

УДК 622.012.2: 621.31

## ОЦІНКА ВПЛИВУ ВІДХИЛЕНЬ НАПРУГИ НА РІВЕНЬ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

*Зайка В.Т., д.т.н., проф., Самойленко В.В.*

*Національний гірничий університет, м. Дніпропетровськ*

*49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19*

*E-mail: nedostupenko\_v@ukr.net*

Разработана экономика-математическая модель на базе чистого приведенного дохода для определения оптимальной мощности компенсирующих установок в подземной сети угольных шахт с учетом снижения производительности угледобывающих машин при отклонениях напряжения. Показано влияние ущерба от отклонений напряжения на уровень компенсации реактивных нагрузок.

**Ключевые слова:** ущерб, отклонения напряжения, уровень компенсации.

The economic and mathematical model is developed by the NPV criterion for the optimization compensating plant capacity in underground network of coal mines taking into account the productivity slowdown of coal-plough machines under voltage fluctuation. Influencing of damage from voltage fluctuation on the level of reactive power compensation is shown.

**Key words:** damage, voltage fluctuation, compensation level.

**Вступ.** Відомо, що потоки реактивної потужності в мережах окрім втрат електроенергії та зниження пропускної здатності її елементів призводять до підвищення втрат напруги, внаслідок чого знижується її рівень у кінцевих споживачів.

В той же час продуктивна робота вугледобувних машин з асинхронним приводом знаходиться у прямій залежності від відхилень напруги на його затискачах при будь-якому способі регулювання швидкості подачі машини. Тому управління потоками реактивної енергії саме в системі підземного електропостачання шахти повинно здійснюватися з урахуванням зниження продуктивності вугледобувних машин при відхиленнях напруги.

**Мета роботи.** Розробка економіко-математичної моделі для визначення оптимальної потужності компенсуювальних установок (КУ) в підземній мережі вугільних шахт з урахуванням зниження продуктивності вугледобувних машин при відхиленнях напруги, та оцінка впливу останніх на рівень компенсації.

**Матеріал та результати досліджень.** Техніко-економічною характеристикою, що відображає вплив режиму напруги на техніко-економічні показники роботи мережі, є економічний збиток від відхилень напруги.

В основу існуючої методики визначення збитку від відхилень напруги [1] закладено той факт, що тільки перевантажувальна здатність та її аналог – рівень напруги на затискачах комбайнового електродвигуна в режимі перекидання, можуть служити показником якісного електропостачання вугледобувних машин з ручним управлінням, а для автоматизованих машин показником, за яким

можна судити про якість напруги, а отже, і про можливу продуктивність, є рівень напруги на затискачах електродвигуна комбайна в процесі його нормальної роботи, так як він однозначно визначає зміну обертового моменту при відомих параметрах регулювання.

Використаємо відомі економічні характеристики збитку для вугільних комбайнів з ручним та автоматичним регулюванням швидкості подачі для розробки економіко-математичної моделі для оцінки ефективності компенсації реактивних навантажень у підземному електроенергетичному комплексі шахти. За критерій ефективності приймемо чистий приведений дохід (*NPV*) від встановлення у вузлі навантаження КУ потужністю  $Q_{ky}$ :

$$NPV(Q_{ky}) = \sum_{t=2}^{T_p} \frac{c_e T \cdot r \cdot 10^{-3} (2Q_c Q_{ky} - Q_{ky}^2)}{U^2 (1+\alpha)^t} + \sum_{t=2}^{T_p} \frac{\Delta Y(Q_{ky})}{(1+\alpha)^t} - \frac{Q_{ky} c_{ky}}{(1+\alpha)} - \sum_{t=2}^{T_p} \frac{c_e T \Delta r_{ky} Q_{ky} + (\alpha_a + \alpha_o) Q_{ky} c_{ky}}{(1+\alpha)^t} \quad (1)$$

де  $Q_c$  – середнє значення реактивної потужності споживання у вузлі навантаження, кВт;  $r$  – активний опір ділянки мережі до вузла, де встановлюється КУ, Ом;  $T$  – тривалість роботи КУ, год/рік;  $U$  – напруга живлення вузла, де встановлюється КУ, кВ;  $\alpha$  – норматив дисконтування, в.о.;  $\alpha_a, \alpha_o$  – коефіцієнти відрахувань від капітальних вкладень відповідно на реновацію та ремонт і обслуговування, в.о.;  $\Delta r_{ky}$  – питомі втрати активної потужності в КУ, кВт/квар;  $c_{ky}$  – питомі капітальні витрати на КУ, грн/квар;  $T_p$  – розрахунковий період здійснення проекту, рік;

$\Delta Y(Q_{ку})$  – функція зниження річного збитку від відхилень напруги при встановленні у вузлі КУ потужністю  $Q_{ку}$ , грн/рік.

