

УДК 303.732.4; 519.81

В. А. Заславський, д-р техн. наук, проф.
М. В. Пасічна, здобувач,
К. К. Красовська, аспірант

Застосування методу аналізу ієрархій при вирішенні проблеми диверсифікації складу портфеля джерел генерації електроенергії

Київський національний університет імені
Тараса Шевченка, 01033, Київ, вул. Володи-
мирська 64.

e-mail: zas.vlad@gmail.com
maypas@gmail.com
katerina.krasovska@gmail.com

V. A. Zaslavskiy, D. Eng. Sc., Prof.
M. V. Pasichna, PhD candidate,
K. K. Krasovska, PhD candidate

Application of Analytic Hierarchy Process to solve the problem of diversification of the energy portfolio of electricity generation sources

Taras Shevchenko National University of Kyiv,
01033, Kyiv, Volodymyrska st.64.

e-mail: zas.vlad@gmail.com
maypas@gmail.com
katerina.krasovska@gmail.com

Стаття присвячена питанню диверсифікації енергогенеруючого портфеля на провідних підприємствах виробництва електроенергії в Європейському Союзі (ЄС). Енергетика належить до критичної інфраструктури (КІ), а конкурентне, безпечне і стале виробництво електроенергії є одним із головних завдань енергетичного співтовариства. Проте, компанії, щоб досягти цього, повинні здійснити вибір пріоритетів між різними джерелами генерації електроенергії. Отже, головною задачею, поставленою у дослідженні, є проведення пріоритизації (ранжування) на множині можливих джерел генерації електроенергії із застосуванням методу аналізу ієрархій (МАІ). Цей метод дозволяє з'ясувати та кількісно підтвердити яка альтернатива найкращим чином відповідає потребам компаній як з експертної точки зору, так і через механізм кількісної оцінки. В процесі побудови ієрархії створюється система основних критеріїв, які необхідно враховувати при оцінці альтернатив. В статті описується етапи проведення МАІ і кількісні розрахунки, на основі яких робиться висновок про доцільність використання того чи іншого джерела генерації електроенергії для формування диверсифікації складу портфеля.

Ключові слова: метод аналізу ієрархій (МАІ), ієрархія, джерело генерації електроенергії, система прийняття рішень.

This research adheres to the issue of diversification of the energy portfolio at the leading electricity generating enterprises in the European Union (EU). Energy sector belongs to critical infrastructure (CI) and competitive, secure and sustainable electricity is one of the main objectives of the Energy Community. However, for the companies to reach this, a priority choice between the different electricity generation sources should be made. The main problem, raised in the study, concerns prioritizing (ranking) of the set of possible sources of the electricity generation by utilizing the Analytic Hierarchy Process (AHP). This method allows to explain what alternative best meets the needs of the companies from both an expert point of view and through the mechanism of quantitative assessment. Moreover, while creating the hierarchy, a system of the main factors, which have to be considered when evaluating alternatives, is being created. The article describes the stages of AHP and quantitative calculations, which create the basis for analyzing the feasibility of using the source of electricity generation for creation of diversification of the energy portfolio.

Keywords: analytic hierarchy process (AHP), hierarchy, electricity generation source, decision-making system.

Статтю представив д.фіз.-мат. наук, проф. Хусаїнов Д.Я.

Вступ. Метод аналізу ієрархій (МАІ) – що застосовується для розв'язання різноманітних математичний інструментарій системного аналізу, складних проблем прийняття рішень, які

розроблено у Пенсильванському університеті американським вченим Томасом Сааті у 1972-1973 рр.^[5]

Головною перевагою даного методу є його гнучкість та легкість застосування у багатьох предметних областях, зокрема МАІ широко використовується при дослідженні проблем енергетики^[10,11].

Об'єкти енергетичної сфери належать до так званої критичної інфраструктури (КІ), тобто коли від надійності, безпечності та ефективності функціонування таких систем залежить економічна стабільність та безпека суспільства^[12,17]. Враховуючи складність об'єктів КІ, їх дослідження необхідно проводити якомога ретельніше, правильно визначати важливість критеріїв, надійність критичних складових, які забезпечують їх функціонування. Для оцінки ризиків та підтримки безпеки систем КІ необхідно застосовувати принципи системного аналізу, математичні моделі та алгоритми для якісної та кількісної оцінки працездатності систем.

