

АТЛАС ПРІОРИТЕТНИХ НИЗЬКОВУГЛЕВОДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ГЕНЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ТА НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ

Іншеков Є.М., Ковальчук А.М., Кокоріна М.Т.
Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, НТУУ «КПІ», Київ, Україна

Вибір оптимальних технологій використання розосереджених джерел енергії є важливим кроком на шляху до ефективного енергозабезпечення. В роботі проводиться оцінювання технологій виробництва електричної та/або теплової енергії з нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії за багатьма критеріями. Розрахунки відносних пріоритетів технологій проводяться на основі паспортних даних, техніко-економічних показників, потенціалу джерела енергії та експертних оцінок щодо важливості критеріїв оцінювання технологій з використанням методу аналізу ієрархій (МАІ).

Атлас розроблено для керівного складу державних та регіональних органів влади, представників бізнесових структур та інших зацікавлених осіб в питаннях енергозабезпечення та впровадження інноваційних проектів з комплексним застосуванням відновлюваної та нетрадиційної енергетики.

У атласі наведено потенціал та рівень ефективності застосування сучасних технологій генерування електричної та/або теплової енергії з відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії на території України, енергосистем та областей; враховано найбільш поширені з енерготехнологій, а саме: енергія вітру, сонця, малих річок, біомаси, геотермальна енергія, потенціал надлишкового тиску доменного газу, низькопотенційної теплової енергії стічних вод, теплоти ґрунту та ґрунтових вод.

Багатокритеріальний аналіз технологій проводиться з використанням вагових коефіцієнтів Методу аналізу ієрархій та враховує наступні критерії: потужність установки, потенціал джерела енергії на обраній території, рівень енергоефективності установки, рівень викидів оксиду вуглецю, капітальні та експлуатаційні витрати, вартість виробленої енергії за «Зеленим» тарифом.

У Атласі наведено потенціал відновлюваних джерел енергії для 24 областей та АР Крим, 8 енергосистем і загальної території України, результати розрахунків щодо капітальних, експлуатаційних витрат та терміну окупності рекомендованих технологій для кожної вищезазначеної територіальної одиниці. Оцінка впровадження технологій враховує також скорочення викидів CO₂. Відсоток заміщення органічного палива за рахунок використання рекомендованих технологій розосередженої генерації вказує на потенціал скорочення використання невідновлюваних джерел енергії, та можливість транспортування енергії у сусідні області при надмірному виробництві.

За базу обрані техніко-економічні показники сучасних енерготехнологій та «Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України» 2001 та 2010 років, розроблений Інститутом ВДЕ НАН України.[1]

Застосування Методу Аналізу Ієрархій (МАІ) для знаходження оптимальних технологій енергозабезпечення

Важливим етапом вибору оптимальних технологій генерації енергії з відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії є вірна оцінка варіантів енергопостачання за багатьма критеріями, що враховують економічні, екологічні, технічні, територіальні та інші показники. Метод аналізу ієрархій (МАІ) дозволяє за допомогою простих і добре обґрунтованих правил знайти рішення багатокритеріальних задач, що включають якісні та кількісні фактори, причому, кількісні фактори можуть мати різну розмірність.

МАІ розроблений для моделювання взаємозв'язків між окремими складовими частинами задачі прийняття рішення за допомогою ієрархічної структури з наступним визначенням пріоритетів альтернативних варіантів рішень відносно елементів цієї структури.

Весь процес знаходження рішення перевіряється та за необхідністю коригується на будь-якому етапі, що дозволяє оцінити якість отриманого рішення.

Метою даної роботи є визначення пріоритетних низьковуглеводних технологій енергозабезпечення, які використовують відновлювані та нетрадиційні джерела енергії для генерації електричної та/або теплової енергії, а також є ефективними для обраного регіону.

