

В. П. Розен¹
Р. О. Пархоменко²
К. Д. Казембе²

РЕЖИМИ, ПАРАМЕТРИ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПІДЗЕМНИХ РУДНИКІВ

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»;
²ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Запропонований новий узагальнений метод розрахунку технологічних груп споживачів, що відрізняється від відомих відсутністю штучного поділу їх за режимами роботи, що відповідає реальній структурі систем електропостачання гірничорудних і низки інших промислових підприємств. Запропонований метод розрахунку можна використовувати за допомогою звичайних засобів обліку, що знаходяться в мережі або визначати коефіцієнти з довідкової літератури. Методика розрахунку електричних навантажень є універсальною і прийнятною для будь-яких виробництв і систем електроспоживання.

Ключові слова: метод, навантаження, ефективність, електропостачання, електроспоживання.

Вступ

Гірничовидобувна та металургійна галузі для України є основою джерела формування ВВП нашої країни. Підвищення техніко-економічних показників видобутку залізної руди безпосередньо пов'язане з проблемою підвищення ефективності систем електропостачання відповідних гірничорудних підприємств в т.ч. з підземними видами видобутку корисних копалин.

Застосовувані і реалізовані в проектах 50—70-х років минулого століття під час спорудження вітчизняних залізрудних шахт методи оцінки режимів електроспоживання ґрунтувалися на теоретичних моделях, які недостатньо адекватно описують цей процес, що призвело, та й продовжує призводити, до значних похибок у визначенні розрахункових електричних навантажень, а саме в бік їх завищення і встановлення перспективних рівнів витрати електроенергії. Особливо це проявляє себе в нинішніх умовах — умовах нестабільності і невизначеності, в яких сьогодні працюють більшість підприємств.

Метою роботи є підвищення ефективності функціонування систем електропостачання шляхом застосування модернізованого методу розрахунку електричної потужності силових трансформаторів та оптимізації режимів роботи приймачів – споживачів електричної енергії залізрудних шахт.

Результати дослідження

Залізрудні шахти відносяться до специфічних підприємств, на яких умови видобутку корисних копалин диктують жорсткі вимоги до якості електричної енергії, що транспортується по системам електропостачання та пов'язаних з цим процесом комплексом проблем [1]—[3].

Аналіз графіків видобутку сирової руди і споживання електричної енергії шахтами підприємства ПАТ «Криворізький залізрудний комбінат» показав [4], що за останні роки прослідковується тенденція скорочення обсягів видобутку, а питома витрата електроенергії на 1т видобутку зросла, що суттєво позначається на собівартості продукції. Графік видобутку сирової руди і споживання електроенергії за останні роки по шахтах підприємства ПАТ «КЗРК» показані на рис. 1.

Слід зазначити, що навантаження споживачів електричної енергії залізрудних шахт (або графіки навантажень) залежать від:

- технології видобутку корисних копалин;
- організації робіт (1 зміна, 2 або 3 і т. д.);

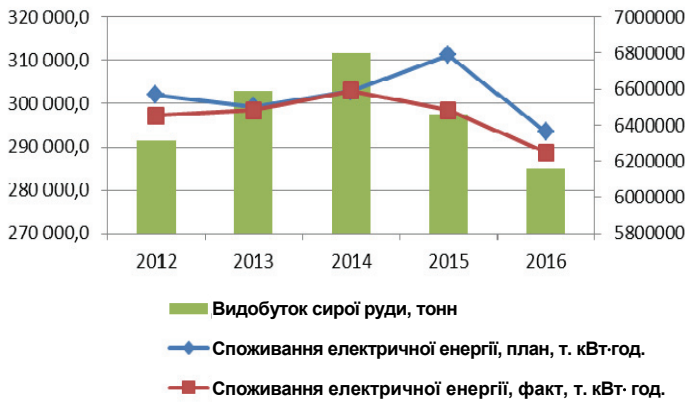


Рис. 1. Графік видобутку сирової руди і споживання електричної енергії за останні роки всіма шахтами підприємства ПАТ «КЗРК»



Рис. 2. Основні напрями підвищення енергоефективності залізрудних підприємств з підземним способом видобутку залізної руди

лінійна з можливістю переходу на децентралізацію для оптимізації режимів електроспоживання;

- можливість зниження енерговитрат шляхом:
 - вдосконалення технологічних процесів;
 - застосування досконалішого обладнання;
 - застосування регульованих електроприводів;
- регулювання графіка електроспоживання;
- автоматизація підсистем обліку рівнів споживання електричної енергії як груповими, так і індивідуальними електроприймачами;
- забезпечення безпеки для обслуговуючого персоналу.

