

*Д.В.Трифонов, канд. техн. наук, О.Р.Ковальов, О.О.Кумпін  
(Україна, Дніпропетровськ, Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»)*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У ШАХТНИХ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМАХ**

### **Стан питання.**

У загальному комплексі проблем розвитку електроенергетики України важливе місце в умовах дефіциту паливно-енергетичних ресурсів займає енергозбереження в шахтних виробничих системах. Сучасні вугільні шахти є високо механізованими гірничовидобувними підприємствами за складним електроенергетичним господарством. Вони характеризуються великим різноманіттям технологічних процесів, що істотно впливають на ефективність використання електроенергії [1].

Питоме електроспоживання на різних шахтах складає 15...80 кВтгод на тонну видобутого вугілля і більше, а в цілому по Україні – одне із найвищих в Європі. Частка витрат на електроенергію у вугільній галузі за останні роки в основному підвищилась на 3,5 %. Це пов'язано зі спадом виробництва та необхідністю підтримки підприємства в робочому стані. Незважаючи на це є значні можливості для економії енергетичних ресурсів, серед яких частка електрозбереження складає в середньому 25–30 %, або приблизно 2 % від рівня енергоспоживання. У зв'язку з цим енергозбереження відноситься до одного з основних напрямів підвищення ефективності промислового виробництва і є найважливішим питанням державної політики України. Про це свідчить прийняття Верховною Радою Закону “Про енергозбереження” та Комплексної державної Програми енергозбереження. Підвищення енергоефективності на гірничовидобувних підприємствах у сучасних умовах набуває особливого значення, коли можливості екстенсивного використання енергоресурсів стають все більш обмеженими, а питання економії витрат електроенергії часто вирішується шляхом формального виконання направлених “зверху” директивних вказівок без достатнього обліку та використання наукового обґрунтування показників енергоємності та електробалансів технологічних процесів. Для оцінки ефективності електровикористання необхідно проведення об'ємних досліджень у сфері функціонування електрогосподарства, визначення факторного поля, формуючого електроспоживання, побудови багатомірних класифікацій та оптимізаційних моделей вугільних підприємств.

Таким чином, завдання максимальної економії всіх видів ресурсів (і в першу чергу енергетичних) та підвищення якості промислової продукції є на поточному етапі одними із найактуальніших як у нашій країні, так і за її межами. В галузі електроенергетики ці завдання зводяться до зниження втрат електричної енергії в мережах і підвищення її якості в точках споживання. Аналіз електроспоживання свідчить, що резерви економії енергетичних ресурсів є практично в усіх ланках технологічного процесу шахтних виробничих систем. Заходи, що сприяють економічно доцільному зниженню втрат електроенергії можна поділити на дві групи:

- технологічні, які спрямовані на удосконалення технологічного процесу, поліпшення режимів роботи електроприймачів, використання машин і обладнання з більш високими показниками;
- зниження втрат електроенергії в електричних мережах до економічно доцільних значень.

Відомо, що для різноманітних режимів роботи електричної системи завжди має місце баланс реактивної потужності, тобто сумарна генерована реактивна потужність завжди дорівнює сумарній споживаній потужності. Умови балансу зберігаються для кожного вузла електричної мережі і для всієї електричної системи в цілому. Залежно від тих або інших видів джерел електроенергії, які використовуються, баланс реактивної потужності може бути забезпечено різноманітними заходами. Звідси виникає завдання технічно правильного та найбільш економічного вибору типу, місць розміщення і режимів роботи джерел реактивної потужності як для кожного вузла мережі, так і для електричної системи в цілому.

Під час передачі реактивної потужності від електростанції до місця її споживання в мережі з'являються додаткові втрати напруги та електроенергії. Найбільш ефективним способом зниження цих втрат є встановлення компенсуючих пристроїв у споживачів. Оскільки під час компенсації реактивної потужності втрати напруги в зовнішній мережі зменшуються, то при певних умовах регульоване джерело реактивної потужності може бути використано як засіб регулювання напруги в мережі.