Функція  $\Delta Y(Q_{ку})$  незалежно від способу управління комбайном може бути розрахована за формулою:

$$\Delta Y(Q_{ку}) = \Delta y(Q_{ку}) \cdot n \cdot N \cdot (T_{зм} - t_{пзо}), \quad (2)$$

де  $n$  – кількість робочих змін з видобутку вугілля за добу;  $N$  – кількість робочих днів у році;  $T_{зм}$  – тривалість робочої зміни, год.;  $t_{пзо}$  – час на виконання проміжних та завершальних операцій у кінці зміни, год.;  $\Delta y(Q_{ку})$  – експериментально-аналітична економічна характеристика зниження збитку, грн./год.

Збиток є монотонною убуючою функцією, до того ж його залежність від напруги є нелінійною. Однак у зв'язку з тим, що в області практично можливих значень випадкового аргументу  $U = (0,8...1,2)U_{ном}$  функція збитку практично мало відрізняється від лінійної, використання економічної характеристики може бути спрощене шляхом заміни на даному інтервалі дійсної функції лінійною. Лінеаризація правомірна, так як вихідна функція є безперервною і такою, що диференціюється.

Лінеаризовані функції збитку мають вигляд:

– при ручному регулюванні швидкості подачі комбайна:

$$\Delta y(Q_{ку}) = 10^{-3} p_U \times \frac{\times 120mB\gamma wdP_{ст.ном}}{K_H \left( \frac{1}{K_H} + \frac{T_{пр}}{L} (c + dP_{ст.ном}) \right)^2} \times \frac{x}{U^2} Q_{ку}, \quad (3)$$

де  $m$  – потужність шару вугілля, що виймається, м;  $B$  – ширина захвату робочого органу виймальної машини, м;  $\gamma$  – об'ємна вага вугілля, т/м<sup>3</sup>;  $w$  – постійна складова в собівартості тони вугілля по видобувній дільниці, грн./т;  $K_H$  – коефіцієнт надійності вугледобувного комплексу;  $T_{пр}$  – витрати часу на допоміжні та експлуатаційні операції, що залежать від умов експлуатації, на один робочий цикл, хв.;  $P_{ст.ном}$  – стійка потужність комбайна, що відповідає номінальному максимальному моменту двигуна, кВт;  $p_U$  – коефіцієнт, що характеризує вірогідність роботи комбайна в основному та перевантажувальному режимах;  $c, d$  – коефіцієнти рівняння швидкісної характеристики;  $L$  – довжина лави, м;  $x$  – реактивний опір, Ом;

– для автоматизованих виймальних машин приймається, що номінальній напрузі на затискачах електродвигуна відповідає і номінальне значення уставки регулятора, а відповідно, при цьому забезпечується і номінальна продуктивність. Для випадку, коли регульованою величиною є струм, економічна характеристика збитку має вигляд:

$$\Delta y(Q_{ку}) = 10^{-3} \frac{60mB\gamma wdP_{ном}}{K_H \left( \frac{1}{K_H} + \frac{T_{пр}}{L} (c + dP_{ном}) \right)^2} \times \left( \frac{\partial}{\partial U} m_c \Big|_{U=1} \right) \times \frac{x}{U^2} Q_{ку}, \quad (4)$$

де  $P_{ном}$  – корисне навантаження на валу електродвигуна при номінальній напрузі та моменті, кВт;  $U = U/U_{ном}$  – відносне значення напруги на

затискачах електродвигуна;  $m_c$  – кратність моменту сил опору у відношенні до номінального моменту.

Рішення оптимізаційної задачі за розробленою моделлю методом найшвидшого спуску для системи підземного електропостачання діючої шахти (рис. 1) показало, що доля зниження збитку від відхилень напруги при встановленні КУ менше величини економічного ефекту від зниження втрат електроенергії в елементах мережі і не змінює структуру розподілу КУ по вузлах, але збільшує їх необхідну потужність. У таблиці 1 наведені дані для вузлів фрагменту схеми (див. рис. 1), позначених у кружечках.

