

Особливості визначення потенціалу відновлюваних джерел енергії в умовах залізорудних підприємств

Сінчук О. М., д.т.н, проф., ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)

e-mail speet@ukr.net

ДВНЗ «Криворізький національний університет»
Кривий Ріг, Україна

Бойко С. М., к.т.н., ORCID [0000-0001-9778-2202](https://orcid.org/0000-0001-9778-2202)

e-mail boikosn2017@gmail.com

Шмельов Ю. М., к.т.н., ORCID [0000-0002-7344-3924](https://orcid.org/0000-0002-7344-3924)

e-mail nml.nv.klknau@gmail.com

Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету
Кременчук, Україна

Реферат—У статті наведено особливості визначення потенціалу відновлюваних джерел енергії в умовах залізорудних підприємств. Доведено, базуючись на оцінці та враховуючи особливості вітчизняних залізорудних підприємств, специфіку впровадження відновлюваних джерел енергії в умовах видів підприємств, що аналізуються, та неможливість використовувати при цьому лише існуючі методи оцінки їх потенціалу. Представлено авторське бачення структури методології підвищення енергоефективності залізорудних підприємств при реконфігурації систем їх енергозабезпечення з використанням відновлюваних джерел енергії. Розглянута специфіка визначення потенціалу відновлюваних джерел енергії в умовах залізорудних підприємств. Запропоновано алгоритм визначення потенціалу відновлюваних джерел енергії в умовах залізорудних підприємств з відкритим і підземним способами добування залізорудної сировини, виходячи із специфіки цих підприємств.

Бібл. 10, рис. 1.

Ключові слова — відновлювані джерела енергії; електропостачання; електроспоживання.

I. ВСТУП

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% енергії, спожитої даними видами підприємств, відноситься до розряду електричної енергії (ЕЕ). Однак ЗРП не є еталоном електроенергоефективності, що, в свою чергу, впливає на собівартість ЗРС та її конкурентоспроможність на світовому ринку сировини.

Безумовно, що в усьому комплексі напрямків підвищення енергоефективності ключова роль відводиться самим підприємствам. При цьому, в свою чергу, важливим постає рівень врахування специфічних умов експлуатації в методології вибору найбільш ефективних джерел та специфіки конкретних видів підприємств, що повною мірою стосується підприємств гірничо-видобувного комплексу [1]. Як доведено, однією з ключових сучасних тенденцій розвитку електроенергетики, у тому числі залізорудних підприємств, є перехід до інноваційного перетворення структури галузі на основі нової концепції

Smart Grid, яка включає в себе такі складові, як використання потенціалу активних споживачів, розсереджена генерація, інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом, розподілом і споживанням рівня (ефективне споживання) електричної енергії [2]. Згідно з цим авторами сформовано ключові для сучасних умов аналізованих видів підприємств вимоги світової енергетики, так звані цінності концепції Smart Grid [1]. Серед формалізованих вимог — доступність, надійність, економічність, електроенергоефективність, екологічність та електроенергетична безпека [3].

При розгляді проблем підвищення енергоефективності в процесі видобутку корисних копалин та реалізації основних цінностей концепції Smart Grid постає питання про роль застосування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в створенні міні- та мікроелектростанцій як додаткових джерел ЕЕ в структурах систем електропостачання цих видів промислових підприємств.

Як показали результати досліджень [4], 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. Між тим, їх проектування має свою, притаманну цим підприємствам, специфіку на етапі

визначення потенціалу відновлюваних джерел енергії [4].

Метою роботи є розробка методу визначення потенціалу відновлюваних джерел енергії, адаптованого до умов залізрудних підприємств.

