij}$
R2	0	0	2	0	0	2
R3	3	0	0	0	0	3

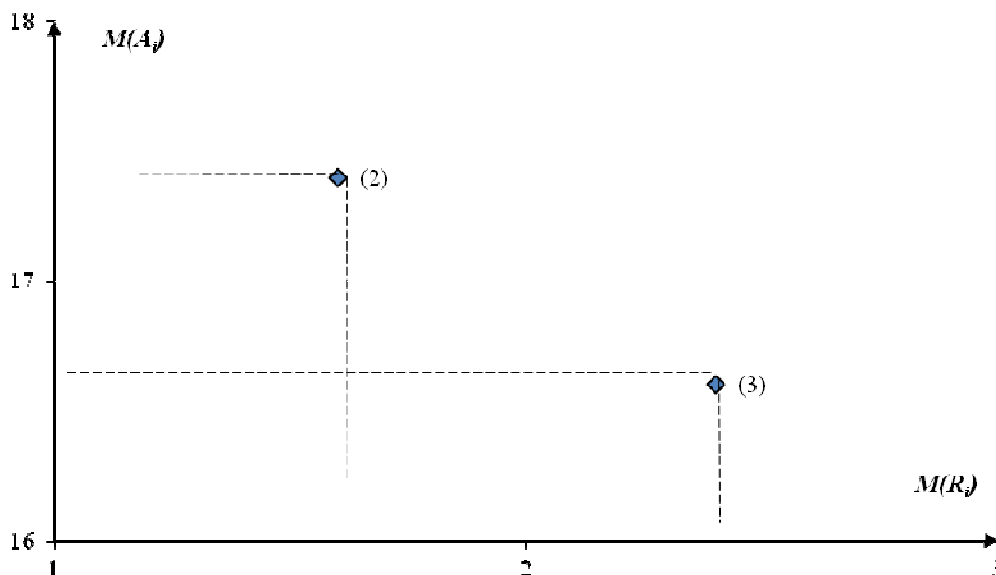


Рисунок 4 – Характеристика рішень за критеріями очікуваної ефективності і ризику для Богородчанського району (при високій ймовірності)

Для вибраних джерел енергії  $A_2$  та  $A_3$  знайдемо очікуваний результат (ефективність) за формулою (8) при високій ймовірності критеріїв:

$$M(A_2) = 9 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,5 + 5 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,5 = 17,4;$$

$$M(A_3) = 6 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,5 + 7 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,5 = 16,6.$$

Очікуваний ризик для вибраних варіантів (табл.6) визначимо за формулою (9):

$$M(R_2) = 0 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,5 + 2 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,7 + 0 \cdot 0,5 = 1,6;$$

$$M(R_3) = 3 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,7 + 0 \cdot 0,5 = 2,4;$$

Точки, які характеризують обрану пару рішень (альтернативи  $A_2$  та  $A_3$ ), зображено на рис. 4:

$$(2) - (1,6; 17,4) \quad (3) - (2,4; 16,6)$$

Узагальнена матриця оцінок (враховуючи найбільш пріоритетні джерела для Прикарпаття загалом) для **Калуського району** матиме вигляд:

Таблиця 7 – Узагальнена матриця оцінок для Калуського району

	K1	K2	K3	K4	K5
A2	8	1	4	6	3
A3	9	2	7	6	3

Відповідно до табл.5 запишемо матрицю ризиків:

Таблиця 8 – Матриця ризиків

	K1	K2	K3	K4	K5	$\max_i r_{ij}$
R2	1	1	3	0	0	3
R3	0	0	0	0	0	0

Для вибраних джерел енергії  $A_2$  та  $A_3$  знайдемо очікуваний результат (ефективність) за формулою (8) при високій ймовірності критеріїв:

$$M(A_2) = 8 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,5 + 4 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,5 = 15,8;$$

$$M(A_3) = 9 \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,5 + 7 \cdot 0,8 + 6 \cdot 0,7 + 3 \cdot 0,5 = 19,5.$$

Очікуваний ризик для вибраних варіантів (табл.8) визначимо за формулою (9):

$$M(R_2) = 1 \cdot 0,8 + 1 \cdot 0,5 + 3 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,7 + 0 \cdot 0,5 = 3,7;$$

$$M(R_3) = 0 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,5 + 0 \cdot 0,8 + 0 \cdot 0,7 + 0 \cdot 0,5 = 0;$$

Точки, які характеризують обрану пару рішень (альтернативи  $A_2$  та  $A_3$ ), покажемо на рис. 5:

$$(2) - (3,7; 15,8) \quad (3) - (0; 19,5)$$

На прикладі Богородчанського і Калуського районів ми бачимо, що при більш точному виборі критеріїв, які характеризують відновлювані джерела енергії, домінування пріоритетних джерел може частково змінюватись. Це закономірно, бо прив'язка до конкретних територій і конкретних природних джерел дозволяє максимізувати ефективність і мінімізувати ризик при виборі місця спорудження генеруючої установки.

Власне це і підтверджується вибором місця спорудження сонячної електростанції "Старі Богородчани-1". Електростанція "Старі Богородчани-1" потужністю 2,8 МВт побудована на території с.Старі Богородчани Богородчанського району Івано-Франківської області на відкритій сонячній ділянці площею 5,99 га.

