

[http://www.expert.kiev.ua/images/dbases/works/Fixed\\_capital\\_modernization\\_2910.pdf](http://www.expert.kiev.ua/images/dbases/works/Fixed_capital_modernization_2910.pdf)

4. ДСТУ Б В.2.6–210:2016. Оцінка технічного стану сталевих будівельних конструкцій, що експлуатуються [Текст] – Київ: 2016. – 80 с.
5. ДБН В.2.3-6:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Обстеження і випробування.
6. Уманский Р.З., Маймула И.И., Гончаренко И.А. Практика выполнения технического обследования зданий и сооружений // Будівництво України. - 2011.- № 5. - С. 23 - 25.
7. Абрамов В.Н. О нормировании обследования и оценки технического состояния зданий и сооружений // Будівництво України. - 2012.- № 2. - С. 34 - 36.
8. Абрамов В.М., Колесніченко С.В. До питання оцінки технічного стану будівельних конструкцій, будівель і споруд // Будівництво України. - 2016.- № 4. - С. 2 - 4.
9. ДБН 362-92. Оцінка технічного стану сталевих конструкцій виробничих будівель і споруд, що знаходяться в експлуатації.
10. НПАОП 45.2-1.01-98. Правила обстежень, оцінки технічного стану та паспортизації виробничих будівель і споруд. Київ, Мінбуд України 1999.-35с.
11. Колесніченко С.В., Миронов А.Н., Кулик И.Н. Влияние эксцентриситета смещения решетки из плоскости К-образных узлов с поясом из широкополочного двугавра и решетки из гнутосварных замкнутых профилей на напряженно-деформированное состояние и концентрацию напряжений. Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Випуск 73. стор.182-186. Київ., НТУ, 2006 р.

Рукопис подано до редакції 03.04.2018

УДК 621.311.1

О.М. СІНЧУК, д-р техн.наук, проф., Криворізький національний університет  
С.М. БОЙКО, Ю.М. ШМЕЛЬОВ, кандидати техн. наук  
Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету

## ДО ПИТАННЯ ФОРМУВАННЯ ДЖЕРЕЛ РОЗОСЕРЕДЖЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Мета.** Метою даної роботи є аналіз можливості та особливостей застосування методу лінійної згортки для вибору альтернативних джерел електричної енергії з можливих варіантів реалізації в умовах залізорудних підприємств та розрахунок ціно методикою альтернативного джерела електричної енергії для конкретних умов.

**Методи дослідження.** При проведенні розглянутого в статті дослідження було використано метод лінійної згортки, з метою визначення оптимального варіанту серед запропонованих джерел електричної енергії для формування джерел розосередженої генерації в структурі комплексу електропостачання-електроспоживання залізорудного підприємства.

**Наукова новизна.** Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є адаптація методу лінійної згортки, з метою визначення оптимального варіанту серед запропонованих джерел електричної енергії для формування джерел розосередженої генерації в структурі комплексу електропостачання-електроспоживання залізорудного підприємства.

**Практична значимість.** Отримані результати розрахунку за методом лінійної згортки за якими, при заданих умовах експлуатації та монтажу вітроенергетичні установки є оптимальним варіантом серед представлених джерел альтернативної енергії для формування джерел розосередженої генерації в структурі комплексу електропостачання-електроспоживання залізорудного підприємства.

**Результати.** Враховуючи переваги та недоліки методів для вирішення багатокритеріальної задачі вибору джерела альтернативної енергії було обрано метод лінійної згортки як найбільш простий в реалізації, але при цьому достатньо об'єктивний. Для вибору джерела альтернативної енергії метод лінійної згортки дозволяє максимально виключити людський фактор з процесу формування джерел розосередженої енергії на базі альтернативних джерел енергії в умовах залізорудних підприємств за умови відповідного вибору критеріїв. Даний метод легко адаптується при зміні кількості джерел та критеріїв вибору. 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.

doi: 10.31721/2306-5451-2018-1-46-38-43

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Вітчизняні залізорудні підприємства (ЗРП), як з підземним способом видобутку залізорудної сировини (ЗРС) так і з відкритим (кар'єрним), відносяться до категорії енергоємних [1]. В той же час, біля 90% спожитої енергії даними видами підприємств, відноситься до розряду електричної енергії (ЕЕ).

