

С.М. БОЙКО, А.В. НЕКРАСОВ  
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
С.Я. ВИШНЕВСЬКИЙ, О.М. НАНАКА  
Вінницький національний технічний університет

## ОСОБЛИВОСТІ РЕЖИМІВ КОМПЛЕКСУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ- ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ГВК ПІД ЧАС ВПРОВАДЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ SMART GRID

Актуалізація більш ефективного використання електричної енергії на промислових підприємствах пов'язана зі зростанням цін на електроенергію і зростанням її частки в собівартості продукції. Скорочення цієї частки можливе за умов впровадження автоматизації управління режимом споживання електричної енергії та встановлення відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в системах електропостачання. Одним з основних факторів переходу від звичайного споживання на активне споживання електричної енергії в умовах підприємств ГВК є зниження собівартості залізничної сировини та підвищення надійності системи електропостачання. Найбільший ефект очікується під час впровадження та взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням та впровадження ВДЕ. Тому необхідно розглядати електроенергетичну систему як повністю інтегровану, саморегулюючу і самовідновлювану систему підприємства, що має мережеву топологію та включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі види споживачів електричної енергії (у тому числі й активних споживачів), керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем у режимі реального часу. Беручи до уваги можливість впровадження ВДЕ в умовах підприємств ГВК, можна зазначити актуальність та наявність підґрунтя для впровадження МГЕС в систему електропостачання підприємств ГВК. Використання активного споживача дає можливість регулювання графіка споживання електричної енергії кожного споживача окремо, з метою зменшення вартості спожитої електричної енергії. У статті запропоновано зменшення сумарних витрат на виробництво, передачу та розподіл електроенергії на підприємствах гірничо-видобувного комплексу шляхом зміни режиму електроспоживання кожного окремого електроприймача як окремої структурної ланки єдиної системи електроспоживання промислового підприємства.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, системи електропостачання, активний споживач, гірничо-видобувний комплекс, Smart Grid.

S. M. BOYKO, A. V. NEKRASOV  
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University  
S. Y. VYSHNEVSKY, O. M. NANAKA  
Vinnytsia National Technical University

## FEATURES OF THE MODES OF THE COMPLEX OF ELECTRICAL SUPPLY AND ELECTRICAL CONSUMPTION OF THE MINING COMPLEX COMPANIES DURING IMPLEMENTATION OF THE SMART GRID CONCEPT

Actualization of more efficient use of electric energy at industrial enterprises is connected with the growth of electricity prices and the growth of its part in the cost price of products. The reduction of this part is possible under the conditions of introduction of automation of the mode control of consumption of electric energy and the establishment of renewable energy sources (RES) in electricity supply systems. One of the main factors of the transition from ordinary consumption to active consumption of electric energy in the conditions of the mining complex enterprises is the reduction of the cost of iron ore raw materials and increasing of the reliability of the electricity supply system. The greatest effect is expected during implementation and interaction of intelligent network technologies, load management systems, and implementation of RES. Therefore, it is necessary to consider the electric power system as a fully integrated, self-regulating and self-repairing system of the enterprise, which has a network topology and includes all generating sources, main and distributive networks and all types of consumers of electric energy (including active consumers), managed by a single network of information-control devices and systems in real time. Taking into account the possibilities of RES introducing in the conditions of mining complex enterprises, it is possible to note the urgency and availability of the basis for the implementation of the small hydroelectric stations in the electricity supply system of the mining complex enterprises. The use of an active consumer enables the regulation of the schedule of electricity consumption for each consumer separately, in order to reduce the cost of consumed electricity. The article proposes a reduction of the total cost of production, transmission and distribution of electricity at the mining enterprises by changing the mode of electricity consumption of each individual electric collector as a separate structural unit of the unified system of electric consumption of an industrial enterprise.

Keywords: renewable energy sources, electrical supply system, active consumer, mining complex, Smart Grid.

