

УДК 621.311.4.031

DOI: 10.25140/2411-5363-2020-3(21)-242-248

Олег Сінчук, Сергій Бойко, Олексій Городній, Яна Долударєва, Андрій Димерець

**МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОГО
ОБЛАДНАННЯ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ**

Актуальність теми дослідження. Одним 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 ситуаціях 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. Це обумовлює загалом актуальність вивчення питань особливостей прогнозування електроспоживання з мережі в умовах підприємств та актуальності застосування при цьому комбінованого підходу, особливо при впровадженні в структуру електропостачання цих підприємств розосередженої генерації.

Постановка проблеми. Проблемою цієї роботи є питання підвищення енергоефективності гірничорудних підприємств. До того ж досвід показує, що попри недовантаження електричних потужностей, збитки від аварійних перерв енергозабезпечення з кожним роком зростають.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх авторських дослідженнях було обґрунтовано необхідність оптимізації режимів роботи електричного обладнання гірничорудних підприємств у разі застосування розосередженої генерації. За критеріями економічності та ефективності передбачається формування ефективних режимів в умовах постійного зростання навантаження електроспоживачів та збільшення реальної складової спожитої електричної енергії (ЕЕ), згенерованої при використанні розосередженої генерації. Для досягнення максимального економічного ефекту при застосуванні розосередженої генерації в умовах гірничорудних підприємств, систем керування навантаженням та акумулюючого обладнання, особливо важливим є організація планування електроспоживання, оперативного й оптимального вибору режимів генерації електричної енергії, розосередженої генерації та оперативного керування режимами роботи енергетичного обладнання, яке використовується для забезпечення ефективного й безперервного функціонування обладнання електроспоживачів гірничорудних підприємств, з метою здешевлення видобування залізорудної сировини, в умовах узгодження режимів роботи джерел генерації гірничорудних підприємств і зовнішньої електромережі.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Враховуючи складність технологічного процесу та специфіку функціонування гірничих підприємств, актуальним науково-практичним завданням є розробка методу оптимізації режимів роботи енергетичного обладнання залізорудних підприємств при впровадженні в структуру електропостачання цих підприємств розосередженої генерації.

Постановка завдання. Таким чином, актуальним науково-практичним завданням є синтез методу оптимізації режимів роботи енергетичного обладнання залізорудних підприємств при впровадженні в структуру їх електропостачання розосередженої генерації. Це дозволить ефективно впроваджувати джерела розосередженої генерації в структуру електропостачання гірничорудних підприємств.

Виклад основного матеріалу. Враховуючи те, що на підприємствах актуальним є впровадження в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації, запропоновано впровадження відновлюваних джерел енергії. 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 гірничорудних підприємств має різний ступінь впливу. Тому для вироблення оптимальних режимів роботи джерел розосередженої генерації в умовах гірничорудних підприємств за критеріями економічності та ефективності, пропонуємо використати запропоновану цільову функцію.

Висновки відповідно до статті. На гірничорудних підприємствах актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел енергії. Водночас з метою достатньо енергоефективного використання таких мініелектростанцій у структурах систем електроживлення необхідно ґрунтовно аналізувати питання, пов'язані з режимами роботи енергетичного обладнання цих підприємств. Запропонований метод дозволяє оптимізувати роботу енергетичного обладнання гірничорудних підприємств при впровадженні до структури їх електропостачання розосередженої генерації.

Ключові слова: розосереджена генерація; енергетичне обладнання; електропостачання гірничорудних підприємств; оптимізація режимів роботи.

Табл.: 1. Бібл.: 9.

Постановка проблеми. Зважаючи на реалії сьогодення, питання підвищення енергоефективності гірничорудних підприємств (ГРП) є актуальним. До того ж досвід показує, що незважаючи на недовантаження електричних потужностей, збитки від аварійних перерв енергозабезпечення з кожним роком зростають.

Одним 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 ситуаціях 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 загалом актуальність вивчення питання особливостей прогнозування електроспоживання з мережі в умовах підприємств та актуальності застосування при цьому комбінованого підходу, особливо при впровадженні в структуру електропостачання цих підприємств розосередженої генерації (РГ) [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У попередніх дослідженнях авторами обґрунтовано необхідність оптимізації режимів роботи електричного обладнання ГРП при застосуванні РГ. За критеріями економічності та ефективності передбачається формування ефективних режимів в умовах постійного зростання навантаження електроспоживачів та збільшення реальної складової спожитої електричної енергії (ЕЕ), згенерованої при використанні РГ [2-9].