Однак, ЗРП не є еталоном електроенергоєфективності, що в свою чергу впливає на собівартість ЗРС та її конкурентоспроможність.

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

Між тим, в проблемі підвищення енергоєфективності в процесі видобутку корисних копалин, та з метою реалізації основних цінностей концепції Smart grid, постає роль застосування альтернативних джерел енергії (АДЕ) в створенні міні- та мікроелектростанцій як додаткових джерел ЕЕ в структурах систем електропостачання цих видів промислових підприємств.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Як показали результати досліджень, найбільш ефективним в цьому напрямку виглядає створення гідроакумуючих міні- та мікроелектростанцій на базі водовідливів шахт, кар'єрів та збагачувальних комплексів, вітроенергетичних станцій та сонячних електростанцій [1-5].

Основні тенденції щодо підвищення електроенергоєфективності в умовах ЗРП, направлені на зниження собівартості залізорудної сировини та підвищення надійності системи електропостачання. В свою чергу найбільший ефект очікується при впровадженні та взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням та впровадження АДЕ [2, 5].

**Постановка завдання.** Аналіз можливості та особливостей застосування методу лінійної згортки для вибору альтернативних джерел електричної енергії з можливих варіантів реалізації в умовах ЗРП та розрахунок на цією методикою альтернативного джерела електричної енергії для конкретних умов.

**Викладення матеріалу і результати.** Безумовно, що в цьому комплексі напрямків підвищення енергоєфективності ключова роль відводиться саме підприємствам [4]. При цьому, в свою чергу, важливим постає рівень врахування в цій методології специфіки конкретних видів підприємств. Особливо це стосується підприємств гірничо-видобувного комплексу, які мають комплекс своїх специфік [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 складові, як активне споживання електричної енергії, розосереджена генерація, інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом, розподілом і споживанням рівня електричної енергії [3]. Згідно з цим було сформовано такі ключові для сучасних умов підприємств, вимоги світової енергетики майбутнього, як доступність, надійність, економічність, електроенергоєфективність, екологічність та електроенергетична безпека [4].

Між тим, в проблемі підвищення енергоєфективності в процесі видобутку корисних копалин, та 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 в цьому напрямку виглядає створення гідроакумуючих міні- та мікроелектростанцій на базі водовідливів шахт, кар'єрів та збагачувальних комплексів, вітроенергетичних станцій та сонячних електростанцій [2].

Основні тенденції щодо підвищення електроенергоєфективності в умовах ЗРП, направлені на зниження собівартості залізорудної сировини та підвищення надійності системи електропостачання. В свою чергу найбільший ефект очікується при впровадженні та взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням та впровадження АДЕ [2].

У кожного альтернативного джерела є оптимальні умови роботи, які передбачають його довготривале використання за умови отримання необхідного об'єму енергії. Зокрема, надмірне сонячне опромінення викликає вигорання фотоелементів сонячних батарей та 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 при експлуатації. При застосуванні 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 та 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 (рівнозначні домінуючі і т.п.), а також деякими спеціальними обмеженнями на область значень згортки, що впливають із специфіки конкретної задачі. Основні труднощі, що виникають при формуванні та використанні узагальнених критеріїв, полягають в складності визначення вагових коефіцієнтів на які покладено функцію адекватного відображення ступеня важливості критерію, його фізичної розмірності і, іноді, інших факторів. До недоліків узагальнених критеріїв слід також віднести і те, що при оцінці вони не дозволяють враховувати ієрархічну залежність результуючого показника від значень часткових показників.