Інструментарій МАІ, як багатофакторний процес прийняття рішень, дозволяє успішно вирішувати проблеми, оскільки метод дозволяє визначити не тільки інтенсивність дії (пріоритет) певного фактору (критерію) на функціонування систем та проводити ранжування конкретних варіантів рішення (альтернатив), але й дозволяє визначити ваги критеріїв, незалежно від їх природи. Так, в енергетичній галузі МАІ використовувався в контексті раціональної оцінки та основи для фіксації альтернатив при задоволенні попиту на енергію, з врахуванням обмеженої пропозиції^[13].

Слід зазначити, що «ідеального» рішення, варіанту, який є найкращим для всіх обраних критеріїв, що покладені в основу класичних інструментів для прийняття рішень, важко досягти. Тому необхідним є знаходження компромісу з числа різних гіпотетичних рішень, тобто необхідно зупинитися на тій альтернативі, яка є «виправданою», і може бути «не оптимальною»^[14].

В останні роки, підходи із застосування МАІ в енергетиці розглядалися багатьма вітчизняними і закордонними вченими. Так, у 2011 році значна увага приділялась теорії надійності та ризик-аналізу, проводився аналіз надійності та оцінка можливих ризиків енергетичних систем та їх елементів таких як ТЕС або АЕС^[3,6]. У 2015 році не залишилося без уваги питання раціонального розміщення об'єктів КІ в контексті задачі вибору раціонального розташування електростанцій^[4].

У зв'язку з тим, що сучасна, гостра проблема вичерпання природних ресурсів є найбільш актуальною для систем енергетики, зростає актуальність досліджень, присвячених вибору альтернативних джерел отримання енергії та пошуку нових. Розглядаються підходи до планування енергозабезпечення регіонів України за допомогою поновлюваних джерел енергії^[2] та проблема вибору альтернативного джерела з використанням МАІ^[1,8], при вирішенні проблеми модернізації національної енергетичної системи^[7].

Розв'язання питань планування раціонального використання природних ресурсів потребує системного підходу, їх систематизації та кількісної оцінки з метою отримання більш цілісного розуміння та підвищення ефективності стратегічного планування в енергетиці в умовах обмежених ресурсів. В статті проводиться аналіз проблеми раціонального використання ресурсів в сфері енергетики з урахуванням різного типу критеріїв (економічних, технічних, соціальних і екологічних), і по відношенню до енергогенеруючих підприємств, які працюють з різноманітними джерелами вироблення електроенергії в окремих державах-членах ЄС (Франція, Німеччина, Бельгія, Італія, Швеція та Фінляндія). З такої точки зору задача раціонального використання ресурсів ще не розглядалася. В цьому і полягає актуальність диверсифікації складу портфеля джерел генерації електроенергії. В рамках дослідження пропонується застосувати МАІ при виборі джерела генерації електроенергії з подальшим числовим розрахунком.

Постановка задачі. В статті розглядається задача диверсифікації складу енергогенеруючого портфеля на провідних підприємствах виробництва електроенергії в ЄС.

Вирішення задачі вимагає проведення ранжування на множині можливих варіантів джерел генерації електроенергії з врахуванням різноманітності цих елементів. Для розв'язання поставленої задачі використовується МАІ, який дозволяє провести не тільки ранжування конкретних елементів (джерел виробництва електроенергії, критеріїв вибору між ними), але і зважити їх. Таким чином, можна визначити кількісно наскільки один елемент є більш/менш важливим, ніж інший.

Застосування МАІ для розв'язання задачі вибору джерел генерації електроенергії при диверсифікації портфеля. Формування та прийняття рішення у МАІ складається із наступних кроків^[5].

Крок 1. На даному кроці визначається головна ціль (ранжування джерел генерації електроенергії диверсифікованого складу енергопортфеля компаній) та скінченна множина різнотипних альтернативних джерел генерації електроенергії, критерії оцінювання джерел генерації електроенергії, та будується ієрархія проблеми, що вирішується.

