

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

УДК 621.316

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-105-3>

ПРОБЛЕМА ПЕРЕТОКІВ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ПІДЗЕМНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

Папаїка Юрій Анатолійович,

доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри електроенергетики
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0001-6953-1705

Лисенко Олександра Геннадіївна,

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри електропривода
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-7041-671X

Буртний Дмитро Іванович,

магістр електроенергетики
ORCID ID: 0009-0008-7758-8566

У статті проведено аналіз впливу перетоків надлишкової реактивної потужності (РП) на режими роботи підземних електричних мереж вугільних шахт. Розглянуто характерні особливості графіків електричних навантажень та енергобалансів гірничих підприємств. Досліджено сучасні способи компенсації РП в підземних електричних мережах і наведено основні залежності для оцінки економічної ефективності оптимізації перетоків РП. Метою роботи є обґрунтування необхідності дослідження та вирішення питання оптимізації перетоків РП в системі електропостачання гірничого підприємства. Для розв'язання поставлених завдань було проаналізовано сучасний стан підземних електричних мереж вугільних шахт на предмет завантаження підземних електричних мереж надлишковою РП. На підставі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність вирішення питання оптимізації перетоків РП в підземних електричних мережах. Запропоновані в роботі залежності оцінки економічної ефективності оптимізації перетоків РП дають змогу проводити вибір найбільш економічно доцільних точок підключення компенсаційного устаткування РП в шахтній мережі. Проведений аналіз дає змогу розглянути проблему перетоків РП з погляду впливу перетоку надлишкового рівня РП на ефективність режимів роботи електричних мереж і вибір основного обладнання.

Ключові слова: реактивна потужність, електричні мережі, гірничі підприємства, енергетичні баланси, вищі гармоніки.

Paipaika Yuri, Lysenko Alexandra, Burtnyi Dmytro. The problem of reactive power flows in underground power supply systems of coal mines

The article analyzes the influence of excess reactive power (RP) flows on the modes of operation of underground power supply systems of coal mines. The characteristic features of electrical load schedules and energy balances of mining enterprises are considered. Modern methods of RP compensation in underground power supply systems are studied and the main dependencies for evaluating the economic efficiency of RP flow optimization are given. The purpose of the work is to substantiate the need for research and solving the issue of optimization of RP flows in the power supply system of a mining enterprise. To solve the problems, the current state of underground power supply systems of coal mines was analyzed for the purpose of loading underground electrical networks with excess RP. On the basis of the conducted analysis, the need to solve the issue of optimization of RP flows in underground power supply systems is substantiated. Proposed in the paper, the dependencies of the assessment of the economic efficiency of optimization of RP flows allow the selection of the most economically expedient connection points of RP compensating equipment in the mine power supply systems. The conducted analysis allows us to consider the problem of RP flows from the point of view of the influence of the excess RP level flow on the efficiency of the operating modes of power supply systems and the choice of the main equipment.

Key words: reactive power, power supply systems, mining enterprises, energy balances, higher harmonics.

Вступ. Сучасним гірничим підприємствам характерні особливі режими роботи електричних мереж, які насамперед обумовлені особливостями технологічного процесу видобутку корисних копалин закритим способом. Режими роботи електричних мереж характеризуються повторно-короткочасними накидами навантаження та є унікальними для кожного шахтоуправління. Постійна зміна рівня електричних навантажень, децентралізація системи електропостачання та збільшення відстані між точками розподілу електричної енергії формує особливі графіки електричних навантажень (ГЕН). Формування групового ГЕН вугільної шахти відбувається внаслідок узагальнення індивідуальних графіків електричного обладнання, які мають специфічні особливості, пов'язані з технологічним процесом роботи.

Особливі режими роботи основного обладнання з видобутку вугілля вимагають вирішення проблеми перетоків надлишкової РП в підземній шахтній мережі. Також у контексті вирішення цього питання не менш важливою задачею є задача пошуку рішення зменшення втрат активної потужності в елементах електричних мереж шляхом наближення джерел компенсації РП до точки її споживання.

Мета дослідження. У цій роботі було проведено оціночний аналіз сучасного стану підземних електричних мереж вугільних шахт. Обґрунтовано необхідність дослідження та вирішення питання оптимізації перетоків реактивної потужності в системі електропостачання гірничого підприємства.

