

Бойко С.М.

Криворізький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ГІРНИЧОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Метою роботи є розроблення методу визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах гірничорудних підприємств. Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зважаючи на те, що на гірничорудних підприємствах актуальним є впровадження в загальну структуру систем електроживлення джерел розосередженої генерації, актуальним є і питання визначення потенціалу розосереджених джерел енергії. Беручи до уваги наведені у статті результати досліджень і результати досліджень, отримані раніше, можна зробити висновок про те, що використання відновлювальних джерел енергії в умовах залізорудних видобувних комплексів є реальним і для оцінки можливості використання джерел розосередженої генерації, можна використовувати програмний пакет Homer energy. Режими роботи енергетичного обладнання залізорудних підприємств мають вплив на режим електроспоживання всього підприємства. Для визначення оптимальних режимів роботи джерел розосередженої генерації в умовах гірничорудних підприємств за критеріями економічності та ефективності пропонуємо використати запропонований підхід, що описаний алгоритмом. Такий підхід дає змогу визначити фактори та критерії для оптимізації функціонування відновлювальних джерел енергії, що функціонують у складі джерел розосередженої генерації. Метод дає змогу визначити потенціал розосереджених джерел енергії під час впровадження їх до структури гірничорудних підприємств. Використання програми Homer energy дасть змогу виконати попереднє оперативне визначення потенціалу системи електропостачання ділянки гірничорудного підприємства під час впровадження джерел розосередженої генерації.

Ключові слова: розосереджені джерела енергії, електропостачання підприємств, програма Homer energy, оптимізація режимів роботи, визначення потенціалу розосереджених джерел енергії.

Постановка проблеми. Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зазвичай витрати на передачу енергії сягають 30% від вартості її вироблення.

Наявні методики для проектування системи електропостачання віддалених споживачів переважно розглядають як альтернативу централізованому електропостачанню, електропостачання шляхом генерації електроенергії на базі джерел розосередженої генерації (ДРГ) або шляхом використання котелень, дизель-генераторів.

Утім, освоєння потенціалу ДРГ – це технічно важкорезалізоване нині завдання, яке пов'язане з низькою щільністю потоку енергії від ДРГ і залежністю їх від природних умов. Вартість отримання енергії, хоча вона і щорічно знижується, залишаються значно вищою, ніж у тради-

ційних енергоресурсів, а необхідних кардинальних технічних рішень поки немає.

Технологічне об'єднання енергії ДРГ і енергії вуглеводневого палива в одній системі має суттєві техніко-економічні переваги. Ця перевага полягає у високій енергетичній ефективності, недосяжній в наявних системах енергопостачання, в простоті інтеграції з додатковими генеруючими потужностями на основі ДРГ з будь-яким ступенем заміщення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень і публікацій [1–6] показав, що енергопостачання з використанням відновлювальних джерел енергії у складі джерел розосередженої генерації є ефективним і доцільним. Низка авторів [7–10] розглядають шляхи визначення потенціалу ДРГ, однак вони не враховують умови роботи споживачів електричної енергії та режими роботи розподільних електричних мереж.

Постановка завдання. Метою статті є розроблення методу визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах гірничорудних підприємств.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Для визначення потенціалу відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), що входять до складу джерел розосередженої генерації (ДРГ) в умовах ГРП, необхідно мати як можна повніші і чіткі дані про електропостачання (ЕП) і електроспоживання навантаження (ЕС) електрообладнанням (ЕО) залізничного підприємства (ЗРП) протягом доби, а також наявність даних про витрати електричної енергії (ЕЕ) в електромережі (ЕМ) ЕП і ЕС.

