

О. М. Сінчук¹
С. М. Бойко²
І. А. Мінаков²

АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID В РАМКАХ КОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ- ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ВОДОВІДЛИВУ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

¹ДВНЗ «Криворізький національний університет»;

²Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

Аналізуючи структуру електроспоживання залізорудних підприємств, встановлено, що з поміж інших споживачів електричної енергії, домінує водовідлив, частка якого в обсязі споживання електричної енергії в цілому по залізорудних шахтах сягає більше 40 %, а серед підземних споживачів — майже 70 % із зазначених. Доведено, що одним з напрямків зменшення обсягів матеріальних затрат залізорудних підприємств за спожитої електричної енергії є зміна часу функціонування всіх енергоємних споживачів, в тому числі водовідливу, на користь економічної зони доби. Однак, цей значною мірою дієвий захід, все ж має своє обмеження, яке на сьогодні вже близьке до досягнення на гірничих підприємствах України. Обґрунтовано, що електроенергетичний комплекс водовідливу можна віднести до категорії споживачів-регуляторів електричної енергії. Враховуючи той факт, що цей приймач найменше впливає на технологію видобутку залізорудної сировини, то зміна часу його функціонування на користь іншої економічнішої тарифної зони електроспоживання не викличе зміни технології видобутку залізорудної сировини, а навпаки — покращить економіку затрат щодо споживання електричної енергії. Розглянуто теоретичні основи впровадження в структуру електропостачання залізорудних підприємств мікрогідроакумуляційних станцій на базі водовідливів шахт, кар'єрів та збагачувальних комплексів. Запропоновано впровадження концепції Smart Grid, в контексті активного споживання електричної енергії, в рамках комплексу електропостачання-електроспоживання водовідливу залізорудних підприємств, шляхом впровадження в структуру електропостачання мікрогідроакумуляційних станцій та заходів щодо оптимізації графіка роботи насосів водовідливу, що дозволить зекономити кошти на закупівлю електроенергії та знизить собівартість залізорудної продукції.

Ключові слова: електропостачання, електроспоживання, концепція Smart Grid.

Вступ

Вітчизняні залізорудні підприємства (ЗРП), у тому числі з підземним способом видобутку залізорудної сировини (ЗРС), відносяться до категорії енергоємних [1]. При цьому, біля 90 % спожитої енергії відноситься до розряду електричної енергії (ЕЕ). В свою чергу більше ніж 80 % від всього обсягу споживання ЕЕ цими видами підприємств припадає на декілька споживачів, а саме: вентилятори головного провітрювання, скіпові підйомні установки, центральні компресорні станції та водовідлив. З рис. 1 випливає, що з вищезгаданих споживачів ЕЕ домінує водовідлив, частка якого в обсязі споживання ЕЕ в цілому по шахтах досягає більше 40 %, а серед підземних споживачів — майже 70 % із зазначених.

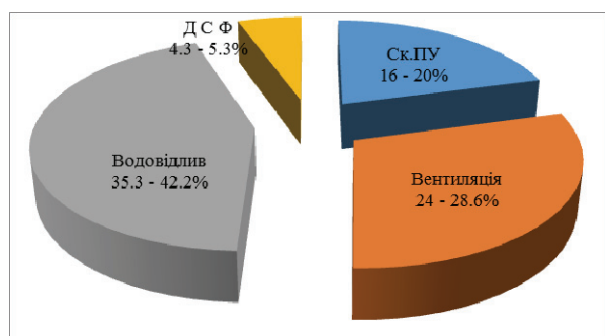


Рис. 1. Діаграма коливань споживання електричної енергії за видами споживачів шахти «Батьківщина» за період 2011—2016 рр. ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»

Водночас з очікуваним в подальшому зниженням глибин видобутку¹ ці проценти мають тенденцію до зростання, як і відповідна ціна за спожиту ЕЕ цими споживачами [1]. Одним з напрямків зменшення обсягів матеріальних затрат підприємств за спожиту ЕЕ є зміна часу функціонування всіх енергоємних споживачів, в тому числі водовідливу, на користь економічної зони доби (рис. 2).