Розв'язання проблеми компенсації реактивної потужності не тільки сприяє можливості існування оптимальних режимів роботи електричних мереж за рахунок забезпечення балансу реактивної потужності як у системі в цілому, так і в окремих її вузлах, але й вагомо додатково зменшує витрати на спорудження і експлуатацію мереж. Така оптимізаційна ефективність не вимагає додаткових капіталовкладень, оскільки досягається за рахунок методичних удосконалень та впровадження раціонального організаційного механізму реалізації теоретичних рішень. Вона надзвичайно практична та актуальна, особливо на

поточній стадії розвитку електроенергетики в державі, коли гостро відчувається дефіцит генеруючих потужностей та значно низький рівень напруги в енергосистемі.

Необхідно відзначити, що для умов вугільних шахт зниження втрат електроенергії в підземних кабельних мережах, якщо припустити їх коректний вибір, можливо тільки за рахунок зниження повного струму. Це досягається підвищенням природного коефіцієнта потужності, який згідно зі ствердженнями багатьох науковців становить не більше 0,6...0,75. Але до теперішнього часу відсутні науково обгрунтовані рекомендації щодо економічного доцільного обсягу компенсації реактивної потужності підземних електроприймачів. Це питання можливо вирішити за допомогою розробленого алгоритму імітаційної моделі навантаження підземних розподільних пунктів, ЦПП, а також параметрів електричних мереж. Оптимізація втрат електроенергії здійснюється за мінімумом витрат на заходи, що забезпечують регулювання останніх.

Отже, підвищення ефективності електроспоживання підземними електроприймачами можливо за рахунок зниження втрат електроенергії в кабельних мережах шляхом використання компенсації реактивної потужності у визначених економічно доцільних межах, які устанавлюються за допомогою оптимізації цих втрат.

### Мета статті.

Обгрунтування методики визначення економічно доцільного зниження втрат електроенергії в підземних мережах з допомогою компенсації реактивної потужності підземних споживачів, яка потребує: формування бази даних з втрат електроенергії в окремих ланках підземних кабельних мереж та розроблення моделі оптимізації втрат електроенергії в підземних мережах.

### Основна частина.

Для забезпечення економічної роботи системи електропостачання (СЕР) необхідно прагнути до зменшення передачі реактивної потужності в електричних мережах за рахунок зниження споживання її відповідними електроприймачами, а також застосування спеціальних технічних засобів компенсації реактивної потужності (КРП).

Максимальне зниження реактивної потужності в СЕР шахт можливо досягти шляхом раціонального розташування конденсаторних установок (КУ) на різних ступенях системи електропостачання. На цій основі може бути отримано найбільший економічний ефект від зниження втрат активної енергії при передачі по розподільних мережах реактивної, а також забезпечена максимальна знижка оплати за електроенергію.

Значні втрати електроенергії в підземних електричних мережах виникають у зв'язку з низьким коефіцієнтом потужності  $\text{tg}\phi$  підземних електроприймачів, який становить 0,45...0,75. Варіант розташування КУ в підземних виробках шахт на розподільних пунктах забезпечує максимальний ефект від компенсації. Але варіант розташування КУ на центральній підземній підстанції шахт, також буде економічно вигідним, якщо це допоможе зменшити необхідну кількість стволів кабелів або збільшити підземне навантаження при тій самій кількості цих кабелів [2].

Оскільки втрати активної потужності в розподільних мережах зумовлені передачею активної та реактивної потужності, то вони розраховуються або так:

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} \cdot R \cdot 10^{-3}, \text{ кВт},$$

або так,

$$\Delta P = \frac{P^2 \cdot R}{U^2} \cdot 10^{-3} + \frac{Q^2 \cdot R}{U^2} \cdot 10^{-3} = \Delta P_a + \Delta P_p, \text{ кВт},$$

де  $P$ ,  $Q$  – активна та реактивна потужності, кВт і квар;  $U$ ,  $R$  – напруга та опір мережі, кВ і Ом;  $\Delta P_a$ ,  $\Delta P_p$  – втрати активної та реактивної потужностей, кВт.