Наступним кроком є аналіз ЕС ЕЕ насосами під час відкачування води протягом доби в різних тарифних зонах та інтервалах часу з урахуванням режимів використання насосів різних типів (різної потужності), в умовах не використання ВДЕ, що входять до складу ДРГ, до оптимізації графіка роботи насосів, обчисливши сумарну спожиту ЕЕ насосами за формулою:

$$(C - \delta_{ps}^{\tau}) \sum W_{\text{сп. нас. бС}}^{\tau} \text{ розр}$$

Потім необхідно виконати необхідні розрахунки ЕС ЕЕ насосами ЗРП за оптимізації графіка роботи насосів протягом доби за формулою:

$$(C - \delta_{ps}^{\tau}) \sum W_{\text{сп. нас. бС}}^{\tau} \text{ оптим}$$

Якщо після оптимізації графіка роботи насосів ЕС ЕЕ є меншим, ніж до оптимізації (так)

$$(C - \delta_{ps}^{\tau}) \sum W_{\text{сп. нас. бС}}^{\tau} \text{ розр} > (C - \delta_{ps}^{\tau}) \sum W_{\text{сп. нас. бС}}^{\tau} \text{ оптим}$$

то переходять до іншого етапу – аналіз витрат ЕЕ, а якщо нерівність не виконується (ні), то повертається до аналізу ЕС ЕЕ насосами ЗРП до оптимізації графіка роботи насосів.

Після обчислення витрат ЕЕ в ЕМ до використання ВДЕ, що входять до складу ДРГ в умовах ЗРП ($\sum W_{\text{втр. qS}}^{\tau}$), та витрат ЕЕ в ЕМ після впровадження ВДЕ, що входять до складу ДРГ в умовах ЗРП ($\sum W_{\text{втр. qS}}^{\tau}$), та порівняння їх $\sum W_{\text{втр. qS}}^{\tau} < \sum W_{\text{втр. qS}}^{\tau}$ під час виконання нерівності (так) переходять до наступного етапу, а якщо не виконується (ні), то повертаються на початок аналізу витрат ЕМ.

Потім обчислюють вартість можливої закумуляованої ЕЕ ГАЕС протягом тарифної зони «ніч» (S_3) за формулою:

$$B_3^{IAEC} = (W_{IAEC_3}^{\tau} \cdot \eta_3) \cdot k_3 \cdot T$$

та вартості переданої в ЕМ ЕС ЗРП від ГАЕС протягом тарифних зон «пік» (S_1) і «п/пік» (S_2) за формулою:

$$B_1 + B_2 = \sum (W_{IAEC_1}^{\tau} \cdot \eta_1) \cdot k_1 \cdot T + \sum (W_{IAEC_2}^{\tau} \cdot \eta_2) \cdot k_2 \cdot T$$

Якщо виконується нерівність (так) ($B_3^{IAEC} < (B_1^{IAEC}) + (B_2^{IAEC})$), то переходять до наступного етапу, а якщо не виконується (ні), то переходять до попередніх етапів обчислення вартості закумуляованої та переданої ЕЕ в ЕМ ЕС ЗРП.

На цьому етапі обчислюють вартість закумуляованої ЕЕ акумуляторними батареями (АБ) протягом тарифної зони «ніч» (S_3) за формулою:

$$B_3^{AB} = \sum (W_{AB_3}^{\tau} \cdot \eta_3) \cdot k_3 \cdot T$$

та вартості ЕЕ, переданої в ЕМ ЕС ЗРП від АБ протягом тарифних зон «пік» (S_1) і «п/пік» (S_2) за формулою:

$$B_1^{AB} + B_2^{AB} = \sum (W_{AB_1}^{\tau} \cdot \eta_1) \cdot k_1 \cdot T + \sum (W_{AB_2}^{\tau} \cdot \eta_2) \cdot k_2 \cdot T$$

Якщо виконується нерівність (так) ($B_3^{AB} < (B_1^{AB}) + (B_2^{AB})$), то переходять до наступного етапу, а якщо не виконується (ні), то переходять до попередніх етапів обчислення вартості закумуляованої та переданої ЕЕ в ЕМ ЕС ЗРП.