### Вступ

Ефективне використання електричної енергії на промислових підприємствах є найважливішою задачею енергетичної галузі. Це пов'язано зі зростанням цін на електроенергію і зростанням її частки в собівартості продукції, що особливо актуально для підприємств гірничо-видобувного комплексу (ГВК) України. Стратегічним напрямом, що дозволяє скоротити цю частку, є автоматизація управління режимом споживання електричної енергії та впровадження відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) в системах електропостачання [1].

Концепція інтелектуальної енергетики Smart Grid включає в себе такі складові, як активне споживання, розосереджена генерація (РГ), інтелектуальне вимірювання, нові системи автоматизації та контролю, керування попитом.

### Матеріал та результати досліджень

Як відзначалося раніше, одним з основних факторів переходу від звичайного споживання на активне споживання електричної енергії в умовах підприємств ГВК є зниження собівартості залізорудної сировини та підвищення надійності системи електропостачання. В свою чергу, найбільший ефект очікується при впровадженні та взаємодії технологій інтелектуальних мереж, систем керування навантаженням, впровадження ВДЕ [2–4].

Відповідно до цієї концепції, електроенергетична система розглядається як повністю інтегрована, саморегулююча і самовідновлювана система підприємства, що має мережеву топологію та включає в себе всі генеруючі джерела, магістральні та розподільні мережі і всі види споживачів електричної енергії (у тому числі й активних споживачів), керовані єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем у режимі реального часу [5, 6].

Таким чином, цільовою функцією при виборі оптимального режиму електроспоживання є мінімум сумарних витрат [7, 8]:

$$\sum C = C_e + C_n = \sum_{i=1}^{\tau} (B_k + K_{ef} \cdot K_i), \quad (1)$$

$$C_e = C_v + C_{пер.} + C_{розп.},$$

$$C_v = C_{v.СЕС} + C_{v.ВЕС} + C_{v.ГЕС} + C_{v.мережі},$$

$$C_{пер.} = C_{пер.мережі} + C_{пер.ВДЕ},$$

$$C_{розп.} = C_{розп.СЕС} + C_{розп.ВЕС} + C_{розп.ГЕС} + C_{розп.мережі},$$

де  $C_e$  – сума витрат на виробництво, передачу та розподіл електроенергії;  
 $C_v$  – сума витрат на виробництво електроенергії;  
 $C_{v.ГЕС}$  – сума витрат на виробництво електроенергії за допомогою ГЕС;  
 $C_{v.ВЕС}$  – сума витрат на виробництво електроенергії за допомогою ВЕС;  
 $C_{v.СЕС}$  – сума витрат на виробництво електроенергії за допомогою СЕС;  
 $C_{пер.}$  – сума витрат на передачу електроенергії;  
 $C_{пер.мережі}$  – сума витрат на передачу електроенергії від мережі;  
 $C_{пер.ВДЕ}$  – сума витрат на передачу електроенергії від відновлювальних джерел електричної енергії;  
 $C_{розп.}$  – сума витрат на розподіл електроенергії;  
 $C_{розп.СЕС}$  – сума витрат на розподіл електроенергії за допомогою СЕС;  
 $C_{розп.ВЕС}$  – сума витрат на розподіл електроенергії за допомогою ВЕС;  
 $C_{розп.ГЕС}$  – сума витрат на розподіл електроенергії за допомогою ГЕС;  
 $C_n$  – сума витрат, пов'язаних з використанням електроенергії в народному господарстві;  
 $K_i$  – капітальні витрати в комплексі «Енергосистема – споживач»;  
 $B_k$  – витрати комплексу «енергосистема – споживач»;  
 $K_{ef}$  – коефіцієнт внутрішньої ефективності.