Втрати  $\Delta P_a$  залишаються практично незмінними при компенсації. Тому при відповідних варіантах їх не враховують, а для спрощення позначення у виразах замість  $\Delta P_p$  приймають  $\Delta P$ . У радіальних та магістральних схемах розподілу електроенергії [3] найменші її втрати визначаються при виконанні умови

$$(Q_i - Q_{ki}) \cdot R_i = (Q - Q_k) \cdot R_e,$$

## Енергозбереження та енергоефективність

де  $Q_i = Q_1 + Q_2 + \dots$  – загальне розрахункове реактивне навантаження РПП-6, квар;  $Q_1, Q_2, \dots$  – розрахункові реактивні навантаження РПП-6, квар;  $Q_k = Q_{k1} + Q_{k2} + \dots$  – загальна потужність підземних КУ, що підлягає розподілу, квар;  $Q_{k1}, Q_{k2}, \dots$  – оптимальні потужності КУ, що підлягають підключенню до окремих РПП-6, квар;  $R_1, R_2, \dots$  – активні опори окремих ліній, що живлять відповідні РПП-6, Ом;  $R_e$  – еквівалентний опір лінії, Ом, визначений як

Еквівалентний опір лінії визначається

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots}.$$

Сучасні системи електропостачання шахт дуже складні, оскільки містять багато різноманітних елементів і видів схем: радіальні, магістральні, змішані. Тому при розрахунках  $R_e$  і вибору місця розташування КУ необхідно змішані схеми зводити до еквівалентних магістральних або радіальних. Після цього виконується остаточний вибір місця розташування КУ.

У цьому разі мінімальні втрати в електричних мережах від передачі реактивної потужності

$$\Delta P_{min} = \frac{(Q - Q_k)^2}{U^2} \cdot R_e$$

Зниження втрат активної потужності з урахуванням установлених КУ

$$\Delta P_3 = \frac{Q^2 - (Q - Q_k)^2}{U^2} \cdot R_e = \frac{-Q_k^2 + Q \cdot Q_k}{U^2} \cdot R_e = \frac{Q_k \cdot (2 \cdot Q - Q_k)}{U^2} \cdot R_e. \quad (1)$$

Для окремого приєднання (РПП-6), підставив значення  $Q_k$  у вираз (1) отримаємо

$$\Delta P_{3pi} = \frac{2Q \cdot P_{cp}(tg\phi_1 - 0.25) - [P_{cp}(tg\phi_1 - 0.25)]^2}{U^2} \cdot R_e, \quad (2)$$

де  $P_{cp} = \frac{T_{max}}{t_k} \cdot P_p$  – середнє навантаження за найбільш завантажену зміну;  $P_p$  – розрахункове навантаження підземних електроприймачів;  $T_{max} = 4000 \dots 4800$  – кількість годин споживання максимальної активної потужності;  $t_k = N n t = 7200$  – кількість годин роботи підземних приймачів,  $N = 300$ ,  $n = 4$ ,  $t = 6$  – кількість робочих днів за рік, кількість змін за добу, тривалість зміни відповідно;  $tg\phi_1$  – коефіцієнт реактивної потужності для ліній;  $tg\phi = 0,25$  – значення граничного коефіцієнта реактивної потужності, для якого відсутня надбавка за споживання реактивної потужності при розрахунках з енергосистемою.

Для спрощення розрахунків щодо підземних електроприймачів приймаємо:  $T_{max} = 4500$  годин;

$U = 6$  кВ;  $tg\phi_1 = 0,25$ ;  $R_i = \frac{L_i}{\gamma \cdot S_i}$ ;  $\gamma = 50$  м/Ом·мм<sup>2</sup>.

Підставив наведені вище значення у формулу (2) та розв'язавши її, маємо:

$$\Delta P_n = \sum_{i=1}^n \frac{P_{pi}^2 \cdot (0.86 \cdot tg\phi_1^2 + 0.12 \cdot tg\phi_1 - 0.024) \cdot L_i}{1800 \cdot S_i}.$$

Тоді зниження питомих втрат електроенергії (на 1 м лінії перерізом 1 мм<sup>2</sup>) з урахуванням КУ

$$\Delta P_{zn.n} = \frac{P_{pi}^2 \cdot (0.86 \cdot tg\phi_1^2 + 0.12 \cdot tg\phi_1 - 0.024)}{1800} \quad (3)$$

Результати розрахунку питомих втрат потужності, виконаного за формулою (3), наведені у таблиці.