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

У кожного альтернативного джерела є оптимальні умови роботи, які передбачають його довготривале використання за умови отримання необхідного об'єму енергії. Зокрема, надмірне сонячне опромінення викликає вигорання фотоелементів сонячних батарей та 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 при експлуатації. При застосуванні 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 та вимог споживача.

Вирішується задача оптимального вибору джерела АДЕ серед наступних:  
 фотобатарея (для її представлення вводиться змінна  $x_1$ );  
 вітрогенератор (ВЕУ) (змінна  $x_2$ );  
 мікроГЕС (змінна  $x_3$ );  
 акумулятори електричної енергії (змінна  $x_4$ ).

Як критерії оптимальності вибору обрано:

критерій  $f_1$  – вплив АДЕ на екологію оточуючого середовища;  
 критерій  $f_2$  – вплив сонячної інсоляції на роботу АДЕ;  
 критерій  $f_3$  – вплив інтенсивності вітру на роботу АДЕ;  
 критерій  $f_4$  – 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.

При застосуванні методу лінійної згортки вводиться відносні вагові коефіцієнти важливості кожного критерію  $W_j \geq 0$ , сума яких  $\sum W_j = 1$  і які у відсотковому відношенні відображають важливість кожного параметру для особи, що приймає рішення.

Для задачі вибору джерела альтернативної енергії обрано наступні значення: вплив АДЕ на екологію оточуючого середовища  $W_1=10\%$ , вплив сонячної інсоляції на роботу АДЕ  $W_2=25\%$ ; вплив інтенсивності вітру на роботу АДЕ  $W_3=25\%$ ; собівартість згенерованої електричної енергії АДЕ  $W_4=40\%$ .

Наступним кроком є знаходження відношення переваг  $R_i$  по кожному критерію.

Таким чином відношення переваг для першого критерію (вплив АДЕ на екологію оточуючого середовища) записується наступним чином

$$R_1 : x_2 < x_1, x_3 < x_2, x_3 < x_1, x_4 < x_1, x_4 < x_2, x_4 = x_3. \quad (1)$$

Аналіз другого критерію проводиться аналогічно.

Таким чином відношення переваг для другого критерію (вплив сонячної інсоляції на роботу АДЕ) записується наступним чином

$$R_2 : x_4 < x_1, x_4 < x_2, x_4 > x_3, x_3 < x_2, x_3 < x_1, x_2 < x_1. \quad (2)$$

Аналіз третього критерію проводиться аналогічно.

Таким чином відношення переваг для третього критерію (вплив інтенсивності вітру на роботу АДЕ) записується наступним чином

$$R_3 : x_4 < x_1, x_4 < x_2, x_4 = x_3, x_2 > x_1, x_1 < x_2, x_2 > x_3. \quad (3)$$

Аналіз четвертого критерію проводиться аналогічно.

Таким чином відношення переваг для четвертого критерію (собівартість згенерованої електричної енергії АДЕ) записується наступним чином

$$R_4 : x_4 < x_1, x_4 < x_2, x_4 > x_3, x_1 > x_2, x_3 < x_1, x_3 < x_2. \quad (4)$$

Знаходимо функцію приналежності – матрицю  $\mu_{R_i}(x_i, x_j)$ , в якій рядками та стовпцями є альтернативи

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

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

«0» якщо альтернативі  $i$  віддається менша перевага, ніж альтернативі  $j$ :  $x_i < x_j$  ( $x_{21} = 1$  при  $x_2 < x_1$ );

«1» якщо альтернативі  $i$  віддається більша перевага, ніж альтернативі  $j$ :  $x_i > x_j$  ( $x_{21} = 0$  при  $x_2 > x_1$ ).

Функція приналежності будується для кожного окремо взятого критерію.

Як було зазначено раніше за лінійною згорткою проводимо розрахунок.

Для першого критерію  $R_1$  формується така матриця

$$\mu_{R_1}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Перший рядок показує матриці (6), що за першим критерієм фотобатарея  $x_1$  немає переваги ні перед якою іншою альтернативою, тому елементи матриці та  $x_3$  рівні нулю.

