

О. І. Дорошенко, канд. техн. наук, доц.;  
Д. С. Попов, асп.

## ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ РЕАКТИВНОГО НАВАНТАЖЕННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

*Наведено практичну методику визначення потужності конденсаторних установок систем електропостачання споживачів електроенергії, яка базується на ринкових засадах, що діють в електроенергетиці.*

Відомо, що добре налагоджене компенсування реактивного навантаження систем електропостачання (СЕР) споживачів електроенергії є універсальним, комплексним засобом підвищення ефективності і якості електропостачання: зменшення активних втрат, збільшення пропускної спроможності електричних мереж та підвищення якості їх напруги. При цьому, як справедливо визначено в [1]: «...при рыночной экономике критерием поведения каждого участника рыночной системы являются собственные, эгоистические интересы, движущей силой — конкуренция, а фундаментальным принципом рыночных отношений — равноправная экономическая справедливость ...».

Порівняння двох варіантів ПКРН (базового і нового) в СЕР, які зводяться до відповідності за фактором величини втрат активної ЕЕ в системі, проводиться у такій послідовності [2]. У якості критерію для порівняння економічної ефективності варіантів беруться річні зведені затрати, грн/рік

$$Z_i = e_a K_i + C_i, \quad (1)$$

де  $e_a$  — коефіцієнт річних відрахувань від капітальних витрат на амортизацію, що за умови строку служби 10 років, приймається на рівні  $e_a = 0,1$  в. о.;  $C_i$  — експлуатаційні річні витрати проекту на ремонти, обслуговування та на оплату втрат електроенергії, грн/рік.

У відповідності до [3], витрати на ремонти та обслуговування беруться на рівні  $e_p + e_o = 0,059$ , в. о.

Якщо для здійснення нового проекту необхідно брати кредит банку, то в експлуатаційні витрати нового проекту вводяться відсоткові кошти на обслуговування кредиту  $C_{KP}$ . При цьому:

для базового проекту, грн/рік

$$C_{KP} = 0; \quad (2)$$

для нового проекту, грн/рік

$$C_{KP} = e_{KP} K_K, \quad (3)$$

де  $e_{KP}$  — реальна ставка банківського кредиту (з урахуванням інфляції), в. о.;  $K_K$  — обсяги кредиту, грн.

$$e_{KP} = \frac{e_K - i}{1 + i}, \quad (4)$$

де  $e_K$  — ставка банківського кредиту, в. о./рік;  $i$  — річна інфляція (обезцінювання коштів), в. о.

Річний економічний ефект нового проекту, відносно базового, становить, грн/рік

$$E = Z_B - Z_H, \quad (5)$$

а його недисконтований строк окупності складає, років

$$T_{OK} = \frac{K_H}{E}, \quad (6)$$

де  $K_H$  — величина капітальних вкладень нового проекту, грн.

Зазвичай, цей строк не повинен перебільшувати 10 років, у кінці якого виконується також фінансова оцінка нового проекту.

При цьому визначається:

1. Річна вигода від здійснення нового проекту, грн/рік

$$B = (C_B - C_{aB}) - (C_H - C_{aH}), \quad (7)$$

де  $C_{aB}$  і  $C_{aH}$  — щорічні амортизаційні відрахування на реновацію обладнання базового та нового проектів, відповідно, в. о.

2. За умови постійності річної вигоди від здійснення нового проекту ( $B = \text{const}$ ), чистий дисконтований прибуток (ЧДП) нового проекту, грн

$$\text{ЧДП} = B \left( \frac{1 - (1 + e_D)^{-T}}{e_D} \right) - K_0, \quad (8)$$

де  $e_D$  — сумарний коефіцієнт річних відрахувань, в. о./рік

$$e_D = e_a + e_p + e_o + e_{KR}; \quad (9)$$

$T$  — період, протягом якого досліджують економічність нового проекту, зазвичай береться  $T = T_{OK}$ , років;  $K_0 = K_H$  — капітальні витрати нового проекту на початку дослідження його економічності, грн.