Дані для формування задачі збирались із різних джерел: наукових публікацій, звітів енергогенеруючих компаній, що функціонують в різних країнах ЄС, офіційних електронних ресурсів та безпосереднього опитування експертів, компетентних з проблем енергетики. Аналізувалась література та звіти компаній, до яких є відкритий доступ і які охоплюють період 2007-2015 років. Опитування експертів здійснювалось методом відкритих інтерв'ю та з використанням анкет із фіксованими відповідями.

Нехай $Z_1 - Z_m$ – множина альтернативних варіантів джерел генерації електроенергії. В даному випадку $m = 7$ і множина альтернатив

складається із елементів: вугілля (Z_1), природний газ (Z_2), гідроенергетика (Z_3), вітроенергетика (Z_4), геліоенергетика (Z_5), використання біомаси (Z_6), ядерна енергетика (Z_7). Питома вага цих джерел складала 97 відсотків виробництва електроенергії в ЄС-27 у 2014 році^[16].

В табл. 1 представлено комплекс найбільш важливих критеріїв та відповідних їм факторів, які були обрані на основі проведеного експертного аналізу.

Значущість критеріїв була оцінена групою експертів по шкалі від 1 до 5 методом безпосереднього оцінювання. Оскільки наявність занадто великої кількості критеріїв робить процес парного порівняння занадто складним і тривалим, то бажаним є скорочення числа критеріїв^[15]. У зв'язку з цим, при проведенні дослідження, тільки критерії із оцінкою «3» і вище були прийняті до уваги. Таким чином, серед 9 критеріїв та 29 факторів було обрано 8 критеріїв і 19 факторів, які представлені в табл. 1 з їх оцінками, які використовуються при розв'язанні задачі в МАІ.

Таблиця 1. Критерії для оцінювання джерела електроенергії

	Критерії та фактори	Оцінка*
F1	Державна підтримка і регулювання	4
F11	Законодавство і регулювання, що підтримує розвиток джерел електроенергії	4
F12	Законодавство і регулювання, що регулює питання зміни клімату	5
F13	Просування джерел електроенергії є збалансованим із захистом навколишнього середовища	3
F2	Стабільна економіка країни	4
F21	Економічна стабільність в країні	4
F22	Високі ціни на викиди CO ₂ та паливо	5
F3	Внутрішня політика компанії, направлена на диверсифікацію структури виробництва електроенергії	3
F31	Наявність в компанії амбіційної енергоефективної політики і політики по скороченню викидів	3
F32	Злиття і поглинання / продаж активів	3
F4	Конкурентна вартість виробництва електроенергії	5
F41	Відносно невисокі витрати на нові технології для виробництва електроенергії	3
F42	Відносно невисокі витрати на модернізацію існуючих технологій для виробництва електроенергії	3
F43	Рентабельність проектів	5
F5	Соціальне сприйняття і співробітництво із зацікавленими сторонами	3
F51	Підтримка громадськості та НУО (неурядові організації)	3
F52	Співпраця із зацікавленими сторонами (Європейська комісія, місцеві адміністрації, і т.д.)	4
F6	Надійні постачальники палива	4
F61	Відносно невисокі витрати на поставки палива для виробництва електроенергії	5
F62	Стабільні поставки палива для виробництва електроенергії	3
F7	Задоволення споживачів електроенергії	4

F71	Якісне джерело генерації електроенергії (сертифікована електроенергія)	3
F72	Відносно невисока ціна на електроенергії від джерела енергії	5
F73	Якісне і безперебійне постачання електроенергії від джерела енергії	3
F8	Безпека та надійність виробництва електроенергії	4
F81	Відповідальне функціонування заводу	4
F82	Можливість оцінити надійність роботи заводу	4

*1- немає актуальності, 2 - незадовільно, 3 - задовільно, 4 - добре і 5 – відмінно

На рис. 1 на основі сформованої множини альтернатив, критеріїв та факторів представлено побудовану ієрархію, яка складається з чотирьох рівнів. Рівень I – мета: ранжування джерел генерації електроенергії диверсифікованого складу енергопортфеля компаній.