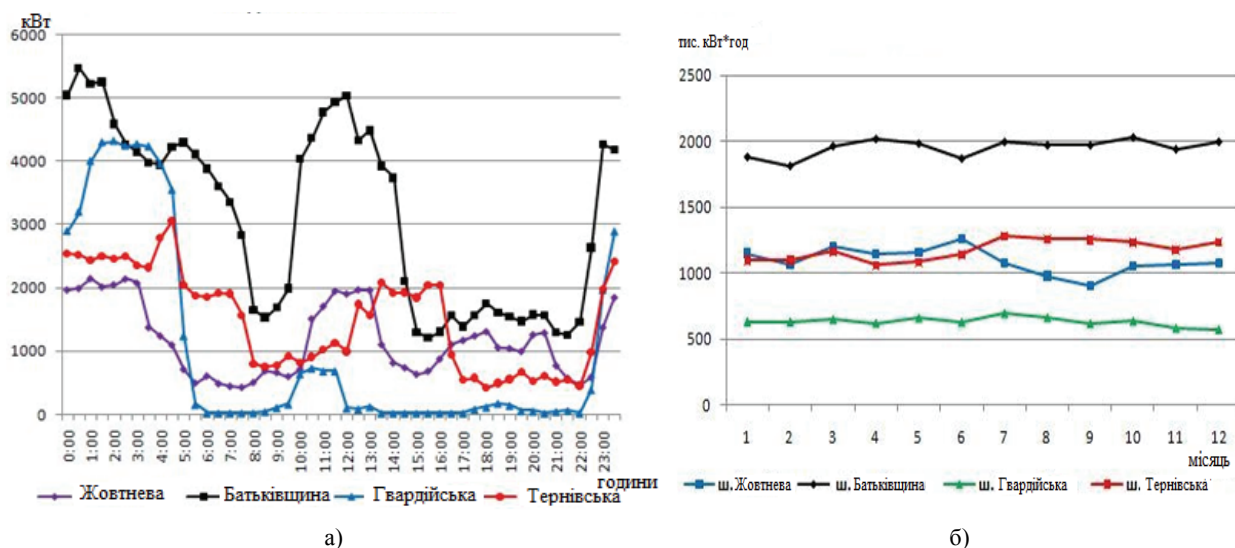


Рис. 2. Графіки споживання активної електричної потужності водовідливних установок шахт ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат»: а — добовий; б — річний

Однак, цей значною мірою дієвий захід, даючи 20...23 % економії оплати за спожиту ЕЕ, все ж має свої обмеження, які сьогодні на гірничих підприємствах України вже близькі до досягнення [1]. Між тим, зі своєю специфікою, в проблемі підвищення енергоефективності видобутку корисних копалин, та з метою реалізації концепції Smart Grid, постає роль застосування відновлюваних джерел енергії в створенні міні- та мікроелектростанцій як автономних джерел ЕЕ в структурах систем електропостачання цих видів промислових підприємств. Як показали результати досліджень, найефективнішим в цьому напрямку є створення гідроакумулювальних мініелектростанцій на базі водовідливів шахт, кар'єрів та збагачувальних комплексів.

Метою роботи є оцінка ефективності впровадження концепції Smart Grid в рамках комплексу електропостачання-електроспоживання водовідливних установок залізорудних підприємств з підземними видами видобутку залізорудної сировини.

Результати дослідження

Комплекс відкачування води з підземних гірничих виробок залізорудних шахт (рис. 3) працює з відповідним добовим графіком, а в окремих випадках відключається з акцентом функціонування в нічний час (рис. 2) [2]—[5].

Тобто, логічно, що електроенергетичний комплекс водовідливу можна віднести до категорії споживачів-регуляторів ЕЕ. Більше того, з погляду оцінки енергоспоживання водовідливу шахт в структурі технології видобутку ЗРС, цей приймач найменше впливає на цей процес, а отже і реформатизація його функцій в іншу, економічнішу, тарифну зону електроспоживання не спричинить за собою зміни технології видобутку ЗРС, а навпаки покращить економіку затрат щодо споживання електричної енергії (рис. 4).

Проте, розглянемо другу складову зменшення енерговитрат на відкачування води з підземних гірничих виробок.

Розглянемо енергетичні складові процесу функціонування мікрогідроакумулювальних станцій в умовах залізорудних підприємств.

Приплив води водозбірника визначається за швидкістю його наповнення або його частини за формулою [6]

¹На сьогодні глибина видобутку ЗРС вітчизняних залізорудних шахт знаходиться в межах 1200...1400 м, з перспективою досягнення 1900...2500 м.

$$Q = \frac{V}{t}, \tag{1}$$

де V — об'єм водозбірника або його частини, що підлягає наповненню; t — час наповнення.