Ієрархія, що відповідає меті роботи набуває вигляд повної доміантної ієрархії, схему якої можна зобразити наступним чином (рис. 1):

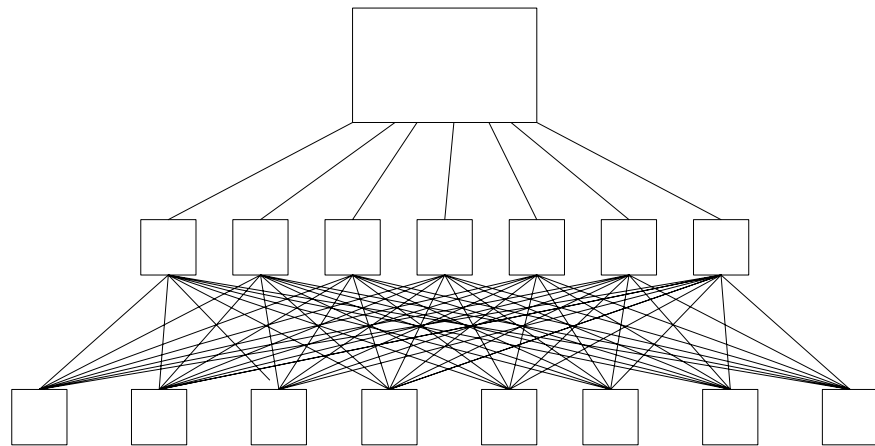


Рисунок 1. Схематичний вигляд доміантної ієрархії

В ході аналізу бази даних існуючих ефективних технологій визначено наступні критерії та альтернативи. Критерії, за якими оцінюються технології:

K1 – потужність, яку виробляє установка, [кВт];

K2 – потенціал відновлюваного джерела енергії для визначеної технології на обраній території, [мВт*год];

K3 – рівень ефективності установки, [%];

K4 – рівень викидів при роботі установки, [кг/МВт*год];

K5 – капітальні та початкові витрати (вартість 1 кВт встановленої потужності), при встановленні у

K6 – експлуатаційні витрати, при роботі установки, [€/кВт*год];

K7 – вартість електричної та/або теплової енергії за «Зеленим» тарифом [€/МВт].

Розглянемо 8 технологій, що працюють на ВДЕ для виробництва теплової та/або електричної енергії.

A1 – фото-електричні установки;

A2 – вітрові турбіни;

A3 – установки на біомасі;

A4 – мікро/малі гідроелектричні установки;

A5 – геотермальні системи;

A6 – промислові турбіни (доменний газ);

A7 – мікротурбіни (енергія стічних вод);

A8 – теплові насоси (низькопотенційна теплота ґрунту)

У методі аналізу ієрархій елементи порівнюються попарно по відношенню до їх впливу на загальну для них характеристику. В результаті парних порівнянь записуємо характеристики порівнянь у вигляді матриці (1.1):

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

Рівень 1

Мета

Рівень 2

Критерії

Коли задача представлена у вигляді ієрархічної структури, матриця складається для попарного порівняння критеріїв на другому рівні по відношенню до загальної мети, розташованої на першому рівні. Такі ж матриці повинні бути побудовані для парних порівнянь кожної альтернативи на третьому рівні по відношенню до критеріїв другого рівня і т.д., якщо кількість рівнів більше трьох.

Наступним кроком після побудови ієрархії та визначення величин парних суб'єктивних суджень є об'єднання ієрархічної декомпозиції та відносних суджень з метою отримання оптимального рішення багатокритеріальної задачі прийняття рішень.

З груп парних порівнянь формується набір локальних критеріїв, які виражають відносний вплив елементів на елемент, розташований на рівні вище.

Останній етап методу аналізу ієрархій – це агрегування коефіцієнтів пріоритетності критичних технологій за усіма критеріями і розрахунок коефіцієнтів глобальних пріоритетів критичних технологій.