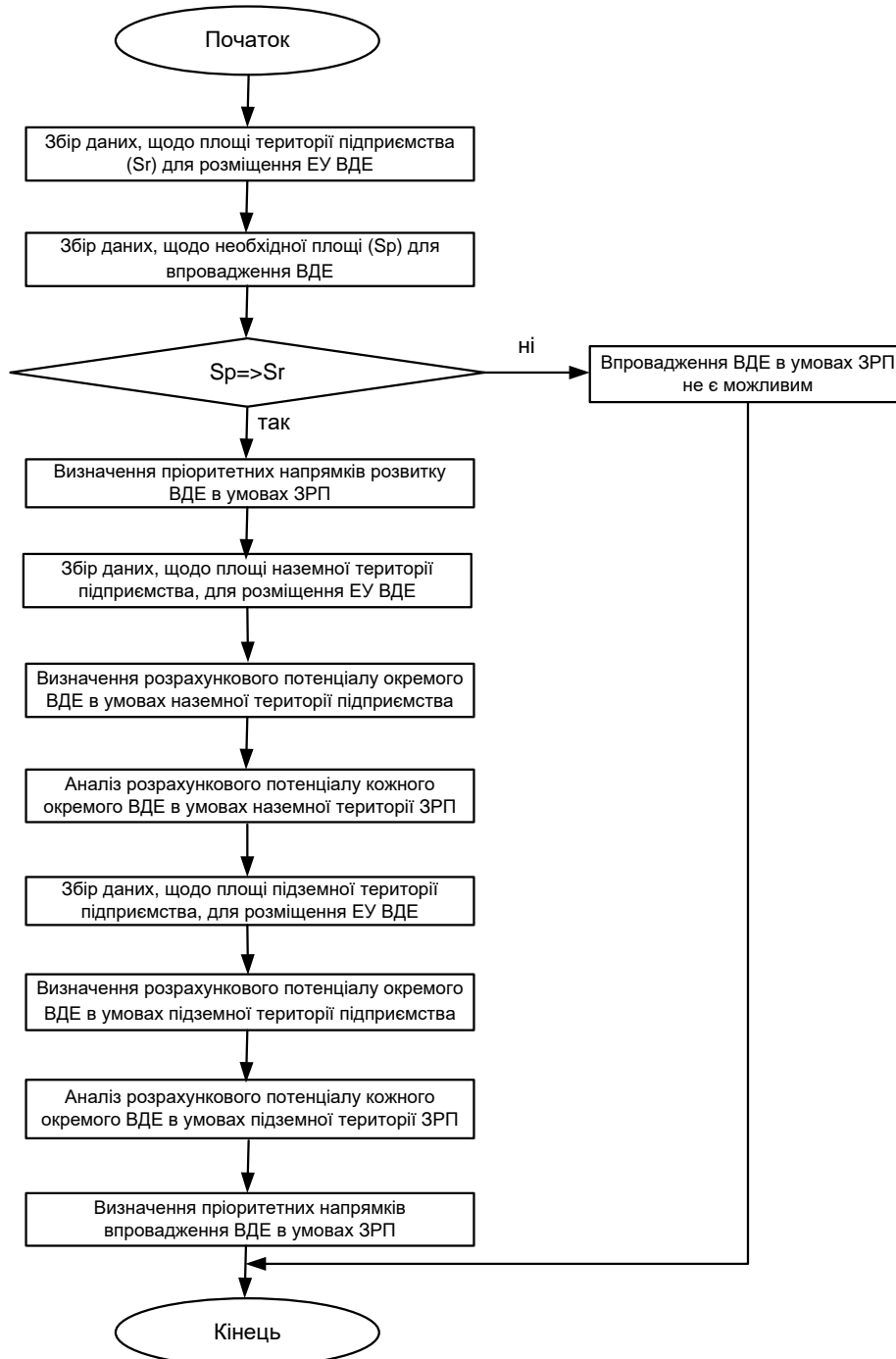


Рис. 1 Алгоритм визначення потенціалу відновлюваних джерел енергії в умовах залізрудних підприємств.

II. МАТЕРІАЛ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як відзначалося раніше, одним з основних факторів впровадження концепції Smart Grid в умовах під-

приємств гірничо-видобувної галузі (ГВГ) є зниження собівартості залізрудної сировини та підвищення надійності системи електропостачання. В свою чергу, найбільший ефект очікується при впровадженні та взаємодії технологій інтелектуальних

мереж, систем керування навантаженням, впровадження ВДЕ [2].

У ряді наукових досліджень розглядається ефективне споживання, переваги активного споживання ЕЕ, у тому числі в умовах підприємств ГВГ, та її заощадження з можливістю використання енергетичних установок (ЕУ) ВДЕ в умовах підприємств ГВГ [4]. Між тим, вся та ж специфіка підприємств ГВГ не дозволяє впроваджувати ці дослідження без додаткових детальних досліджень [1]–[10].

На рис. 1 представлено авторське бачення структури алгоритму визначення потенціалу відновлюваних джерел енергії в умовах залізничних підприємств. За результатами алгоритму мають бути визначені чисельне значення потенціалу ВДЕ та їх типи.