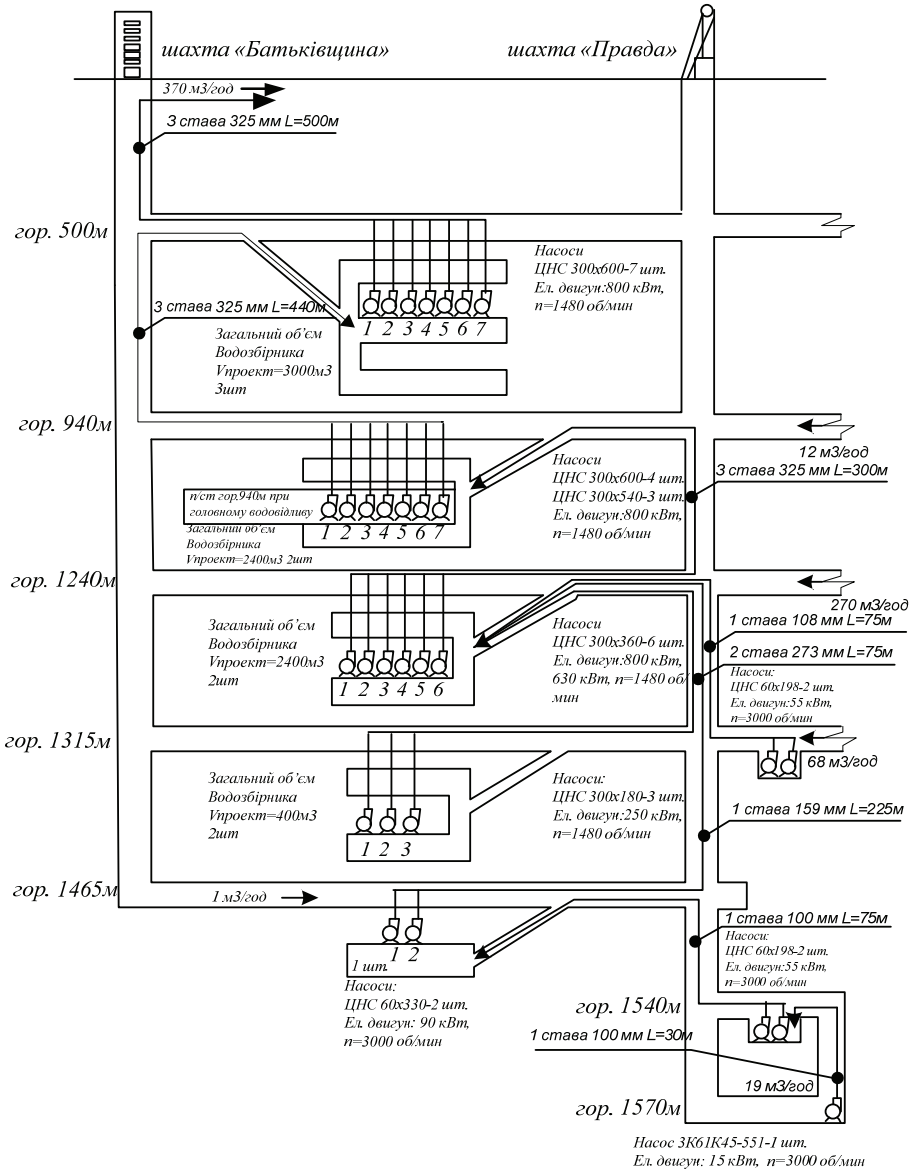
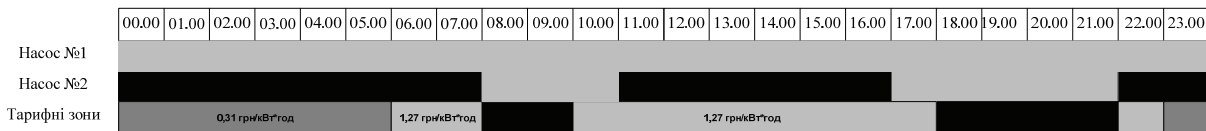
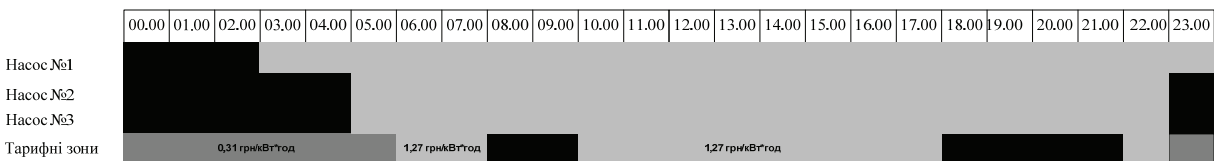


Рис. 3. Структура відкачування води водовідливними установками шахти «Батьківщина»

Існуючий графік роботи водовідливу



Пропонований графік роботи водовідливу



- Робота насосної установки
- Тарифна зона ніч (0,31 грн/кВт*год)
- Наповнення водозбірника
- Тарифна зона полупік (1,27 грн/кВт*год)
- Тарифна зона пік (2,25 грн/кВт*год)