Проектування систем електропостачання зазвичай починається з розрахунку електричних навантажень. Є багато методик — близько 10. Однак практика показує, що реальні навантаження дуже відрізняються від розрахункових, отже існує необхідність уточнення методики.

Найзастосованіші на сьогоднішній день методи розрахунку електричних навантажень — це метод коефіцієнта попиту, метод впорядкованих діаграм та статистичний метод.

Найпростіший метод — це метод коефіцієнта попиту, причому споживачі в цьому методі розбиваються на групи з однаковим режимом роботи, наприклад: вентилятори, компресори, лебідки і т.д. За методом коефіцієнта попиту розрахункове максимальне навантаження визначається за виразом

- кон'юнктури ринку;
- тарифів на електроенергію (вночі тариф нижчий);
- пори року, погодних умов тощо.

Тобто електроспоживання залізрудних шахт важко передбачуване.

З метою комплексного вирішення питань підвищення ефективності систем електропостачання та електроспоживання залізрудних шахт та оптимізації системи електропостачання споживачів визначено основні напрями підвищення енергоефективності залізрудних підприємств з підземним способом видобутку залізної руди, що показані на рис. 2.

Для підвищення ефективності використання електроенергії на залізрудних шахтах, процес електроспоживання необхідно розглядати як імовірнісний, для підвищення точності і достовірності оцінки стану, опис якого вимагає застосування методів, що дозволяють приймати рішення в сучасних умовах невизначеності і неповноті інформації [5].

За базові критерії ефективності систем електропостачання та електроспоживання залізрудних шахт можуть бути взяті такі:

- відповідність і дотримання ПУЕ, ПТБ і іншим нормативним документам;
- надійність електропостачання електричних приймачів;
- забезпечення необхідної якості електричної енергії, що підводиться до електроприймачів;
- мінімізація втрат електричної енергії при її транспортуванні;
- автоматизована централізація управ-

$$P_{\text{макс}} = \sum_1^n P_{\text{ном}} \cdot \kappa_n, \quad (1)$$

де $P_{\text{ном}}$ — номінальна потужність групи електроприймачів з однаковим режимом роботи; κ_n — відповідний коефіцієнт попиту для групи електроприймачів з однаковим режимом роботи; n — кількість груп електроприймачів.

На сьогодні технології та умови роботи змінилися, тобто потрібно визначити нові κ_n для окремих груп споживачів, а це практично неможливо, тому що на підприємстві всі групи споживачів працюють від однієї мережі, тобто метод не відповідає сучасній структурі електропостачання. До того ж, в цьому методі не враховується кількість споживачів (тобто чим більше споживачів, тим рівномірнішим буде графік навантаження). Слід зазначити, що κ_n в довідковій літературі не оновлювалися більше 50 років.

За методом впорядкованих діаграм спочатку розраховуються середні навантаження, а потім переходять до максимальних шляхом введення коефіцієнта максимуму. Але тут закладений той же підхід, що і в методі коефіцієнта попиту — розбиття споживачів на групи з однаковим режимом роботи, що призводить до похибки.

У 50—60-ті роки незадоволеність результатами проектних розрахунків електричного навантаження сприяла розвитку ймовірно-статистичних методів, заснованих на представленні навантаження випадковими процесами.

В статистичному методі коефіцієнт попиту κ_n в ньому визначається з урахуванням кратності міри розсіювання, середньоквадратичного відхилення і еквівалентного числа споживачів. На жаль, середньоквадратичне відхилення в довідковій літературі не наводиться, а визначити на практиці його дуже складно, тому реально застосовувати цей метод в проектуванні дуже складно.