Обчислення та аналіз ЕС і ЕП згенерованого сумарного потенціалу ДРГ виконуються за формулою:

$$\sum W_{ji}^{\tau} = \sum W_{\text{спож. рС}}^{\tau} + \sum W_{\text{спож. бС}}^{\tau} + \sum W_{\text{втр. qS}}^{\tau} + \sigma_s^{\tau} \cdot \sum W_{\text{ГАЕС, cS}}^{\tau} \cdot \tau_s^{\tau} + \gamma_s^{\tau} \cdot \sum W_{\text{АБ, cS}}^{\tau} \cdot \eta_s^{\tau} - \sum W_{\text{ЗЕМ, S}}^{\tau}$$

Потім обчислюють рівень ЕП ЕЕ із зовнішньої електромережі (ЗЕМ) в різних тарифних зонах (S) за формулою:

$$\sum W_{\text{ЗЕМ, S}}^{\tau} = \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_1}^{\tau} + \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_2}^{\tau} + \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_3}^{\tau}$$

Обчислюють вартість спожитої ЕЕ обладнанням ЗРП із ЗЕМ протягом доби по різних тарифних зонах (S) за формулою:

$$B_{\sum \text{ЗЕМ, S}}^{\tau} = B_{\sum \text{ЗЕМ, S}_1}^{\tau} + B_{\sum \text{ЗЕМ, S}_2}^{\tau} + B_{\sum \text{ЗЕМ, S}_3}^{\tau} = \sum W_{\text{ЗЕМ, S}}^{\tau} = \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_1}^{\tau} \cdot k_1 \cdot T + \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_2}^{\tau} \cdot k_2 \cdot T + \sum W_{\text{ЗЕМ, S}_3}^{\tau} \cdot k_3 \cdot T$$

та сумарної вартості можливої згенерованої ЕЕ ДРГ у умовах ЗРП ($B_{\sum \text{ВДЕ}}$). Якщо виконується рівність (так)

$$B_{\sum \text{ВДЕ}} = B_{\sum \text{спож. облад.}} + B_{\sum \text{спож. насос.}} + B_{\sum \text{втр.}} - B_{\sum \text{ЗЕМ}} - B_{\sum \text{АВ}}$$

то переходимо до наступного стану, якщо не виконується (ні), то переходять до попереднього етапу (обчислення ЕП із ЗЕМ).

Потім необхідно з'ясувати можливості короткочасного мінімального забезпечення ЕС ЕО ЗРП, якщо ЕП із ЗЕМ недостатнє ($W_{ЗЕМ} \rightarrow 0$), тобто $W_{\Sigma ВДЕ} = \sum_{\text{стож.обл.}}^{\min}$, та резервно необхідного рівня електрозабезпечення ЕС ЗРП в критичних умовах, коли ЕП із ЗЕМ $W_{ЗЕМ} = 0$, тобто $W_{\text{рез.необх}} \leq W_{\Sigma ВДЕ}$. Якщо обидві умови виконуються (так), тоді переходять до розрахунку параметрів ДРГ та аналізу-

ють можливості їхнього використання в умовах ЗРП, а якщо вищеперелічені умови не виконуються (ні), тоді переходять до попередніх етапів обчислення можливого забезпечення необхідних рівнів енергопостачання ДРГ за недостатнього ЕП із ЗЕМ та в критичних умовах ЕП із ЗЕМ [11].

Детально аналізують параметри різних типів ВДЕЕ, їхні режими генерації ЕЕ, вартість облад-

