

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 621.311.1

Бойко С.М.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Носач І.В.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Кірюхіна М.В.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

Хебда А.С.

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

ЩОДО ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Метою роботи є аналіз можливості й особливостей застосування методу лінійної згортки для вибору альтернативних джерел електричної енергії з можливих варіантів реалізації в умовах залізорудних підприємств і розрахунок за цією методикою альтернативного джерела електричної енергії для конкретних умов. Обраний для вибору джерела альтернативної енергії метод лінійної згортки дає змогу максимально виключити людський фактор із процесу формування джерел розосередженої енергії на базі альтернативних джерел енергії в умовах залізорудних підприємств за умови відповідного вибору критеріїв. За результатами розрахунку за методом лінійної згортки виявлено, що при заданих умовах вітроенергетичні установки є оптимальним варіантом серед представлених джерел альтернативної енергії для формування джерел розосередженої генерації в структурі комплексу електропостачання-електроспоживання залізорудного підприємства.

Ключові слова: електропостачання, електричні установки, альтернативні джерела енергії, метод лінійної згортки.

Постановка проблеми. Вітчизняні залізорудні підприємства (далі – ЗРП) як із підземним способом видобутку залізорудної сировини (далі – ЗРС), так і з відкритим (кар’єрним) належать до категорії енергоємних [1]. Водночас близько 90% спожитої енергії цими видами підприємств належить до розряду електричної енергії (далі – ЕЕ). Однак ЗРП не є еталоном електроенергоефективності, що, у свою чергу, впливає на собівартість ЗРС і її конкурентоспроможність.

Безумовно, в умовах ЗРП проводяться певні заходи щодо підвищення їх електроенергоефективності, але вони (заходи), даючи деяку економію коштів за спожиту ЕЕ, все ж таки мають свою межу, яка натеper уже близька до насичення на гірничих підприємствах України [2–3].

Між тим щодо проблеми підвищення енергоефективності в процесі видобутку корисних копалин з метою реалізації основних ціннос-

тей концепції Smart grid постає роль застосування альтернативних джерел енергії (далі – АДЕ) в створенні міні- та мікроелектростанцій як додаткових джерел ЕЕ в структурах систем електропостачання цих видів промислових підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показали результати досліджень, найбільш ефективним у цьому напрямі виглядає створення гідроакумулюючих міні- та мікроелектростанцій на базі водовідливів шахт, кар’єрів і збагачувальних комплексів, вітроенергетичних станцій і сонячних електростанцій [1–5].

Основні тенденції щодо підвищення електроенергоефективності в умовах ЗРП спрямовані на зниження собівартості залізорудної сировини й підвищення надійності системи електропостачання. У свою чергу, найбільший ефект очікується від упровадження та взаємодії технологій

інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням і впровадження АДЕ [2; 5].

Постановка завдання. Мета статті – аналіз можливості й особливостей застосування методу лінійної згортки для вибору альтернативних джерел електричної енергії з можливих варіантів реалізації в умовах ЗРП та розрахунок за цією методикою альтернативного джерела електричної енергії для конкретних умов.

Виклад основного матеріалу дослідження. Безумовно, в цьому комплексі напрямів підвищення енергоефективності ключова роль відводиться саме підприємствам [4]. При цьому важливим є рівень урахування в цій методології специфіки конкретних видів підприємств. Особливо це стосується підприємств гірничо-видобувного комплексу, які мають свою специфіку [5]. Як доведено, однією з ключових сучасних тенденцій розвитку світової електроенергетики є перехід до інноваційного перетворення структури галузі на основі нової концепції Smart Grid, яка включає в себе такі складники, як активне споживання електричної енергії, розосереджена генерація, інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом, розподілом і споживанням рівня електричної енергії [3]. Згідно із цим, сформовано такі ключові для сучасних умов підприємств вимоги світової енергетики майбутнього, як доступність, надійність, економічність, електроенергоефективність, екологічність та електроенергетична безпека [4].

Між тим щодо проблеми підвищення енергоефективності в процесі видобутку корисних копалин з метою реалізації основних цінностей концепції Smart grid постає роль застосування АДЕ в створенні міні- та мікроелектростанцій як додаткових джерел ЕЕ в структурах систем електропостачання цих видів промислових підприємств.