3. Індекс дохідності нового проекту, що підкреслює його привабливість (перш за все для інвестора), в. о.

$$ID = \frac{\text{ЧДП}}{K_0}. \quad (10)$$

Очевидно, що першочергова задача застосування ПКРН — зменшення активних втрат. При цьому, активні втрати ЕМ від її навантаження визначається за формулою, кВт

$$\Delta P = \Delta P_P + \Delta P_Q, \quad (11)$$

де  $\Delta P_P$  — активні втрати ЕМ від її активного навантаження, кВт

$$\Delta P_P = \frac{P^2}{U_{\text{ном}}^2} R_E \cdot 10^{-3}; \quad (12)$$

$P$  — активне середньовиважене навантаження ЕМ у розрахунковому періоді, кВт;  $U_{\text{ном}}$  — номінальна напруга ЕМ, кВ;  $R_E$  — активний еквівалентний опір ЕМ, зведений до напруги  $U_{\text{ном}}$ , Ом;  $\Delta P_Q$  — активні втрати ЕМ від її реактивного навантаження, кВт

$$\Delta P_Q = \frac{Q^2}{U^2} R_E \cdot 10^{-3}, \quad (13)$$

де  $Q$  — реактивне середньовиважене навантаження ЕМ у розрахунковому періоді, квар.

Відносне значення активних втрат ЕМ у розрахунковому періоді, в. о.

$$\Delta P^* = \frac{\Delta P}{\Delta P_P} = \frac{\Delta P_P}{\Delta P_P} + \frac{\Delta P_Q}{\Delta P_P} = 1 + \Delta P_Q^* = 1 + \text{tg} \phi^2, \quad (14)$$

звідки

$$\Delta P_Q^* = \Delta P^* - 1 = \text{tg} \phi^2 \text{ в. о.} \quad (15)$$

При цьому значення  $\Delta P_Q$  у відсотках величини активних втрат від активного навантаження складає

$$\Delta P_Q = 100 \text{tg} \phi^2. \quad (16)$$

В табл. 1 наведено залежність величини відносного значення активних втрат ЕМ від величини коефіцієнта реактивної потужності —  $\operatorname{tg} \phi$ , яке може бути прийнято рішенням ЕО у якості директивної величини.

Наприклад, якщо прийняти  $\operatorname{tg} \phi_E = 0,25$  в. о., то активні втрати в її ЕМ від реактивного навантаження споживачів за формулою (6) складають

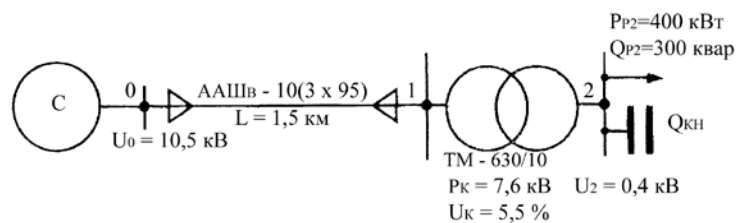
$$\Delta P_Q^* = \operatorname{tg} \phi^2 \cdot 100 = 0,25^2 \cdot 100 = 6,25 \text{ \%}.$$

Таблиця 1

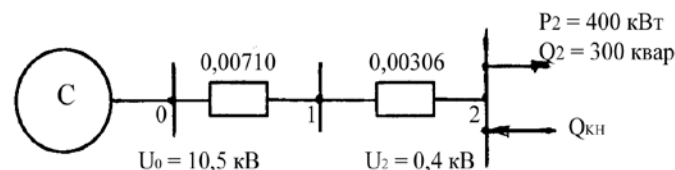
Залежність  $\Delta P_Q = f(\operatorname{tg} j_E)$ , %

$\Delta P_Q$ , %	0,00	5,00	7,50	9,00	10,50	12,00	13,50	15,00	16,50	18,00	20,00
$\operatorname{tg} \phi$ , в. о.	0,000	0,224	0,274	0,300	0,324	0,346	0,367	0,387	0,406	0,424	0,447
$\cos \phi$ , в. о.	1,000	0,976	0,964	0,958	0,951	0,945	0,939	0,933	0,926	0,921	0,913

Розглянемо приклад з визначення економічної, з точки зору споживача (рис.) потужності конденсаторної установки з конденсаторами 0,4 кВ —  $Q_{KH}$ .



а



б

Умовна СЕП споживача електроенергії:

а — принципова схема; б — заступна розрахункова схема

Бажаний відсоток активних втрат СЕП від її реактивного навантаження береться на рівні  $\Delta P_Q = 6,25$  %. При цьому, з формули (16), економічний коефіцієнт реактивної потужності складає

$$\operatorname{tg} \phi_E = \frac{\sqrt{\Delta P_Q}}{10} = \frac{\sqrt{6,25}}{10} = 0,250 \text{ в. о.}$$

Економічна потужність ПКРН визначається за відомою формулою

$$Q_{KH} = P2 \left( \frac{Q2}{P2} - \operatorname{tg} \phi_E \right) = 400 \left( \frac{300}{400} - 0,250 \right) = 200 \text{ квар.}$$

Береться типова конденсаторна установка (конденсатори типу Tastel)  $Q_{KH} = 150$  квар, вартість якої складає  $K_{KH} = 13752,70$  грн (ціни ООО «Спеццитмонтаж», м. Сімферополь, 2010 р.).

