

## Розрахунок втрат електроенергії в електричних мережах 0,38 кВ з використанням АСКОЕ

П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, А.В. Пашенко  
Вінницький національний технічний університет  
Вінниця (Україна)

**Анотація:** Розглядаються шляхи вирішення проблеми визначення втрат електроенергії та максимального відхилення напруги у розподільних електричних мережах (ЕМ) 0,38 кВ із залученням різноманітних джерел вихідної інформації. Показано, що визначення технологічних втрат електроенергії в ЕМ 0,38 кВ у середовищі автоматизованої системи комерційного обліку електроспоживання (АСКОЕ) забезпечує нові можливості їх аналізу, структурування, а також розв'язання на цих засадах ряду актуальних експлуатаційних задач.

**Ключові слова:** електричні мережі 0,38 кВ, втрати електроенергії, визначення, методи, АСКОЕ.

### I. ВСТУП

В нових економічних умовах через обмеженість енергоресурсів в Україні, а також завдяки приватизації окремих енергетичних об'єктів втрати електроенергії перетворилися зі звичайного звітного показника, значення якого обгрунтовувалося і нормувалося з певною точністю, в один з визначальних факторів економіки, який характеризує не тільки технічну сторону транспортування електроенергії, а й якість організації процесу електропостачання споживачів і контролю за ним. Природно, що зросла увага до цієї проблеми і розпочалися розробки і вдосконалення методів визначення втрат електроенергії і створення умов для їх зменшення [1, 2].

В невідомому стані опинилися розподільні електричні мережі, особливо електричні мережі (ЕМ) 0,38 кВ. У вказаних мережах практично відсутні засоби телеконтролю, недостатня кількість вимірювальних приладів, а часто, невідомі навіть поточні схеми та параметри пасивних елементів. Разом з тим саме в цих мережах втрати електроенергії на думку експлуатаційників, а також за наявними статистичними даними зросли до фізично не обгрунтованих значень, – і це не зважаючи на загальну тенденцію до зниження електроспоживання [2]. Таким чином постала нагальна необхідність в запровадженні енергозберігаючих заходів саме в розподільних мережах. Проведення і оцінка ефективності вказаних заходів є однією з задач АСКОЕ, які зараз активно впроваджуються в електричних мережах енергосистем [3, 4]. В даній статті розглядаються особливості,

методи та алгоритми визначення втрат електроенергії в ЕМ 0,38 кВ з використанням інформаційних засобів АСКОЕ. Метою вказаних розрахунків є всебічний аналіз втрат електроенергії в ЕМ та розробка на цих засадах технічних та організаційних заходів з керування ними.

### II. ПРОБЛЕМА ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЕМ 0,38 КВ

Вирішення проблеми зниження втрат електроенергії вимагає попереднього їх всебічного аналізу та структурування з метою виявлення першопричин і визначення найбільш ефективних напрямків виходу з ситуації, що склалася. Враховуючи сутність комерційних втрат, пряме їх визначення, навіть приблизне, є неможливим, або пов'язане зі значними капіталовкладеннями. З іншого боку, технологічні втрати, за відповідного інформаційного забезпечення, можуть бути визначені достатньо точно, а це дає змогу опосередковано аналізувати і комерційну складову.

Структура методів визначення технологічних втрат електроенергії в ЕМ 0,38 кВ, що забезпечують вирішення поставленої задачі на різних стадіях запровадження АСКОЕ, подана на рис. 1.

Відсутність достовірної інформації про величину та характер електроспоживання, а також про пасивні параметри ЕМ 0,38 кВ зумовила поширене застосування методів еквівалентування для визначення технологічних втрат в ЕМ даного класу напруги. Розподільні мережі 0,38 кВ в розрахунках втрат представляються еквівалентним опором, який визначається в залежності від наявної вихідної інформації [3].

Втрати в ЕМ 0,38 кВ розраховуються, за формулою:

$$\Delta W_{0,38} = 3I_{\Gamma}^2 R_{\text{ек}} k_{\phi}^2 T, \quad (1)$$

де  $I_{\Gamma}$  – середній струм головної ділянки ЕМ;  $R_{\text{ек}}$  – еквівалентний опір розподільної мережі 0,38 кВ;  $k_{\phi}$  – коефіцієнт форми графіка еквівалентного струмового навантаження ЕМ 0,38 кВ;  $T$  – тривалість звітного періоду.