Пріоритет j -го елемента третього рівня визначається як:

$$\begin{aligned} q_1 &= q_{311} \cdot q_{21} + q_{321} \cdot q_{22} + q_{331} \cdot q_{23} + \dots + q_{3n1} \cdot q_{2n}, \\ q_2 &= q_{312} \cdot q_{21} + q_{322} \cdot q_{22} + q_{332} \cdot q_{23} + \dots + q_{3n2} \cdot q_{2n}, \\ q_3 &= q_{313} \cdot q_{21} + q_{323} \cdot q_{22} + q_{333} \cdot q_{23} + \dots + q_{3n3} \cdot q_{2n}, \\ &\dots \\ q_n &= q_{31n} \cdot q_{21} + q_{32n} \cdot q_{22} + q_{33n} \cdot q_{23} + \dots + q_{3nn} \cdot q_{2n}, \end{aligned} \quad (1.2)$$

де Q_{jk} – вектор пріоритетів k -й матриці, розташованої на третьому рівні;

$q_{aki} - i$ -й елемент вектор пріоритетів k -й матриці суджень, розташованої на третьому рівні;

$q_{ak} - k$ -й елемент вектор пріоритетів матриці суджень, розташованої на другому рівні;

q_j – пріоритет i -го елемента третього рівня [2-9].

Визначення пріоритетних технологій енергозабезпечення для АР Крим

Розглянемо Атлас на прикладі Автономної Республіки Крим.

Завдяки вдалому географічному положенню АР Крим має сприятливі умови для впровадження технологій розосередженої генерації з комплексним застосуванням відновлюваних джерел енергії. Первинний потенціал відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії, що враховуються в даному атласі наведено в таблиці 1, рис. 2. Як видно, найвищий потенціал мають енергії сонця, вітру, біомаси та геотермальна енергія. Річне споживання енергоресурсів на забезпечення потреб в електричній та тепловій енергії складає 4,23 т у.п. З діаграми 1, рис. 2 видно, що потенціал відновлюваних джерел не тільки перекиває енергетичні потреби півострову, а й може бути використаний для забезпечення енергетичних потреб сусідніх з Кримом регіонів держави. Потенціал експорту енергоносіїв становить 82,98% від загального споживання енергоресурсів Криму. Найбільший потенціал припадає на енергію вітру (111,11%).

Розрахунок пріоритетів технологій генерування проведено з використання експертних оцінок та Методу аналізу ієрархій (діаграма 2, рис. 2). Технології, значення пріоритету яких вище граничного рівня (0,125), рекомендовано для першочергового впровадження. Значення 0,125 визначається з умови, що сума пріоритетів усіх технологій складає одиницю, а попередня пріоритетність впровадження однакова. Тож, для АР Крим для першочергового впровадження можна рекомендувати наступні за пріоритетом технології генерування з застосуванням відновлюваних та нетрадиційних джерел з врахуванням «Зеленого» тарифу:

1. Вітрові турбіни
2. Фотоелектричні установки
3. Установки на біомасі
4. Геотермальні системи

Загальні інвестиційні та експлуатаційні витрати, а також термін окупності при впровадженні цих технологій, за умови використання повного технічного потенціалу джерела відновлюваної енергії наведено на діаграмі 3, рис. 2.

Скорочення викидів CO₂ є однією з вимог на шляху до сталої енергетики. Використання технологій з низькими або нульовими викидами парникових газів дозволить в майбутньому не тільки зберегти оточуюче середовище, а також продавати квоти на викиди. При впровадженні рекомендованих технологій генерації Крим може скоротити викиди на 47 737,93 тис. т CO₂. Вітрові турбіни мають найбільший потенціал скорочення – 30 288,59 тис. т CO₂ (діаграма 4, рис. 2) завдяки заміщенню 111,11% споживання органічного палива та нульовим викидам парникових газів при виробництві електроенергії. При впровадженні рекомендованих технологій маємо повне заміщення споживання органічного палива ВДЕ та потенціал транспортування у сусідні регіони - 69,74% (діаграма 5, рис. 2).