Додаткові витрати підприємства на модернізацію системи електроспоживання визначаються з виразу

$$\Delta Z_n = \Delta I_n + K_{ef} \cdot \Delta K_n, \quad (2)$$

де  $\Delta I_n$  – збільшення витрат виробництва підприємства в режимі вирівнювання;  
 $\Delta K_n$  – додаткові капітальні витрати.

Беручи до уваги наведені раніше результати досліджень, щодо можливості впровадження ВДЕ в умовах підприємств ГВК [2–7], можна зазначити актуальність та наявність підґрунтя для впровадження мГЕС в систему електропостачання підприємств ГВК (рис. 1).

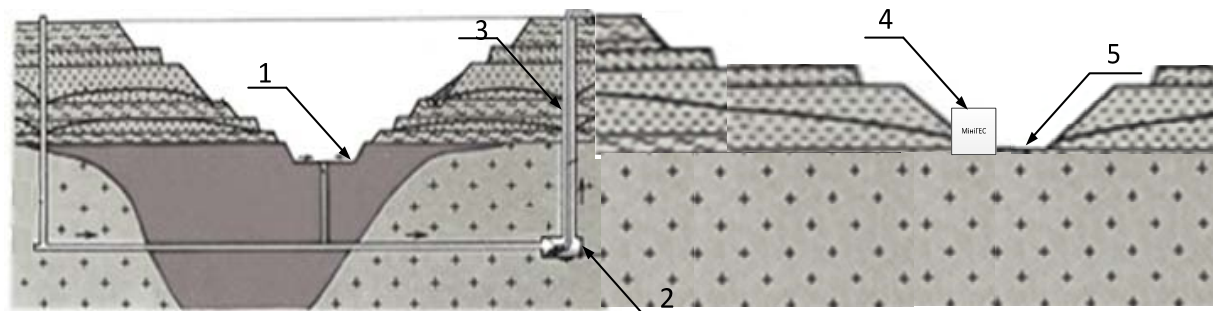


Рис. 1. Технологічна схема відкачування води з кар'єру:

1 – місце накопичення води для відкачування; 2 – насос для відкачування води; 3 – труба, по якій відкачується вода з кар'єру; 4 – турбіна міні ГЕС, 5 – відстійники (хвостосховище)

При підземному водовідливі в кар'єрі вода перекачується або відводиться в спеціальні дренажно-водовідвідні вироблення (штреки), пройдені з ухилом у бік водозбірника з насосною камерою, звідки вона

відкачується насосами на поверхню через водовідливні стволи або свердловини в поверхневі потоки або водойми. При цьому використовуються в основному ті ж насоси.

Після того як було побудовано графік роботи при відкачуванні води з кар'єру підстанції «Шахта» був побудований погодинний графік роботи насосів, тобто отримано витрати води для даної підстанції (рис. 2).

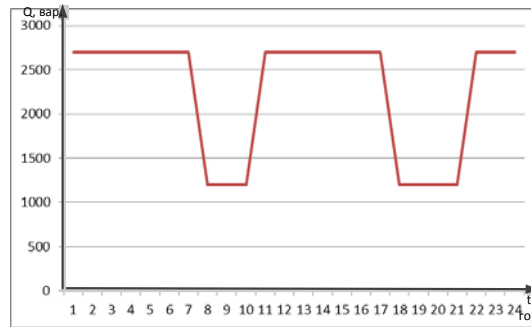


Рис. 2. Витрати води погодинно підстанції «Шахта»

Наступним кроком є розрахунок генерації електроенергії.

Згенерована потужність залежить від витрат води, при відкачуванні її з кар'єру. Відповідно до даних витрат, потужність розрахована за формулою:

$$N = \left( \frac{(\rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta)}{3600} \right) / 1000, \tag{3}$$

- де  $\rho$  – густина води;  
 $g$  – прискорення вільного падіння;  
 $Q$  – витрати води;  
 $H$  – напір;  
 $\eta$  – ККД гідроустановки.