Як показали результати досліджень, найбільш ефективним у цьому напрямі виглядає створення гідроакumuлюючих міні- та мікроелектростанцій на базі водовідливів шахт, кар'єрів і збагачувальних комплексів, вітроенергетичних станцій і сонячних електростанцій [2].

Основні тенденції щодо підвищення електроенергоефективності в умовах ЗРП спрямовані на зниження собівартості залізорудної сировини й підвищення надійності системи електропостачання. Найбільший ефект очікується від упровадження та взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням і впровадження АДЕ [2].

У кожного альтернативного джерела є оптимальні умови роботи, які передбачають його дов-

готривале використання за умови отримання необхідного об'єму енергії. Зокрема, надмірне сонячне опромінення викликає вигорання фотоелементів сонячних батарей і призводить до зниження їх коефіцієнта корисної дії. Крім того, в нічний час сонячні батареї не працюють, а, навпаки, є навантаженням, на якому розсіюється енергія, що також необхідно враховувати під час експлуатації. У процесі застосування вітрових установок лопаті та внутрішні механічні частини піддаються великому тиску при надмірній силі вітру або перевищенні допустимої швидкості обертання вітряків, що також може стати причиною їх виходу з ладу.

Оскільки працездатність альтернативних джерел суттєво залежить від багатьох факторів, необхідно розробити способи вибору джерела живлення залежно від погодних умов і вимог споживача.

Ідея методу лінійної [4] згортки полягає в побудові єдиної цільової функції на основі заданої множини цільових функцій. Вибір того чи іншого виду згортки визначається характером взаємозв'язків складових її критеріїв, а також деякими спеціальними обмеженнями на ділянку значень згортки, що впливають зі специфіки конкретної задачі. Основні труднощі, що виникають під час формування та використання узагальнених критеріїв, полягають у складності визначення вагових коефіцієнтів, на які покладено функцію адекватного відображення ступеня важливості критерію, його фізичної розмірності й іноді інших факторів. До недоліків узагальнених критеріїв варто також зарахувати й те, що під час оцінювання вони не дають змоги враховувати ієрархічну залежність результуючого показника від значень часткових показників.

Ураховуючи переваги та недоліки розглянутих методів для вирішення багатокритеріальної задачі вибору джерела альтернативної енергії обрано метод лінійної згортки як найбільш простий у реалізації, але при цьому досить об'єктивний.

Вирішується задача оптимального вибору джерела АДЕ серед таких:

- сонячні енергетичні установки (далі – СЕУ) (для її позначення вводиться змінна x_1);
- вітроенергетичні установки (ВЕУ) (змінна x_2);
- міні- та мікрогідроенергетичні станції (мГЕС) (змінна x_3);
- акумулятори електричної енергії (змінна x_4).

Як критерії оптимальності вибору обрано:

- критерій k_1 – вплив АДЕ на екологію навколишнього середовища;
- критерій k_2 – вплив сонячної інсоляції на роботу АДЕ;

– критерій k_3 – вплив інтенсивності вітру на роботу АДЕ;

– критерій k_4 – собівартість згенерованої електричної енергії АДЕ.

Використання методу передбачає знаходження двох згорток:

– перша згортка відкидає недоміновані альтернативи за всіма критеріями;

– друга згортка враховує вагові коефіцієнти важливості кожного з критеріїв та відкидає інші недоміновані альтернативи

Під час застосування методу лінійної згортки вводяться відносні вагові коефіцієнти важливості кожного критерію $W_j \geq 0$, сума яких $\sum_{j=1}^n W_j = 1, j = \overline{1, n}$ і які у відсотковому відношенні відображають важливість кожного параметра для особи, що приймає рішення.

Для задачі вибору джерела альтернативної енергії обрано такі значення: вплив АДЕ на екологію навколишнього середовища $W1=10\%$, вплив сонячної інсоляції на роботу АДЕ $W2=25\%$; вплив інтенсивності вітру на роботу АДЕ $W3=25\%$; собівартість згенерованої електричної енергії АДЕ $W4=40\%$.

Наступним кроком є знаходження відношення переваг k_i за кожним критерієм.