Список літератури

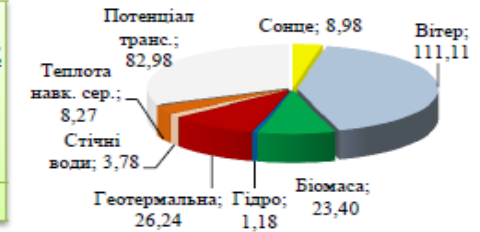
1. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України/ Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П. та інш. – НАН України, Державний Комітет України з енергозбереження, - К., 2001, 41с.
2. Панкратова Н.Д., Недашковская Н.И. Методология обработки нечеткой экспертной информации в задачах предвидения. Часть 1 // Проблемы управления и информатики. – 2007. - №2 - С. 40 – 55.
3. Панкратова Н.Д., Недашковская Н.И. Методология обработки нечеткой экспертной информации в задачах предвидения. Часть 2 // Проблемы управления и информатики. – 2007. - №3 - С. 49 – 63.
4. Панкратова Н.Д., Недашковская Н.И. Экспертное оценивание многофакторных рисков в технологическом предвидении // Доповіді НАНУ. – 2007. - №11. – С.48 – 53.
5. Недашківська Н.І. Оцінювання реверсу рангів в методі аналізу ієрархій // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2005. -№4. -С. 120– 130.
6. Saaty Thomas L. Theory of the Analytic Hierarchy Process, Part 2.1. // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2003. - №1. – С.48 – 72.
7. Saaty T.L. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary // European Journal of Operational Research. – 2003. – Vol.145, №1. – P.85 – 91.
8. Saaty Thomas L. Theory of the Analytic Hierarchy and Analytic Network Processes- Examples, Part 2.2. // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2003. - №2. – С.7 – 34.
9. Saaty Thomas L. The Analytic Network Process, Examples, Part 2.3. // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2003. - №4. – С.7 – 23.

АР Крим

Таблиця 1. Потенціал відновлюваних джерел енергії, річне енергоспоживання, площа області

Область	Потенціал енергії сонця, млн. т у.п.	Потенціал енергії вітру, млн. т у.п.	Потенціал енергії біомаси, млн. т у.п.	Потенціал малої гідроенергетики, млн. т у.п.	Потенціал геотерм. енергії, млн. т у.п.	Потенціал надлишк. тиску доменного газу, млн. т у.п./рік	Потенціал низькопот. теплової енергії стічних вод, млн. т у.п.	Потенціал низькопот. теплоти ґрунту та ґрунтових вод, млн. т у.п.	Сумарний потенціал, млн. т у.п.	Річне енергосп., млн. т у.п.	Площа області, тис. км ²
АР Крим	0,38	4,7	0,99	0,05	1,11	0	0,16	0,35	7,74	4,23	26,1

Діаграма 1. Відсоток заміщення, %



Критерії оцінки

Критерії, за якими оцінюються технології:

K1 – потужність, яку виробляє установка, [кВт];

K2 – потенціал відновлюваного джерела енергії для визначеної технології на обраній території, [млн. т у.п.];

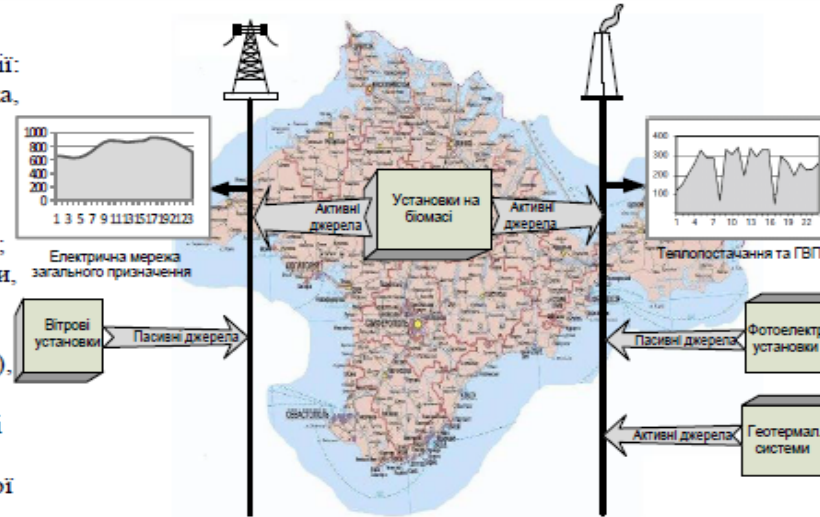
K3 – рівень ефективності установки, [%];