Значення еквівалентного опору визначається за ретроспективною інформацією:

$$R_{ек} = \frac{\Delta W'_{0,38}}{3I_{\Gamma}^2 k_{\phi}^2 T'} \quad (2)$$

де  $\Delta W'_{0,38} = W'_{п.м.} - W'_{в.м.}$  - втрати електроенергії за період  $T'$ , який передує звітному періоду;  $W'_{п.м.}$  - електроенергія, яка поступила в мережу за період  $T'$ ;  $W'_{в.м.}$  - електроенергія, яка відпущена споживачам і значення якої визначається за фактом розрахунків споживачів за електроенергію.



Рис. 1. Структура методів та послідовність визначення технологічних втрат електроенергії в ЕМ 0,38 кВ за різного інформаційного забезпечення

Як бачимо, методи визначення еквівалентного опору  $R_{ек}$  базуються на певних припущеннях, але загалом вказана методика дає достатньо точні результати, за умови, що повнота оплати за спожиту електроенергію є відносно стабільною, а також виконуються експлуатаційні вимоги щодо завантаження ліній ЕМ, рівномірності розподілу навантаження по фазах тощо. В цьому випадку еквівалентний опір, який розраховується за даними попередніх звітних періодів, може використовуватися для поточних розрахунків втрат. Але через те, що вказані умови адекватності еквівалентування для реальних розподільних мереж 0,38 кВ не завжди виконуються, подібну методику визначення технологічних втрат доцільно застосовувати лише на початкових стадіях впровадження АСКОЕ з подальшим залученням більш точних та адаптивних методів.

Розробка та впровадження АСКОЕ вимагають проведення ряду заходів, що якісно підвищують рівень інформаційного забезпечення задачі розрахунку втрат електроенергії в ЕМ 0,38 кВ [4]. Так, передбачається проведення інвентаризації обладнання вказаних розподільних мереж, що включає:

- розробку поопорних схем ЕМ із зазначенням марок проводів, кількості фаз, довжин ділянок ліній електропередач;
- фазування споживачів та прив'язку їх до поопорних схем ЕМ;
- формування баз даних електроспоживання абонентів.

В процесі експлуатації АСКОЕ також виконується регулярне оновлення баз даних електроспожи-

вання, де фіксується відпущена кожному абоненту електроенергія та рівень сплати за неї.

Таким чином АСКОЕ забезпечують необхідний обсяг інформації для визначення та аналізу технологічних втрат електроенергії у мережах 0,38 кВ на основі методу поелементних розрахунків. Методика та послідовність вказаних розрахунків аналогічні тим, що використовуються для ЕМ вищих класів напруги. Але існують певні особливості:

- розрахунки доцільно виконувати пофазно, оскільки це дає можливість у повній мірі врахувати несиметрію навантаження та результати заходів з його симетрування;
- визначення часових характеристик електроспоживання виконується на основі типових графіків або контрольних вимірювань.

### III. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОГО ОПОРУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ 0,38 кВ ЗА ВПЛИВОВИМИ ФАКТОРАМИ

В [5] запропоновано метод оцінки втрат електроенергії в мережах 0,38 кВ за сумарною довжиною ліній. Згідного цього методу еквівалентний опір лінії без розгалужень визначається:

$$R_{ек} = r_0 L k_L \quad (3)$$

де  $r_0$  - питомий опір проводу, Ом/км;  $L$  - довжина лінії, км;  $k_L$  - коефіцієнт, який враховує тип навантаження ( $k_L = 1$ , якщо навантаження сконцентроване в кінці лінії;  $k_L = 0,37$ , якщо навантаження розподілене вздовж лінії).