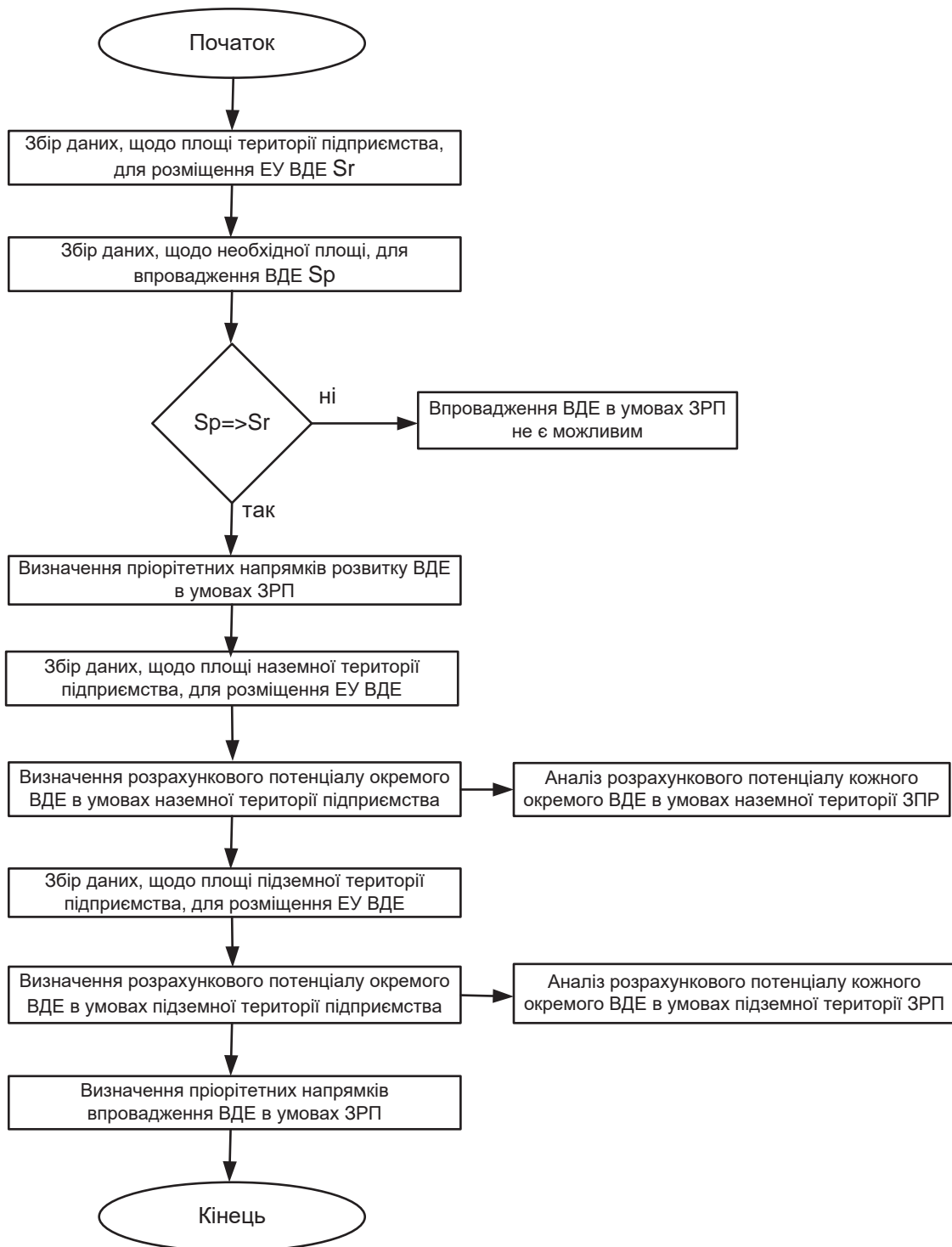


Рис. 1. Алгоритм програми Nomer energy

нання експлуатації, можливу вартість розміщення, вибрані типи ДРГ в умовах ЗРП, а також можливі терміни окупності в умовах ЗРП, тобто обчислюють термін окупності оптимальний ($T_{окуп.}^{opt}$) і термін окупності розрахунковий ($T_{окуп.}^{розр.}$). Якщо виконується нерівність (так) $T_{окуп.}^{opt} > T_{окуп.}^{розр.}$, тоді переходять до аналізу рівня впливу вибраних типів ДРГ для впровадження в умовах ЗРП на екологію навколишнього середовища і виробничий процес.