Основний зміст роботи. Створення засад забезпечення енергетичної ефективності в умовах діючої вугільної шахти вимагає комплексного розгляду проблеми перетоків реактивної потужності. На основі наукових та експериментальних досліджень електричних режимів вугільних шахт вирішення зазначеного питання проводиться шляхом оптимізації електричних режимів у такій послідовності [1, 2]:

- розрахунок електричних навантажень стаціонарних установок, підземних навантажень і підприємства загалом;
- перевірка режиму напруги до найбільш віддалених електроприймачів;
- перевірка показників якості напруги під час роботи потужних нелінійних навантажень з урахуванням циклічності роботи;
- вибір конфігурації схем і перетинів кабельних ліній (КЛ) електричних мереж;
- вибір засобів компенсації реактивної потужності (КРП) і їх розподіл між мережами 0,4; 0,66; 1,14 кВ і 6–10 кВ.

Науковими дослідженнями визначено ознаки та специфічні режими стаціонарних установок вугільних шахт [3], які в комплексному підході розгляду проблеми перетоків реактивної потужності створюють унікальні співвідношення параметрів електромагнітних процесів передачі та перетворення електроенергії. Режими споживання реактивної потужності та генерації вищих гармонік у підземній шахтній мережі мають варіативний характер [3, 4], причому ступінь споживання реактивної потужності залежить від споживаної активної потужності.

Одним із можливих методів оптимізації перетоків РП в підземній системі електропостачання є проведення розрахунку згідно з методикою визначення економічного ефекту, викликаного недостатньою компенсацією або перекомпенсацією РП [4].

Найбільш ефективним шляхом розробки технічних рішень зі зниження рівня РП в електричній мережі є використання стаціонарних установок з компенсації РП [3, 4], місце встановлення яких може бути визначено шляхом оцінки плати за перетоки реактивної потужності в шахтній мережі, що досліджується.

Розглянемо спрощену схему електропостачання шахтної мережі від комплектної трансформаторної підстанції (КТПВ) енергопотяга лави до шин головної знижувальної підстанції ГЗП (рис. 1).

За схемою електропостачання шахтної мережі, що досліджується, можливо провести формування добового ГЕН за наявними значеннями рівня активної та реактивної потужності в точках розглянутої електричної мережі (рис. 2). Формування ГЕН саме за реальними значеннями електричних параметрів дає змогу з великою точністю проаналізувати режими електроспоживання [4], які виникли на конкретній ділянці шахтної мережі, та виконати розробку технічних рішень з урахуванням конфігурації мереж шахтного поля.

Наведений ГЕН демонструє типовий режим роботи підземної мережі електропостачання без наявних засобів компенсації РП. Режим електропостачання характеризується значним перевищенням рівня реактивної складової порівняно з активною, що призводить до зростання рівня невиробничих витрат і потребує впровадження в технологічний процес засобів оптимізації перетоків РП, максимально наближених до підземних ступоприймачів.

Підземні струмоприймачі шахт можна умовно поділити за рівнем узагальнення електричних навантажень на характерні групи споживачів [2, 3]:

