

УДК 622.012.2: 621.31

Самойленко В.В.*

**ВПЛИВ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРОЕКТНІ ТА
ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ СИСТЕМИ ПІДЗЕМНОГО
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ**

Розроблено економіко-математичну модель для визначення оптимальної потужності компенсувальних установок в системі підземного електропостачання вугільної шахти; наведений очікуваний ефект від зниження перетину високовольтних кабелів та втрат потужності при встановленні на РПП-6 кВ та ЦПП нерегульованих компенсувальних установок. Показано вплив збитку від відхилень напруги у електродвигунів вугледобувних комбайнів на оптимальний рівень компенсації. Доведена доцільність застосування оперативного контролю за рівнем компенсації для корегування проектних рішень в умовах експлуатації.

Вступ

Однією з добре відомих причин появи додаткових втрат електроенергії в елементах систем електропостачання є потоки реактивної потужності, результатом яких є також погіршення якості напруги, зниження пропускної здатності елементів мережі, передчасний вихід з ладу перенавантаженого електрообладнання. Проте для систем підземного електропостачання (СПЕП) вугільних шахт, елементи яких мають спеціальне виконання і експлуатуються в специфічних умовах, невирішеними дотепер залишаються питання про доцільний рівень компенсації реактивної потужності на різних ступенях розподілу електроенергії (ЕЕ) та визначення вузлів підключення компенсувальних установок (зазвичай це конденсаторні установки (КУ)) як для мереж, що експлуатуються, так і для тих, що проектуються. Актуальність цього питання зростає також у зв'язку з безперервним зростанням вартості енергоресурсів та електрообладнання, зокрема шахтних кабелів, перетин яких можливо знизити за умови зниження потоків реактивної потужності в розподільній мережі.

Мета роботи

Оптимізація перетину розподільних кабелів високовольтної мережі СПЕП вугільної шахти, точок підключення та потужності КУ з урахуванням обмежень, що накладаються вимогами до якості електроенергії у вугледобувних комбайнів за сучасним представленням звісного критерію оптимальності – мінімуму загальних витрат на спорудження та експлуатацію СПЕП. Вихідними даними є розташування високовольтних споживачів у шахтному полі, дані про використання кабельні лінії та їх довжину, характеристики нормального режиму роботи та потужності кожного високовольтного електроприймача.

Результати досліджень

В основу відповідної техніко-економічної моделі покладено наступні припущення.

1. Напруга у всіх вузлах мережі є незмінною і відсутні фазові зсуви між напругою у різних вузлах.
2. Компенсація реактивної потужності здійснюється нерегульованими конденсаторними батареями, потужність яких визначається середнім значенням її споживання у вузлі навантаження [1].
3. Значення потужності КУ є величинами безперервними.
4. Вартість КУ є такою, що лінійно залежить від їх потужності $Q_{ку}$:

* Національний гірничий університет, асистент

$$C_{ky} = c_{ky} Q_{ky},$$

де c_{ky} – питомі капітальні витрати, грн/квар.

5. Спорудження СПЕП і встановлення КУ здійснюється в першому році розрахункового періоду ($T_{спор} = 1$ рік), після чого починається нормальна експлуатація, протягом якої до моменту закінчення розрахункового періоду ($T_e = T_p - T_{спор}$) щорічні витрати і вартість ЕЕ (c_e) не змінюються.

За таких припущень функція загальних дисконтованих витрат, аргументами якої є потужність Q_{ky} та перетин розподільних кабелів F , має вигляд:

