

УДК 621.311.1  
DOI <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.6-1/39>

**Сінчук О.М.**

Криворізький національний університет

**Бойко С.М.**

Криворізький національний університет

**Некрасов А.В.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

**Ножнова М.О.**

Кременчуцький льотний коледж  
Харківського національного університету внутрішніх справ

**Онищенко А.О.**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

## МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

*Метою даної роботи є розроблення методу оптимізації режимів роботи енергетичного обладнання залізорудних підприємств за умови впровадження до системи їх електропостачання розосередженої генерації. Ураховуючи те, що на підприємствах актуальним є впровадження в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації, запропоновано впровадження і відновлюваних джерел енергії. Зважаючи на реалії сьогодення, питання підвищення енергоефективності залізорудних підприємств є актуальним. Між тим, що не менш важливо, досвід показує, що, незважаючи на недовантаження електричних потужностей, збитки від аварійних перерв енергозабезпечення з кожним роком зростають. Кожний параметр загальної оптимізації вибору режимів роботи енергетичного обладнання залізорудних підприємств має різний ступінь впливу. Тому для вироблення оптимальних режимів роботи джерел розосередженої генерації в умовах залізорудних підприємств за критеріями економічності та ефективності пропонуємо використати запропоновану цільову функцію. Такий підхід дозволяє визначити фактори та критерії для оптимізації функціонування енергетичного обладнання цих підприємств. Запропонований метод дозволяє оптимізувати роботу енергетичного обладнання залізорудних підприємств під час упровадження до структури їх електропостачання розосередженої генерації.*

**Ключові слова:** розосереджена генерація, енергетичне обладнання, електропостачання залізорудних підприємств, оптимізація режимів роботи.

**Постановка проблеми.** Зважаючи на реалії сьогодення, питання підвищення енергоефективності залізорудних підприємств (ЗРП) є актуальним. Між тим, що не менш важливо, досвід показує, що, незважаючи на недовантаження електричних потужностей, збитки від аварійних перерв енергозабезпечення з кожним роком зростають.

Як одне з альтернативних рішень питання другого незалежного джерела живлення електроспоживачів можуть бути використані джерела розосередженої генерації, розташовані на території підприємства, з метою електропостачання відповідальних електроприймачів у аварійних ситуа-

ціях та в інших псевдоаварійних режимах роботи з метою зменшення витрат за спожиту електроенергію та підвищення рівня надійності електропостачання.

Водночас аналіз розподілу потоків споживання електроенергії свідчить, що велика частка електричної енергії припадає саме на локальні енергетичні об'єкти, що зумовлює в цілому актуальність вивчення питання особливостей прогнозування електроспоживання з мережі в умовах підприємств та актуальності застосування під час цього комбінованого підходу, особливо під час упровадження в структуру електропостачання цих підприємств розосередженої генерації (РГ) [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У ряді попередніх досліджень автори обґрунтовують необхідність оптимізації режимів роботи електричного обладнання ЗРП під час застосування РГ, за критеріями економічності та ефективності передбачає формування ефективних режимів в умовах постійного зростання навантаження електроспоживачів та збільшення реальної складової спожитої електричної енергії (ЕЕ), згенерованої під час використання РГ [2–8].

Для досягнення максимального економічного ефекту під час застосування РГ в умовах ЗРП, систем керування навантаженням та акумулюючого обладнання (ГАЕС, АБ), особливо важливим є організація планування електроспоживання, оперативного і оптимального вибору режимів генерації ЕЕ РГ в умовах ЗРП (шахт або кар'єрів) та оперативного керування режимами роботи енергетичного обладнання (ЕО), яке використовується для забезпечення ефективного і безперебійного функціонування обладнання електроспоживачів ЗРП, з метою здешевлення видобування залізорудної сировини (ЗРС) в умовах узгодження режимів роботи джерел генерації ЗРП і зовнішньої електромережі.

**Постановка завдання.** Розроблення методу оптимізації режимів роботи енергетичного обладнання залізорудних під час впровадження у структуру електропостачання цих підприємств РГ.