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

Визначення недосліджених частин загальної проблеми. Отже, актуальним науково-практичним завданням є розробка методу оптимізації режимів роботи енергетичного обладнання залізорудних підприємств при впровадженні в структуру електропостачання цих підприємств РГ.

Мета статті. Головною метою цієї роботи є розробка методу оптимізації режимів роботи енергетичного обладнання залізорудних підприємств при впровадженні в структуру електропостачання цих підприємств РГ.

Виклад основного матеріалу. З метою вироблення оптимізованих режимів ЕО ЗРП, необхідно виділити основні, найбільш ефективні складові, які безпосередньо впливають на рівень оптимізації в цілому, тобто фактори впливу (α_i) та сформулювати їх зміст, визначивши ступінь впливу (прояву) на процес оптимізації. В умовах ЗРП при застосуванні РГ можна виділити найбільш впливові фактори, кожний з яких залежить від критеріїв β_i^j , які визначають ступінь впливу цього фактору на визначення оптимальних режимів роботи ЕО в умовах ЗРП.

Водночас необхідно визначитись у способах застосування кожного окремо взятого джерела ЕЕ, його розташуванні та їхніх параметрах, економічній доцільності використання РГ в умовах ГРП. 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 негативного 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, мінімізація забруднення водних артерій, зменшення впливу на ерозію поверхні, зміну рівня ґрунтових вод та заболочення прилеглих територій та інше [8].

Тому необхідно врахувати типи і кількість РГ та можливий вплив на вироблення оптимальних і ефективних режимів роботи ЕО ГРП, а саме вплив кожного джерела генерації ЕЕ (γ_{ij}^n) та режимів використання РГ ($l = 1, p$, де 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 ГРП за критеріями економічності та ефективності пропонуємо використати цільову функцію загального виду:

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

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

де α_i – i -й фактор,

β_i^j – рівень впливу j -го критерію i -го фактору;

γ_{ij}^q – рівень впливу в i -му факторі, j -му критерії;

$l = 1, n, n$ – кількість факторів,

$l = 1, m, m$ – кількість критеріїв,

$q = 1, k, k$ – кількість обладнання (ДРГ) ЕО $l = 1, p, p$ – кількість режимів прояву критерію даного фактора.

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

З метою з'ясування ступеня важливості кожного фактору на оптимізацію вибору режиму роботи ЕО ЗРП, обмежують проміжні цільові функції (ПЦФ):

$$\phi_{ij}^{ql}(\beta_{ij}^{lq}, \gamma_{ij}^{ql}) = \frac{1}{n \cdot m \cdot k} \sum_{q,l=1}^{l=p, q=k} (\mu_{\alpha_i} \cdot \beta_{ijl_{cp}}^{lq} \cdot \gamma_{ijq_{cp}}^{ql}), j = \overline{1, m}, j = \overline{1, k}, j = \overline{1, p}$$

де i – номер фактору,

j – номер критерію i -го фактору;

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,

l – кількість режимів в j -му критерії i -го фактору [4].

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

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

Для обчислення числових значень $\beta_{i_{cp}}^{jl}, \gamma_{ij_{cp}}^l$ необхідно скласти таблицю для кожного критерію відповідного фактору, визначивши режими по кожному критерію для всіх типів обладнання, визначивши значення вагових коефіцієнтів по кожному 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, номера режимів $l = \overline{1, p}$, p – кількість режимів, що відповідають цьому критерію.

Наприклад, якщо $i = 2, j = 1, q = 5, p = 3$, тобто для 2-го фактору, 1-го критерію, із трьома режимами, для п'яти типів обладнання, матимемо вигляд таблиці.