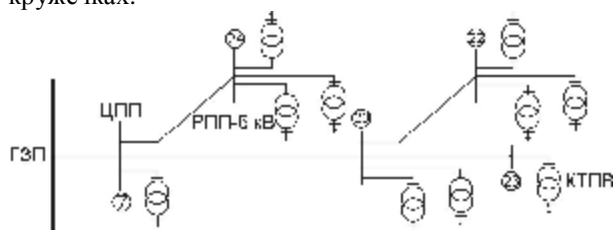


Рисунок 1 – Фрагмент розрахункової схеми підземного електропостачання шахти

**Висновки.** В кінцевому результаті врахування збитку від зниження продуктивності вугледобувних комплексів при відхиленнях напруги призводить до підвищення оптимальної потужності компенсувальних установок та економічного ефекту:

при ручному регулюванні швидкості подачі комбайнів – відповідно на 7% та 11% (рис.2а);

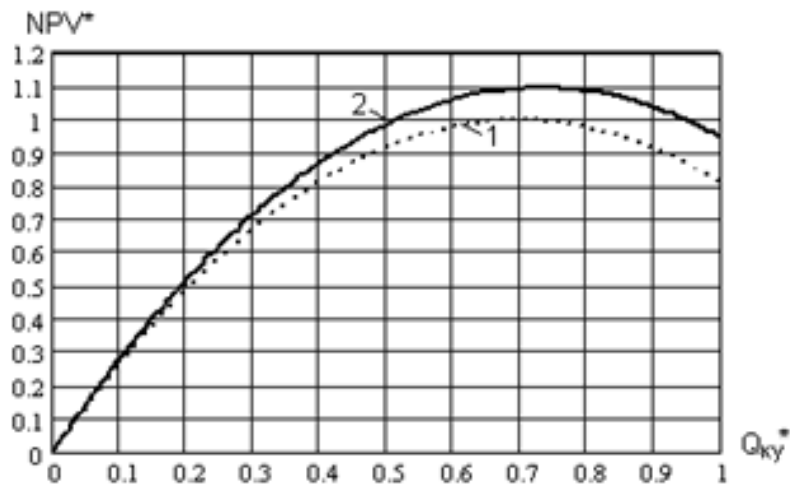
при автоматичному регулюванні швидкості подачі комбайна – відповідно на 4% та 6% (рис.2б).

#### БІБЛІОГРАФІЧНІ ДАНІ

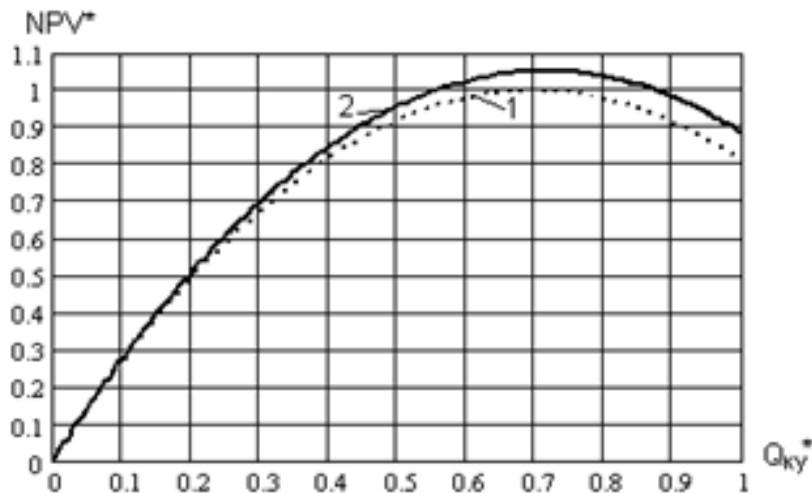
1. Методика оценки ущерба от отклонений напряжения при выемке угля / С.А. Волотковский, В.И. Тесленко, В.Т. Заика и др. // Горная электромеханика и автоматика: Научн. – техн. сб. – 1975. – Вып. 27. – С. 75–79.

Таблиця 1 – Результати розрахунку потужностей КУ в розподільній мережі 6 кВ шахти

Номер вузла	Характеристика споживачів	Середня реактивна потужність, квар	Потужність КУ без врахування збитку, квар	Потужність КУ із врахуванням збитку при регулюванні швидкості подачі	
				в ручному режимі, квар	в автоматичному режимі, квар
7	Електровозний транспорт	234	0	0	0
20	Конвеєрний транспорт	309	0	0	0
22	Видобуток, конвеєрний транспорт	353	302	321	312
23	Конвеєрний транспорт	194	114	122	118
24	Проходка, видобуток	398	194	219	208



а)



б)

Рисунок 2 – Залежність відносного значення  $NPV$  від відносної потужності КУ при ручному (а) та при автоматичному (б) регулюванні швидкості подачі комбайна:  
 1 – при врахуванні тільки зниження втрат активної потужності; 2 – при врахуванні також зниження збитку від відхилень напруги

Стаття надійшла 13.04.2007 р.