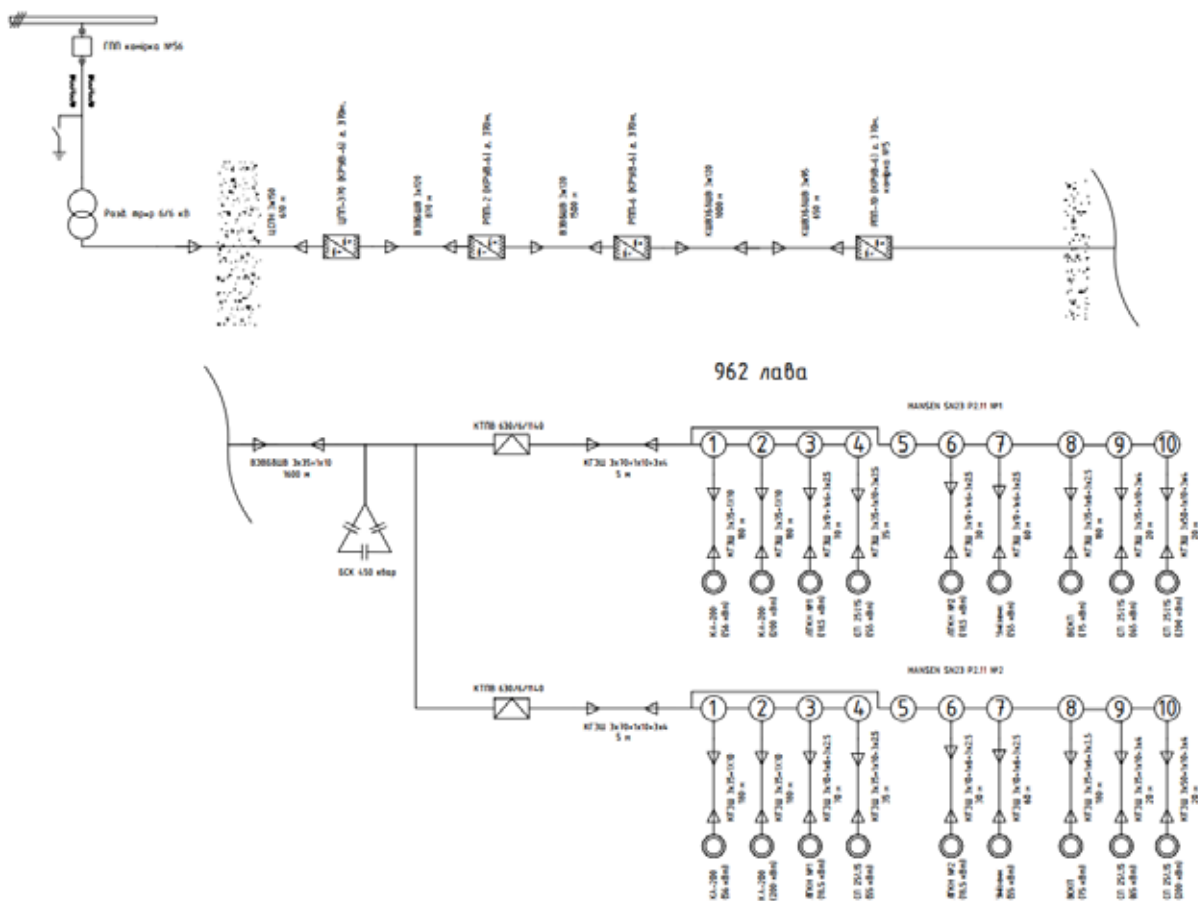


Рис. 1. Схема електропостачання лави

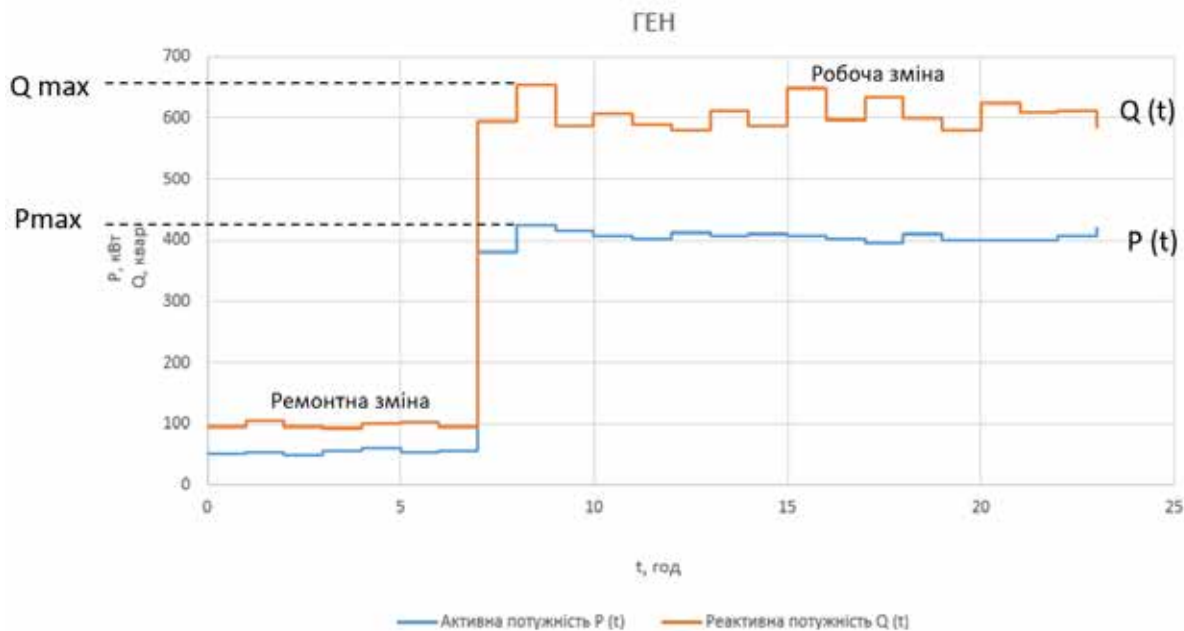


Рис. 2. Добовий ГЕН 962 лави шахтоуправління ім. Героїв Космосу

- очисних забоїв;
- прохідницько-видобувних і прохідницьких забоїв;
- панельного та магістрального конвеєрного транспорту.

Крім того, у вузлах навантаження характерні групи споживачів – навантаження секцій шин ЦПП, РПВ та РПВ головного водовідливу.

Ефективність застосування пристроїв компенсації РП, правильність вибору їх потужності

та місця підключення, визначення раціонального розподілу втрат потужності та напруги на різних ділянках електричної мережі шахт визначається виходячи з дійсних значень активних і реактивних електричних навантажень у характерних вузлах підземної розподільної мережі напругою 6 кВ відповідно до сформованого ГЕН [4].