**Виклад основного матеріалу.** Із метою вироблення оптимізованих режимів ЕО ЗРП необхідно виділити основні, найбільш ефективні складові частини, які безпосередньо впливають на рівень оптимізації у цілому, тобто фактори впливу ( $\alpha_i$ ), та сформулювати їх зміст, визначивши ступінь впливу (прояву) на процес оптимізації. В умовах ЗРП під час застосування РГ можна виділити найбільш впливові фактори, кожний із яких залежить від критеріїв  $\beta_i^j$ , які визначають ступінь впливу даного фактора на визначення оптимальних режимів роботи ЕО в умовах ЗРП.

У той же час необхідно визначитись у способах застосування кожного окремо взятого джерела ЕЕ, її розташуванні та їхніх параметрах, економічній доцільності використання РГ в умовах ЗРП. А отже, задача оптимізації безпосередньо залежить від типу РГ, її параметрів, кількості, місць розташування, режимів використання, в залежності від умов вироблення (видобутку) ЗРС, параметрів атмосфери, сезонів року, тарифних зон доби, впливу зовнішніх факторів на споживання і генерацію ЕЕ, а також рівня впливу РГ на екологію оточуючого середовища, з метою зменшення нега-

тивного впливу на стан атмосферного повітря, швидкості руху повітряних мас, на міграцію птахів, електромагнітне випромінювання в усіх діапазонах (СВЧ, ВЧ, СЧ,НЧ,УКВ), збереження біофлори, біоценозу на території розміщення РГ, мінімізацію забруднення водних артерій, зменшення впливу на ерозію поверхні, зміну рівня ґрунтових вод та заболочення прилеглих територій та інше [3].

Тому необхідно врахувати типи і кількість РГ та можливий вплив на вироблення оптимальних і ефективних режимів роботи ЕО ЗРП, а саме вплив кожного джерела генерації ЕЕ ( $\gamma_{ij}^q$ ) та режимів використання РГ ( $l = \overline{1, p}$ ,  $p$  – кількість режимів).

Кожний параметр загальної оптимізації вибору режимів роботи ЕО ЗРП має різний ступінь впливу (прояву, важливості). Тому для вироблення оптимальних режимів роботи РГ в умовах ЗРП за критеріями економічності та ефективності пропонуємо використати цільову функцію загального виду:

$$0 < F_i^{j,q}(n, m, k, p, \mu_{\alpha_i}, \beta_i^j, \gamma_{ij}^q) = \frac{1}{n \cdot m \cdot k} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^k (\mu_{\alpha_i} \cdot \beta_{ij,p}^q \cdot \gamma_{ij,q,p}^l) =$$

$$= \frac{1}{n \cdot m \cdot k} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{q=1}^k \mu_{\alpha_i} \left( \frac{1}{k} \sum_{i,j,q,l=1}^n \beta_{ij,p}^q \right) \left( \frac{1}{p} \sum_{l=1}^p \gamma_{ij,q}^l \right) < 1$$

де  $\alpha_i$  –  $i$ -й фактор,

$\gamma_{ij}^q$  – рівень впливу  $j$ -го критерію  $i$ -го фактора;

$\beta_{ij}^q$  – рівень впливу в  $i$ -му факторі,  $j$ -му критерії

$i = \overline{1, n}$ ,  $n$  – кількість факторів,  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – кількість критеріїв,  $q = \overline{1, k}$   $k$  – кількість обладнання (ДРГ) ЕО  $l = \overline{1, p}$   $p$  – кількість режимів прояву критерію даного фактора.

Примітка.  $\alpha_i$  можуть бути рівнозначні, тоді

$$\mu_{\alpha_i} = \frac{1}{n}, 0 < \mu_{\alpha_i} < 1, \sum_{i=1}^n \mu_{\alpha_i} = 1$$

Якщо  $\alpha_i$  не рівнозначні, то ступінь їх важливості  $\mu_i$  визначають у відсотках (%), записаних десятковим дробом,  $\mu_{\alpha_i} \in [0;1]$ ,  $\beta_i^j \in [0;1]$ ,  $\gamma_{ij}^q \in (0;1)$ .