Проект здійснюється власним коштом і коштом інвестора ( $e_\delta = 0,2$  в. о./рік), за рівня річної інфляції  $i = 10,0$  %/рік, із річними відрахуваннями:

1. Власним коштом

$$e_{\Sigma 1} = e_a + e_p + e_o = 0,1 + 0,059 = 0,159 \text{ в. о./рік};$$

2. Коштом інвестора

$$e_{\Sigma 2} = e_a + e_p + e_o + e_B = 0,1 + 0,059 + 0,2 = 0,359 \text{ в. о./рік}.$$

Розрахунки виконуються для випадків, коли споживач працює у одну, дві та три робочі зміни у розрахунковому періоді (календарний місяць) — 25 робочих діб із роздрібною ціною активної електроенергії  $c_{e0} = 0,6428$  грн/кВт·год.

Річні витрати споживача без застосування ПКРН визначаються за відомою формулою, грн/рік

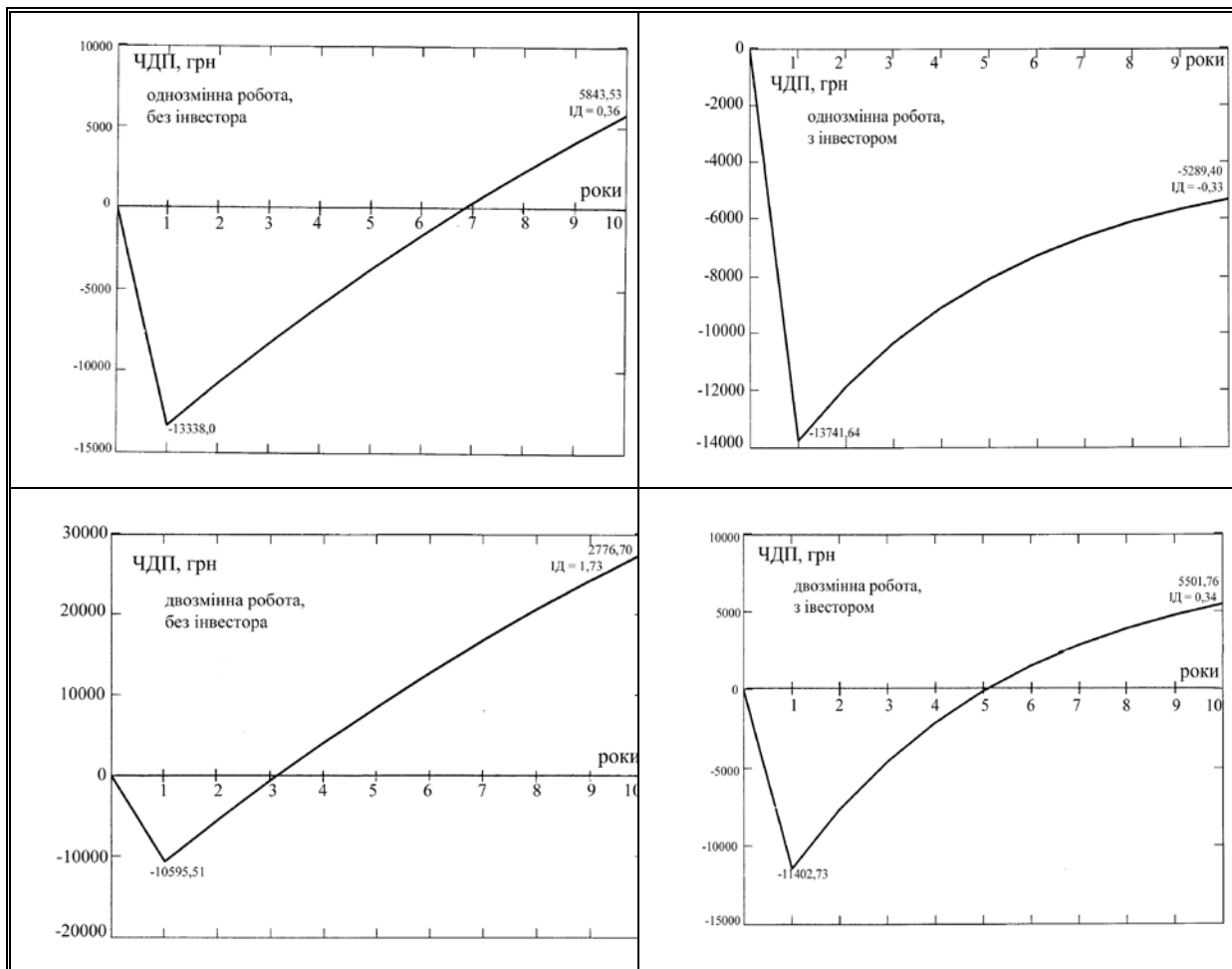
$$C_0 = \frac{Q_2^2}{U_2^2} (R_{01} + R_{12}) \cdot c_{e0} \cdot T_B \cdot 10^{-3}, \quad (17)$$