Отже, відношення переваг для першого критерію (вплив АДЕ на екологію навколишнього середовища) записується так:

$$k_1 : x_1 = x_2; x_1 > x_4; x_1 > x_3; x_4 < x_3; x_3 < x_2; x_4 < x_2. \quad (1)$$

Аналіз другого критерію проводиться аналогічно.

Отже, відношення переваг для другого критерію (вплив сонячної інсоляції на роботу АДЕ) записується так:

$$k_2 : x_1 < x_2; x_2 = x_3; x_1 < x_3; x_2 < x_4; x_3 < x_4; x_1 < x_4. \quad (2)$$

Аналіз третього критерію проводиться аналогічно.

Отже, відношення переваг для третього критерію (вплив інтенсивності вітру на роботу АДЕ) записується так:

$$k_3 : x_2 < x_1; x_2 < x_3; x_2 < x_4; x_1 < x_3; x_1 < x_4; x_3 < x_4. \quad (3)$$

Аналіз четвертого критерію проводиться аналогічно.

Отже, відношення переваг для четвертого критерію (собівартість згенерованої електричної енергії АДЕ) записується так:

$$k_4 : x_1 < x_2; x_2 > x_3; x_3 > x_4; x_2 > x_4; x_1 > x_3; x_1 > x_4. \quad (4)$$

Знаходимо функцію належності – матрицю $\mu_{k_i}(x_i, x_j)$, у якій рядками і стовпцями є альтернативи.

$$\mu_{k_i}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & x_{14} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & x_{24} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & x_{34} \\ x_{41} & x_{42} & x_{43} & x_{44} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Матриця $\mu_{k_i}(x_i, x_j)$ заповнюється так, що на перетині i -того рядка та j -того стовпчика ставиться:

– «0» якщо альтернативі i надається менша перевага, ніж альтернативі;

– «1» якщо альтернативі i надається більша перевага, ніж альтернативі.

Функція належності будується для кожного окремо взятого критерію.

Як зазначено раніше, за лінійною згортокою проводимо розрахунок.

Для першого критерію k_1 формується така матриця $\mu_{k_1}(x_i, x_j)$:

$$\mu_{k_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Для другого критерію k_2 матриця $\mu_{k_2}(x_i, x_j)$ набуває такого вигляду:

$$\mu_{k_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Для третього критерію k_3 матриця $\mu_{k_3}(x_i, x_j)$ набуває такого вигляду:

$$\mu_{k_3}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Для четвертого критерію k_4 матриця $\mu_{k_4}(x_i, x_j)$ набуває такого вигляду:

$$\mu_{k_4}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Наступним кроком є визначення першої згортки методом поелементного визначення мінімуму між усіма функціями належності ($\alpha_{k_1}, \alpha_{k_2}, \alpha_{k_3}, \alpha_{k_4}$) та записом результатів у відповідну матрицю $\mu_{Q_1}(x_i, x_j)$ у вигляді:

$$\mu_{Q_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x'_{11} & x'_{12} & x'_{13} & x'_{14} \\ x'_{21} & x'_{22} & x'_{23} & x'_{24} \\ x'_{31} & x'_{32} & x'_{33} & x'_{34} \\ x'_{41} & x'_{42} & x'_{43} & x'_{44} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Елементи матриці $\mu_{Q_1}(x_i, x_j)$ визначаються як мінімальне значення елемента x_{ij} по всіх матрицях $\mu_{k_i}(x_i, x_j)$. Тоді:

$$\mu_{Q_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Знаходимо поелементний максимум різниці $\mu_{Q_1}(x_i, x_j)$ і матриці $\mu_{Q_1}'(x_i, x_j)$. Визначаємо ступінь переваги альтернативи x_1 відносно x_j , тобто $x_{ij} = \max\{0; x_{ij}' - x_{ji}'\}$, від'ємний результат прирівнюють до «0».