Відповідно, в с. Копанки Калуського району Івано-Франківської області побудований біогазовий завод потужністю 1 МВт. Біогазовий завод розміщений безпосередньо біля джерела сировини – це рідкі та сипкі компоненти відходів при вирощуванні свиней. Сировина

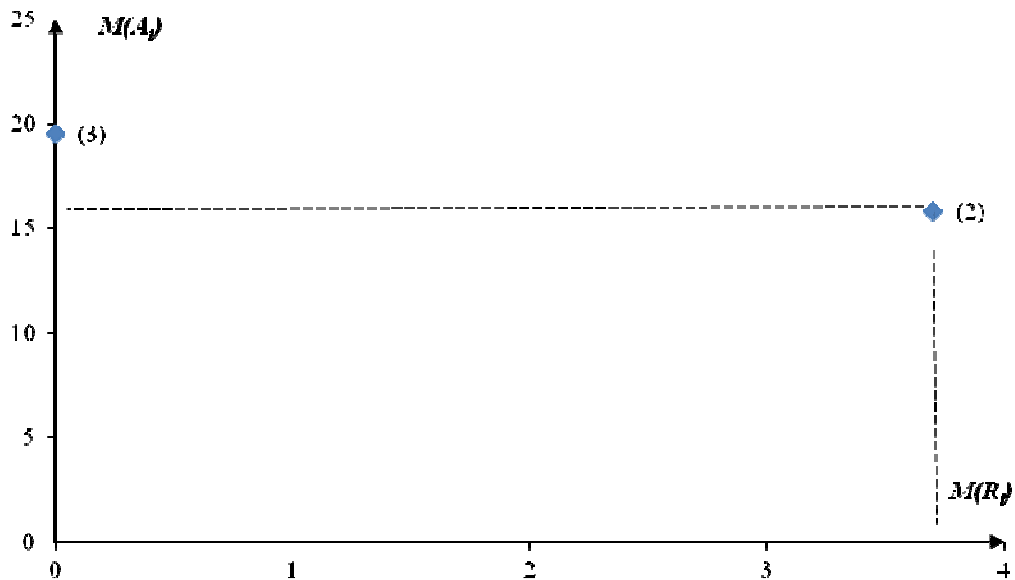


Рисунок 5 – Характеристика рішень за критеріями очікуваної ефективності і ризику для Калуського району (при високій ймовірності)

завантажується до резервуарів ферментації в безпосередній близькості від її утворення, що гарантує її максимальний період розпаду.

Обидва джерела відновлюваної енергії працюють з високою ефективністю, що підтверджує правильність зарекомендованої методики оптимального вибору відновлюваних джерел енергогенерації в умовах Прикарпаття.

Аналізуючи характеристики рішень за двома критеріями (рис.2 і рис.3), а також характеристики уточнених рішень, наведених на рис.4 і рис.5, можемо зробити висновок, що рішення щодо джерел (2) і (3) характеризуються найбільшим позитивом.

Таким чином, запропонована методика вибору оптимального джерела відновлюваної енергії для побудови систем енергогенерації передбачає вирішення багатокритеріальної задачі, що, в свою чергу, вимагає застосування теорії прийняття рішень. Запропонований алгоритм вибору альтернативних джерел енергії може застосовуватись для будь-якої місцевості з відомими природними умовами. Особливу увагу при цьому слід звертати на підбір критеріїв, за якими проводитиметься оцінка альтернативних варіантів енергозабезпечення. Відзначимо також, що оскільки в основі оцінювання вагомості критеріїв лежить використання методів експертних оцінок, першочерговим завданням є ретельний підбір спеціалістів у даній галузі та створення відповідних робочих груп, комбінація різних видів експертизи з метою підвищення рівня об'єктивності проведених досліджень.

### Література

1 Переосмислюючи стратегію розвитку: Національна доповідь з питань реалізації державної політики у сфері енергоефективності за 2010-11 роки (2012).

2 Енергетичний потенціал біомаси в Україні / [Лакида П.І., Гелетуша Г.Г., Васишин Р.Д., та ін.], відповід. наук. ред. д.с.-г.н., проф. П.І. Лакида; Навчально-науковий інститут лісового і садово-паркового господарства НУБіП України. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2011. – 28 с.

3 Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А.К.Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с.

4 Орлов А.И. Теория принятия решений: учебное пособие / А.И. Орлов. – М.: Экзамен, 2005. – 656 с.

5 Ильина Н.А. Перспективы внедрения альтернативных источников энергии в систему энергоснабжения / Н.А. Ильина, А.Н. Сабалаев // Светотехника и Электроэнергетика. – 2006. – № 7-8.

6 Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие / Б.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 187 с.

7 Донець Л.І. Обґрунтування господарських рішень та оцінювання ризиків: навч. посіб. / Л.І. Донець, О.В. Шепеленко, С.М. Баранцева [та ін.]; за заг. ред. Донець Л.І. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 472 с.

8 Балджи М.Д. Обґрунтування господарських рішень та оцінка ризиків: навч. посіб. / О.М. Балджи, В.А. Карпов, А.І. Ковальов [та ін.]. – Одеса: ОНЕУ, 2013. – 670 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
27.02.13

Рекомендована до друку  
професором **Витвицьким Я.С.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Калуцьким І.Ф.**

(Прикарпатський національний університет  
ім. В.Стефаника, м. Івано-Франківськ)