Аналогічно заповнюються інші рядки та матриці функцій приналежності.

Для другого критерію матриця набуває наступного виду

$$\mu_{R_2}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Для третього критерію матриця набуває наступного виду

$$\mu_{R_3}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Для четвертого критерію матриця набуває наступного виду

$$\mu_{R_4}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Наступним кроком є визначення першої згортки методом поелементного визначення міні-

муму між всіма функціями приналежності та запису цього мінімуму у відповідну матрицю  $\mu_{Q_1}(x_i, x_j)$ .

В результаті формується вектор наступного вигляду

$$\mu_{Q_{нд}}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} x_1^{нд} & x_2^{нд} & x_3^{нд} & x_4^{нд} \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Другу згортку, яка передбачена даним методом, враховує важливість кожного з критеріїв. Для цього функції приналежності домножаються на вагові коефіцієнти  $W_1-W_4$

$$\mu_{Q_1нд}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Аналогічно першій згортці за коефіцієнтами матриці визначаються ступінь переваги альтернативи  $x_i$  відносно  $x_j$

$$\mu_{Q_2нд}(x_i, x_j) = \begin{bmatrix} 0,6 & 1 & 0,5 & 0,5 \end{bmatrix}. \quad (12)$$

Далі виконується аналіз отриманих згорток (11) та (12), шляхом визначення максимальної оцінки. Як найкраща альтернатива визначена змінна  $x_2$ , оскільки цій змінній відповідають максимальні значення «1» в обох згортках (11) та (12). 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 та критеріїв шляхом збільшення розмірності матриць та їх кількості. Враховуючи просту програмну реалізацію зберігається його гнучкість, що забезпечує швидку обробку даних. Але присутній фактор суб'єктивізму на етапі формування критеріїв.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Обраний для вибору джерела альтернативної енергії метод лінійної згортки дозволяє максимально виключити людський фактор з процесу формування джерел розосередженої енергії на базі альтернативних джерел енергії в умовах залізородних підприємств за умови відповідного вибору критеріїв. Даний метод легко адаптується при зміні кількості джерел та 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. Сінчук І.О., Гузов Э.С., Яловая А.Н., Бойко С.Н.; под ред. докт. техн. наук, професора О.Н. Сінчука. Потенціал електроенергозфактивності и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья: монография. – Кременчук: Изд. ЧП Щербатых А.В., 2015. – 296 с.
3. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Караманиць Ф. І., Ялова О.М., Пархоменко Р.О. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізородних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. – 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 №3 2013 – К.: КПІ, 2013. – С. 24-30.
5. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій: Підручник, 7-е вид., перероб. та доп. – К.: Вид. дім «Слово», 2006. – 816 с.
6. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: Підручник / С.О.Кудря. – К.: Національний технічний університет України («КПІ»), 2011. – 494 с.
7. Вісаріонов В.І., Дерюгіна Г.В., Кузнецова В.А., Малінін Н.К. «Сонячна енергетика» – Москва: Издательский дом МЭИ 2008 – 277 с.
8. Сінчук І.О. Відновлювані та альтернативні джерела енергії: навчальний посібник / І.О. Сінчук, С.М. Бойко, О.С. Мельник // навчальний посібник – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2015. – 270с.
9. Сінчук І.О., Гузов Э.С., Яловая А.Н., Бойко С.Н.; под ред. докт. техн. наук, професора О.Н. Сінчука. Потенціал електроенергозфактивності и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья. Монография – Кременчук: Изд. ЧП Щербатых А.В. – 2015. – 296 с.
10. Сінчук О.М., Сінчук І.О., Бойко С.М., Мельник О.С. Відновлювані та альтернативні джерела енергії: навчальний посібник – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О.В. – 2015. – 270с.
11. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
12. Мала енергетика та її значення в регіональних системах майбутнього / В.Д. Білолід, К.В. Таранець // Проблеми загальної енергетики. – 2008. – №18. – С. 40–47.

Рукопис подано до редакції 12.04.2018