$$\begin{aligned} Z(Q_{ky}, F) = & c_{ky} \sum_{l=1}^{n_l} Q_{ky_l} + \sum_{l=1}^{n_l} (c_l + d_l F_l) L_l + \sum_{t=2}^{T_p} \frac{\left(c_{ky} \sum_{l=1}^{n_l} Q_{ky_l} + \sum_{l=1}^{n_l} (c_l + d_l F_l) L_l \right) (\alpha_a + \alpha_o)}{(1 + \alpha)^t} + \\ & + \sum_{t=2}^{T_p} \frac{10^{-3} \sum_{l=1}^{n_l} \frac{P_{M_l}^2 + (Q_{M_l} - Q_{ky_l})^2}{U^2} \cdot \frac{L_l}{F_l} \rho \tau c_e}{(1 + \alpha)^t} + \sum_{t=2}^{T_p} \frac{c_e \Delta p_{ky} \sum_{l=1}^{n_l} Q_{ky_l} T_l + Y(Q_{ky}, F)}{(1 + \alpha)^t}, \end{aligned} \quad (1)$$

де T_p – розрахунковий період, рік; α – норматив дисконтування, в.о.; α_a, α_o – коефіцієнти відрахувань від капітальних вкладень відповідно на реновацію та ремонт і обслуговування, в.о.; n_l – кількість кабельних ліній в розподільній мережі; $c_l + d_l F_l$ – функція, що апроксимує вартість кабельної лінії в залежності від перетину, грн/км; L_l – довжина l -ї гілки мережі, км; P_{M_l}, Q_{M_l} – максимальні активна (кВт) та реактивна (квар) потужність споживання у вузлі навантаження, що живиться через l -у гілку мережі; ρ – питомий опір матеріалу жил кабелів (міди), Ом·мм²/км; τ – річна кількість годин максимальних втрат ЕЕ, годин; U – напруга живлення вузла, де встановлюється КУ, кВ; Δp_{ky} – питомі втрати активної потужності в КУ, кВт/квар; T_l – тривалість роботи КУ, підключеної до l -ї гілки мережі, год/рік; $Y(Q_{ky}, F)$ – функція річного збитку від відхилень напруги на затискачах електродвигунів вугледобувних комбайнів в періоди їх стопоріння, грн/рік.

В основу існуючої методики визначення збитку від відхилень напруги [2] 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.

Функція $Y(Q_{ky}, F)$ незалежно від способу управління комбайном може бути розрахована за формулою

$$Y(Q_{ky}, F) = y(Q_{ky}, F) \cdot n \cdot N \cdot (T_{зм} - t_{нзо}), \quad (2)$$

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

Збиток є монотонною убиваючою функцією, до того ж його залежність від напруги є нелінійною. Однак у зв'язку з тим, що в області практично можливих значень випадкового аргументу $U = (0,8 \dots 1,2) U_{ном}$ функція збитку практично мало відрізняється від лінійної, використання економічної характеристики збитку може бути спрощене шляхом заміни на даному ін-

тервалі 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

$$y(Q_{ку}, F) = 10^{-3} p_U \frac{120mB\gamma wdP_{ст.ном}}{K_n \left(\frac{1}{K_n} + \frac{T_{np}}{L} (c + dP_{ст.ном}) \right)^2} \frac{P_m r(F) + (Q_m - Q_{ку}) x(F)}{U^2}, \quad (3)$$

де m – потужність шару вугілля, що виймається, м; B – ширина захвату робочого органу виймальної машини, м; γ – об'ємна вага вугілля, т/м³; w – постійна складова в собівартості тони вугілля по видобувній дільниці, грн./т; K_n – коефіцієнт надійності вугледобувного комплексу; T_{np} – 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; $r(F), x(F)$ – відповідно активний та реактивний опір ділянки мережі до вузла живлення вугледобувного комплексу в залежності від перетину, 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:

$$y(Q_{ку}, F) = 10^{-3} \frac{60mB\gamma wdP_{ном}}{K_n \left(\frac{1}{K_n} + \frac{T_{np}}{L} (c + dP_{ном}) \right)^2} \left(\frac{\partial}{\partial U} m_c \Big|_{U=1} \right) \frac{P_m r(F) + (Q_m - Q_{ку}) x(F)}{U^2}, \quad (4)$$

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 по відношенню до номінального моменту.