Рівень II і рівень III: критерії і відповідні їм групи факторів, які впливають на значущість джерела виробництва електроенергії. Рівень IV: диверсифікована множина альтернативних джерел генерації електроенергії.

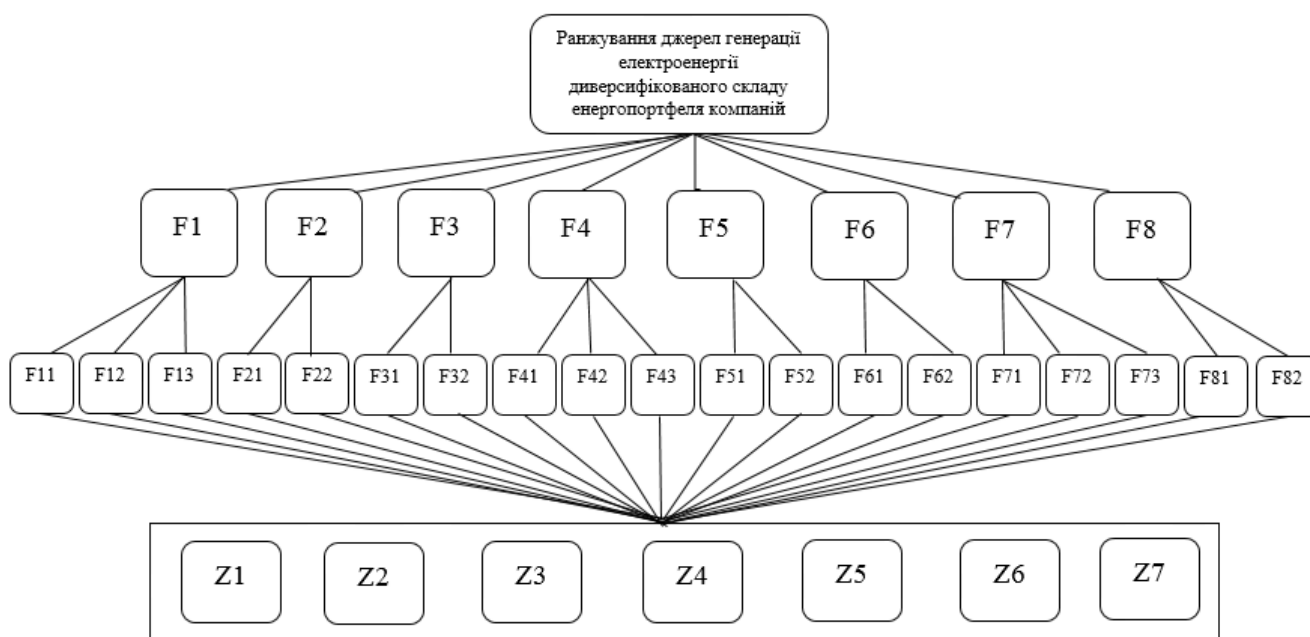


Рис. 1. Багаторівнева ієрархічна структура для оцінювання джерела генерації електроенергії

Таким чином, визначено мета, множина альтернатив $Z_1 - Z_7$, та 8 комплексних різнотипних критеріїв $F_1 - F_8$ і 19 відповідних ним факторів $F_{11} - F_{13}; F_{21} - F_{22}; F_{31} - F_{32}; F_{41} - F_{43}; F_{51} - F_{52}; F_{61} - F_{62}; F_{71} - F_{73}; F_{81} - F_{82}$.

Крок 2. На цьому кроці МАІ необхідно побудувати матриці суджень (парних порівнянь) і визначити пріоритети всіх елементів ієрархії. Нижче наведено загальний вигляд матриці (1):

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Згідно МАІ елементи матриці A повинні задовольняти властивості оберненої симетричності (2):

$$a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}. \quad (2)$$

На діагоналі матриці стоять 1, тобто $a_{11} = 1, a_{22} = 1 \dots a_{nn} = 1$ ^[5].