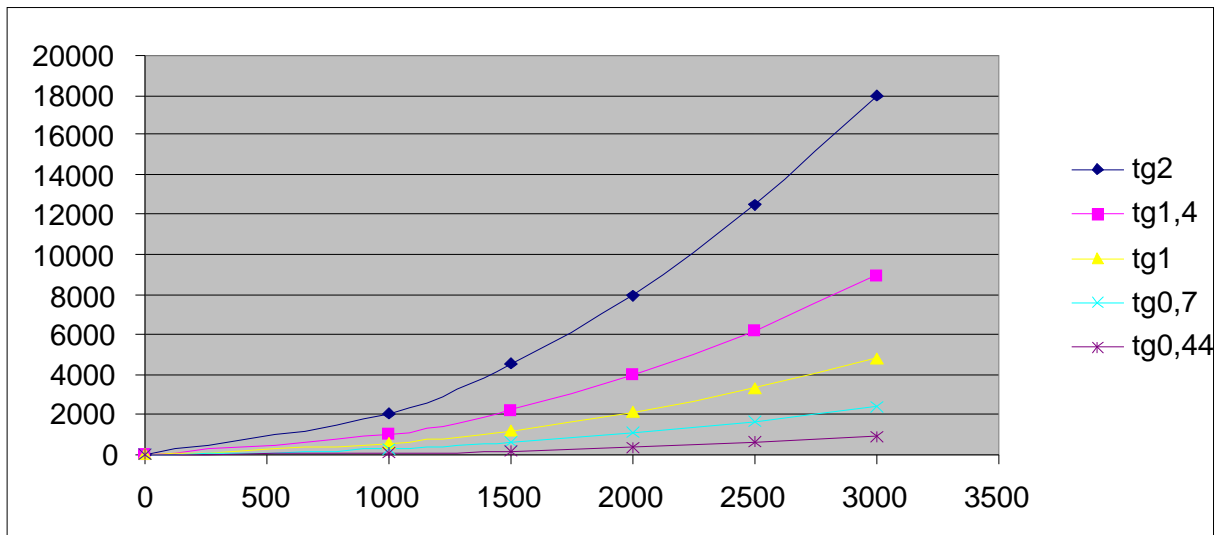
За даними таблиці на рисунку 1 побудована діаграма зниження питомих втрат потужності згідно з функцією  $\Delta P_a = f(P_{pi}, tg\phi_i)$ .

Зниження втрат потужності в цілому для електричної мережі

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n \Delta P_{ni} \frac{L_i}{S_i}$$

**Результати питомих втрат потужності у підземних мережах шахт  $P_{щ,р} 10^{-3}$  кВт**

Параметр	Розрахункове навантаження підземних електроприймачів, кВт				
	$P_p = 1000$	$P_p = 1500$	$P_p = 2000$	$P_p = 2500$	$P_p = 3000$
$tg\varphi_i (\cos\varphi_i)$					
2,00 (0,45)	2000	4500	8000	12500	18000
1,4 (0,58)	1000	2250	4000	6250	9000
1,00 (0,7)	530	1200	2120	3300	4770
0,7 (0,83)	270	607	1080	1690	2430
0,44 (0,92)	100	225	400	625	900
0,25 (0,96)	0	0	0	0	0



**Рисунок 1 - Діаграма зниження питомих втрат потужності в підземних мережах шахт**

**Висновки.**

На основі виконаних розрахунків розроблено імітаційну модель навантаження підземних розподільних пунктів, за допомогою якої визначаються місце встановлення компенсаційних пристроїв у РПП-6 кВ, втрати електричної енергії в підземних кабельних мережах 6 кВ, та мінімізують ці втрати за критеріями вартості втрат електроенергії та втрат, пов'язаних з придбанням та встановленням технічних засобів зі зниження втрат електроенергії.

**Список літератури**

1. Розен В.П. Определение признакового пространства, формирующего электропотребление горнодобывающих предприятий /В.П.Розен, Д.В.Трифонов // Уголь Украины. – 1995. – №6. – С.29 – 30.
2. Гительсон С.М. Экономические решения при проектировании электроснабжения промышленных предприятий. /С.М.Гительсон. –М.:Энергия, 1971.
3. Константинов Б.А. Компенсация реактивной мощности. /Б. А.Константинов, Г.З.Зайцев. – Л.: Энергия, 1976. – 104 с. с ил. (Б-ка электромонтера. Вып. 445.)

*Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Випанасенко С.І.*