Удосконалення методу коефіцієнта попиту проходило шляхом введення в нього емпіричних коефіцієнтів. В роботі [6], [7] вперше запропоновано удосконалений метод, в якому для визначення коефіцієнта попиту κ_n пропонується використовувати груповий коефіцієнт використання, який на практиці легко може вимірюватися штатними приладами. Причому ця проста формула досить точно виражає досить складну логіку залежностей параметрів електроспоживання, а саме — усунений головний недолік методу коефіцієнта попиту — враховано вплив кількості споживачів.

Запропоновано вираз

$$\kappa_n = \kappa_g + \frac{1 - \kappa_g}{\sqrt{n_e}}, \quad (2)$$

де κ_g — коефіцієнт використання; n_e — еквівалентне число споживачів.

Еквівалентне число споживачів обчислюється за відомою формулою [3]

$$n_e = \left(\sum_1^n P_n \right)^2 / \sum_1^n P_n^2. \quad (3)$$

Ця на вигляд проста формула досить точно виражає складну логіку залежностей параметрів електроспоживання, а саме: усунено головний недолік методу коефіцієнта попиту — враховано вплив кількості споживачів:

– зі збільшенням кількості споживачів $n_e \rightarrow \infty$, коефіцієнт попиту $\kappa_n \rightarrow \kappa_g$, а максимальна потужність $P_{\text{макс}} \rightarrow P_{\text{ср}}$;

– зі зменшенням кількості споживачів $n_e \rightarrow 1$, коефіцієнт попиту $\kappa_n \rightarrow 1$, а максимальна потужність $P_{\text{макс}} \rightarrow P_n$.

З кількістю споживачів понад 100 можна вважати: $\kappa_n = \kappa_g$, а вираз для визначення максимальної потужності буде мати вигляд

$$P_{\text{макс}} = \sum_1^n P_{\text{ср}} = \sum_1^n \kappa_g \cdot P_{\text{ном}}. \quad (4)$$

Слід врахувати, що коефіцієнт завантаження одиничного споживача завжди менше 1 і практично складає 0,7...0,9. Скоригований вираз коефіцієнта попиту має вигляд

$$\kappa_n = \kappa_e + \frac{0,8 - \kappa_e}{\sqrt{n_e}}. \quad (5)$$

Для використання методики необхідно знати значення групових коефіцієнтів використання в найнавантаженішу зміну. Ці значення можна визначити розрахунковим шляхом, але набагато точніше можна визначити ці значення на діючих підприємствах. За обмеженої кількості експериментів для обліку можливих відхилень рекомендується максимальні виміряні значення коефіцієнта використання $\kappa_{e, \text{вим}}$ збільшувати на 0,05, тобто розрахункове значення коефіцієнта використання

$$\kappa_e = \kappa_{e, \text{вим}} + 0,05. \quad (6)$$

За результатами порівняльних розрахунків значення розрахункової потужності, отримані узагальненим методом, на 30...40% менше, ніж іншими застосовуваними методами і значно ближче до реально існуючих значень, а завантаження силових трансформаторів шахтних дільничних підстанцій становить лише близько 30%. Оцінено, що загальна трансформаторна потужність на підземних підстанціях шахт може бути зменшена в 1,5...2 рази. Встановлено, що найдоцільніша потужність трансформаторів для дільничних підстанцій залізрудних шахт становить 250 кВА.

В результаті експериментальних досліджень [8] в умовах залізрудних шахт Криворізького залізрудного басейну отримані також графіки півгодинних електричних навантажень (ЕН) споживачів: компресорів, вентиляторів і підйомних машин.

Аналіз графіків ЕН показує:

1. Графіки ЕН мають імовірнісний характер з різним ступенем мінливості: великий ступінь мінливості характерний для графіків навантажень компресорів і підйомних машин, менший ступінь — для графіків вентиляторних і водовідливних установок.
2. Графіки ЕН мають циклічний характер, зумовлений циклічністю технологічних процесів рудників.

Результати досліджень [9] показали, що робочі трансформатори залізрудних шахт Криворізького гірничодобувного регіону на сьогодні протягом доби завантажені на 10...30% від номінального значення.

Аналіз отриманих результатів на прикладі реальної схеми електропостачання шахти показує невідповідність у бік завищення на 50...70% встановлених потужностей трансформаторів ДЗП для робочого діапазону існуючих електричних навантажень дільничних ЕП. Водночас очевидно, що заміна наявних трансформаторів ДЗП на менш потужні не принесе бажаного економічного ефекту.