Для побудови матриць парних порівнянь використовувався метод анкетування. Експертам, які брали участь у дослідженні, пропонувалось заповнити наступні три анкети:

- парне порівняння комплексних критеріїв відносно мети;
- парне порівняння факторів відповідних комплексних критеріїв;
- парне порівняння альтернатив.

Оцінки виставлялися експертами за відомою у МАІ шкалою, згідно якої можна оцінити відносну важливість елементів ієрархії.^[5]

У результаті проведеного анкетування було отримано 28 матриць парних порівнянь (розмірністю від $n \times n = 2 \times 2 - 19 \times 19$). Матриця N_0 , результат опитування по першій анкеті, матриці $N_{F_1} - N_{F_8}$ - другої, а матриці $N_{F_{11}} - N_{F_{13}}; N_{F_{21}} - N_{F_{22}}; N_{F_{31}} - N_{F_{32}}; N_{F_{41}} - N_{F_{43}}; N_{F_{51}} - N_{F_{52}}; N_{F_{61}} - N_{F_{62}}; N_{F_{71}} - N_{F_{73}}; N_{F_{81}} - N_{F_{82}}$ відповідно, третьої анкети і представляють собою оцінки методу парних порівнянь альтернатив відносно 19 факторів, що відповідають комплексним критеріям (табл. 1).

Матриця N_0 , наприклад, має такий вигляд (табл. 3):

Таблиця 3. Матриця N_0

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
F1	1	2	5	1/6	3	2	1/2	1/3
F2	1/2	1	4	1/4	2	2	1/2	1/3
F3	1/5	1/4	1	1/7	1/2	1/4	1/5	1/6
F4	6	4	7	1	6	5	2	1
F5	1/3	1/2	2	1/6	1	1/4	1/5	1/6
F6	1/2	1/2	4	1/5	4	1	1/3	1/5
F7	2	2	5	1/2	5	3	1	1/7
F8	3	3	6	1/2	8	5	7	1

Матриці суджень для оцінки факторів і альтернатив будуються аналогічним чином.

Після проведення парних порівнянь та побудови матриць визначався вектор локальних пріоритетів (3). Для кожної матриці суджень обчислювався нормалізований вектор локальних пріоритетів $a^k = (a_1^k, a_2^k \dots a_n^k), k = \overline{1, 28}$ з наступними компонентами^[5]:

$$a_i^k = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

де n - розмірність матриці; a_{ij} - елемент i -го рядка матриці. Таким чином, кожній з 28 матриць суджень відповідає вектор $a^k, k = \overline{1, 28}$.

Вектори $b^k = (b_1^k, b_2^k \dots b_n^k), k = \overline{1, 28}$ - результат нормалізації векторів a^k за формулою (4) для кожної з 28-ми матриць суджень і являють

собою внесок (пріоритет) критерію у досягнення мети:

$$b_i^k = \frac{a_i^k}{\sum_{i=1}^n a_i^k}, k = \overline{1, 28}. \quad (4)$$

Для кожного вектора b^k виконується (5):

$$\sum_{i=1}^n b_i^k = 1, \quad (5)$$

де n - розмірність матриці; b_i^k - компонента вектора b^k .

Крок 3. Суть цього кроку полягає у оцінці суджень експертів на узгодженість.

Після обчислення локальних векторів пріоритету необхідно перевірити матриці суджень на узгодженість. Узгодженість матриці у загальному вигляді показує те, що при наявності основного масиву даних всі інші дані можуть бути логічно виведені з них. Прийнятним порогом узгодженості вважається 10%. Якщо оцінка узгодженості вища встановленого порогу, то якість суджень слід поліпшити шляхом перевірки оцінок експертів^[5], уточненням поставлених експертам питань. По своїй суті оцінка узгодженості показує міру нелогічності суджень експерта. Це своєрідне згладжування суджень, яке може бути прийнятним або неприйнятним в залежності від умов задачі.