На значення втрат в мережі впливає наявність відгалужень, а також несиметрія навантаження і

неодинаковість густини струму на головних ділянках різних ліній. Врахувавши і ці фактори, остаточно маємо формулу для визначення еквівалентного опору:

$$R_{ек} = 32,25k_L k_B k_N k_H \frac{\sum_{i=1}^N F_i L_i}{F_{\Sigma}^2}, \quad (4)$$

де  $L_i$  – довжина магістральних ліній з перерізом проводу  $F_i$  ( $L_i$  в км,  $F_i$  в мм<sup>2</sup>);  $N$  – кількість груп ліній з різними перерізами головних ділянок, які живляться від даного трансформатора;  $F_{\Sigma}$  – сумарний переріз головних ділянок цих ліній, мм<sup>2</sup>;  $k_L = 1 - 0,63d_p$  – коефіцієнт, який враховує тип навантаження. В цій формулі  $d_p$  визначається як частка розподілених навантажень ( $d_p = 0$ , якщо навантаження сконцентроване в кінці лінії;  $d_p = 1$ , якщо навантаження розподілене вздовж лінії рівномірно);  $k_H = 1,05 + 0,3d_p$  – коефіцієнт збільшення втрат в лінії з несиметричним навантаженням;  $k_B = 1 - 0,95 \frac{L_B}{L_{\Sigma}}$  – понижувальний коефіцієнт, яким враховується те, що в відгалуженнях втрати суттєво менші ніж в магістралі;  $L_{\Sigma}$  – сумарна довжина лінії разом з відгалуженнями;  $L_B$  – довжина відгалужень;  $k_N$  – коефіцієнт, яким враховується неоднаковість густини струму на головних ділянках різних ліній. Його значення знаходиться в діапазоні  $1,04 - 1,16$  ( $k_N = 1,1 \pm 0,06$ ).

При наявності інформації про довжину і кількість ліній з розподіленим і сконцентрованим навантаженням доцільно проводити окремо розрахунки з коефіцієнтами, які характерні для цих ліній.

Враховуючи наведене вище для розрахунків втрат електроенергії в мережах 0,38 кВ за допомогою методу еквівалентних опорів рекомендується використовувати для визначення  $R_{ек}$  формулу (4), тобто метод оцінки втрат електроенергії за допомогою узагальнених характеристик електричної мережі.

#### IV. ПОЕЛЕМЕНТНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ВТРАТ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 0,38 КВ

Запровадження АСКОЕ забезпечило можливість і доцільність використання методу поелементних розрахунків для розв'язання задачі аналізу та структурування втрат електроенергії у розподільчих мережах 0,38 кВ.

Перевагою даного підходу є можливість врахування цілого ряду додаткових факторів, що істотно впливають на режим роботи і, відповідно, втрати потужності та електроенергії у кожному елементі ЕМ. Але адекватність одержаних результатів у значній мірі залежить від якості інформаційного забезпечення задачі. Серед вказаних факторів варто відмітити можливість врахування розподілу навантаження ЕМ між окремими фазами та споживачами (спираючись на абонентські бази даних електроспоживання), різноманітних комутацій у ЕМ (відключення абонентів за несплату, підключення нових абонентів та тих, що сплатили борги за спожиту

електроенергію, перенесення споживачів з фази на фазу тощо).

Формування пофазної розрахункової схеми ЕМ 0,38 кВ має здійснюватися у такій послідовності (рис.2). На етапі підготовки та впровадження АСКОЕ необхідно всебічно проаналізувати склад основного обладнання, поопорні схеми та стан електричних мереж 0,38 кВ і на цій підставі сформувати відповідні бази даних. Підготовка вказаної інформації має бути виконана особливо ретельно, оскільки вона є джерелом для формування розрахункової схеми ЕМ протягом функціонування АСКОЕ і, таким чином, її недосконалість може вносити систематичну похибку у результати аналізу та структурування втрат електричної енергії.

