

# Механіка, машинознавство та електропостачання

УДК 621.31

П.В. Васюченко

*Українська інженерно-педагогічна академія, Харків*

## АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОБЛІКУ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕНЕРГОСИСТЕМАХ УКРАЇНИ

*Проаналізована динаміка абсолютних і відносних втрат електроенергії в електричних мережах України, визначена головна причина росту втрат електроенергії, розглянуті існуючі методи розрахунку втрат електроенергії в енергосистемах, надані теоретичні та практичні обґрунтування, щодо їх використання, запропоновано шляхи зниження втрат електроенергії в електричних мережах.*

**Ключові слова:** втрати електроенергії, методи розрахунку втрат навантажень, електричні мережі, енергосистема, технологічні та комерційні втрати електроенергії.

### Вступ

#### Постановка проблеми та аналіз публікацій.

Зниження втрат електроенергії в електричних мережах – це складна комплексна проблема, що вимагає значних капітальних вкладень, необхідних для оптимізації розвитку електричних мереж, вдосконалення системи обліку електроенергії, впровадження нових інформаційних технологій, навчання персоналу і його оснащення сучасними засобами перевірки електроенергії [1 – 4].

Аналіз залежності відносних втрат електроенергії в енергосистемах від долі споживання промисловістю показує, що чим вище доля промислового споживання, тим нижче рівень відносних втрат. І навпаки, в енергосистемах зі значним побутовим навантаженням відносні втрати електроенергії, як правило, значно вище [1].

Останніми роками у зв'язку з включенням нормативних втрат в тариф на послуги з передачі електричної енергії намітилася небезпечна тенденція підгонки цих нормативів під фактичні втрати. Така практика призводить до росту тарифів на послуги з передачі електроенергії і тарифів на електроенергію для споживачів. Ріст тарифів на електроенергію створює додаткові стимули для її розкрадань, що призводить до подальшого росту втрат.

Сумарні технічні втрати електроенергії в електричних мережах України в 2010 році склали 6,72 млрд. кВт·ч. Крім того, втрати в магістральних електричних мережах – 0,97 млрд. кВт·ч. Звітні втрати в 2010 році досягли 10,31 млрд. кВт·ч, отже, небаланс або комерційні втрати електроенергії складають близько 2,7 млрд. кВт·ч. Із загальної величини технічних втрат близько 78 % доводиться на електричні мережі 110 кВ і нижче, у тому числі 33,5% – на ме-

режі 0,4 – 10 кВ. Якщо взяти до уваги, що комерційні втрати зосереджені в основному в мережах 0,4 – 10 кВ, то загальна частка втрат в них від сумарних по країні в цілому складає близько 60%. Враховуючи, що з об'єктивних причин завантаження електричних мереж 0,4 кВ збільшуватиметься у зв'язку з випереджаючим ростом побутового споживання електроенергії, доля втрат в розподільних мережах найближчими роками також ростиме. Відповідно повинні збільшуватися і зусилля персоналу із зниження втрат в мережах саме цього класу напруги [2, 3].

Аналіз динаміки абсолютних і відносних втрат електроенергії в електричних мережах України [3 – 5], режимів роботи мереж і їх завантаження показує, що практично відсутні вагомі причини росту технічних втрат. До них в основному відноситься ріст втрат електроенергії на корону в лініях 110 кВ і вище через надлишок реактивної потужності в години мінімуму навантаження і ріст завантаження низьковольтних мереж, через збільшення долі побутового споживання електроенергії.

Головна ж причина росту втрат – збільшення комерційної складової. Для вжиття заходів по стримуванню цього росту і зниження втрат необхідно знати структуру комерційних втрат. У ідеальному випадку комерційні втрати електроенергії в електричних мережах, визначаються розрахунковим шляхом, мають дорівнювати нулю.

У реальних умовах відпустка в мережу, корисна відпустка і технічні втрати визначаються з похибками. Їх різниця фактично і є структурною складовою комерційних втрат. Вони мають бути по можливості зведені до мінімуму за рахунок виконання відповідних заходів по їх зниженню.

Сучасні методи обліку втрат електроенергії призначені для розрахунку нормативів технологіч-

них втрат електричної енергії в електричних мережах організацій, що здійснюють передачу електричної енергії по електричних мережах [1, 3].