Для того, щоб обчислити оцінку узгодженості, необхідно знайти $\lambda_{max}^k, k = \overline{1, 28}$ - власні числа відповідних матриць $(N_0; N_{F_1} - N_{F_8}; N_{F_{21}} - N_{F_{22}}; N_{F_{31}} - N_{F_{32}}; N_{F_{41}} - N_{F_{43}}; N_{F_{51}} - N_{F_{52}}; N_{F_{61}} - N_{F_{62}}; N_{F_{71}} - N_{F_{73}}; N_{F_{81}} - N_{F_{82}})$, що обчислюються за формулами (6), (7):

$$\lambda_i^k = \sum_{i=1}^n a_{ij} \times b_i^k, k = \overline{1, 28}, \quad (6)$$

$$\lambda_{max}^k = \sum_{i=1}^n \lambda_i^k. \quad (7)$$

Для обчислення оцінки узгодженості використовується RI - оцінка випадкової узгодженості для випадкової матриці розмірності $n \times n$ (табл.4).

Таблиця 4. Значення випадкового індексу узгодженості

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Оцінка узгодженості в МАІ обчислюється за формулою (8):

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (8)$$

де CI - індекс узгодженості матриць визначається формулою (9):

$$CI = \frac{\lambda_{max}^k - n}{n-1}, k = \overline{1, 28}, \quad (9)$$

де λ_{max}^k - максимальне власне значення матриці; n - розмірність матриці.

Як вже було згадано раніше, якщо $CR \leq 0,1$ (вищезазначений поріг в 10%), то значення оцінки узгодженості вважається прийнятним, якщо $CR \geq 0,1$, то матриця суджень вважається неузгодженою і оцінки експерта повинні бути переглянутими.^[5]

Після проведення обчислень були отримані наступні значення пріоритетів критеріїв (табл. 5).

Таблиця 5. Значення пріоритетів критеріїв та їх ранжування

Критерій	Пріоритет	Ранг
F4. Конкурентна вартість виробництва електроенергії	0,2800	1
F8. Задоволення споживачів електроенергії	0,2795	2
F7. Безпека та надійність виробництва електроенергії	0,1346	3
F1. Державна підтримка і регулювання	0,0978	4
F2. Стабільна економіка країни	0,0794	5
F6. Надійні постачальники палива	0,0674	6
F5. Соціальне сприйняття і співробітництво із зацікавленими сторонами	0,0351	7
F3. Внутрішня політика компанії, направлена на диверсифікацію структури виробництва електроенергії	0,0262	8

Крок 4. Після перевірки матриць суджень на узгодженість здійснюється синтез глобальних пріоритетів альтернатив. Для отримання глобальних пріоритетів альтернатив використовуються нормалізовані вектори матриць суджень і за формулою (10) здійснюється згортка критеріїв:

$$b^{Z_m} = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^{19} b^{N_0} \cdot b^{N_{F_i}} \cdot b^{N_{F_{ij}}}, m = \overline{1,7}, \quad (10)$$

де b^{Z_m} – вектор пріоритетів альтернатив; b^{N_0} – нормалізований вектор пріоритетів матриці суджень відносно головної мети; $b^{N_{F_i}}$ – нормалізований вектор пріоритетів матриць суджень факторів відносно комплексних критеріїв; $b^{N_{F_{ij}}}$ – нормалізований вектор пріоритетів матриці парного порівняння альтернатив відносно факторів.

Крок 5. На останньому кроці проводиться ранжування множини альтернатив.

Результати обчислень глобальних пріоритетів та рангів альтернатив представлені в табл. 6:

Згідно результатів, представлених у табл. 6, атомна енергія, вугілля та природний газ являються пріоритетними джерелами генерації електроенергії для енергетичного портфеля компанії. Це підтверджує той факт, що не дивлячись на розвиток відновлюваних джерел

енергії, традиційна енергетика залишається провідною.

Таблиця 6. Значення пріоритетів альтернатив та їх ранжування

Джерело електроенергії - альтернативи	Пріоритет	Ранг
Z7. Атомна енергія	0,2188	1
Z1. Вугілля і буре вугілля	0,2008	2
Z2. Природний газ	0,1335	3
Z6. Енергія біомаси	0,1247	4
Z3. Гідроенергія	0,1147	5
Z5. Сонячна енергія	0,1077	6
Z4. Вітрова енергія	0,1008	7

Висновок. Ранжування джерел генерації електроенергії із застосуванням МАІ визначає, що ядерна енергія найкраще задовольняє всім критеріям і судженням, і трохи випереджає вугілля, а інші джерела виробництва електроенергії значно відстають.