Із метою з'ясування ступеня важливості кожного фактора в оптимізації вибору режиму роботи ЕО ЗРП обмежують проміжні цільові функції (ПЦФ)

$$\varphi_{ij}^{q,l}(\beta_{ij}^q, \gamma_{ij}^q) = \frac{1}{n \cdot m \cdot k} \sum_{q,l=1}^p (\mu_{\alpha_i} \cdot \beta_{ij,p}^q \cdot \gamma_{ij,q}^l)$$

$$j = \overline{1, m}, l = \overline{1, p}, i = \overline{1, p}$$

де  $i$  – номер фактора,  $j$  – номер критерію  $i$ -го фактора;  $q$  – номер електрообладнання (джерела ЕЕ),  $p$  – кількість режимів в  $j$ -му критерії в  $i$ -му факторі,  $n$  – кількість факторів,  $m$  – кількість критеріїв,  $k$  –

кількість обладнання, яке споживає (генерує) ЕЕ, 1 – кількість режимів в j-му критерії i-го фактора [4].

Якщо фактори  $\alpha_i$  рівнозначні, то  $\mu_{ai}$  мають рівні числові значення, які можна обчислити за формулою  $\mu_{ai} = \frac{1}{n}$ . Для спрощення обчислення можна прийняти кожне  $\mu_{ai}$  рівними одиниці, тобто  $\alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_n = 1$ . Якщо  $\mu_{ai}$  обчислюють, то одержують числові значення у вигляді десяткових дробів, під час чому  $0 < \mu_{ai} < 1, \sum_{i=1}^n \mu_{ai} = 1$ .

Якщо фактори  $\alpha_i$  нерівнозначні (рівні прояву (впливу)), різні, то ступінь їх важливості ( $\mu_i$ ) визначають у відсотках (%), які записують у вигляді десяткових дробів, причому  $0 < \mu_{ai} < 1$ .

Для обчислення числових значень  $\beta_{ij}^l, \gamma_{ij}^l$  необхідно скласти таблицю для кожного критерію відповідного фактора, визначивши режими за кожним критерієм для всіх типів обладнання, визначивши значення вагових коефіцієнтів за кожним режиму для кожного типу обладнання. У таблиці по горизонталі розміщують типи обраного обладнання ( $q = \overline{1, k}$ , кількість ЕО), а по вертикалі, для кожного критерію, – номери режимів ( $l = \overline{1, p}$ , p – кількість режимів, що відповідають даному критерію).

Наприклад, якщо  $i=2, j=1, q=5, p=3$ , тобто для 2-го фактора, 1-го критерію, із 3-ма режимами, для 5-ти типів обладнання, матимемо такий вигляд таблиці:

$$A_{ijq}^l = \begin{pmatrix} q_1 l_1 & \dots & q_1 l_p \\ \dots & \dots & \dots \\ q_k l_1 & \dots & q_k l_p \end{pmatrix}$$

- .....в/к обладнання відносно режимів роботи ЕО  $\beta_i^j$  критерій,  $\alpha_i$  фактора, де  $q_k l = \gamma_{ij}^l, \dots$

Тобто по вертикалі утворюються кортежі для кожного типу \_\_\_\_\_ обладнання для  $q_1$ :

$$\left\{ \frac{\mu_{ai}}{\gamma_{ijq_1}^l}; \frac{\mu_{ai}}{\gamma_{ijq_2}^l}; \dots; \frac{\mu_{ai}}{\gamma_{ijq_k}^l}; \dots \right\}; q_2: \left\{ \frac{\mu_{ai}}{\gamma_{ijq_1}^l}; \frac{\mu_{ai}}{\gamma_{ijq_2}^l}; \dots; \frac{\mu_{ai}}{\gamma_{ijq_k}^l}; \dots \right\}; \dots; q_k: \left\{ \frac{\mu_{ai}}{\gamma_{ijq_1}^l}; \frac{\mu_{ai}}{\gamma_{ijq_2}^l}; \dots; \frac{\mu_{ai}}{\gamma_{ijq_k}^l}; \dots \right\}$$

Потім знаходять середнє значення вагових коефіцієнтів кожного кортежу для кожного номера обладнання, утворивши кортеж середніх значень вагових коефіцієнтів для всіх номерів обладнання за формулою:

$$\gamma_{ijq_{cp}}^{l-p} = \frac{1}{p} \sum_{l=1}^p \gamma_{ijq_l}^l = \frac{1}{p} (\gamma_{ijq_1}^{l_1} + \gamma_{ijq_2}^{l_2} + \gamma_{ijq_3}^{l_3} + \dots)$$