Якщо рівень впливу ДРГ на екологію та виробничий процес у межах допустимих норм (так), тоді переходять до аналізу рівня впливу впроваджених ДРГ на собівартість залізорудної сировини (ЗРС) в умовах ЗРП, тобто розраховують собівартість ЗРС без впровадження ВДЕ, що входять до складу ДРГ ($CB_{без\ ВДЕ}^{ЗРС}$) і собівартість ЗРС після впровадження ВДЕ, що входять до складу ДРГ ($CB_{впров.\ ВДЕ}^{ЗРС}$). Якщо виконується нерівність (так) $CB_{без\ ВДЕ}^{ЗРС} > CB_{впров.\ ВДЕ}^{ЗРС}$, то переходять до підготовки проектно-технічної документації для одержання дозволу на впровадження вибраних типів ДРГ в умовах ЗРП, а якщо не виконується (ні), то переходять до перегляду ЕС і ЕП в умовах ЗРП, тобто сумарного потенціалу ВДЕ, що входять до складу ДРГ.

Після одержання необхідних дозвільних документів на впровадження вибраних типів ВДЕ в умовах ЗРП переходять до підготовки технічної та проектно-кошторисної документації для розміщення у вибраних місцях об'єктів ДРГ та їхнього використання [11].

Утім, у середовищі програми Homer energy було змодельовано раніше запропоновану систему електропостачання з використанням РДГ на базі ВЕУ (рис. 2–4) [12].

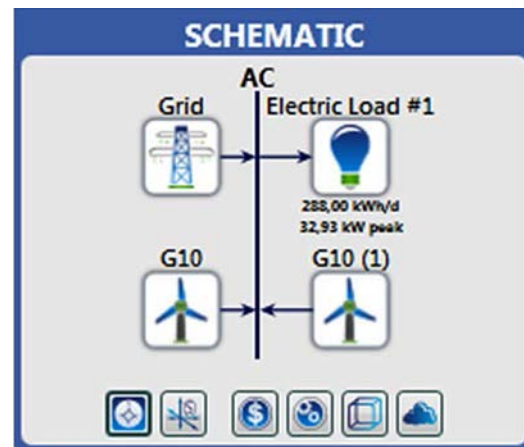


Рис. 2. Схема електроспоживання в програмі Homer energy

Отже, результати моделювання у програмі Homer energy підтверджують інформацію про те, що вона може використовуватися для оперативного визначення потенціалу розосереджених джерел енергії.

Висновки. 1. Беручи до уваги наведені вище результати досліджень і результати досліджень, отримані раніше, можна зробити висновок про те, що використання відновлювальних джерел енергії в умовах залізорудних видобувних комплексів є реальним і для оцінки можливості використання джерел розосередженої генерації, тому можна використовувати програмний пакет Homer energy.

2. Запропонований метод визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах гірничорудних підприємств є ефективним, оскільки результати, отримані під час використання цього методу, та у програмному пакеті Homer energy схожі.

Architecture				Cost				System	G10		G10 (1)		Grid	
G10	G10 (1)	Grid (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€)	Initial capital (€)	Ren. Frac (%)	Capital Cost	Production	Capital Cost	Production	Energy Purchased	Energy Sold
1	1	35,0	CC	0,4698	634 5068	25 8768	300 0008	28	150 000	14 891	150 000	14 891	74 891	19 138

Рис. 3. Оптимальний техніко-економічний варіант автономної енергетичної системи

Architecture				Cost				System	G10		G10 (1)		Grid	
G10	G10 (1)	Grid (kW)	Dispatch	COE (€)	NPC (€)	Operating cost (€)	Initial capital (€)	Ren. Frac (%)	Capital Cost	Production	Capital Cost	Production	Energy Purchased	Energy Sold
1	1	35,0	CC	0,4698	634 5068	25 8768	300 0008	28	150 000	14 891	150 000	14 891	74 891	19 138
1	1	35,0	CC	0,9388	1,158M	77 4818	150 0008	16	150 000	14 891			80 102	9 457
1	1	35,0	CC	0,9388	1,158M	77 4818	150 0008	16			150 000	14 891	80 102	9 457
1	1	35,0	CC	1,508	1,668M	128 3048	0,008	0,00019					85 536	0