Таблиця

Режими роботи обладнання

Обладнання		q1	q2	q3	q4	q5	...	qk
γ_{cp}^l		$\gamma_{211_{cp}}^1$	$\gamma_{212_{cp}}^1$	$\gamma_{213_{cp}}^1$	$\gamma_{214_{cp}}^1$	$\gamma_{215_{cp}}^1$...	$\gamma_{21k_{cp}}^1$
$\alpha_2(\beta_2)$	l_1	γ_{211}^1	γ_{212}^1	γ_{213}^1	γ_{214}^1	γ_{215}^1	...	γ_{21k}^1
	l_2	γ_{211}^2	γ_{212}^2	γ_{213}^2	γ_{214}^2	γ_{215}^2	...	γ_{21k}^2
	l_3	γ_{211}^3	γ_{212}^3	γ_{213}^3	γ_{214}^3	γ_{215}^3	...	γ_{21k}^3

	l_p	γ_{211}^p	γ_{212}^p	γ_{213}^p	γ_{214}^p	γ_{215}^p	...	γ_{21k}^p

$$A_{ijq}^l = \begin{pmatrix} q_1 l_1 & \dots & q_1 l_p \\ \dots & \dots & \dots \\ q_k l_1 & \dots & q_k l_p \end{pmatrix} - \text{в/к обладнання відносно режимів роботи ЕО } \beta_{i_{cp}}^j \text{ критерій, } \alpha_i$$

фактора, де $q_1 l_1 = \gamma_{ijq1}^1, \dots$

Тобто по вертикалі утворюються кортежі для кожного типу обладнання для $q1: \{\gamma_{ijq1}^1; \gamma_{ijq1}^2; \gamma_{ijq1}^3; \dots\}; q2: \{\gamma_{ijq2}^1; \gamma_{ijq2}^2; \gamma_{ijq2}^3; \dots\}; qk: \{\gamma_{ijqk}^1; \gamma_{ijqk}^2; \gamma_{ijqk}^3; \dots\}$.

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

$$\gamma_{ijqcp}^{l-p} = \frac{1}{p} \sum_{l=1}^p \gamma_{ijq1}^l = \frac{1}{p} (\gamma_{ijq1}^1 + \gamma_{ijq1}^2 + \gamma_{ijq1}^3 + \dots)$$

Аналогічно для кожного типу ЕО (qk): $q1, \dots, qk: \{\gamma_{ijq1cp}^{l-p}; \gamma_{ijq2cp}^{l-p}; \gamma_{ijq3cp}^{l-p} \dots \gamma_{ijqkcp}^{l-p}\}$.

Потім знаходять середнє сумарнє загальнє значення по всіх режимах і типах обладнання за формулою:

$$\gamma_{ijq1-kcp}^{l-p} = \frac{1}{k} \sum_{l=1}^{q=k} \gamma_{ijq}^l = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{p} (\gamma_{ijq1cp}^{l-p} + \gamma_{ijq2cp}^{l-p} + \gamma_{ijq3cp}^{l-p} + \dots + \gamma_{ijqkcp}^{l-p})$$

Для кожного і-го фактору, 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. При чому числові значення вагових коефіцієнтів в кожній клітинці таблиці є однаковими як для γ_{ijq1}^l , так і для β_{jl}^i , тобто $\gamma_{ijq1}^l = \beta_{ijl}^{q1}$, які знаходяться в інтервалі $[0;1]$, визначаються експертним шляхом [9].

Загальний вигляд оптимізації режимів роботи обладнання:

$$K_{ijlq} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \beta_1 l_1 q_1 & \dots & \alpha_1 \beta_1 l_1 q_2 & \dots & \alpha_1 \beta_1 l_1 q_k & \dots & \alpha_1 \beta_1 l_2 q_1 & \dots & \alpha_1 \beta_1 l_2 q_k & \dots & \alpha_1 \beta_1 l_p q_k & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_n \beta_n l_1 q_1 & \dots & \alpha_n \beta_n l_1 q_2 & \dots & \alpha_n \beta_n l_1 q_k & \dots & \alpha_n \beta_n l_2 q_1 & \dots & \alpha_n \beta_n l_2 q_k & \dots & \alpha_n \beta_n l_p q_k & \dots \end{pmatrix}$$

$$\alpha_s (\beta_s^j) \rightarrow \min$$

Висновки відповідно до статті. 1. На гірничорудних підприємствах актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел енергії. Водночас з метою достатньо енергоефективного використання таких мініелектростанцій у структурах систем електроживлення необхідно ґрунтовно аналізувати питання, пов'язані із режимами роботи енергетичного обладнання цих підприємств.

2. Запропонований метод дозволяє оптимізувати роботу енергетичного обладнання гірничорудних підприємств при впровадженні до структури їх електропостачання розосередженої генерації.