**Метою роботи** є удосконалення сучасних методів обліку втрат електроенергії в енергосистемах на основі розгляду заходів, динаміки і структур по зниженню втрат електроенергії в електричних мережах з використанням технічних і програмних засобів систем автоматизованого обліку і контролю електроенергії.

## Виклад основного матеріалу

Нормативи технологічних втрат електроенергії, розраховані по цих методах, застосовуються при розрахунку плати за послуги з передачі електроенергії по електричних мережах.

Нормативи технологічних втрат електроенергії в планованому періоді можуть розраховуватися:

– на основі даних про схеми, навантаження мереж і склад працюючого устаткування в планованому періоді методами розрахунку втрат;

– на основі нормативних характеристик технологічних втрат, розрахованих відповідно до методів на основі розрахунків втрат в звітному (базовому) періоді.

За відсутності нормативної характеристики допускається визначати нормативи втрат в планованому періоді на основі розрахунків втрат в звітному (базовому) періоді, змінюючи втрати навантажень пропорційно квадрату відношення відпусток електроенергії в мережу в планованому і базовому періодах, а втрати холостого ходу – пропорційно потужності (кількості) працюючого устаткування в планованому і базовому періодах [2].

Методи розрахунку втрат навантажень. Втрати навантажень електроенергії за період  $T$  годин ( $D$  днів) можуть бути розраховані одним з методів залежно від об'єму наявної інформації про схеми і навантаження мереж [4, 5]: оперативних розрахунків; розрахункової доби; середніх навантажень; числа годин найбільших втрат потужності; оцінки втрат за узагальненою інформацією про схеми і навантаження мережі.

Втрати потужності в мережі при використанні для розрахунку втрат електроенергії перших чотирьох методів, розраховують на основі заданої схеми мережі і навантажень її елементів, визначених за допомогою вимірів або за допомогою розрахунку навантажень елементів електричної мережі відповідно до законів електротехніки.

Втрати електроенергії по іншим методам повинні розраховуватися за кожен місяць розрахункового періоду з урахуванням схеми мережі, що відповідає цьому місяцю. Допускається розраховувати втрати за розрахункові інтервали, що включають декілька місяців, схеми мереж в яких можуть розг-

лядатися як незмінні. Втрати електроенергії за розрахунковий період визначають як суму втрат, розрахованих для місяців (розрахункових інтервалів), що входять в розрахунковий період [1 – 5].

Розглянемо та проаналізуємо діючі методи розрахунків втрат електроенергії.

**Метод оперативних розрахунків** полягає у обчисленні втрат електроенергії за формулою:

$$\Delta W = 3 \cdot \sum_{i=1}^n R_i \cdot \sum_{j=1}^m I_{ij}^2 \cdot \Delta t_{ij}, \quad (1)$$

де  $n$  – число елементів мережі; ( $t_{ij}$  – інтервал часу, впродовж якого струмове навантаження  $I_{ij}$   $i$ -го елемента мережі з опором  $R_i$  приймають незмінною;

$m$  – число інтервалів часу.

Струмове навантаження елементів мережі визначають на основі цих диспетчерських відомостей, оперативних вимірювальних комплексів (ОВК) і автоматизованих систем обліку і контролю електроенергії (АСОКЕ).

**Метод розрахункової доби** полягає у обчисленні втрат електроенергії за формулою:

$$\Delta W_{nj} = k_{л} k_{ф.м}^2 \Delta W_{доб} D_{екв j}, \quad (2)$$

де  $\Delta W_{доб}$  – втрати електроенергії за добу розрахункового місяця з середньодобовою відпусткою електроенергії в мережу  $W_{ср.сут}$  і конфігурацією графіків навантаження у вузлах, що відповідає контрольним вимірам;

$k_{л}$  – коефіцієнт, що враховує вплив втрат в арматурі повітряних ліній і приймається рівним 1,02 для ліній напругою 110 кВ і вище, і рівним 1,0 для ліній нижчої напруги;

$k_{ф.м}^2$  – коефіцієнт форми графіку добових відпусток електроенергії в мережу (графік з числом значень, рівним числу днів в місяці контрольних вимірів);

$D_{екв j}$  – еквівалентне число днів в  $j$ -му розрахунковому інтервалі, яке визначається за формулою:

$$D_{екв j} = \sum_{i=1}^{N_j} W_{mi}^2 D_{mi} / W_{м.р}^2, \quad (3)$$

де  $W_{mi}$  – відпустка електроенергії в мережу в  $i$ -му місяці з числом днів  $D_{mi}$ ;

$W_{м.р}$  – те ж, в розрахунковому місяці;

$N_j$  – число місяців в  $j$ -му розрахунковому інтервалі.