Аналогічно для кожного типу ЕО ( $q_k$ ):

$$q_1, \dots, q_k: \left\{ \gamma_{ijq_1 cp}^{l-p}; \gamma_{ijq_2 cp}^{l-p}; \gamma_{ijq_3 cp}^{l-p}; \dots; \gamma_{ijq_k cp}^{l-p} \right\}$$

Потім знаходять середнє сумарне загальне значення по всіх режимах і типах обладнання за формулою:

$$\gamma_{ijq_{1-k cp}}^{l-p} = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k \gamma_{ijq}^l = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{p} (\gamma_{ijq_1 cp}^{l-p} + \gamma_{ijq_2 cp}^{l-p} + \gamma_{ijq_3 cp}^{l-p} + \dots + \gamma_{ijq_k cp}^{l-p})$$

Для кожного i-го фактора, j-го критерію, по всіх режимах l, для всіх типів обладнання q середнє значення вагових коефіцієнтів (по вертикалі). Аналогічно проводять обчислення числових середніх значень вагових коефіцієнтів для всіх режимів і типів обладнання по горизонталі, під час чого числові значення вагових коефіцієнтів в кожній клітинці таблиці є однаковими як для  $\gamma_{ijq_1}^l$ , так і для  $\beta_{ij}^{q_l}$ , тобто  $\gamma_{ijq_1}^l = \beta_{ij}^{q_l}$ , які знаходяться в інтервалі [0; 1], визначаються експертним шляхом [5].

Загальний вигляд оптимізації режимів роботи обладнання:

$$K_{ijq} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \beta_{11}^{q_1} & \dots & \alpha_1 \beta_{11}^{q_2} & \dots & \alpha_1 \beta_{11}^{q_k} & \dots & \alpha_1 \beta_{12}^{q_1} & \dots & \alpha_1 \beta_{12}^{q_2} & \dots & \alpha_1 \beta_{12}^{q_k} & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_n \beta_{n1}^{q_1} & \dots & \alpha_n \beta_{n1}^{q_2} & \dots & \alpha_n \beta_{n1}^{q_k} & \dots & \alpha_n \beta_{n2}^{q_1} & \dots & \alpha_n \beta_{n2}^{q_2} & \dots & \alpha_n \beta_{n2}^{q_k} & \dots \end{pmatrix}$$

$\alpha_8 (\beta_8^j) \rightarrow \min$

**Висновки.** 1. На залізородних підприємствах актуальним та можливим є впровадження

Обладнання		q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	q <sub>4</sub>	q <sub>5</sub>	...	q <sub>k</sub>
Режими		$\gamma_{211cp}^1$	$\gamma_{212cp}^1$	$\gamma_{213cp}^1$	$\gamma_{214cp}^1$	$\gamma_{215cp}^1$	...	$\gamma_{21kcp}^1$
		$\gamma_{211}^1$	$\gamma_{212}^1$	$\gamma_{213}^1$	$\gamma_{214}^1$	$\gamma_{215}^1$	...	$\gamma_{21k}^1$
$\alpha_2^{(ф)} (\beta_2^{(кр)})^1$	l <sub>1</sub>	$\gamma_{211}^1$	$\gamma_{212}^1$	$\gamma_{213}^1$	$\gamma_{214}^1$	$\gamma_{215}^1$	...	$\gamma_{21k}^1$
	l <sub>2</sub>	$\gamma_{211}^2$	$\gamma_{212}^2$	$\gamma_{213}^2$	$\gamma_{214}^2$	$\gamma_{215}^2$	...	$\gamma_{21k}^2$
	l <sub>3</sub>	$\gamma_{211}^3$	$\gamma_{212}^3$	$\gamma_{213}^3$	$\gamma_{214}^3$	$\gamma_{215}^3$	...	$\gamma_{21k}^3$
	...	...	...	...	...	...	...	...
	l <sub>p</sub>	$\gamma_{211}^p$	$\gamma_{212}^p$	$\gamma_{213}^p$	$\gamma_{214}^p$	$\gamma_{215}^p$	...	$\gamma_{21k}^p$

в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел енергії. Водночас із метою достатньо енергоефективного використання таких мініелектростанцій у структурах систем електроживлення необхідно ґрунтовно аналізувати питання,

пов'язані з режимами роботи енергетичного обладнання цих підприємств.