Список використаних джерел

1. Синчук О. Н., Синчук І. О., Гузов Э. С., С. М. Бойко, Яловая А. Н. Энергоэффективность железорудных производств. Оценка, практика повышения : монография. Кременчуг : LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH., 2016. 346 с.
2. Синчук О. М., Синчук 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.
3. 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. Pp. 440–442.
4. Baumann T., Germond A. Application of the Kohonen Network to Short-Term Load Forecasting. *IEEE 0-7803-1217-1*. 1993. Pp. 407–412.
5. Кузнецов М. П. Методи оцінки випадкових параметрів роботи енергосистем з інтегрованими вітровими електростанціями. *Відновлювана енергетика*. 2014. № 1. С. 59–64.
6. Buchholz B., Styczynski Z. *Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*, Springer 2014. 396 p.
7. 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. Pp. 440–442.
8. Bayir R., Bay O. F. Kohonen Network based fault diagnosis and condition monitoring of serial wound starter motors. *International Journal of Automotive Technology*. 2005. Vol. 6, No. 4. Pp. 341–350.
9. 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.

References

1. Sinchuk, O. N., Sinchuk, I. O., Guзов, E. S., Boiko, S. M., Ialovaia A. N. (2016). *Enerhoeffektivnost zhelezorudnykh proizvodstv. Otsenka, praktika povysheniia [Energy efficiency of iron ore productions. Assessment, practice of improvement]*. LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH.
2. Sinchuk, O. M., Sinchuk, I. O., Boiko, S. M., Karamanyts, F. I., Yalova, O. M., Parkhomenko, R. O. (2017). *Vidnovliuvani dzherela elektrychnoi enerhii v strukturakh system elektropostachannia zalizorudnykh pidpriemstv. (Analiz, perspektyvy, proekty) [Renewable energy sources in the structures of power supply systems of iron ore enterprises. (Analysis, prospects, projects)]*. Vydavnytstvo PP Shcherbatiykh O. V.

3. Shumilova, G. P., Gotman, N. E., Startceva, T. B. (10-14 September, 2001). Electrical load forecasting using an artificial intelligent methods. *RNSPE*. Kazan State Power Eng. University (pp. 440–442). (Vol. I).
4. Baumann, T., Germond, A. (1993). Application of the Kohonen Network to Short-Term Load Forecasting. *IEEE 0-7803-1217-1* (pp. 407–412).
5. Kuznietsov, M. P. (2014). Metody otsinky vypadkovykh parametriv roboty enerhosystem z intehrovanyimi vitrovymy elektrostantsiyami [Methods for estimating random parameters of power systems with integrated wind power plants]. *Vidnovliuvana enerhetyka – Renewable energy*, 1, pp. 59–64.
6. Buchholz, B., Styczynski, Z. (Springer 2014). *Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*.
7. Shumilova, G. P., Gotman, N. E., Startceva, T. B. (10-14 September, 2001). Electrical load forecasting using an artificial intelligent methods. *RNSPE*. Kazan State Power Eng. University (pp. 440–442) (Vol. I).
8. Bayir, R., Bay, O. F. (2005). Kohonen Network based fault diagnosis and condition monitoring of serial wound starter motors. *International Journal of Automotive Technology*, 6(4), pp. 341–350.
9. Charytoniuk, W., Chen, M. S. (1995). Short-term Forecasting in Power Systems Using a General Regression Neural Network. *IEEE Trans. on Power Systems*, 7(1).

UDC 621.311.4.031

Oleg Sinchuk, Serhii Boiko, Oleksiy Gorodny, Yana Doludarieva, Andrii Dymyrets

METHOD OF OPTIMIZATION OF OPERATING MODES OF ENERGY EQUIPMENT OF MINING ENTERPRISES

Urgency of the research. One of the alternative solutions to the second independent power supply of electricity consumers can be used sources of distributed generation located on the territory of the enterprise, in order to supply responsible electrical receivers in emergency situations and other pseudo-emergency modes, to reduce electricity costs and increase reliability. At the same time, the analysis of the distribution of electricity consumption flows shows that a large share of electricity falls on local energy facilities, which determines the general relevance of studying the peculiarities of forecasting electricity consumption from the grid in enterprises and the relevance of the combined approach, especially in implementing the structure of power supply of these enterprises of dispersed generation.

