



УДК 621.316.1

## РОЗРАХУНОК ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ ВІД ЗАСТОСУВАННЯ КОНДЕНСАТОРНИХ УСТАНОВОК 0,4 КВ

Козирський В.В., д.т.н.,

*Національний університет біоресурсів і природокористування  
України*

Тел.: (044) 527-87-29

Жоров С.В., інженер,

Жоров В.І. к.т.н.

*Національний науковий центр "Інститут механізації та електрифі-  
кації сільського господарства"*

Тел.: (04571)-3-11-00

**Анотація** - розроблена методика розрахунку та визначені втрати енергії в електричній мережі в залежності від кількості ступенів регулювання потужності конденсаторних установок, що дозволяє більш обґрунтовано здійснювати вибір таких установок в кожному конкретному випадку.

**Ключові слова** – втрати енергії, конденсаторна установка, обґрунтування уставок, звітні втрати електроенергії.

*Постановка проблеми.* Найчастіше розрахунок втрат енергії в електричних мережах проводиться з застосуванням досить складних методик, більшість яких реалізується на електронних обчислювальних машинах (ЕОМ). Розрахунок же зниження втрат включає два цикли обчислень, в процесі яких спочатку віднаходяться втрати в некомпенсованій електричній мережі, потім – за умови застосування конденсаторних установок, після чого визначається різниця отриманих значень, яку в кінці розрахунку подають в процентах від початкових втрат. Тобто, при розрахунку розміру зниження втрат трудомісткість обчислень подвоюється. Розрахунок можна значно полегшити, якщо зниження втрат спочатку визначити в процентах, а потім віднайти в кіловат-годинах шляхом використання початкових розрахункових або звітних втрат електроенергії. Але методика такого розрахунку ще недостатньо розроблена.

*Аналіз останніх досліджень та публікацій.* Існують методики розрахунку втрат енергії в сільських електричних мережах [1,2], які на основі даних про активні опори елементів мережі, потоки активної та

реактивної потужності на її ділянках, потужність конденсаторних установок дозволяють розрахувати на ЕОМ зниження втрат енергії від впровадження пристроїв для компенсації реактивної потужності споживачів. Але для ручних обчислень ці методики занадто складні.

*Мета статті.* Розробити спрощену методику розрахунку та визначити зниження втрат енергії в сільських електричних мережах в залежності від кількості ступенів регулювання потужності конденсаторних установок напругою 0,4 кВ.

*Основні матеріали дослідження.* Стосовно ділянки лінії електропередачі (ЛЕП) закон Джоуля-Ленца щодо втрат енергії на активних опорах має наступний вигляд

$$\Delta W_{зм.} = 3 \cdot r_0 \cdot l \cdot \int_{t_1}^{t_2} I^2(t) \cdot dt, \quad (1)$$

- де  $\Delta W_{зм.}$  – втрати енергії на нагрівання проводів ЛЕП, Вт·с;  
 $r_0$  – питомий активний опір проводів ЛЕП, Ом/км;  
 $l$  – довжина ділянки ЛЕП, км;  
 $t_1$  та  $t_2$  – початок та кінець відрізка поточного часу, за який визначаються втрати енергії, с;  
 $I(t)$  – залежність струму від поточного часу, А.

Для симетричних режимів струм подається через потужності відомим чином

$$I(t) = \frac{S(t)}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{P^2(t) + Q^2(t)}}{\sqrt{3} \cdot U_n}. \quad (2)$$

З врахуванням (2) вираз (1) можна записати так

$$\Delta W_{зм.} = r_0 \cdot l \cdot \frac{1}{U_n^2} \cdot \left[ \int_{t_1}^{t_2} P^2(t) \cdot dt + \int_{t_1}^{t_2} Q^2(t) \cdot dt \right]. \quad (3)$$

Замінивши в (3) інтегральні суми арифметичними, отримаємо втрати енергії за добу у наступному вигляді

$$\Delta W_{зм. доб.} \cong \frac{r}{U_n^2} \left( \sum_{i=1}^{24} P_i^2 + \sum_{i=1}^{24} Q_i^2 \right), \quad (4)$$

- де  $\Delta W_{зм. доб.}$  – втрати енергії на нагрівання проводів ЛЕП за добу, Вт·год;  
 $r$  – активний опір однієї фази ділянки ЛЕП, Ом;  
 $U_n$  – номінальна лінійна напруга, кВ;  
 $i$  – порядковий номер години доби;  
 $P_i$  – середня активна потужність за  $i$ -ту годину доби; визначається з добового графіку активного навантаження, який будується за погодинно знятими показниками лічильника активної енергії, кВт;  
 $Q_i$  – середня реактивна потужність за ту ж годину доби; визначається з добового графіку реактивного навантажен-

ня, який будується за показниками лічильника реактивної енергії, кВАр.