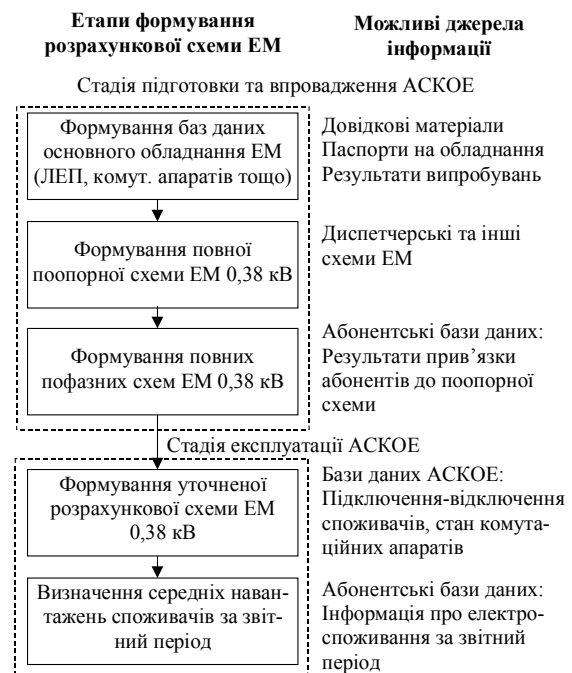


Рис. 2. Формування розрахункової схеми ЕМ 0,38 кВ

Повна поопорна схема ЕМ 0,38 кВ являє собою підготовлену у відповідності з певними вимогами схему, що включає дані про нормальну схему з'єднань ЕМ (з фазуванням ліній електропередач та прив'язкою споживачів до відповідних фаз та опор), про частини мережі, що на даний час знеживлені, а також про можливі зв'язки з іншими мережами.

Перехід від статичної повної схеми електричних мереж до динамічної розрахункової вимагає наявності стандартизованих потоків інформації про характер та величину змін їх стану ЕМ. Така інформація забезпечується засобами АСКОЕ (бази реєстрації електроспоживання абонентів ЕМ, відключення боржників та приєднання нових споживачів тощо).

Пасивна частина розрахункової схеми ЕМ 0,38 кВ створюється після ініціювання процесу розрахунку втрат електроенергії і коригується у разі виконання будь-яких перемикачів в ЕМ. За даними архівів АСКОЕ в описі повної схеми виконується зміна інформації про стани комутаційних апаратів, окремих ліній електропередач та споживачів (типу відключення, приєднання, переключення на іншу фазу тощо). Будується граф оновленої схеми ЕМ (у однолінійному представленні), за рахунок чого визнача-

ються відділені та знеживлені частини мережі, що, вочевидь, не впливають на втрати потужності та електричної енергії. Для зменшення розмірності задачі інформація про вказані частини мережі видаляється з відповідною переіндексацією складу пасивних параметрів розрахункової схеми ЕМ. Значення вказаних параметрів вибираються з бази даних обладнання, що забезпечує спрощення коригування схеми у разі зміни складу або характеристик наявного обладнання.

Найбільш складною та неоднозначною проблемою формування вихідної інформації для проведення поелементного розрахунку втрат електроенергії є визначення незалежних параметрів режиму середніх навантажень ЕМ [3]. Це пов'язано з принциповою неможливістю забезпечення одночасності одержання інформації про зафіксоване лічильниками електроспоживання. До того ж покази лічильників супроводжуються як метрологічною похибкою, так і недорахуванням споживаної електроенергії в наслідок несанкціонованих відборів енергії тощо.

Вирішення проблеми одночасності надходження показів лічильників електроенергії бачиться у застосуванні методів інтерполяції-екстраполяції, які, враховуючи невеликі (порівняно зі звітним періодом) розбіжності у часі надходження даних дають доволі точні результати відновлення часового різку.

Послідовність визначення втрат електроенергії в ЕМ 0,38 кВ для заданого звітного періоду така. Після формування пасивної частини розрахункової схеми ЕМ та доповнення її усередненими потужностями споживачів виконується пофазний розрахунок режиму середніх навантажень. Під час визначення струморозподілу для кожної окремої фази ЕМ використовується повне однолінійне представлення мережі, але враховуються лише навантаження споживачів, що отримують живлення від даної фази. Визначення струморозподілу в нейтралі ЛЕП здійснюється шляхом векторного підсумовування комплексних струмів окремих фаз означених ліній.