При розрахунку втрат електроенергії за місяць  $D_{екв j} = D_{mi}$ .

Втрати електроенергії за розрахункову добу  $\Delta W_{\text{доб}}$  визначають як суму втрат потужності, розрахованої для кожного годинного інтервалу розрахункової доби.

Втрати електроенергії в розрахунковому періоді визначають як суму втрат в усіх розрахункових інтервалах року. Допускається визначати річні втрати електроенергії на основі розрахунку  $\Delta W_{\text{доб}}$  для зимового дня контрольних вимірів, приймаючи у формулі (3)  $N_j = 12$ .

Коефіцієнт  $k_{\phi, M}^2$  визначають за формулою:

$$k_{\phi, M}^2 = \sum_{i=1}^{D_M} W_i^2 / (W_{\text{ср,сут}}^2 D_M), \quad (4)$$

де  $W_i$  – відпустка електроенергії в мережу за  $i$ -й день місяця;  $D_M$  – число днів в місяці.

За відсутності даних про відпустку електроенергії в мережу за кожну добу місяця коефіцієнт  $k_{\phi, M}^2$  визначають за формулою:

$$k_{\phi, M}^2 = \frac{(D_p + k_w D_{н,р}) D_M}{(D_p + k_w D_{н,р})^2}, \quad (5)$$

де  $I_n$  і  $D_{н,р}$  – число робочих і неробочих днів в місяці ( $D_M = I_n + D_{н,р}$ );

$k_w$  – відношення значень енергії, споживаної в середній неробочий і середній робочий день  $k_w = W_{н,р} / W_p$ .

Метод середніх навантажень полягає у обчисленні втрат електроенергії за формулою:

$$\Delta W_{н, j} = k_{л} k_{к} \Delta P_{\text{ср}} T_j k_{\phi}^2, \quad (6)$$

де  $\Delta P_{\text{ср}}$  – втрати потужності в мережі, при середніх за розрахунковий інтервал, навантаженнях вузлів;

$k_{\phi}^2$  – коефіцієнт форми графіку сумарного навантаження мережі за розрахунковий інтервал;

$k_{к}$  – коефіцієнт, що враховує відмінність конфігурацій графіків активного і реактивного навантаження різних ділянок мережі;

$T_j$  – тривалість  $j$ -го розрахункового інтервалу, г.

Коефіцієнт форми графіку сумарного навантаження мережі за розрахунковий інтервал визначають за формулою:

$$k_{\phi}^2 = \sum_{i=1}^m P_i^2 \Delta t_i / (P_{\text{ср}}^2 T), \quad (7)$$

де  $P_i$  – значення навантаження на  $i$ -ту ступінь графіку тривалістю  $\Delta t_i$ , година;

$m$  – число ступенів графіку на розрахунковому інтервалі;

$P_{\text{ср}}$  – середнє навантаження мережі за розрахунковий інтервал.

Коефіцієнт  $k_{к}$  у формулі (6) приймають рівним 0,99. Для мереж 6-20 кВ і радіальних ліній 35 кВ замість значень  $P_i$  і  $P_{\text{ср}}$  у формулі (7) можуть використовуватися значення струму головної ділянки  $I_i$  і  $I_{\text{ср}}$ . В цьому випадку коефіцієнт  $k_{к}$  приймають рівним 1,02.

Допускається визначати коефіцієнт форми графіку за розрахунковий інтервал за формулою:

$$k_{\phi}^2 = k_{\phi, \text{с}}^2 \cdot k_{\phi, M}^2 \cdot k_{\phi, N}^2, \quad (8)$$

де  $k_{\phi, \text{с}}^2$  – коефіцієнт форми добового графіку дня контрольних вимірів, розрахований за формулою (7);

$k_{\phi, N}^2$  – коефіцієнт форми графіку місячних відпусток електроенергії в мережу (графік з числом значень, рівним числу місяців в розрахунковому інтервалі), що розраховується за формулою:

$$k_{\phi, N}^2 = \sum_{i=1}^{N_j} W_{Mi}^2 / (N_j \cdot W_{\text{ср,мес}}^2), \quad (9)$$

де  $W_{Mi}$  – відпустка електроенергії в мережу за  $i$ -й місяць розрахункового інтервалу;

$W_{\text{ср,мес}}^2$  – середньомісячна відпустка електроенергії в мережу за місяці розрахункового інтервалу.

