

# МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ АНАЛІЗУ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИСТРОЇВ SMART METERING

<sup>1</sup>АТ «Вінницяобленерго»

## **Анотація**

*Проведені в роботі дослідження дали змогу підвищити достовірність результатів аналізу втрат електроенергії в розподільних ЕМ шляхом вдосконалення інформаційного забезпечення. Використання розроблених методів та алгоритмів створить передумови для підвищення адекватності моделювання режимів розподільних мереж 10(6) кВ, для пофідерного формування структури балансу електроенергії з урахуванням змін схеми та параметрів розподільних мереж протягом звітного періоду, для адресного внесення вартості розподілу електроенергії до тарифів споживачів, а також для вдосконалення інформаційної інфраструктури ЕМ.*

**Ключові слова:** розподільні електричні мережі, оцінка стану, комерційний облік електроенергії, електроощадні заходи, типовий графік навантаження..

## **Abstract**

*The research conducted in the work allowed to increase the reliability of the results of the analysis of electricity losses in distribution EMs by improving the information support. The use of developed methods and algorithms will create preconditions for improving the adequacy of modeling of 10 (6) kV distribution networks, for electricity balance structure formation taking into account changes in distribution scheme and parameters during the reporting period, for targeted payment of electricity distribution to consumers' tariffs. to improve the information infrastructure of distribution networks.*

**Keywords:** distributive electric network, state estimation, commercial electricity accounting, energy saving measures, typical load schedule

## **Вступ**

З багатьох розрахунково-аналітичних проблем об'єктивно вирізняється задача з розрахунку та аналізу технічних втрат електроенергії в електричних мережах та структурування їх у різних площинах. Адже це забезпечує підґрунтя для планування заходів щодо енергоефективності роботи енергопостачальних компаній. Важливим аспектом структурування втрат електроенергії є формування поелементної структури втрат електроенергії з прив'язкою до періоду часу експлуатації елементів мережі, а також аналіз з визначення локальних осередків з найбільшим впливом на сумарні втрати електроенергії. Оцінити економічно обґрунтований рівень комерційних втрат можливо лише визначивши їх із структури балансу електроенергії. Від зменшення комерційної складової залежить підвищення прибутку енергопостачальних компаній, тобто цей напрямок є досить актуальним і перспективним у плані розроблення і впровадження програмних засобів, зокрема, з використанням баз даних та інформаційних систем.

У розподільних електричних мережах основним джерелом вимірювань є автоматизовані системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ). Системи АСКОЕ покликані надавати надійну та своєчасну інформацію про облік електроенергії на підставі якої проводяться фінансові розрахунки між суб'єктами ринку. Однак на сьогодні застосування АСКОЕ у розподільних мережах є обмеженим, а наявна інформація не дає змоги забезпечити спостережність розподільних електричних мереж і, як наслідок, визначити складові втрат електроенергії у структурі балансу електроенергії з достатньою точністю.

Найбільш ефективним заходом щодо забезпечення спостережності розподільних електричних мереж є інтегрування до АСКОЕ інтелектуальних приладів обліку з можливістю зберігання і передавання даних на основі технології Smart Metering.

Виходячи з цього отримано нове вирішення актуальної науково-прикладної задачі підвищення достовірності результатів аналізу втрат електроенергії в розподільних мережах шляхом вдоскона-

лення методів та засобів забезпечення спостережності мереж з використанням пристроїв Smart Metering та типових графіків навантаження.

### Основні результати

Отримано такі нові результати:

1. Систематизовано та досліджено можливості підвищення спостережності розподільних електричних мереж з використанням пристроїв Smart Metering, агрегованої інформації автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії та псевдовимірювань. Показано доцільність застосування результатів оцінки стану розподільних електричних мереж у інформаційних системах для аналізу енергоефективності електричних мереж [1]-[4].