Відповідно до графіка витрати води, було побудовано графік генерації електроенергії при використанні міні ГЕС, на виході труби відкачування (хвостосховище) (рис. 3).

Наступним кроком є розрахунок коштів які можуть бути заощаджені при використанні згенерованої потужності даною міні ГЕС, оскільки сума згенерованої потужності міні ГЕС дорівнює сумі заощадженої електричної енергії.

$$P_{\text{ген}} = P_3, \tag{4}$$

- де  $P_{\text{ген}}$  – згенерована потужність;  
 $P_3$  – заощаджена потужність.

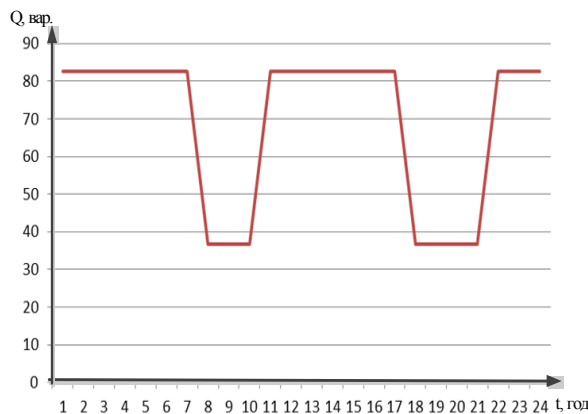


Рис. 3. Генерація електроенергії при використанні міні ГЕС, на виході труби відкачування (хвостосховище)

Вартість електричної енергії за трьохтарифним обліком розраховується за формулою:

$$C_{\text{еє3}} = (\sum P_{\text{зт1}} \cdot t_{t1} \cdot k_{t1} \cdot T_{\text{еє}}) + (\sum P_{\text{зт2}} \cdot t_{t2} \cdot k_{t2} \cdot T_{\text{еє}}) + (\sum P_{\text{зт3}} \cdot t_{t3} \cdot k_{t3} \cdot T_{\text{еє}}), \tag{5}$$

- де  $t_{t1}, t_{t2}, t_{t3}$  – інтервали роботи насосів у тарифних зонах ( $t_{t1}$  – з 23:00 до 06:00;  $t_{t2}$  – з 6 год до 8 год, з 10 год до 17 год, з 21 год до 23 год,  $t_{t3}$  – з 8 год до 10 год, з 17 год до 21 год), в годинах;

$\sum P_{\text{зт1}}, \sum P_{\text{зт2}}, \sum P_{\text{зт3}}$  – сума заощадженої електричної енергії у першій, другій та третій тарифних зонах, в кВт;

$T_{\text{еє}}$  – тариф за електроенергію в гривнях;

$k_{t1}, k_{t2}, k_{t3}$  – коефіцієнт тарифних зон ( $k_{t1} = 0,35; k_{t2} = 1,02; k_{t3} = 1,8$ ).

В дробильний цех № 2 входить 5 дренажних насосів маркою АД 180М2 потужністю 30 кВт кожний, графік роботи яких наведено на рис. 4, 5.