Виходячи із типології структур електроенергетичних систем комплексу електропостачання-електроспоживання ЗРП, авторами було запропоновано структуру методології підвищення енергоефективності ЗРП, при реконфігурації систем їх енергозабезпечення. Згідно запропонованому варіанту, структуру методології підвищення енергоефективності ЗРП умовно можна поділити на три блоки: 1) визначення рівня енергоефективності ЗРП, 2) використання потенціалу активних споживачів, 3) реконфігурація електропостачання ЗРП шляхом впровадження ВДЕ в структуру системи електропостачання. Але при цьому треба розуміти, що реконфігурація електропостачання ЗРП шляхом впровадження ВДЕ в структуру системи електропостачання починається з методу визначення потенціалу ВДЕ в умовах ЗРП.

Запропонований алгоритм корегує деякі моменти (врахування специфічних умов експлуатації та впровадження) визначення потенціалу відновлюваних джерел енергії в умовах залізничних підприємств, до яких можна віднести можливість використовувати незадіяні вентиляційні потоки (в умовах залізничних шахт), можливість розташовувати енергетичні установки (ЕУ) на відвалах кар'єрів та деяке обмеження в корисній площі при розміщенні енергетичних установок на території підприємства.

При цьому логічно, що при визначенні потенціалу ВДЕ в умовах ЗРП за запропонованим алгоритмом є можливість використовувати вже відомі існуючі методи розрахунку потенціалу ВДЕ.

Як приклад розрахунку потенціалу ВДЕ, з метою відображення його специфіки в умовах ЗРП, розглянемо розрахунок потенціалу вітрової енергії на відвалі одного з ЗРП.

Так як встановлення вітроенергетичних установок (ВЕУ) планується на відвалах ЗРП, то середньорічні швидкості вітру повинні бути перераховані на задану висоту розташування ВЕУ (H) за формулою:

$$V_H = V_n (H/h)^m \quad (1),$$

де $m=0,6(V_n)^{-0,77}$, а V_n – середньоперіодна швидкість вітру на висоті флюгера (h).

Беручи до рахунку, що середньорічна швидкість вітру по Полтавській області складає $4,1$ м/с, можна

вирахувати середню швидкість за рік на прикладі західного відвалу ПАТ «Полтавський ГЗК». Висота західного відвалу має висоту 152 м, з урахуванням висоти мачти ВЕУ 48 м та висоти вимірювань швидкості вітру, за формулою (1) отримаємо:

$$V_{zx} = 4,1 \cdot (200 / 10)^{0,2} = 7,46 \text{ м/с}$$

Розрахуємо потужність повітряного потоку на відвалах Полтавського ГЗК за формулою:

$$P_n = 0,5 \cdot \rho \cdot v^3 \cdot S \quad (2)$$

Враховуючи, що площа західного відвалу 7166000 м², розрахункова потужність повітряного потоку на західному відвалі, за формулою (2), мала б становити:

$$P_{n,zx} = 0,5 \cdot 1,226 \cdot 7,46^3 \cdot 7166000 = 1,82 \text{ ГВт}$$

Між тим, враховуючи, що робоча площа західного відвалу буде рівною $\frac{3}{4}$ фактичної площі

$$S_{роб} = \frac{3}{4} \cdot S = 5374500 \text{ м}^2,$$

а з технологічних міркувань, оскільки західний відвал робочий, і ВЕС зможуть зайняти не більше половини цієї площі:

$$S_{роб.ВЕС} = \frac{1}{2} \cdot 5374500 = 2687250 \text{ м}^2,$$

то розрахункова потужність повітряного потоку на західному відвалі, за формулою (2), становитиме:

$$P_{n,zx} = 0,5 \cdot 1,226 \cdot 7,46^3 \cdot 2687250 = 0,68 \text{ ГВт}.$$

Таким чином, як видно з розрахунків, врахування специфіки тільки визначення корисної площі для розміщення ВДЕ в умовах ЗРП дає суттєві відмінності при визначенні потенціалу ВДЕ в умовах ЗРП.

Важливим пунктом в алгоритмі є визначення пріоритетних напрямків розвитку ВДЕ. Специфіка технологічного процесу видобування ЗРС та особливості побудови системи електропостачання на ЗРП вимагають врахування перспективного плану розвитку системи електропостачання підприємства при проектуванні ВДЕ. Якщо розглядати ЗРП з підземним способом видобутку ЗРС, то до специфіки проектування необхідно віднести, наприклад, консервування чи активний видобуток сировини певних горизонтів, а у ЗРП з відкритим (кар'єрним) способом видобутку ЗРС необхідно враховувати площу ділянки на відвалах, яку можна відвести для розташування ЕУ ВДЕ, не впливаючи на технологічний процес.