При розрахунку втрат за місяць  $k_{\phi, N}^2 = 1$ .

За відсутності графіку навантаження значення  $k_{\phi}^2$  визначають за формулою:

$$k_{\phi}^2 = \frac{1 + 2k_3}{3k_3}. \quad (10)$$

Коефіцієнт заповнення графіку сумарного навантаження мережі  $k_3$  визначають за формулою:

$$k_3 = \frac{W_0}{P_{\text{max}} T} = \frac{T_{\text{max}}}{T} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\text{max}}}, \quad (11)$$

де  $W_0$  – відпустка електроенергії в мережу за час  $T$ ;

$T_{\text{max}}$  – число годин використання найбільшого навантаження мережі.

Середнє навантаження  $i$ -го вузла визначають за формулою:

$$P_{\text{ср} i} = \frac{W_i}{T}, \quad (12)$$

де  $W_i$  – енергія, спожита (що генерується) в  $i$ -му вузлі за час  $T$ .

Метод оцінки втрат за узагальненою інформацією про схеми і навантаження мережі полягає в

розрахунку втрат електроенергії на основі залежностей втрат від сумарної довжини і кількості ліній, сумарної потужності і кількості устаткування, отриманих на основі технічних параметрів ліній і устаткування або статистичних даних [3].

Втрати електроенергії повинні розраховуватися для характерних робітників і ремонтних схем. У розрахункову схему мають бути включені усі елементи мережі, втрати в яких залежать від її режиму (лінії, трансформатори, високочастотні загороджувачі зв'язку, струмообмежувальні реактори і тому подібне).

Розрахункові значення активних опорів дротів повітряних ліній (ПЛІ)  $R_n$  визначають з урахуванням температури дроту  $t_n$ , залежною від середньої за розрахунковий період температури навколишнього повітря  $t_b$  і щільність струму в дроті  $j$ , А/мм<sup>2</sup>:

$$R_n = R_{20} \left[ 1 + 0,004 (t_b - 20 + 8,3j_2 \sqrt{F/300}) \right], \quad (13)$$

де  $R_{20}$  – стандартний довідковий опір дроту перерізом  $F$ , мм<sup>2</sup>, при  $t_n = 200$  С.

За відсутності даних про середню щільність струму за розрахунковий період в кожному елементі електричної мережі набувають розрахункового значення  $j = 0,5$  А/мм<sup>2</sup>.

Втрати електроенергії в сполучних дротах і збірних шинах розподільних облаштувань підстанцій (РОП) визначають за формулою:

$$\Delta W_{nc} = 2,3 \cdot F \cdot j_2 \cdot L \cdot \tau_0 \cdot D, \quad (14)$$

де  $F$  – середній переріз дротів(шин);

$L$  – сумарна протяжність дротів (шин) на підстанції;

$j$  – щільність струму.

За відсутності даних про параметри, використувані у формулі (14), розрахункові втрати в РОП приймають відповідно до нормативних таблиць і відносять їх до умовно-постійних втрат.

Втрати електроенергії у вимірювальних трансформаторах струму (ТС) визначають за формулою:

$$\Delta W_{TC} = \Delta P_{TCном} \cdot T \cdot \beta_{TCcp}^2 \cdot k_{\phi}^2, \quad (15)$$

де  $\Delta P_{TCном}$  – втрати в ТС при номінальному навантаженні;

$\beta_{TCcp}$  – середнє значення коефіцієнта струмового завантаження ТС за розрахунковий період.

За відсутності даних про параметри, використувані у формулі (15), розрахункові втрати в ТС приймають відповідно до нормативних таблиць і відносять їх до умовно-постійних втрат.

Аналіз нормативних методів розрахунку втрат навантажень. Нормативним методом розрахунку

втрат навантажень електроенергії в мережах 330 – 750 кВ являється метод оперативних розрахунків. Нормативними методами розрахунку втрат навантажень електроенергії в мережах 35-220 кВ являються:

– за відсутності реверсивних потоків енергії по міжмережєвих зв'язках 35-220 кВ – метод розрахункової доби;

– за наявності реверсивних потоків енергії – метод середніх навантажень. При цьому усі годинні режими в розрахунковому періоді розділяють на групи з однаковими напрямками потоків енергії. Розрахунок втрат проводять методом середніх навантажень для кожної групи режимів.