Складаємо матрицю $\mu_{Q_1}^S(x_i, x_j)$, яка відобразить перевагу альтернатив, і записуємо її у вигляді:

$$\mu_{Q_1}^S(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x_{11}^S & x_{12}^S & x_{13}^S & x_{14}^S \\ x_{21}^S & x_{22}^S & x_{23}^S & x_{24}^S \\ x_{31}^S & x_{32}^S & x_{33}^S & x_{34}^S \\ x_{41}^S & x_{42}^S & x_{43}^S & x_{44}^S \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Елемент x_{12}^S у результуючій матриці $\mu_{Q_1}^S(x_i, x_j)$ визначають за формулою $x_{12}^S = \max\{0, x_{12}' - x_{21}'\}$.

$$\mu_{Q_1}^S(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Знаходимо $x_j^{nd} = 1 - \max\{x_{ij}^S\}$.

Тоді $x_1^{nd} = x_2^{nd} = x_3^{nd} = x_4^{nd} = 1 - \max\{x_{ij}^S\}$. Тоді перша згортка:

$$\mu_{Q_1}^S(x_i, x_j) = [x_1^{nd}, x_2^{nd}, x_3^{nd}, x_4^{nd}] = [1, 1, 1, 1]. \quad (14)$$

Друга згортка передбачає важливість кожного з критеріїв. Тоді помножимо функції належності на вагові коефіцієнти w_1, w_2, w_3, w_4 та одержимо матриці $\mu_{k_1}^{w_1}(x_i, x_j)$, $\mu_{k_2}^{w_2}(x_i, x_j)$, $\mu_{k_3}^{w_3}(x_i, x_j)$, $\mu_{k_4}^{w_4}(x_i, x_j)$.

Тобто

$$\mu_{k_1}^{w_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0,1 & 0,1 \\ 0 & 0 & 0 & 0,1 \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$\mu_{k_2}^{w_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,25 & 0 & 0 & 0 \\ 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0,25 & 0,25 \\ 0,25 & 0,25 & 0 & 0,25 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$$\mu_{k_3}^{w_3}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,25 & 0,25 & 0 & 0 \\ 0 & 0,25 & 0 & 0 \\ 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0 \\ 0,25 & 0,25 & 0,25 & 0,25 \end{bmatrix}, \quad (17)$$

$$\mu_{k_4}^{w_4}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,1 & 0 & 0,4 & 0,4 \\ 0,4 & 0,4 & 0,4 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0,4 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 0,4 \end{bmatrix}. \quad (18)$$

Згортка $\mu_{Q_2}(x_i, x_j)$ формується шляхом поелементної суми одержаних результатів у матрицях функції належності (15, 16, 17, 18), і записуємо її у вигляді:

$$\mu_{Q_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x_{11}'' & x_{12}'' & x_{13}'' & x_{14}'' \\ x_{21}'' & x_{22}'' & x_{23}'' & x_{24}'' \\ x_{31}'' & x_{32}'' & x_{33}'' & x_{34}'' \\ x_{41}'' & x_{42}'' & x_{43}'' & x_{44}'' \end{bmatrix}, \quad (19)$$

$$\mu_{Q_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0,35 & 0,5 & 0,5 \\ 0,75 & 1 & 0,75 & 0,75 \\ 0,25 & 0,25 & 1 & 0,75 \\ 0,5 & 0,5 & 0,25 & 1 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

За коефіцієнтами матриці (20) визначаємо ступінь переваги альтернативи x_i відносно x_j і складаємо матрицю $\mu_{Q_2}^S(x_i, x_j)$ і ступінь, із яким альтернатива x_j не домінується із жодною іншою альтернативою, та записуємо вектор $\mu_{Q_2}^S(x_i, x_j)$. Тоді матриця $\mu_{Q_2}^S(x_i, x_j)$ за формулою $x_{ij}^S = \max\{0; x_{ij}'' - x_{ji}''\}$, замінюючи від'ємний результат на «0», матиме такий вигляд:

$$\mu_{Q_2}^S(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0,25 & 0 \\ 0,4 & 0 & 0,5 & 0,25 \\ 0 & 0 & 0 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (21)$$

За формулою $x_j^{nd} = 1 - \max\{x_{ij}^S\}$ знаходимо ступінь, із яким альтернатива x_j не домінується ні з однією іншою альтернативою.