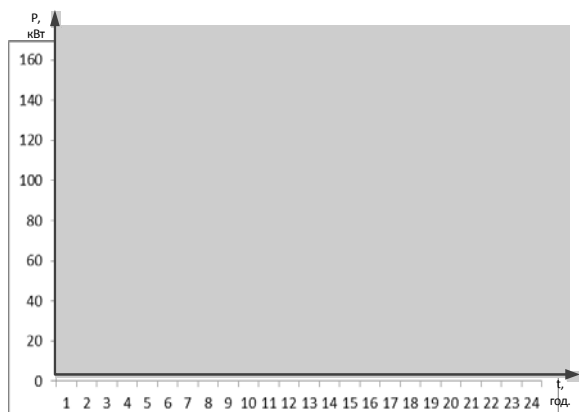


Рис. 4. Графік роботи дренажних насосів дробильного цеху № 2

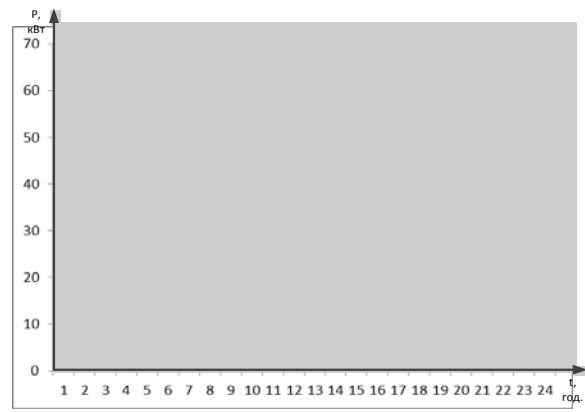


Рис. 5. Графік роботи дренажних насосів 1 та 2 дробильного цеху № 2 до оптимізації

В подальшому було проведено оптимізацію відповідно до добового графіка споживання електричної енергії дренажних насосів (рис. 6).

В результаті було підтверджено, що використання активного споживача дає можливість регулювання графіка споживання електричної енергії кожного споживача окремо, з метою зменшення вартості спожитої електричної енергії. Так, при використанні 3-тарифного обліку електричної енергії та оптимізувавши графік споживання електричної енергії, є можливість зекономити до 10% вартості електричної енергії не змінюючи при цьому технологічного циклу відкачування води [8].

Графік електроспоживання насосів 1 та 2 дробильного цеху № 2 співпадає з графіком генерування електроенергії від міні ГЕС.

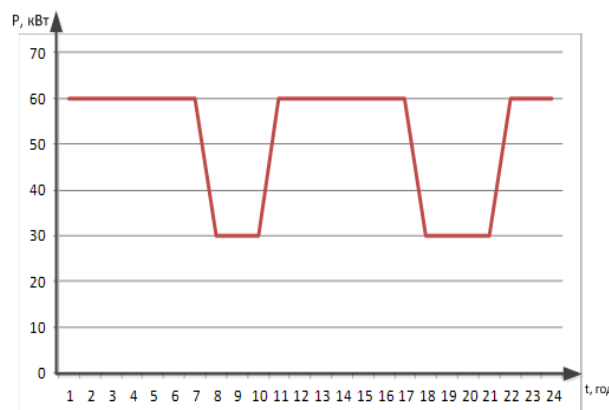


Рис. 6. Графік роботи дренажних насосів 1 та 2 дробильного цеху № 2 після оптимізації

Таким чином згенерована електроенергія споживається повністю. Економія електроспоживання дренажних насосів дробильного цеху № 2 складає 40%.

#### Висновки

1. За результатами дослідження доведено актуальність впровадження концепції Smart Grid, в умовах підприємств гірничо-видобувної галузі.
2. У статті проаналізовано особливості режимів комплексу електропостачання-електроспоживання підприємств гірничо-видобувного комплексу під час впровадження концепції Smart grid.
3. В результаті оптимізації режиму роботи та впровадження в систему електропостачання дренажних насосів дробильних цехів мГЕС, є можливість зекономити до 40 % електричної енергії.

#### Література

1. Кириленко А. В. Смарт-грид в ракурсе системной методологии / А. В. Кириленко, В. Я. Жуйков // Пр. Ін-ту електродинаміки Національної академії наук України : зб. наук. пр. Спец. вип. – 2011. – Ч. 1. – С. 63–71.
2. Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья / И.О. Синчук, Э.С. Гузов, А.Н. Яловая и др. / за ред. О. Н. Синчука. – Кременчук : Изд. ЧП Щербатых А. В., 2015. – 296 с.