За відсутності даних про споживання енергії на підстанціях 35 кВ тимчасово допускається застосування для розрахунків втрат в цих мережах методу найбільших втрат потужності.

Нормативним методом розрахунку втрат навантажень електроенергії в мережах 6 – 20 кВ являється метод середніх навантажень.

За відсутності інформації про споживання енергії на ТП 6-20/0,4 кВ допускається визначати їх навантаження, розподіляючи енергію головної ділянки (за вирахуванням енергії по ТП, де вона відома, і втрат в мережі 6 – 20 кВ) пропорційно номінальним потужностям або коефіцієнтам максимального завантаження трансформаторів ТП.

За відсутності електричних лічильників на головних ділянках фідерів 6 – 20 кВ тимчасово допускається застосування для розрахунків втрат в цих мережах методу найбільших втрат потужності.

Нормативним методом розрахунку втрат навантажень електроенергії в мережах 0,38 кВ являється метод оцінки втрат на основі залежностей втрат від узагальненої інформації про схеми і навантаження мережі, викладений нижче.

Втрати електроенергії в лінії 0,38 кВ з перерізом головної ділянки  $F_T$ , мм<sup>2</sup>, відпусткою електричної енергії в лінію  $W_{0,38}$ , за період  $D$ , днів, розраховують за формулою:

$$\Delta W_{n0,38} = k_{0,38} \cdot \frac{W_{0,38}^2 (1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) L_{екв}}{F_T \cdot D} \cdot \frac{1 + 2k_3}{3k_3}, \quad (16)$$

де  $L_{екв}$  – еквівалентна довжина лінії;

$\operatorname{tg} \varphi$  – коефіцієнт реактивної потужності;

$k_{0,38}$  – коефіцієнт, що враховує характер розподілу навантажень по довжині лінії і неоднаковість навантажень фаз.

Еквівалентну довжину лінії визначають за формулою:

$$L_{екв} = L_M + 0,44 \cdot L_{2-3} + 0,22 \cdot L_1, \quad (17)$$

де  $L_M$  – довжина магістралі;

$L_{2-3}$  – довжина двофазних і трифазних відгалужень;

$L_1$  – довжина однофазних відгалужень.

Під магістраллю розуміється найбільша відстань від шин 0,4 кВ розподільного трансформатора 6-20/0,4 кВ до найбільш видаленого споживача, приєднаного до трифазної або двофазної лінії.

Внутрішньо будинкові мережі багатоповерхових будівель (до лічильників електричної енергії) включають в довжину відгалужень відповідної фазності.

За наявності сталевих або мідних дротів в магістралі або відгалуженнях у формулу (17) підставляють довжини ліній, визначувані за формулою:

$$L = L_a + 4L_c + 0,6L_M \quad (18)$$

де  $L_a$ ,  $L_c$  і  $L_M$  – довжини алюмінієвих, сталевих і мідних дротів, відповідно.

Коефіцієнт  $k_{0,38}$  визначають за формулою:

$$k_{0,38} = k_u (9,67 - 3,32dp - 1,84dp^2), \quad (19)$$

де  $dp$  – доля енергії, що відпускається населенню;

$k_u$  – коефіцієнт, що дорівнює 1 для лінії 380/220 В і дорівнює 3 для лінії 220/127 В.

При використанні формули (16) для розрахунку втрат в  $N$  лініях з сумарними довжинами магістралей  $L_{M\Sigma}$ , двофазних і трифазних відгалужень  $L_{2-3\Sigma}$  і однофазних відгалужень  $L_{1\Sigma}$  у формулу підставляють середню відпустку електроенергії в одну лінію

$$W_{0,38} = W_{0,38\Sigma} / N,$$

де  $W_{0,38\Sigma}$  – сумарна відпустка енергії в  $N$  ліній, і середній переріз головних ділянок, а коефіцієнт  $k_{0,38}$ , визначений за формулою (19), множать на коефіцієнт  $k_N$ , що враховує неоднаковість довжин ліній і щільність струму на головній ділянці лінії, визначуваний за формулою.

$$k_N = 1,25 + 0,14dp. \quad (20)$$

За відсутності даних про коефіцієнт заповнення графіку і (чи) коефіцієнт реактивної потужності приймають  $k_3 = 0,3$ ;  $\text{tg}\varphi = 0,6$ .