Рішення оптимізаційної задачі за розробленою моделлю методом найшвидшого спуску для системи підземного електропостачання шахти (рис. 1) показало, що загальні витрати на спорудження та експлуатацію підземної електромережі знижуються при встановленні КУ на шинах РПП-6 и ЦПП в СПЕП. У таблиці 1 наведені дані для гілок фрагменту схеми (див. рис. 1), позначених у кружечках.

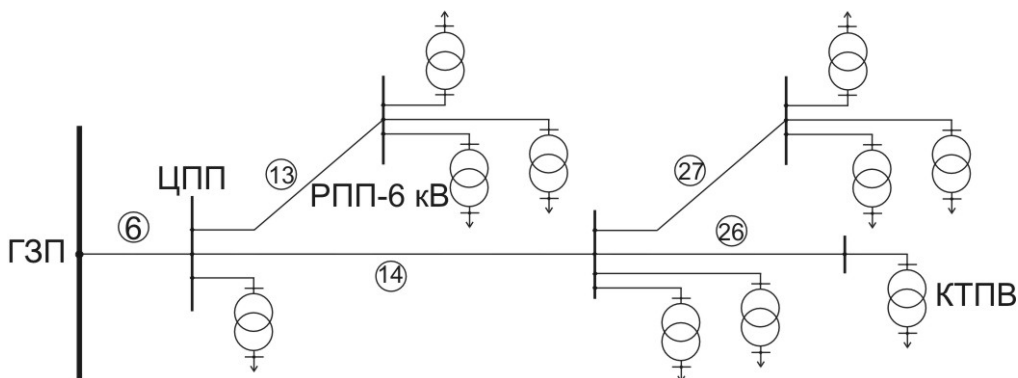


Рис. 1 – Фрагмент розрахункової схеми підземного електропостачання шахти

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

Номер гілки	Характеристика споживачів	Можливість зниження перетину кабелю на одну ступень	Середня реактивна потужність, квар	Потужність КУ без врахування збитку, квар	Потужність КУ із врахуванням збитку при регулюванні швидкості подачі у режимі		Загальні витрати без врахування компенсації реактивних навантажень, тис.грн.	Загальні витрати при встановленні КУ, тис. грн.
					ручному, квар	автоматичному, квар		
6	Електровозний транспорт	+	228	0	0	0	2312	2205
13	Проходка, видобуток	-	534	534	534	534		
14	Конвеєрний транспорт	-	267	0	0	0		
26	Конвеєрний транспорт	-	206	1	24	14		
27	Видобуток, конвеєрний транспорт	-	395	295	326	312		

Висновки

Врахування на стадії проектування системи підземного електропостачання шахти встановлення компенсуючих установок на РПП-6 кВ та ЦПП дозволяє знизити на одну ступень перетин стовбурних кабелів.

Вплив збитку від відхилень напруги у електродвигунів вугледобувних комбайнів на оптимальний рівень компенсації реактивних навантажень не змінює структуру розподілу КУ по вузлах, але збільшує їх необхідну потужність, тому доцільність його врахування при розрахунках рівня компенсації реактивних навантажень повинна вирішуватися в кожному конкретному випадку окремо.

В умовах експлуатації інтегрування алгоритму вирішення задачі оптимальної компенсації реактивних навантажень до системи енергомоніторингу дозволить за реальним рівнем електроспоживання контролювати проектні рішення та оцінювати доцільність зміни у період експлуатації потужності компенсуючих установок у будь-якому визначеному вузлі СПЕП.

Перелік посилань

1. *Заїка В.Т.* Підвищення ефективності систем підземного електропостачання вугільних шахт за рахунок компенсації реактивної потужності / *В.Т. Заїка, А.О. Лапа, В.В. Недоступенко* // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2004. – Вип. 72. – С. 39-44.
2. *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. – Вип. 27. – С. 75-79.

Рецензент: С.І. Випанасенко,
д-р техн. наук, проф., НГУ

Стаття надійшла 31.03.2008