Це є логічним висновком для формування диверсифікованого портфелю енергетичних компаній з точки зору того, що виробництва електроенергії є мало-затратним, безперебійним, надійним та безпечним. Слід, однак, відмітити те, що даний аналіз базується на тенденціях 2007-2015 років в країнах ЕС і не враховує того, що, наприклад, нові вимоги з безпеки для АЕС можуть призвести до значного підвищення вартості виробництва електроенергії на АЕС. З іншого боку, останні кроки по зниженню вартості виробництва сонячної і вітрової електроенергії можуть значно покращити ранги даних джерел в майбутньому.

Стосовно критеріїв, що отримали низькі ранги, необхідно відмітити, що внутрішня політика компанії майже втричі менш важливіша, ніж підтримка з боку держави та економічну стабільність країни. Це ще раз підтверджує критичність енергетичної інфраструктури та її стратегічну важливість для добробуту країни.

Дане дослідження проводилось для енергогенеруючих компаній, але розроблені альтернативи, критерії та ієрархія МАІ можуть бути застосовані для інших компаній, енергетичної системи країни в цілому.

Список використаних джерел

References

1. Дюжев В. Обоснование современных приоритетов инновационной восприимчивости к НВЭ на основе анализа социально-экономических и эколого-техногенных факторов с использованием метода анализа иерархий / Виктор Дюжев, Станислав Сусликов // Вісник НТУ «ХП». Серія: Технічний прогрес і ефективність виробництва. – Харків – 2013. - № 66 (1039). – с. 3-12.
2. Калинин В. Планирование энергообеспечения регионов Украины на основе возобновляемых источников энергии / Василий Калинин, Марина Кокорина // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. - 2013. – № 3(80). – С. 60 – 65.
3. Мезин С. В. Разработка методики анализа показателей надежности современных АСУ ТП ТЭС и АЭС : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.13.07. / Сергей Витальевич Мезин. Москва – 2000. – 20 с.
4. Панкратьев П.С. Поддержка принятия решений при многокритериальном двухуровневом выборе пунктов размещения электростанций: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.01 / Павел Сергеевич Панкратьев – Иркутск – 2015. – 22 с.
5. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. / Т.Л. Саати, М.: Радио и связь, 1989. — 316 с.
6. Худий Є. Стан ізоляції та надійність роботи електрообладнання. Досвід діагностики електродвигунів у промислових умовах / Євгеній Худий, Іван Пельтек // Гірничі електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – Донецьк. – 2011. – № 86. – с. 137-141.
7. Köne A. An analytical network process (ANP) evaluation of alternative fuels for electricity generation in Turkey / Aylin Köne, Tayfun Büke // Energy Policy – 2007. - № 35(10). – p. 5220-5228.
8. Lee S.K. et al. A study on making a long-term improvement in the national energy efficiency and GHG control plans by the AHP approach // Energy Policy – 2007. -
1. DYUZHEV V.G., SUSLIKOV S.V. (2013) *Justification of modern priorities of innovative susceptibility to non-conventional renewable energy sources based on the analysis of socio-economic, ecological and technological factors with using of analytic hierarchy process*. Bulletin of NTU “KHPI”: Technical progress and production efficiency, 66: p.3-12.
2. KALINCHIK V.P., KOKORINA M.T. (2013) *Planning of energy supply for Ukrainian regions based on the renewable energy sources*. Bulletin of KrNU n.a. M.Ostrogradskiy. 3/2013: p.60-65.
3. MEZIN S.V. (2000) *Development of methods for indicators reliability analysis of TPP and NPP modern automation systems*.
4. PANKRATIEV P.S. (2015) *Decision support when choosing duplex multicriterion placing electric power stations*.
5. SAATY T.L. (1989) *Decision making. Analytic hierarchy process*. Radio and connection.
6. KHUDYY E.G., PELTEK I.I. (2011) *State of isolation and reliability of electrical equipment. Experience of electric motors diagnostics in industrial environments*. Mining electrical engineering and Automatics. 86: p.137-141.
7. KÖNE A.Ç., BÜKE T. (2007) *An analytical network process (ANP) evaluation of alternative fuels for electricity generation in Turkey*. Energy Policy.
8. LEE S.K. ET AL (2007) *A study on making a long-term improvement in the national energy efficiency and GHG control plans by the AHP approach*. Energy Policy.
9. OZGUR DEMIRTAS (2013) *Evaluating the Best Renewable Energy Technology for Sustainable Energy Planning*. Energy Economics and Policy. Vol.3: p.23-33.
10. PATLITZIANAS K.D. (2007) *Assessing the renewable energy producers' environment in EU accession member states*. Energy Conversion and Management, 48: p.890–897.
11. CHATZIMOURATIDIS A.I., PILAVACHI P.A. (2007) *Objective and subjective evaluation of power plants and their non-*