Втрати електроенергії в лініях електропередач ЕМ 0,38 кВ визначаються за такою формулою

$$\Delta W_i = (I_{i,A}^2 R_A + I_{i,B}^2 R_B + I_{i,C}^2 R_C + I_{i,N}^2 R_N) k_{\phi}^2 T, \quad (5)$$

де  $I_{i,A}$ ,  $I_{i,B}$ ,  $I_{i,C}$ ,  $I_{i,N}$  – відповідно, модулі фазних струмів  $i$ -ої ЛЕП та струму в нейтралі лінії;  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ ,  $R_N$  – відповідно, активні опори окремих фаз  $i$ -ої ЛЕП та її нульового проводу (зазвичай  $R_A = R_B = R_C \leq R_N$ ).

Очевидно, що описана методика визначення незалежних параметрів режиму середніх навантажень споживачів ЕМ для поточного звітного періоду 0,38 кВ пов'язана з деякою похибкою, що залежить від ряду факторів, в тому числі повноти та якості вимірювання спожитої абонентами електроенергії. Разом з тим, залучення інформаційних засобів АСКОЕ робить сформовану таким чином розрахункову схему розподільної мережі 0,38 кВ достатньо адекватною та адаптованою до виконання розрахунку усталеного режиму мережі з можливістю подальшого визначення та структурування втрат потужності та

електроенергії по частинах мережі та по всій мережі в цілому.

## V. ВИСНОВКИ

1. Запровадження та широкі можливості сучасних засобів АСКОЕ дозволяють успішно вирішувати проблеми інформаційного забезпечення задачі визначення та аналізу втрат електроенергії в розподільних електричних мережах 0,38 кВ. Включення задачі визначення технологічних втрат електроенергії в ЕМ 0,38 кВ до переліку задач АСКОЕ робить баланс електроенергії в електричній мережі більш точним і прозорим.

2. Для уточнення і приведення у відповідність до реальних умов експлуатації створеної розрахункової схеми розподільної електричної мережі 0,38 кВ можливо і доцільно використовувати бази даних, що формуються засобами АСКОЕ. Врахування динаміки зміни конфігурації та параметрів електричної мережі 0,38 кВ в її розрахунковій схемі на звітному проміжку часу дозволяє оцінити вплив умов експлуатаційних умов, в тому числі обмеження електроспоживання, на значення втрат електроенергії в ЕМ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Доповіді та повідомлення, заслухані на галузевій конференції "Зниження втрат електроенергії в мережах на її транспортування. Заходи щодо покращання роботи зі споживачами" (м. Хмельницький, 19 липня 2002 р.) // Новини енергетики. – 2002. – №7. – С. 1-59.

2. Дерзский В.Г. Экспертиза структуры потерь электроэнергии в распределительных сетях Минтопэнерго // Энергетика и Электрификация. – 2002. – №4. – С. 18-22.

3. Пейзель В.М., Степанов А.С. Расчет технических потерь энергии в распределительных электрических сетях с использованием информации АСКУЭ и АСДУ // Электричество. – 2002. – №3. – С. 10-15.

4. Красовский Ю.Л., Кулик В.В., Лежнюк П.Д. Керування втратами електроенергії в розподільних мережах з використанням засобів АСКОЕ // Вісник Харківського держ. техн. ун-ту сільського госп.-2003.- вип. 19. т.1.- С. 99-107.

5. Железко Ю.С. Методы расчета технических потерь электроэнергии в сетях 380/220 В // Электрические станции. - 2002. - №1. - С. 14-20.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Лежнюк Петро Дем'янович**, народився у 1946 р. у Рівненській області; закінчив Львівський політехнічний інститут; д.т.н., проф., завідувач кафедри електричних станцій і систем; науковий напрямок: математичне моделювання електроенергетичних систем та оптимізація їх режимів.

**Кулик Володимир Володимирович**, народився у 1972 р. у м. Вінниця; закінчив Вінницький національний технічний університет; к.т.н., доцент кафедри електричних станцій і систем; науковий напрямок: формування умов оптимальності нормальних режимів енергосистем та засоби їх автоматизації

**Пашенко Анна Валеріївна**, народилася у 1983 р. у м. Вінниця; навчається у Вінницькому національному технічному університеті; студентка

**Адреса:** Кафедра електричних станцій і систем, ВНТУ, вул. Хмельницьке шосе, 95, 21021, м. Вінниця

**Тел./факс:** 8(0432)440377

**E-Mail:** LPD@inbox.ru