Рис. 4. Графіки роботи головних водовідливних установок горизонту 527 м шахти «Батьківщина»

Відповідно до методу гідрогеологічних аналогій, що застосовується в простих гідрогеологічних умовах, оцінка притоку води в гірничі виробки визначається за формулою [6]

$$Q = Q_1 \frac{S}{S_1} \sqrt{\frac{H}{H_1}}, \quad (2)$$

де Q_1 — фактичний приплив до діючих виробок, взятий як аналог, м³/год; S та S_1 — площа проектних очисних виробок та їх аналогів, м²; H та H_1 — глибина проектних виробок, м.

Енергію водотоку за час t на виділений ділянці водовідливу між перетинами горизонтами можна визначити як різницю енергії потоку в цих горизонтах на підставі рівняння Бернуллі [6]

$$E_v = \rho g W \left(Z_1 - Z_2 + \frac{P_1}{\rho g} - \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\beta_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} - \frac{\beta_2 v_2^2}{2g} \right) \quad (3)$$

або

$$E_v = \rho g W (Z_1 - Z_2) + W (P_1 - P_2) + 0,5 \rho W (\beta_1 v_1^2 - \beta_2 v_2^2), \quad (4)$$

де E_b — енергія водотоку на виділеній ділянці, Дж; t — час, с; $g = 9,81$ м/с² — прискорення вільного падіння; ρ — густина рідини, кг/м³ (для водотоків з чистою прісною водою $\rho = 1000$ кг/м³); W — об'єм стоку води, м³; Z_1 і Z_2 — геометрична висота над площиною порівняння в горизонтах, м; P_1 і P_2 — тиск в перетинах горизонтах, Па; v_1 і v_2 — середня швидкість води в горизонтах, м/с; β — коефіцієнт кінетичної енергії (Коріоліса).

Таким чином потужність притоку води водовідливу можна визначити за формулою

$$N_v = \frac{E_v}{t}. \quad (5)$$

А генерована ЕЕ мікрогідроаккумуляційною станцією в умовах залізрудних підприємств, з урахуванням сумарного коефіцієнта корисної дії, визначається за формулою

$$N_g = \rho g \frac{W}{t} (Z_1 - Z_2) \eta, \quad (6)$$

де η — сумарний коефіцієнт корисної дії мікрогідроаккумуляційної станції.

Висновки

Встановлено, що з огляду на можливість впровадження в роботу водовідливу залізрудних підприємств мікрогідроаккумуляційної станції та проведення заходів щодо оптимізації графіка роботи насосів водовідливу, є актуальним та можливим впровадження концепції Smart Grid в рамках комплексу електропостачання–електроспоживання таких видів споживачів електричної енергії залізрудних підприємств, що в свою чергу, сприятиме економії коштів на закупівлю електроенергії та зниженню собівартості видобутку залізрудної продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] И. О. Синчук, Э. С. Гузов, А. Н. Яловая, и С. Н. Бойко, *Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья*. Кременчук, 2015, 296 с.
- [2] О. Н. Синчук, И. О. Синчук, Э. С. Гузов, А. Н. Яловая, и С. Н. Бойко, *Энергоэффективность железорудных производств», Оценка, практика повышения*. Изд. LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH, 346 с., 2016.
- [3] Ф. П. Шкрабець, та О. В. Остапчук, *Електропостачання глибоких і енергоємних рудних та вугільних шахт*. Донецьк, Україна: НГУ, 2014, 160 с.
- [4] С. Н. Бойко, О. Н. Синчук, та И. О. Синчук, «Система управління електропотреблением горнорудных предприятий с целью повышения электроэнергоэффективности добычи железорудного сырья.» *Технічна Електродинаміка*, № 6, с. 60-62, 2016.
- [5] А. В. Праховник, В. П. Розен, и В. В. Дегтярев, *Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий*. Москва: Недра, 1985, 232 с.
- [6] В. А. Всеволожский, *Основы гидрогеологии*, 2-е изд., перераб. и доп.. Москва, Россия: изд-во МГУ, 2007, 448 с.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 5.01.2018

Сінчук Олег Миколайович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, e-mail: speet@ukr.net .

ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг;

Бойко Сергій Миколайович — канд. техн. наук, докторант кафедри систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: bsn1987@i.ua ;

Мінаков Ілля Анатолійович — аспірант кафедри систем електроспоживання та енергетичного менеджменту, e-mail: Minakov92@i.ua .