Причому, середня потужність визначається за формулою

$$P_i = \frac{W_{i+1} - W_i}{\Delta t} \cdot k_{m.c.}, \quad (5)$$

де  $W_{i+1}$  – показники лічильника на початку  $(i+1)$ -ї години доби, кВт·год;

$W_i$  – те ж, на початку  $i$ -тої години доби, кВт·год;

$\Delta t$  – крок дискретизації поточного часу,  $\Delta t = 1$  год.;

$k_{m.c.}$  – коефіцієнт трансформації трансформаторів струму.

Користуючись погодинними коефіцієнтами навантажень [3], подамо вираз (4) у такому вигляді

$$\Delta W_{зм. доб. макс} \cong \frac{r \cdot P_{макс}^2}{U_n^2} \left( \sum_{i=1}^{24} k_{Pi}^2 + \sum_{i=1}^{24} k_{Qi}^2 \right), \quad (6)$$

або

$$\Delta W_{зм. доб. макс} \cong \frac{r \cdot P_{макс}^2}{U_n^2} \cdot \sum_{i=1}^{24} k_{Si}^2, \quad (7)$$

де  $\Delta W_{зм. доб. макс}$  – добові втрати енергії за відсутності засобів для компенсації реактивних потужностей споживачів, Вт·год;

$P_{макс}$  – річний максимум активного навантаження, кВт;

$k_{Pi}$ ,  $k_{Qi}$ ,  $k_{Si}$  – погодинні коефіцієнти активного, реактивного та повного навантаження, відповідно.

Для мережі з конденсаторною установкою вираз (6) має наступний вигляд

$$\Delta W_{зм. доб.} \cong \frac{r \cdot P_{макс}^2}{U_n^2} \cdot \left[ \sum_{i=1}^{24} k_{Pi}^2 + \sum_{i=1}^{24} (k_{Qi} - k_q \cdot n_i)^2 \right], \quad (8)$$

де  $k_q$  – коефіцієнт потужності однієї секції конденсаторної установки,

$$k_q = \frac{Q_{мін. КУ}}{P_{макс}^*}, \quad (9)$$

$Q_{мін. КУ}$  – потужність однієї секції конденсаторної установки, %;

$P_{макс}^*$  – річний максимум активного навантаження,  $P_{макс}^* = 100\%$ ;

$n_i$  – кількість секцій конденсаторної установки, ввімкнених об  $i$ -тій годині доби, шт.

Потенційно можливий мінімум втрат електроенергії має місце при практично однакових реактивних потужностях ЛЕП та конденсаторів, тобто за умови (10)

$$k_{Qi} \cong k_q \cdot n_i. \quad (10)$$

З врахуванням (10), мінімум втрат віднаходиться з (8) у такому вигляді

$$\Delta W_{зм. дооб. \min} \cong \frac{r \cdot P_{\max}^2}{U_n^2} \cdot \sum_{i=1}^{24} k_{Pi}^2. \quad (11)$$

Потенційно можливий максимум зниження втрат електроенергії від застосування конденсаторної установки визначається як різниця правих частин виразів (6) та (11)

$$E_{\max} \cong \frac{r \cdot P_{\max}^2}{U_n^2} \cdot \sum_{i=1}^{24} k_{Qi}^2, \quad (12)$$

а реально досягнуте – як різниця правих частин виразів (6) та (8)

$$E \cong \frac{r \cdot P_{\max}^2}{U_n^2} \cdot \left[ \sum_{i=1}^{24} k_{Qi}^2 - \sum_{i=1}^{24} (k_{Qi} - k_q \cdot n_i)^2 \right], \quad (13)$$

що по відношенню до втрат за відсутності компенсації (7) дорівнює:

$$E_{\max}^*, \% = \frac{\sum_{i=1}^{24} k_{Qi}^2}{\sum_{i=1}^{24} k_{Si}^2} \cdot 100 \quad (14)$$

та

$$E^*, \% = \frac{\sum_{i=1}^{24} k_{Qi}^2 - \sum_{i=1}^{24} (k_{Qi} - k_q \cdot n_i)^2}{\sum_{i=1}^{24} k_{Si}^2} \cdot 100. \quad (15)$$

Ступінь використання потенційно можливого максимуму зниження втрат становить

$$\varepsilon, \% = \frac{E^*, \%}{E_{\max}^*, \%} \cdot 100. \quad (16)$$

Для ефективного використання конденсаторної установки і одночасно унеможливлення резонансних явищ в мережі, повинні виконуватись наступні умови:

$$k_{Qi} - k_q \cdot n_i = \min \quad (17)$$

та

$$k_{Qi} > k_q \cdot n_i. \quad (18)$$

Умови (17) та (18) враховуються під час вибору кількості ввімкнених секцій конденсаторної установки в ту чи іншу годину доби у відповідності із реактивною потужністю споживачів, а також в процесі розрахунків за виразом (13).