Одним з прикінцевих пунктів в алгоритмі є визначення пріоритетних напрямків впровадження ВДЕ. Зважаючи на специфіку ЗРП та на необхідність розташовувати ВДЕ якнайближче до споживачів ЕЕ, необхідно враховувати мікроклімат та екологічні фактори потенційної ділянки для розміщення енергетичних установок, оскільки металовмісний пил, вібрації та інші фактори можуть негативно впливати на енергетичні характеристики ВДЕ, що сприятиме швидкій зношеності їх електромеханічних елементів та неефективній роботі.

ВИСНОВКИ

1. Розглянута специфіка визначення потенціалу відновлюваних джерел енергії в умовах залізрудних підприємств.

2. Запропоновано послідовність визначення потенціалу відновлюваних джерел енергії в умовах залізрудних підприємств, виходячи із специфіки цих підприємств.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] A. V. Kirilyenko and A. Others, *Intellektual'nyye elektroenergeticheskiye sistemy: elementy i rezhimy: monografiya [Intellectual Electric Power Systems: Elements and Modes: Monograph]*. Kyiv, Ukraine: Institut elektrodinamiki NAN Ukrainy, 2014.
- [2] O. N. Sinchuk and E. Al., *Potentsial elektroenergoeffektivnosti i puti yego realizatsii na proizvodstvakh s podzemnymi sposobami dobychi zhelezorudnogo syr'ya: monografiya [Potential of electricity efficiency and ways of its implementation in industries with underground methods of. Kremenchuk, Ukraine: CHP Shcherbatiykh A. V., 2015, ISBN: 978-617-639-072-5.*
- [3] S. M. Boiko, I. A. Minakov, O. M. Sinchuk, and I. O. Sinchuk, "The algorithm of selection of non-traditional renewable sources of electric energy in the local power supply system of enterprises of mining complex," *Electron. Commun.*, vol. 21, no. 4, pp. 6–12, Nov. 2016, DOI: [10.20535/2312-1807.2016.21.4.81920](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2016.21.4.81920).
- [4] O. M. Sinchuk, S. M. Boiko, and I. A. Minakov, "Do osoblyvostey realizatsiyi kontseptsiyi Smart Grid v umovakh pidpryyemstv himnycho-vydobuvnoyi haluzi [The peculiarities of the implementation of the Smart Grid concept in the enterprises of mining industry]," *Electron. Commun.*, vol. 22, no. 3, pp. 34–39, 2017, DOI: [10.20535/2312-1807.2017.22.3.102279](https://doi.org/10.20535/2312-1807.2017.22.3.102279).
- [5] O. V. Kirilenko, S. Ê. Tankevich, and V. Y. Zhuykov, *Intelektual'ni elektrychni merezhi: elementy ta rezhimy: monografiya [Intelligent Electric Networks: Elements and Modes: Monograph]*. Kyiv, Ukraine: Institut elektrodinamiki NAN Ukrainy, 2016, ISBN: 978-966-02-7913-1.
- [6] S. Denysiuk and T. Bazuk, "Algorithms for optimal mode selection of energy prosumer," in *2014 IEEE International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS)*, 2014, pp. 171–177, DOI: [10.1109/IEPS.2014.6874174](https://doi.org/10.1109/IEPS.2014.6874174).
- [7] S. P. Denysiuk and T. M. Bazjuk, "Analysis of the impact of distributed generation sources on the grid and the construction of virtual power plants," *Electrif. Transp.*, no. 4, pp. 23–29, 2012.
- [8] P. Lezhnyuk and V. Kulyk, "Functioning optimization of various types of renewable sources of electric energy in electric networks," in *United Kingdom – Vietnam Clean Energy Conference (UK-VN CECE 2012)*, 2012, pp. 487–492.
- [9] B. Stognii, O. Kyrylenko, A. Prakhovnyk, and S. Denysiuk, "The evolution of intelligent electrical networks and their prospects in Ukraine," *Tekhnichna elektrodynamika*, no. 5, pp. 52–67, 2012, URL: http://www.techmed.org.ua/2012_5/st8.pdf.
- [10] B. Buchholz and Z. Styczynski, *Smart Grids – Fundamentals and Technologies in Electricity Networks*. Springer, 2014.