Тоді вектор 2-ої згортки можна записати так:

$$\mu_{Q_2}^{nd}(x_i, x_j) = [x_1^{nd}, x_2^{nd}, x_3^{nd}, x_4^{nd}] = [0,6 \quad 1 \quad 0,5 \quad 0,5]. \quad (22)$$

Далі виконується аналіз отриманих згорток (14) і (22) шляхом визначення максимальної оцінки. Як найкраща альтернатива визначена змінна x_2 , оскільки цій змінній відповідають максимальні значення «1» в обох згортках (14) і (22). Оскільки ця змінна відображає ВЕУ, то при заданих умовах ВЕУ можна вважати оптимальним варіантом серед представлених джерел альтернативної енергії.

Розглянутий метод легко розширяється при зростанні кількості альтернатив і критеріїв шляхом збільшення розмірності матриць і їх кількості. З огляду на просту програмну реалізацію, зберігається його гнучкість, що забезпечує швидку обробку даних. Але наявний фактор суб'єктивізму на етапі формування критеріїв.

Висновки. Обраний для вибору джерела альтернативної енергії метод лінійної згортки дає змогу максимально виключити людський фактор із процесу формування джерел розосередженої енергії на базі альтернативних джерел енергії в умовах залізрудних підприємств за умови відповідного вибору критеріїв. Цей метод легко адаптується при зміні кількості джерел і критеріїв вибору. За результатами розрахунку за методом лінійної згортки виявлено, що при заданих умовах вітроенергетичні установки є оптимальним варіантом серед представлених джерел альтернативної енергії.

Список літератури:

1. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв / А.А. Азарян, Ю.Г. Вілкул та інші. Кривий Ріг: Мінерал, 2006. 219 с.
2. Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья: монография / И.О. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Яловая, С.Н. Бойко; под ред. докт. техн. наук, профессора О.Н. Синчука. Кременчук: Изд. ЧП Щербатых А.В., 2015. 296 с.
3. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізрудних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти): монографія / О.М. Сінчук, І.О. Сінчук, С.М. Бойко, Ф.І. Караманиць, О.М. Ялова, Р.О. Пархоменко. Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
4. Леснік С.В., Хижняк Т.А. Застосування методу лінійної згортки для вибору джерела альтернативної енергії. Електроніка і зв'язь. Київ: КПІ, 2013. № 3. С. 24–30.
5. Зайченко Ю.П. Дослідження операцій: підручник, 7-е вид., перероб. та доп. Київ: Вид. дім «Слово», 2006. 816 с.

К ПРОБЛЕМЕ ФОРМИРОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Целью работы является анализ возможности и особенностей применения метода линейной свертки для выбора альтернативных источников электрической энергии из возможных вариантов реализации в условиях железорудных предприятий и расчет по этой методике альтернативного источника электрической энергии для конкретных условий. Выбранный для выбора источника альтернативной энергии метод линейной свертки позволяет максимально исключить человеческий фактор из процесса формирования источников рассредоточенной энергии на базе альтернативных источников энергии в условиях железорудных предприятий при условии соответствующего выбора критериев. По результатам расчета по методу линейной свертки обнаружено, что при заданных условиях ветроэнергетические установки являются оптимальным вариантом среди представленных источников альтернативной энергии для формирования источников рассредоточенной генерации в структуре комплекса электроснабжения электропотребления железорудного предприятия.

Ключевые слова: электроснабжение, электрические установки, альтернативные источники энергии, метод линейной свертки.

THE PROBLEM OF FORMATION OF SOURCES OF DISTRIBUTED GENERATION IN THE IRON COMPANY

The purpose of this work is to analyze the possibility and features of the use of the method of linear convolution for the choice of alternative sources of electric power from possible options in the conditions of iron ore enterprises and the calculation of this method of an alternative source of electric energy for specific conditions. The method of linear convolution chosen to select an alternative energy source allows to exclude as much as possible the human factor from the process of formation of distributed energy sources based on alternative sources of energy in the conditions of iron ore enterprises, subject to the appropriate choice of criteria. According to the results of the calculation by the method of linear convolution, it was found that under given conditions, wind power plants are the best option among the presented sources of alternative energy for the formation of distributed generation sources in the structure of the electricity supply system-the electricity consumption of the iron ore company.

Key words: electric power supply, electric installations, alternative energy sources, method of linear convolution.