2. Запропонований метод дозволяє оптимізувати роботу енергетичного обладнання залізрудних підприємств під час впровадження до структури їх електропостачання розосередженої генерації.

#### Список літератури:

1. 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 залізрудних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг : Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
2. Shumilova G.P., Gotman N.E., Startceva T.B. Electrical load forecasting using an artificial intelligent methods // RNSPE, 10-14 September, 2001, Proceedings. Kazan: Kazan State Power Eng. University, 2001. Vol. I. P. 440–442.
3. Baumann T., Germond A. Application of the Kohonen Network to Short-Term Load Forecasting. IEEE 0-7803-1217-1. 1993. P. 407–412.
4. Кузнецов М.П. Методи оцінки випадкових параметрів роботи енергосистем з інтегрованими вітровими електростанціями. *Відновлювана енергетика*. 2014. № 1. С. 59–64.
5. Buchholz B., Styczynski Z. Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks, Springer 2014. 396 p.
6. Shumilova G.P., Gotman N.E., Startceva T.B. Electrical load forecasting using an artificial intelligent methods // RNSPE, 10-14 September, 2001, Proceedings. Kazan: Kazan State Power Eng. University, 2001. Vol. I. P. 440–442.
7. Bayir R. Kohonen Network based fault diagnosis and condition monitoring of serial wound starter motors [Text] / R. Bayir, O. F. Bay: IJSIT Lecture Note of International Conferense on Intelligent Knowledge Systems, Vol. 1, № 1, 2004.
8. Charytoniuk W., Chen M.S. Short-term Forecasting in Power Systems Using a General Regression Neural Network // IEEE Trans. on Power Systems. 1995. Vol. 7. № 1.

#### **Sinchuk O.M., Boiko S.M., Nekrasov A.V., Noznova M.O., Onichenko A.O. METHOD OF OPTIMIZING OPERATING MODES FOR POWER EQUIPMENT OF IRON ORE ENTERPRISES**

*The purpose of this work is to develop a method of optimizing the modes of operation of power equipment of iron ore enterprises under the condition of the introduction of dispersed generation in their power supply system. Taking into account the fact that introduction of renewable energy sources into the general structure of power systems of distributed generation is urgent at the enterprises. In a number of previous studies, the authors substantiate the need to optimize the modes of operation of electrical equipment of iron ore enterprises in the application of dispersal generation, on the criteria of cost-effectiveness and efficiency involves the formation of effective regimes in conditions of constant increase in the load of electricity consumers and increase the real component of the consumed electricity generated by electricity. For maximum economic effect in the application of distributed generation in conditions of iron ore enterprises, load management systems and storage equipment, it is especially important to organize the planning of power consumption, operational and optimal choice of modes of generation of electric energy of distributed generation in the conditions of iron ore enterprises (mines or quarries) operational control of the operating modes of power equipment used to ensure efficient and uninterrupted operation The functioning of the equipment of electric consumers of iron ore enterprises in order to reduce the cost of production of iron ore raw materials, in terms of harmonization of operating modes of sources of generation of iron ore enterprises and external power grid.*

*Given the realities of today, the issue of improving the energy efficiency of iron ore enterprises is urgent. Meanwhile, it is equally important that, despite the shortage of electrical power, losses from emergency power outages are increasing every year. Each parameter of the general optimization of the choice of modes of operation of the power equipment of iron ore enterprises has a different degree of influence. Therefore, we propose to use the proposed objective function to develop optimal modes of operation of sources of dispersed generation in the conditions of iron ore enterprises by the criteria of economy and efficiency. This approach allows determining the factors and criteria for optimizing the functioning of the energy equipment of these enterprises. The proposed method allows to optimize the operation of power equipment of iron ore enterprises in the implementation of dispersed generation in the structure of their electricity supply.*

**Key words:** dispersed generation, power equipment, power supply of iron ore enterprises, optimal robot modes.