За відсутності обліку електроенергії, що відпускається в лінії 0,38 кВ, її значення визначають, віднімаючи з енергії, відпущеної в мережу 6 – 20 кВ, втрати в лініях і трансформаторах 6 – 20 кВ і енергію, відпущену в ТП 6 – 20/0,4 кВ і лінії 0,38 кВ, що знаходяться на балансі споживачів.

Аналіз методів розрахунку умовно-постійних втрат. До умовно-постійних втрат електроенергії відносяться:

– втрати холостого ходу в силових трансформаторах (автотрансформаторах) і трансформаторах дугогасящих реакторів;

– втрати в устаткуванні, навантаження якого не має прямого зв'язку з сумарним навантаженням мережі (регульовані компенсуючі пристрої);

– втрати в устаткуванні, що має однакові параметри при будь-якому навантаженні мережі (нерегульовані компенсуючі пристрої, вентильні розрядники (ВР), обмежувачі перенапружень (ОПН), облаштування приєднання зв'язку, вимірювальні трансформатори напруги (ТН), включаючи їх вторинні ланцюги, електричні лічильники 0,22 – 0,66 кВ і ізоляція силових кабелів).

Втрати електроенергії холостого ходу в силовому трансформаторі (автотрансформаторі) визначають на основі приведених в паспортних даних устаткування втрат потужності холостого ходу  $\Delta P_x$ , за формулою:

$$\Delta W_x = \Delta P_x \sum_{i=1}^m T_{pi} \left( \frac{U_i}{U_{ном}} \right)^2, \quad (21)$$

де  $T_{pi}$  – число годин роботи устаткування в  $i$ -му режимі;

$U_i$  – напруга на устаткуванні в  $i$ -му режимі;

$U_{ном}$  – номінальна напруга устаткування.

Напругу на устаткуванні визначають за допомогою вимірів або за допомогою розрахунку режиму мережі, що встановився, відповідно до законів електротехніки.

Втрати електроенергії в шунтуючому реакторі (ШР) визначають за формулою (21) на основі приведених в паспортних даних втрат потужності  $\Delta P_r$ . Допускається визначати втрати в ШР на основі нормативних таблиць.

Втрати електроенергії в синхронному компенсаторі (СК) або генераторі, переведеному в режим СК, визначають за формулою:

$$\Delta W_{СК} = (0,4 + 0,1\beta_Q^2) \Delta P_{ном} \cdot T_p, \quad (22)$$

де  $\beta_Q^2$  – коефіцієнт максимального навантаження СК в розрахунковому періоді;

$\Delta P_{ном}$  – втрати потужності в режимі номінального завантаження СК відповідно до паспортних даних.

Втрати електроенергії в статичних компенсуючих пристроях (КП) – батареях конденсаторів (БК) і статичних компенсаторах (СТК) тиристорів – визначають за формулою:

$$\Delta W_{КУ} = \Delta P_{КУ} S_{КУ} T_p, \quad (23)$$

де  $\Delta P_{КУ}$  – питомі втрати потужності відповідно до паспортних даних КП;

$S_{КУ}$  – потужність КП (для СТК приймається по ємнісній складовій).

За відсутності паспортних даних значення  $\Delta P_{КУ}$  дорівнюють для БК 0,003 кВт/квар, для СТК 0,006 кВт/квар. Втрати електроенергії у вентиляційних розрядниках, обмежувачах перенапружень, облаштуваннях приєднання ВЧ – зв'язку, вимірювальних трансформаторах напруги, електричних лічильниках 0,22 – 0,66 кВ і ізоляції силових кабелів приймають відповідно до даних заводів – виробників устаткування. За відсутності даних заводу-виробника розрахункові втрати приймають відповідно до нормативних застосувань.

Аналіз методів розрахунку нормативних характеристик технологічних втрат електроенергії. Нормативну характеристику технологічних втрат електроенергії визначають на основі розрахунку втрат у базовому періоді викладеними вище методами і використовують для визначення нормативу втрат на плановий період.