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук

O. M. Sinchuk¹
S. M. Boiko²
I. A. Minakov²

Aspects of Smart Grid Concept Introduction in the Complex of Electrical Supply and Electricity Supply of Hydrogen Industry Enterprises

¹State University "Kryvyi Rih National University";

²Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

According to the results of the analysis, it has been established that in the structure of electricity consumption of iron ore enterprises, among other consumers of electricity, prevailing distilled water, the share of which in the amount of electric energy consumption in the whole of iron ore mines reaches more than 40 %, and among underground consumers - almost 70 % of the above. It is proved that one of the directions of reduction of material costs of iron ore enterprises for consumed electric energy is the change in the time of operation of all energy-consuming consumers, including drainage, in favor of the economic zone of the day, however, this is largely an effective measure, nevertheless has its own limit, which is currently close to the achievement at the mining enterprises of Ukraine. It is substantiated that the power grid of drainage can be classified as a consumer-regulator of electric energy. Taking into account the fact that this receiver has the least effect on the technology of iron ore extraction, then changing the time of its operation in favor of another more economical tariff zone of electricity consumption will not entail changes in the technology of iron ore mining, and on the contrary, will improve the economy of costs for the consumption of electric energy. In the article the theoretical bases of introduction of iron ore enterprises of microhydroaccumulating stations on the basis of drainage of mines, quarries and enrichment complexes are considered in the structure of supply of iron ore. In the work, the introduction of the concept of Smart Grid in the context of active consumption of electric energy in the framework of the electricity supply complex-electric consumption of drainage of iron ore enterprises is proposed by introducing microhardness storage stations in the electricity supply structure and measures to optimize the work schedule of the drainage pump, which will save money on the purchase of electricity and reduce the cost of iron ore products.

Keywords: power supply, power consumption, concept Smart Grid.

Sinchuk Oleh M. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Automated Electromechanical Systems in Industry and Transport, e-mail: speet@ukr.net ;

Boiko Serhii M. — Cand. Sc. (Eng.), Doctoral Student of the Chair of Electrical Power Consumption and Energy Management, e-mail: bsn1987@i.ua ;

Minakov Ilya A. — Post-Graduate Student of the Chair of Systems of Power Consumption and Energy Management, e-mail: Minakov92@i.ua

О. Н. Синчук¹
С. Н. Бойко²
И. А. Минаков²

Аспекты внедрения концепции Smart Grid в рамках комплекса электроснабжения-электропотребления водоотлива железорудных предприятий

¹ГВУЗ «Криворожский национальный университет»;

²Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

Анализируя структуру электропотребления железорудных предприятий, установлено, что среди других потребителей электрической энергии доминирует водоотлив, доля которого в объеме потребления электрической энергии в целом по железорудным шахтам достигает больше 40 %, а среди подземных потребителей — почти 70 % из указанных. Доказано, что одним из направлений уменьшения объемов материальных затрат железорудных предприятий на потребленную электрическую энергию является изменение времени функционирования всех энергоемких потребителей, в том числе водоотлива, в пользу экономической зоны суток. Однако, это в значительной мере действенное мероприятие, все же имеет свой предел, который на сегодня уже близок к достижению на горных предприятиях Украины. Обосновано, что электроэнергетический комплекс водоотлива можно отнести к категории потребителей-регуляторов электрической энергии. Учитывая тот факт, что этот приемник меньше влияет на технологию добычи железорудного сырья, то изменение времени его функционирования в пользу другой, более экономичной, тарифной зоны электропотребления не повлечет за собой изменения технологии добычи железорудного сырья, а наоборот улучшит экономику затрат по потреблению электроэнергии. Рассмотрены теоретические основы внедрения в структуру электроснабжения железорудных предприятий микрогидроаккумулирующих станций на базе водоотливов шахт, карьеров и обогатительных комплексов. Предложено внедрение концепции Smart Grid в контексте активного потребления электрической энергии, в рамках комплекса электроснабжения электропотребления водоотлива железорудных предприятий путем внедрения в структуру электроснабжения микрогидроаккумулирующих станций и мероприятий по оптимизации графика работы насосов водоотлива. Это позволит сэкономить средства на закупку электроэнергии и снизить себестоимость железорудной продукции.

Ключевые слова: электроснабжение, электропотребление, концепция Smart Grid.

Синчук Олег Николаевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных электромеханических систем в промышленности и транспорте, e-mail: speet@ukr.net ;

Бойко Сергей Николаевич — канд. техн. наук, докторант кафедры систем электроснабжения и энергетического менеджмента, e-mail: bsn1987@i.ua ;

Минаков Илья Анатольевич — аспирант кафедры систем электроснабжения и энергетического менеджмента, e-mail: Minakov92@i.ua