За допомогою конденсаторних установок можна не тільки компенсувати частину реактивної потужності, але й раціонально розподілити некомпенсовану частину цієї потужності по окремих вузлах мережі [3], виходячи з мінімуму втрат активної потужності й електроенергії, а також збільшити напругу на затискачах струмоприймачів гірських машин.

Для проведення вибору найбільш економічно ефективних точок підключення компенсаційного устаткування РП на ділянках шахтного поля доцільно використання залежностей (1) – (3) [3].

$$\Delta W1 = \frac{\sum P_i^2 \cdot t_i + \sum Q_i^2 \cdot t_i}{U_{ном}^2} \cdot R, \quad (1)$$

де $\Delta W1$ та $\Delta W2$ – втрати енергії до компенсації та після компенсації;

P_i та Q_i – значення потужностей за півгодинний інтервал часу;

$U_{ном}$ – номінальна напруга мережі;
 R – сумарний опір схеми заміщення.

$$\Delta W2 = \frac{\sum P_i^2 \cdot t_i + \sum Q_i^2 \cdot t_i}{U_{ном}^2} \cdot R, \quad (2)$$

Економічний ефект від компенсації РП може бути розраховано за формулою [4]:

$$\delta W = (\Delta W1 - \Delta W2) \cdot c, \quad (3)$$

де c – тарифна ставка на електричну енергію.

Висновки. У цій статті було наведено основні залежності для оцінки економічної ефективності оптимізації преретоків РП на ділянці шахтного поля, що розглядається. Обґрунтовано необхідність дослідження та вирішення питання оптимізації перетоків РП в системах електропостачання вугільних шахт. Аналіз типового ГЕН обґрунтував доцільність вирішення проблеми завантаження підземних електричних мереж надлишковою РП, яка генерується основним обладнанням з видобутку вугілля. Наведені універсальні залежності дають можливість визначити раціональні точки приєднання компенсаційного устаткування за будь-якої конфігурації електричної мережі шахтного поля.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Реактивна потужність в електричних мережах : монографія / І. В. Жежеленко, Г. Г. Півняк, Г. Г. Трофімов, Ю. А. Папаїка ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. у-т «Дніпровська політехніка». Дніпро : НТУ «ДП», 2020. 72 с.
2. Енергетична ефективність систем електропостачання : монографія / Г. Г. Півняк, І. В. Жежеленко, Ю. А. Папаїка ; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». 2-ге вид. Дніпро: НТУ «ДП», 2018. 148 с.
3. Папаїка Ю. А. Застосування індивідуал. графіків вищих гармонік в задачах електромагн. сумісності та енергоефективності гірничих підприємств / І. В. Жежеленко, Ю. А. Папаїка, О. Г. Лисенко, К. С. Родна. Гірничая електромеханіка. 2019. № 101. С. 3–7.
4. Оціночні методи визначення економічного еквівалента реактивної потужності / І. В. Жежеленко, Ю. А. Папаїка, О. Г. Лисенко. Гірничая електромеханіка та автоматика. 2017.

REFERENCES:

1. Reaktyvna potuzhnist v elektrychnykh merezhakh [Reactive power in power supply systems]: monograph / I.V. Zhezhelenko, H.G. Pivniak, H.G. Trofimov, Yu.A. Papaika; Ministry of Education and Science of Ukraine, National technical "Dniprovsk Polytechnic" university. Dnipro: NTU "DP", 2020. 72 p. [in Ukrainian].
2. Enerhetychna efektyvnist system elektropostachannia [Energy efficiency of power supply systems]: monograph / H.G. Pivniak, I.V. Zhezhelenko, Yu.A. Papaika; Ministry of Education and Science of Ukraine, National technical "Dniprovsk Polytechnic" University. 2nd ed., Dnipro: NTU "DP", 2018. 148 p. [in Ukrainian].
3. Papaika, Yu. A. (2019). Zastosuvannia indyvidual. hrafikiv vyshchychkh harmonik v zadachakh elektromahn. sumisnosti ta enerhoefektyvnosti hirnychychk pidpriemstv [The application is individual. graphs of higher harmonics in electromagnetic problems. compatibility and energy efficiency of mining enterprises] / I.V. Zhezhelenko, Yu.A. Papaika, O.H. Lysenko, K.S. Rodna. *Mining Electromechanics*, No. 101. P. 3–7 [in Ukrainian].
4. Otsinichni metody vyznachennia ekonomichnoho ekvivalentu reaktyvnoi potuzhnosti [Evaluation methods for determining the economic equivalent of reactive power] / I.V. Zhezhelenko, Yu.A. Papaika, O.H. Lysenko. *Mining electromechanics and automation*. 2017 [in Ukrainian].