Рис. 4. Можливий варіант автономної енергетичної системи електропостачання

Список літератури:

- 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 залізорудних підприємств (Аналіз, перспективи, проекти) : монографія. Кривий Ріг : Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
- World Energy Outlook – 2019, OECD/IEA, Paris.

3. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. *Сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України*. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua>.
4. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Собчук Д.С. Оцінювання впливу на якість функціонування локальної електричної системи відновлюваних джерел електроенергії. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2013. Вип. 141. С. 8–10.
5. Синчук О.Н., С.Н. Бойко, Синчук І.О. Система управління електропотреблением горнорудних підприємств с целью повышения электро-энергоэффективности добычи железорудного сырья. *Технічна Електродинаміка. Науково-прикладний журнал*. 2016. № 6. Київ : Інститут Електродинаміки НАН України, 2016. С. 60–62.
6. Бойко С.М., Сінчук О.М., Сінчук І.О., Мінаков І.А. Алгоритм вибору нетрадиційних та відновлювальних джерел електричної енергії до локальної системи електропостачання підприємств гірничовидобувного комплексу. *Electronics and Communications*. 2016. Vol. 21. № 5 (94). С. 6–13.
7. Кармазін О.О. Проблеми вписування ВЕС в загальний баланс ОЕС України. *Відновлювана енергетика*. 2014. № 3. С. 70–76.
8. Факторний простір і дослідження процесу споживання електричної енергії залізорудними підприємствами / Сінчук О.М., Сінчук І.О., Ялова О.М., Вінник М.А. // *Технологический аудит и резервы производства*. Харьков, 2015. № 2/1 (22). С. 48–55.
9. Buchholz B., Styczynski Z. *Smart Grids Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*. Springer, 2014. 396 p.
10. 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.
11. Bayir R., Bay O.F. Kohonen Network based fault diagnosis and condition monitoring of serial wound starter motors. *IJSIT Lecture Note of International Conferense on Intelligent Knowledge Systems*. 2004. Vol. 1. № 1.
12. 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.

Boiko S.M. FEATURES OF DETERMINING THE POTENTIAL OF DISTRIBUTED ENERGY SOURCES IN THE CONDITIONS OF STEEL ENTERPRISES

The purpose of this work is to develop a method for determining the potential of dispersed energy sources in mining enterprises. An analysis of the achievements of modern energy shows that decentralized grid systems using distributed generation sources can be an extremely profitable area for investment, if it is possible to place energy sources near consumers. Considering the fact that introduction of distributed generation sources into the general structure of power supply systems in the mining enterprises is relevant, the question of determining the potential of dispersed energy sources is relevant. The operating modes of the power equipment of iron ore enterprises have an impact on the power consumption of the entire enterprise. Taking into account the results of the research and the results obtained earlier, it can be concluded that the use of renewable energy sources in the conditions of iron ore mining complexes is real and to evaluate the possibility of using the sources of dispersed generation, you can use the software package Homer energy. To determine the optimal modes of operation of the sources of dispersed generation in the conditions of mining enterprises on the criteria of economy and efficiency, we propose to use the proposed approach, which is described by the algorithm. This approach allows us to determine the factors and criteria for optimizing the functioning of renewable energy sources that operate within the dispersed generation. The method allows determining the potential of dispersed energy sources when introducing them into the structure of mining enterprises. The use of the program Homer energy, will allow performing preliminary operational determination of the potential of the power supply system of the site of the mining enterprise with the introduction of sources of dispersed generation.

Key words: *dispersed energy sources, power supply to enterprises, Homer energy program, optimization of operating modes, determining the potential of dispersed energy sources.*