де  $T_B$  — число робочих годин споживача, год./рік.

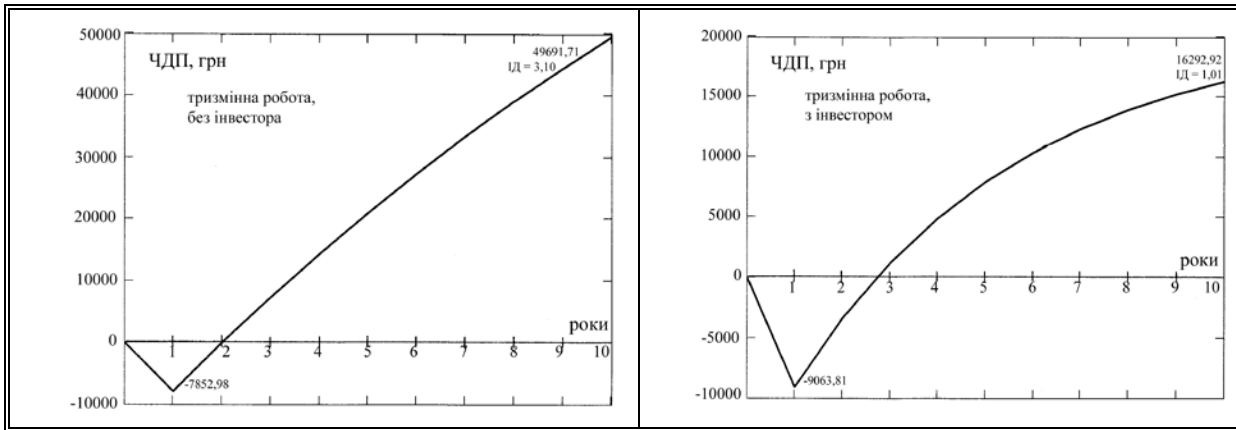
Результати фінансового розрахунку проектів ПКРН системи електропостачання споживача за власні кошти і кошти інвестора (банку) наведено в табл. 2. Очевидно, що за однозмінної роботи споживача у розрахунковому періоді застосування ПКРН за кошти інвестора можуть бути економічно вигідними лише за зменшеної кредитної ставки за домовленням з кредитором.

Таблиця 2

Результати фінансових розрахунків проектів ПКРН



Продовження табл. 2



### Висновок

Результати розрахунків за запропонованою методикою, є доступними та зрозумілими, а погодження з електропостачальною організацією величини  $\text{tg } \phi_E$  надає їм системного характеру.

### Список використаної літератури

1. Зорин В. В. Концепция компенсации реактивной мощности в распределительных электрических сетях / В. В. Зорин // Промэлектро. — 2005. — № 3. — С. 24 — 26.
2. Экономическое обоснование внедрения на промышленных предприятиях энергосберегающих технологий и оборудования / Г. Я. Вагин, Н. Н. Головкин, Е. Б. Солнцев, А. А. Лямин // Промэлектро. — 2005. — № 4. — С. 46—59.
3. Справочник по проектированию электрических сетей / И. Г. Карапетян, Д. Л. Файбисович, И. М. Шапиро ; под ред. Д. Л. Файбисовича. — М. : изд-во НЦ ЭНАС, 2006. — 320 с.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Стаття надійшла до редакції 10.10.11

Рекомендована до друку 25.11.11

*Дорошенко Олександр Іванович* — доцент, *Попов Денис Сергійович* — аспірат.

Кафедра електропостачання, Одеський національний політехнічний університет, Одеса