3. Энергоэффективность железорудных производств. Оценка, практика повышения / О. М. Сінчук, И. О. Синчук, Э. С. Гузов и др. – Изд. LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH., 2016. – 346 с.
4. Відновлювані та альтернативні джерела енергії : навч. посібник / [Сінчук О. М., Сінчук І. О., Бойко С. М., Мельник О. С.]. – Кременчук : Вид-во ПП Щербатих О. В., 2015. – 270 с.
5. Відновлювальні джерела електричної енергії / [О. М. Сінчук, І. О. Сінчук, С. М. Бойко та ін.]. – Кременчук : Вид-во ПП Щербатих О. В., 2014. – 192 с. – ISBN 3–486–26306–4.
6. Праховник А. В. Принципи організації взаємодії компонент smart мереж / А. В. Праховник, С. П. Денисюк, О. В. Коцар // Техн. електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 51–52.
7. Кириленко О. В. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими / Кириленко О. В., Танкевич С. Є., Жуйкою В. Я. ; за заг. ред. О. В. Кириленка; Інститут електродинаміки НАН України. – К. : Ін-т електродинаміки НАН України, 2016. – 400 с.
8. Кириленко А. В. Интеллектуальные электроэнергетические системы: элементы и режимы / под общ. ред. А. В. Кириленко ; Институт электродинамики НАН Украины. – К. : Ин-т электродинамики НАН Украины, 2014. – 408 с.

#### References

1. Kirilenko A. V. Smart-grid v rakurse sistemnoj metodologi / A. V. Kirilenko, V. YA. Zhujkov // Pr. In-tu elektrodinamiki Nacional'noi akademii nauk Ukrainy : zb. nauk. pr. Spec. vip. – 2011. – CH. 1. – S. 63–71.
2. Potencial elektroenergoeffektivnosti i puti ego realizacii na proizvodstvah s podzemnymi sposobami dobychi zhelezorudnogo syr'ya / I.O. Sinchuk, E.S. Guzov, A.N. YAlovaya i dr. / za red. O. N. Sinchuka. – Kremenchuk : Izd. CHP SHCHerbatyh A. V., 2015. – 296 s.
3. Energoeffektivnost' zhelezorudnyh proizvodstv. Ocenka, praktika povysheniya / O. M. Sinchuk, I. O. Sinchuk, E. S. Guzov i dr. – Izd. LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH., 2016. – 346 s.
4. Vidnovliuvani ta alternatyvni dzherela enerhii : navch. posibnyk / [Sinchuk O. M., Sinchuk I. O., Boiko S. M., Melnyk O. Ye.]. – Kremenchuk : Vyd-vo PP Shcherbatykh O. V., 2015. – 270 s.
5. Vidnovliuvalni dzherela elektrychnoi enerhii / [O. M. Sinchuk, I. O. Sinchuk, S. M. Boiko ta in.]. – Kremenchuk : Vyd-vo PP Shcherbatykh O. V., 2014. – 192 s. – ISBN 3–486–26306–4.
6. Prakhovnyk A. V. Pryntsypy orhanizatsii vzaiedonii komponent smart merezh / A. V. Prakhovnyk, S. P. Denysiuk, O. V. Kotsar // Tekhn. elektrodynamika. – 2012. – 3. – S. 51–52.
7. Kyrylenko O. V. Intelktualni elektrychni merezhi: elementy ta rezhymy / Kyrylenko O. V., Tankevych S. Ye., Zhuikoio V. Ya. ; za zah. red. O. V. Kyrylenka; Instytut elektrodynamiky NAN Ukrainy. – K. : In-t elektrodynamiky NAN Ukrainy, 2016. – 400 s.
8. Kirilenko A. V. Intelktual'nye elektroenergeticheskie sistemy: elementy i rezhimy / pod obshch. red. A. V. Kirilenko ; Institut elektrodinamiki NAN Ukrainy. – K. : In-t elektrodinamiki NAN Ukrainy, 2014. – 408 s.

Рецензія/Peer review : 06.11.2017 р.

Надрукована/Printed :02.02.2018 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. О.М. Сінчук