Визначено перспективи підвищення режимних показників електропостачання в шахтних мережах. Для конкретних умов електропостачання залізрудних шахт оптимізація якісних показників досягається шляхом вибору найприйнятніших рішень і розробки раціональних пристроїв з техніко-економічних міркувань.

З проведеного аналізу відповідності показників якості електроенергії ГОСТ 13109-87 стає очевидно доцільність проведення заходів в напрямках:

- вибір (заміна) силових трансформаторів відповідної потужності, споживаної ЕП;
- забезпечення централізованого зустрічного регулювання напруги відповідно до режиму електроспоживання;
- місцевого регулювання напруги з метою скорочення діапазону відхилень напруги;
- компенсації реактивної потужності і втрат напруги у всіх вузлах;
- вдосконалення систем електропостачання з вибором раціональних підвищених рівнів напруги на всіх щаблях трансформації;
- регулювання (з метою обмеження) напруги в освітлювальних мережах.

Висновки

1. Сформовано новий підхід до розрахунку електричних навантажень технологічних груп споживачів, що відрізняється від відомих відсутністю штучного поділу їх за режимами роботи, що відповідає реальній структурі систем електропостачання гірничорудних і низки інших промислових підприємств.

2. Запропонований новий узагальнений метод розрахунку можна використовувати за допомогою звичайних засобів обліку, що знаходяться в мережі або визначати коефіцієнти з довідкової літератури, але тоді можливе завищення навантажень.

3. Запропонована узагальнена методика розрахунку електричних навантажень є універсальною і прийнятною для будь-яких виробництв і систем електроспоживання.

Існуючі відомі способи і методи оцінки режимів систем електропостачання не відповідають в необхідному обсязі реальним умовам залізрудних шахт і тому, для досягнення очікуваної достовірності, вимагають свого уточнення на основі результатів додаткових досліджень.

Основною причиною завищених втрат електричної енергії в системах електропостачання шахт є недосконалість структур та їх параметрів, що закладено на стадії проектування і пов'язано з використанням при цьому визначального критерію, орієнтованого в основі своїй на економію капіталовкладень, а не на енергоефективність.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. К. Шидловський, Г. Г. Півняк, М. В. Рогоза, та С. І. Випанасенко, *Геоелектроенергетика та геополітика України*. Дніпро, Україна: Національний гірничий університет, 2002, 282 с.
- [2] Е. К. Бабец, и др., «Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004—2011 гг.» в *Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009—2010 гг.* Кривой Рог, Украина: Видавничий дім, 2011, 329 с.
- [3] А. А. Азарян, та ін., *Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих геотехнологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв*. Кривий Ріг, Україна: Мінерал, 2006. 219 с.
- [4] И. О. Синчук, Э. С. Гузов, и А. Н. Яловая, *Потенциал электроэнергоэффективности и пути его реализации на производствах с подземными способами добычи железорудного сырья*. Кременчук, Украина: изд-во ПП Щербатих О. В., 2015, 296 с.
- [5] Р. А. Пархоменко, и А. Н. Яловая, «Основные процедуры оценки режимов электропотребления горнорудными предприятиями в условиях неопределённости и неполноты информации.» *Електромеханічні і енергозберігаючі системи. Щоквартальний науково-виробничий журнал*, вип. 2/2013(22), ч. 2, с. 256-259. 2013.
- [6] O. N. Sinchuk, E. S. Guzov, and R. A. Parkhomenko, «Refinement of Calculation Methods for Electrical Load in Industry,» *Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering*, vol. 1, no. 2, p. 6-9, 2014. ISSN: 2147-284X.
- [7] О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, В. П. Розен, и Р. А. Пархоменко, «Совершенствование методов расчета нагрузок систем электроснабжения рудных шахт,» *Горный журнал*, № 12/2013, с. 87-90. 2013.
- [8] О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, В. П. Розен, и Р. А. Пархоменко, «Анализ энергетических режимов электропотребителей железорудных шахт Криворожского железорудного бассейна,» *Електромеханічні і енергозберігаючі системи, Щоквартальний науково-виробничий журнал*, вип. 2/2013(22), ч. 2, с. 256-259. 2013.
- [9] О. Н. Синчук, Э. С. Гузов, И. О. Синчук, и Р. А. Пархоменко, «Повышение эффективности функционирования подземных участковых подстанций,» *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Електротехніка і енергетика,"* № (14), с. 256-260, 2013.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 5.01.2018

Розен Віктор Петрович — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри автоматизації управління електротехнічними комплексами, e-mail: auek@ukr.net ;

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ;

Пархоменко Роман Олександрович — старший викладач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту, e-mail: parchom@i.ua ;

Казембе Кабусонгі Джиммі — студент електротехнічного факультету.