K4 – рівень викидів при роботі установки, [кг/МВт*год.];

K5 – капітальні та початкові витрати (вартість 1 кВт встановленої потужності), [€/кВт];

K6 – експлуатаційні витрати, при роботі установки, [€/МВт*год.];

K7 – вартість електричної та/або теплової енергії за «Зеленим» тарифом, [€/МВт].

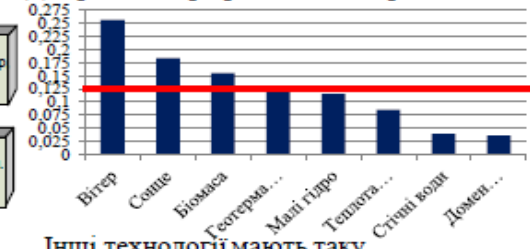


Визначення пріоритетів технологій

В результаті розрахунків маємо наступні технології, першочергово рекомендовані для покриття попиту:

1. Вітрові турбіни
2. Фотоелектричні установки
3. Установки на біомасі
4. Геотермальні системи

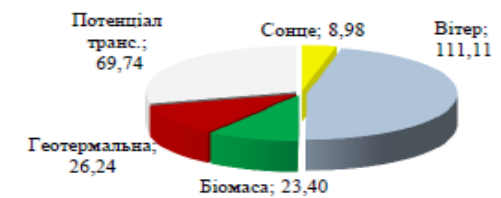
Діаграма 2. Пріоритетність впровадження



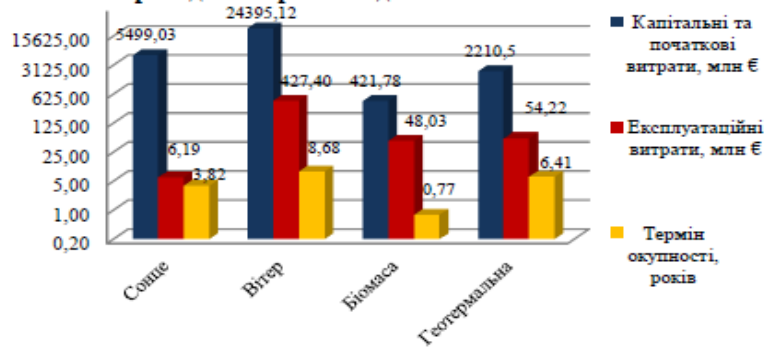
Інші технології мають таку пріоритетність впровадження:

5. Малі гідроелектричні установки
6. Теплові насоси
7. Мікротурбіни (стічні води)
8. Промислові турбіни (доменний газ)

Діаграма 5. Рекомендовані технології для заміщення, %



Діаграма 3. Економічні показники при впровадженні рекомендованих технологій



Діаграма 4. Скорочення викидів CO₂ при впровадженні рекомендованих технологій, тис. т CO₂

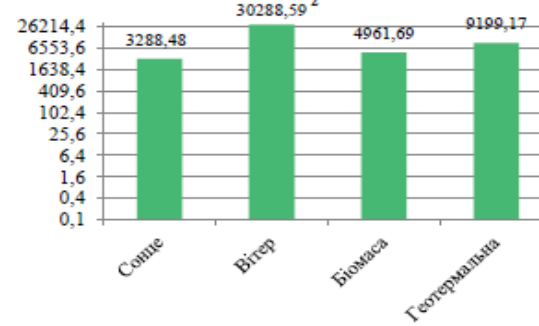


Рисунок 2. Атлас пріоритетних технологій виробництва електричної та/або теплової енергії за усередненими даними для АР Крим з відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії з врахуванням «Зеленого» тарифу