Actual scientific researches and issues analysis. In a number of previous studies, the authors substantiate the need to optimize the operation of electrical equipment of mining enterprises using distributed generation, according to the criteria of economy and efficiency provides for the formation of efficient modes in a constantly increasing load of consumers and increasing the real component. To achieve maximum economic effect when using distributed generation in mining enterprises, load control systems and storage equipment, it is especially important to organize the planning of electricity consumption, operational and optimal choice of modes of electricity generation of distributed generation in mining enterprises and operational control of equipment operating modes, which is used to ensure efficient and uninterrupted operation of the equipment of electric consumers of mining enterprises, in order to reduce the cost of extraction of iron ore, in terms of coordination of modes of operation of sources of generation of mining enterprises and the external grid.

Uninvestigated parts of general matters defining. Given the complexity of the technological process and the specifics of the operation of mining enterprises, an urgent scientific and practical task is to develop a method for optimizing the operation of iron ore power equipment during the introduction into the power supply structure of these enterprises of dispersed generation.

The research objective. Thus, the actual scientific and practical task is the synthesis of a method for optimizing the modes of operation of iron ore power equipment when introducing distributed generation into the power supply structure of these enterprises, which will effectively implement distributed generation sources in the power supply structure of mining enterprises.

The statement of basic materials. Given the fact that the enterprises are relevant to the introduction into the overall structure of power supply systems of distributed generation, the introduction of renewable energy sources is proposed. Meanwhile, not least, experience shows that despite the underutilization of electricity capacity, losses from emergency power outages are growing every year. Each parameter of the general optimization of the choice of operating modes of power equipment of mining enterprises has a different degree of influence. Therefore, to develop optimal modes of operation of sources of dispersed generation in the conditions of mining enterprises according to the criteria of economy and efficiency, we propose to use the proposed target function.

Conclusions. At mining enterprises, the introduction of dispersed generation power supply systems based on renewable energy sources is relevant and possible. At the same time, in order to sufficiently energy-efficient use of such mini-power plants in the structures of power supply systems, it is necessary to thoroughly analyze issues related to the modes of operation of power equipment of these enterprises. The proposed method allows to optimize the operation of power equipment of mining enterprises in the introduction into the structure of their power supply of dispersed generation.

Keywords: dispersed generation; power equipment; power supply of mining enterprises; optimization of operating modes.

Table: 1. References: 9.

Сінчук Олег Миколайович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, Криворізький національний університет (вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна).

Sinchuk Oleg – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Automation Electromechanical Systems in the Industry and Vehicles, Kryvyi Rih National University (11 Vitalyy Matusevych Str., 50027 Kryvyi Rih, Ukraine).

E-mail: speet@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7621-9979>

ResearcherID: https://www.researchgate.net/profile/Oleg_Sinchuk

Бойко Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, Криворізький національний університет (Криворізький національний університет (вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна).

Boiko Serhii – PhD in Technical Sciences, associate professor of Department of automation electromechanical systems in the industry and vehicles Kryvyi Rih National University (11 Vitalyy Matusevych Str., 50027 Kryvyi Rih, Ukraine).

E-mail: bsn1987@i.ua

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202>

Scopus ID: 56417478200

Городній Олексій Миколайович - кандидат технічних наук, доцент кафедри електроніки, автоматики, робототехніки та мехатроніки, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Gorodny Oleksiy – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Electronics, Automation, Robotics and Mechatronics, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: aleksey.gorodny@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564>

Web of Science: H-1425-2016

Scopus ID: 56338229500.

Долударєва Яна Станіславівна – викладач вищої категорії, викладач-методист, голова циклової комісії природничих наук, кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39600, Україна).

Doludariyeva Yana – Lecturer of the highest category, teacher-methodologist, Chairman of the Cycle Commission of Natural Sciences, PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Kremenchuk Flight College Kharkiv National University of Internal Affairs (17/6 Peremohy Str., 39600 Kremenchuh, Ukraine).

E-mail: boikosn2017@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4089-2010>

Димерець Андрій Віталійович – аспірант кафедри електроніки, автоматики, робототехніки та мехатроніки, Національний університет «Чернігівська політехніка» (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

Dymerets Andrii – PhD student of Department of Electronics, Automation, Robotics and Mechatronics, Chernihiv Polytechnic National University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: andrey.dymerets@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7617-5291>

Scopus ID: 57204287360