На основі представленої методики розраховане зниження змінних втрат електроенергії у трансформаторах 10/0,4 кВ та відгалуженнях від ЛЕП-10 кВ до цих трансформаторів, яке досягається від приєднання конденсаторних установок до шин 0,4 кВ сільських споживчих трансформаторних підстанцій (табл. 1). Розрахунки виконані для ти-

пових добових графіків змішаного та виробничого навантажень споживачів для варіантів застосування нерегульованої (УК–0,4) та регульованих ступеневим способом (УКМ58–0,4) конденсаторних установок [4].

Таблиця 1 – Розрахункові показники зниження змінних втрат енергії від застосування конденсаторних установок напругою 0,4 кВ в сільських електричних мережах

Тип установки	Потужність ступенів регулювання, % від $P_{\max}$	Зниження втрат електроенергії $E^*$ , %, при навантаженні:				Ступінь зниження втрат $\xi$ , %
		змішаному		виробничому		
		зима	літо	зима	літо	
УК–1–0,4–20 УЗ	10	15,0	22,5	12,6	17,8	0,34–0,58
УКМ58–0,4–100–50 УЗ	25; 50	31,6	33,0	31,6	31,9	0,83–0,88
УКМ58–0,4–100–33 УЗ	17; 34; 51	34,3	34,5	34,5	34,9	0,90–0,96
УКМ58–0,4–100–25 УЗ	12,5; 25; 37,5; 50	34,1	37,0	34,5	36,7	0,94–0,96
УКМ58–0,4–100–20 УЗ	10; 20; 30; 40; 50	34,6	37,8	34,6	37,3	0,95–0,98

Як видно з табл. 1, застосування конденсаторних установок з двома ступенями регулювання потужності дозволяє майже в 2 рази знизити втрати енергії у порівнянні з нерегульованою установкою. Установки з трьома ступенями регулювання забезпечують зниження втрат енергії більш ніж на 34%, що становить не нижче 90% від потенційно можливого максимального зниження втрат.

*Висновки.* Розроблена методика розрахунку та визначений розмір зниження втрат енергії в обмотках трансформаторів 10/0,4 кВ та в проводах ЛЕП–10 кВ на підводах до цих трансформаторів, яке досягається в результаті встановлення на стороні 0,4 кВ трансформаторних підстанцій нерегульованих або регульованих конденсаторних установок. Віднайдено, що застосування нерегульованих конденсаторних установок дозволяє знизити втрати енергії на 12...15% в зимовий день та на 17...22% у літній, а регульованих двоступеневим способом – не менше ніж на 31% незалежно від пори року. Установки з трьома ступенями регулювання забезпечують зниження втрат енергії на 34 % на протязі року, а з чотирма та п'ятью ступенями – на 34% в зимовий день та на 37% у літній, що становить не нижче ніж 90% від потенційно можливого максимуму зниження втрат. Результати отримані за номінальної потужності нерегульованих установок 10% та 13% від річного максимуму активного навантаження та 50% цього максимуму для регульованих установок при однаковій потужності секційних модулів.

*Література.*

1. *Анисимов Л.П.* Расчет потерь энергии в сельских сетях 0,38 кВ / *Л.П. Анисимов, В.Г. Пекелис* // МЭСХ.- 1978.- № 2. – С. 22–23.
2. *Бибко В.Г.* Зниження втрат електроенергії у сільському господарстві / *В. Г. Бибко, С.Я. Меженний, В.Г Стафійчук, В.Ф. Юрчук*. Вид. 2-е, перероб. і доп. – К.: Урожай, 1987. – 128 с.
3. *Жоров В.І.* Вплив нерівномірності добових графіків навантаження на втрати енергії в електричних мережах / *В.І. Жоров* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 9. Т. 2. – Мелітополь: ТДАТУ, 2009. –С. 154-160.
4. *Василега П.О.* Електропостачання: Навчальний посібник / *П.О. Василега*. – Суми: ВТД "Університетська книга", 2008. – 415 с.

**РАСЧЕТ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ  
КОНДЕНСАТОРНЫХ УСТАНОВОК 0,4 КВ**

*Козырский В.В., Жоров С.В., Жоров В.И.*

**Аннотация** - разработана методика расчета и определены потери энергии в электрической сети в зависимости от количества ступеней регулирования мощности конденсаторных установок, что позволяет более обоснованно производить выбор таких установок в каждом конкретном случае.

**CALCULATION OF ENERGY LOSS ENHANCEMENT ON  
APPLICATION OF CAPACITOR INSTALLATIONS OF 0,4 KV**

*V. Kozyrskyi, S. Zhorov, V. Zhorov*

**Summary**

Developed is a procedure for calculating energy loss in electrical networks subject to the quantity of stages of regulation of capacity of capacitor installations that allows more justified choosing of such installations in a specific case. Energy losses in electrical networks were calculated with the use of this procedure.