- №35(5). – p.2862-2868.
9. *Ozgur Demirtas* Evaluating the Best Renewable Energy Technology for Sustainable Energy Planning // *Energy Economics and Policy* – 2013. – №3. – p. 23-33.
 10. *Patlitzianas K.D.* Assessing the renewable energy producers' environment in EU accession member states // *Energy Conversion and Management* – 2007. - №48. - p.890–897.
 11. *Chatzimouratidis A.* Objective and subjective evaluation of power plants and their non-radioactive emissions using the analytic hierarchy process / Athanasios Chatzimouratidis, Petros Pilavachi // *Energy Policy* – 2007. - №35. - p.4027–4038.
 12. *Бірюков Д.С.* Зелена книга з питань захисту критичної інфраструктури в Україні / Бірюков Д.С. [та ін.] // К.: Національний інститут стратегічних досліджень –2015. – 35 с.
 13. *Saaty T.L.* Applications in Business, Energy, Health, and Transportation. / Thomas L. Saaty, Luis G. Vargas// Springer Netherlands – 1982. - p. 182-192.
 14. *Cavallaro F.* A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island / Fausto Cavallaro, Luigi Caraolo // *Energy Policy* – 2005. - №33. – p.235–244.
 15. *Tam M.C.Y.* An Application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system / M.C.Y. Tam, V.M.R. Tummala // *Omega* - 2001. - №29(2). – p.171-182.
 16. The Shift Project Data Portal, Energy and Climate Data. [Online] Available from: www.tsp-data-portal.org
 17. *Zaslavskiy V.* Risk analyses and redundancy for protection of critical infrastructure Monographs of System Dependability / Volodymyr Zaslavskiy, Yevhenii Ievgiienko // Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej – 2010. - p.161-173.
 - radioactive emissions using the analytic hierarchy process.* *Energy Policy* 35: P.4027–4038.
 12. *BIRIUKOV D.S., KONDRATOV S.I., NASVIT O.I., SUKHODOLYA O.M.* (2015) *Green Paper on a protection of the critical infrastructure in Ukraine.* National Institute of Strategic Research.
 13. *SAATY T.L., VARGAS L.G.* (1982). *Applications in Business, Energy, Health, and Transportation.* Springer Netherlands, pp. 182-192.
 14. *CAVALLARO F., CIRAULO L.* (2005). *A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island.* *Energy Policy* 33, 235–44.
 15. *TAM M.C.Y., TUMMALA V.M.R.* (2001). *An Application of the AHP in vendor selection of a telecommunications system.* *Omega* 29(2): 171-182.
 16. The Shift Project Data Portal, Energy and Climate Data. [Online] Available from: www.tsp-data-portal.org
 17. *ZASLAVSKIY V., IEVGIENKO Y.* (2010) *Risk analyses and redundancy for protection of critical infrastructure Monographs of System Dependability* // Editor J.Mazurkiewicz, J.Sugier, T.Walkowiak, W.Zamojski, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, Wroclaw, Poland, 2010, P.161-173.

Надійшла до редколегії 28.03.16