Надійшла до редакції 03 травня 2018 р.

УДК 621.311.4.031

Особенности определения потенциала возобновляемых источников энергии в условиях железорудных предприятий

Синчук О. Н., д.т.н, проф., ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)
e-mail speet@ukr.net

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»
Кривой Рог, Украина

Бойко С. Н., к.т.н., ORCID [0000-0001-9778-2202](https://orcid.org/0000-0001-9778-2202)
e-mail boikosn2017@gmail.com

Шмельов Ю. Н., к.т.н., ORCID [0000-0002-7344-3924](https://orcid.org/0000-0002-7344-3924)
e-mail nml.nv.klknau@gmail.com

Кременчужский летный колледж Национального авиационного университета
Кременчуг, Украина

Реферат—В статье приведены особенности определения потенциала возобновляемых источников энергии в условиях железорудных предприятий. Доказано, основываясь на оценке и учитывая особенности отечественных



железородных предприятий, специфику внедрения возобновляемых источников энергии, в условиях рассматриваемых видов предприятий и невозможность использовать при этом только существующие методы оценки их потенциала. Представлено авторское виденье структуры методологии повышения энергоэффективности железородных предприятий при реконфигурации систем их энергообеспечения с использованием возобновляемых источников энергии. Рассмотрена специфика определения потенциала возобновляемых источников энергии в условиях железородных предприятий. Предложен алгоритм определения потенциала возобновляемых источников энергии в условиях железородных предприятий с открытым и подземным способами добычи железородного сырья, исходя из специфики этих предприятий.

Библ. 10, рис. 1.

Ключевые слова — возобновляемые источники энергии; электроснабжение; электропотребление.

UDC 621.311.4.031

Features of Determination of the Potential of Renewable Energy Sources in the Conditions of Iron Ore Enterprises main Topologies of Multi-level Cascade Voltage Inverters Overview

O. M. Sinchuk, Dr.Sc.(Eng.) Prof., ORCID [0000-0002-7621-9979](https://orcid.org/0000-0002-7621-9979)
e-mail speet@ukr.net

State institution of higher education «Kryvyi Rih National University»
Kryvyi Rih, Ukraine

S. M. Boiko, PhD, ORCID <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202>
e-mail boikosn2017@gmail.com

Yu. M. Shmelov, PhD, ORCID <http://orcid.org/0000-0002-7344-3924>
e-mail nml.nv.klknau@gmail.com

Kremenchutsky flying college of the National Aviation University
Kremenchuk, Ukraine

Abstract—One of the main factors in implementing the concept of Smart Grid in the conditions of the mining industry is reducing cost of iron ore raw materials and increase of reliability of the power supply system. In turn, the greatest effect is expected with the introduction and interaction of technologies of intelligent networks, load management systems, and the introduction of renewable energy sources. The article presents features of determination of the potential of renewable energy sources in the conditions of iron ore enterprises. It is proved, based on the assessment and taking into account the features of domestic iron ore enterprises, the specifics of the implementation of renewable energy sources, in the conditions of the analyzed types of enterprises and the inability to use only existing methods for assessing their potential. The author's vision of the structure of the methodology of increasing energy efficiency of iron ore enterprises is presented, while reconfiguring their energy supply systems with the use of renewable energy sources. Specificity of determination of the potential of renewable energy sources in the conditions of iron ore enterprises is considered. An algorithm for determining the potential of renewable energy sources in the conditions of iron ore enterprises with open and underground mining of iron ore raw materials is proposed, based on the specifics of these enterprises. The proposed algorithm corrects some of the features of determining the potential of renewable energy sources in iron ore enterprises, which include the possibility of using unused ventilation streams (in iron ore mines), the possibility of locating power plants in landfills of quarries and some restrictions in the operation area when placing power plants on the territory of the enterprise. At the same time, it is logical that in determining the potential of renewable energy sources in the iron ore enterprises, the offered algorithm has the potential to use already known existing methods of calculating the potential of renewable energy sources. One of the points in the algorithm is to determine the priority directions of the implementation of renewable energy sources in the conditions of iron ore enterprises. Given the specifics of iron ore enterprises and the need to locate renewable energy sources as close as possible to consumers of electricity, the microclimate and environmental factors of the potential site for the installation of power plants should be taken into account as harmful factors can negatively affect the energy performance of renewable energy sources.

Ref. 10, fig. 1.

Key words — renewable energy sources; power supply; power consumption.