Нормативна характеристика технологічних втрат електроенергії має вираз:

$$\Delta W = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n A_{ij} \frac{W_i W_j}{D} + \sum_{i=1}^n B_i W_i + (C_{\text{пост}} + C_{\text{пог}} + C_{\text{с.н}}) \cdot D + B_{\text{об}} W_0, \quad (24)$$

де  $W_{i(j)}$  – значення показників (надходження і відпустки електроенергії), відбиваних в звітності;

$n$  – число показників;

$W_0$  – відпустка електроенергії в мережу;

$D$  – число днів розрахункового періоду, якому відповідають значення енергії, що задаються;

$A$ ,  $B$  – коефіцієнти, що відбивають складові втрат:  $A_{ij}$  і  $B_i$  – втрати навантажень;

$C_{\text{пост}}$  – умовно-постійні втрати;

$C_{\text{пог}}$  – втрати, залежні від погодних умов;

$C_{\text{с.н}}$  – витрата електроенергії на власні потреби підстанцій;

$B_{\text{об}}$  – втрати, обумовлені погрішностями системи обліку електроенергії.

Нормативну характеристику втрат навантажень електроенергії в замкнутих мережах визначають на основі розрахованої характеристики навантажень втрат потужності, що має вираз:

$$\Delta P_{\text{нагр}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} P_i P_j + \sum_{i=1}^n b_i P_i, \quad (25)$$

де  $P_{i(j)}$  – значення потужностей, що відповідають показникам формули (30);

$a_{ij}$  і  $b_i$  – коефіцієнти нормативної характеристики втрат потужності.

Перетворення коефіцієнтів характеристики втрат потужності в коефіцієнти характеристики втрат електроенергії роблять по формулах(26), (27):

$$A_{ij} = \frac{a_{ij}}{24} k_{\Phi}^2 10^3; \quad (26)$$

$$B_i = b_i. \quad (27)$$

Для складових нормативної характеристики, значень енергії, значення  $k_{\Phi ij}^2$  обчислюють за формулою:

$$k_{\Phi ij}^2 = 1 + r_{ij} \sqrt{(k_{\Phi i}^2 - 1)(k_{\Phi j}^2 - 1)}, \quad (28)$$

де  $k_{\Phi i}$  і  $k_{\Phi j}$  коефіцієнти форми  $i$ -го і  $j$ -го графіків активної потужності;

$r_{ij}$  – коефіцієнт кореляції  $i$ -го і  $j$ -го графіків, що розраховується за даними ОВК. За відсутності розрахунків  $r_{ij}$  приймають  $k_{\Phi ij}^2 = 1$ .

Коефіцієнт  $C_{\text{пост}}$  визначають за формулою:

$$C_{\text{пост}} = \Delta W_{\text{пост}} / D, \quad (29)$$

де  $\Delta W_{\text{пост}}$  – умовно-постійні втрати електроенергії у базовому періоді.

Коефіцієнт  $C_{\text{пох}}$  визначають за формулою:

$$C_{\text{пох}} = \Delta W_{\text{пох}} / D, \quad (30)$$

де  $\Delta W_{\text{пост}}$  – втрати електроенергії, залежні від погодних умов, у базовому періоді.

Коефіцієнт  $C_{\text{с.н}}$  визначають за формулою:

$$C_{\text{с.н}} = W_{\text{с.н}} / D, \quad (31)$$

де  $\Delta W_{\text{с.н}}$  – витрата електроенергії на власні потреби підстанцій у базовому періоді.

Коефіцієнт  $B_{\text{об}}$  визначають за формулою:

$$B_{\text{об}} = \Delta W_{\text{об}} / W_0, \quad (32)$$

де  $\Delta W_{\text{об}}$  – втрати, обумовлені похибками системи обліку електроенергії, у базовому періоді.

Нормативна характеристика втрат навантажень електроенергії в радіальних мережах має вираз:

$$\Delta W_{\text{нав}} = A_U \frac{W_U^2}{D}, \quad (33)$$

де  $W_U$  – відпустка електроенергії в мережу напругою  $U$  за  $D$  днів;

$A_U$  – коефіцієнт нормативної характеристики.

Коефіцієнт  $A_U$  нормативної характеристики (33) визначають за формулою:

$$A_U = \frac{\Delta W_{\text{нУ}}}{W_U^2} D, \quad (34)$$

де  $\Delta W_{нU}$  – втрати навантажень електроенергії в мережі напругою  $U$  у базовому періоді.