ДВНЗ «Криворізький національний університет», Кривий Ріг

V. P. Rozen¹
R. O. Parkhomenko²
K. J. Kazembe²

Modes, Parameters and Efficiency of the Functioning of Electric Supply Systems of Underground Mine

¹National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute";

² Kryvyi Rih National University

The paper considers the issue of increasing the efficiency of electricity use in iron ore mines. The process of underground mines' electricity consumption is considered probabilistic. To increase the accuracy and reliability of the assessment of the state of the process of electricity consumption, its description requires the use of methods that allow you to make decisions in the current conditions of uncertainty and incompleteness of information. Practice shows that the actual load is

very different from the calculated; therefore, there is a need to clarify the method of determining loads. Technologies have changed today and the working conditions have changed, that is, it is necessary to determine new demand ratios for individual groups of consumers, which is practically impossible, because at the enterprise all groups of consumers work from the same network, that is, the method of the demand factor does not correspond to the current structure of electricity supply. Improvement of the method of demand factor was carried out by introducing empirical coefficients into it.

A new generalized method for calculating the technological groups of consumers is proposed, which differs from the known ones by the absence of an artificial separation of them according to the operating modes corresponding to the real structure of power supply systems for mining and a number of other industrial enterprises. The proposed calculation method can be used with the help of conventional metering devices that are in the network or determine the coefficients in the reference literature. The calculation procedure for electrical loads is universal and acceptable for any production and power supply systems.

According to the results of comparative calculations, the calculated power, obtained by the generalized method, is 30...40 % less than other applied methods and is much closer to the actual values, and the loading of power transformers of mine district substations is only about 30 %. It is estimated that the total transformer power at underground substations of mines can be reduced by 1,5—2 times. The analysis of the obtained results on the example of the real power supply scheme of the mine shows a discrepancy in the direction of overestimation of 50...70 % of the installed capacities of the transformers of the substation.

The prospects of increase of indicators of power supply in mines networks are determined. The main reason for the overestimated losses of electric energy in the power supply systems of mines is the imperfection of structures and their parameters, which is laid down at the design stage, and is associated with the use of a determinant criterion focused on saving investments, and not on energy efficiency.

Keywords: method, load, efficiency, power supply, power consumption.

Rozen Viktor P. — Professor, Head of the Chair of Automation of Control of Electrical Engineering Complexes, e-mail: auek@ukr.net ;

Parkhomenko Roman O. — Senior Lecturer of the Chair of Power Supply and Energy Management, e-mail: parchom@i.ua ;

Kazembe Kabussongi Jimmy — Student of the Department of Electrical Engineering

В. П. Розен¹
Р. А. Пархоменко²
К. Д. Казембе²

Режимы, параметры и эффективность функционирования систем электроснабжения подземных рудников

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»;

²ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

Предложен новый обобщенный метод расчета технологических групп потребителей, отличающийся от известных отсутствием искусственного разделения их по режимам работы, соответствующий реальной структуре систем электроснабжения горнорудных и ряда других промышленных предприятий. Предложенный метод расчета можно использовать с помощью обычных средств учета, находящихся в сети или определять коэффициенты по справочной литературе. Методика расчета электрических нагрузок является универсальной и применимой для любых производств и систем электроснабжения.

Ключевые слова: метод, нагрузки, эффективность, электроснабжения, электропотребления.

Розен Виктор Петрович — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации управления электротехническими комплексами, e-mail: auek@ukr.net ;

Пархоменко Роман Александрович — старший преподаватель кафедры электроснабжения и энергетического менеджмента, e-mail: parchom@i.ua ;

Казембе Кабусонги Джимми — студент электротехнического факультета