Коефіцієнт  $A$  ( $C_{\text{пост}}$ ,  $C_{\text{пох}}$  і  $C_{\text{с.н}}$ ) для радіальних мереж 6 – 35 кВ в цілому по їх значеннях, розрахованих для ліній ( $A_i$  та  $C_i$ ), які входять в мережу, визначають по формулах:

$$A = \sum_{i=1}^n A_i \left( \frac{W_i}{W_{\Sigma}} \right)^2; \quad (35)$$

$$C = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (36)$$

де  $W_i$  – відпуск електроенергії в  $i$ -ту лінію;

$W_{\Sigma}$  – те ж, в мережу в цілому;

$n$  – кількість ліній.

Коефіцієнти  $A_i$  і  $C_i$  мають бути розраховані для всіх ліній мережі. Їх визначення на основі розрахунку обмеженої вибірки ліній не допускається. Коефіцієнт  $A$  для мереж 0,38 кВ розраховують за формулою (33), в яку в якості  $\Delta W_{нU}$  підставляють значення сумарних втрат навантажень в усіх лініях 0,38 кВ  $\Delta W_{н0,38}$ , розрахованих за формулою (16) з урахуванням формули (20).

## Висновки

1. Проведено аналіз методів розрахунку втрат навантажень електроенергії в залежності від об'єму наявної інформації про схеми і навантаження мереж: метод оперативних розрахунків; метод розрахункової доби; метод середніх навантажень; метод числа годин найбільших втрат потужності; метод оцінки втрат за узагальненою інформацією про схеми і навантаження мережі.

2. Показано, що втрати потужності в мережі при використанні для розрахунку втрат електроенергії розраховують на основі заданої схеми мережі і навантажень її елементів, визначених за допомогою вимірів або за допомогою розрахунку навантажень елементів електричної мережі відповідно до законів електротехніки.

## Список літератури

1. Мажажихов А.А. Особенности учета потерь электроэнергии / А.А. Мажажихов // *Материалы конференции профессорско-преподавательского состава и студентов ИВЭСЭП 19 апреля 2006 г. – СПб.: Изд-во Знание, ИВЭСЭП, 2006. – С. 28-32.*
2. Заслонов С.В. Расчет технических потерь мощности и электроэнергии в распределительных сетях 0,38-10 кВ / С.В. Заслонов, М.А. Калинкина // *Энергетик. – 2002. – № 7. – С. 21-22.*
3. Герасименко А.А. Расчет потерь электроэнергии и рабочих режимов в распределительных сетях энергосистем / А.А. Герасименко, Г.С. Тимофеев // *Оптимизация режимов работы систем электроприводов: Межвуз. сб. науч. тр. – Красноярск, 2002. – С. 75-95.*
4. Железко Ю.С. Методы расчета нагрузочных потерь электроэнергии в радиальных сетях 0,38–20 кВ по обобщенным параметрам схем / Ю.С. Железко // *Электрические станции. – 2006. – № 1. – С. 24-27.*
5. Воронницкий В.Э. Методы и средства расчета, анализа и снижения потерь электрической энергии при её передаче по электрическим сетям / В.Э. Воронницкий, С.В. Заслонов, М.А. Калинкина и др. – М., 2006. – 168 с.

Надійшла до редколегії 28.03.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук Г.І. Канюк, Українська інженерно-педагогічна академія, Харків.

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ УЧЕТА ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ УКРАИНЫ

П.В. Васюченко

*Проанализирована динамика абсолютных и относительных потерь электроэнергии в электрических сетях Украины, определена главная причина роста потерь электроэнергии, рассмотрены существующие методы расчета потерь электроэнергии в энергосистемах, представлены теоретические и практические обоснования, относительно их использования, предложены пути снижения потерь электроэнергии в электрических сетях.*

**Ключевые слова:** потери электроэнергии, методы расчета потерь нагрузок, электрические сети, энергосистема, технологические и коммерческие потери электроэнергии.

## AN ANALYSIS OF MODERN METHODS OF ACCOUNT OF LOSSES OF ELECTRIC POWER IS IN GRIDS OF UKRAINE

P.V. Vasyuchenko

*The analysed dynamics of absolute and relative losses of electric power is in the electric networks of Ukraine, main reason of height of losses is certain electric power, considered existent methods of calculation of losses of electric power in grids, theoretical and practical grounds are given, in relation to their use, the ways of decline of losses of electric power are offered in electric networks.*

**Keywords:** losses of electric power, methods of calculation of losses of loadings, electric networks, grid, technological and commercial losses of electric power.