2. Розроблено метод зворотного перетворення зафіксованих обсягів спожитої електроенергії у псевдовимірювання графіків електричних навантажень споживачів з використанням типових графіків навантаження (ТГН) та генерування відновлюваних джерел енергії, а також оцінки стану електричних мереж. Показано, що використання даних з систем обліку електроенергії для доповнення вектору стану електричних мереж інформацією про зміни потужності у неспостережних вузлах дає змогу підвищити адекватність моделювання режимів розподільних мереж 10(6) кВ та якість розроблення електроощадних заходів. Типові графіки генерування (ТГГ) відновлюваних джерел енергії, що отримані на основі типових наборів даних про метеорологічний рік, використовуються для визначення режимних параметрів і втрат електроенергії в електричних мережах. Для синхронізації даних та відновлення агрегованої у часі інформації про генерування відновлюваних джерел енергії в розподільних електричних мережах використовуються алгоритми оцінки стану. Перевагою застосування оцінки стану є можливість поточного та перспективного аналізу енергоефективності розподільних електричних мереж зі значною часткою відновлюваних джерел енергії. Особливо це стосується фотовольтаїчних електричних станцій (ФЕС), оскільки вони мають складно-прогнозований графік генерування. Відновлення графіка генерування за даними типового метрологічного року дає змогу використовувати його в якості типового, нарівні із типовими графіками електроспоживання, а отже, розраховувати параметри окремих режимів розподільної електричної мережі протягом звітного періоду. Підхід передбачає використання функціональних залежностей параметрів режиму розподільних електричних мереж у комплексі з іншими засобами відновлення втрачених даних.

Показано, що недостатність вимірювань режимних параметрів розподільних електромереж з відновлюваними джерелами енергії можна компенсувати з допустимою точністю використовуючи інформацію з типових наборів даних та відомості про відпуск електроенергії з автоматизованими системами комерційного обліку електроенергії.

3. Використання пристроїв Smart Metering, агрегованої інформації автоматизованих систем комерційного обліку електроенергії та псевдовимірювань дозволяє виконувати розрахунки з адресного визначення втрат електроенергії та створює передумови для внесення їх у тариф для кінцевого споживача.

При розрахунку роздрібного тарифу на електроенергію враховують різні цінові показники, суму дотацій та обсяг закупівлі електроенергії на балансуєчому ринку, тощо. Крім того формула розрахунку роздрібних тарифів на постачання електроенергії містить елементи стимулювання постачання електроенергії населенню. Внаслідок політики уряду з надання універсальних пільг всім домогосподарствам у вигляді заниженої ціни тарифи на електроенергію становлять лише близько 30% середньозваженого роздрібного тарифу. Низький відсоток відшкодування витрат призводить до того, що компанії, які працюють в електроенергетичному секторі, несуть фінансові втрати. Така ситуація вимагає прийняття рішення щодо адресного внесення вартості розподілу електроенергії до тарифу для кінцевого споживача.

Виокремлення у структурі балансу електроенергії значення вартості розподілу для кожного об'єкта обліку можливе шляхом застосування типових графіків втрат (ТГВ) потужності сформованих на основі результатів оцінки стану мереж, матриці коефіцієнтів розподілу та середньоквадратичної похибки у величині змінних втрат.

Тому в роботі запропоновано метод формування типових графіків втрат електроенергії в розподільних електричних мережах 10(6) кВ на основі результатів оцінки стану мереж та матриці коефіцієнтів розподілу втрат.

4. Використовуючи математичний апарат аналізу чутливості й багатокритеріального аналізу вдосконалено метод оптимізації розміщення та послідовності впровадження засобів обліку електроенергії Smart Metering у розподільних мережах 10(6) кВ. Показано, що використання методу

сприяє зменшенню капіталовкладень та експлуатаційних видатків завдяки врахуванню технічних особливостей мереж, а також чутливості параметрів режиму мереж до місця встановлення засобів Smart Metering. Використання принципу мінімакса дає можливість отримати інформацію щодо поточної ефективності вимірювального середовища АСКОЕ, а саме зранжувати фрагменти електричної мережі за сукупністю запропонованих критеріїв з урахуванням важливості кожного з них. Отже, отримане рішення є ефективним з огляду на розв'язання задач АСКОЕ і, разом з тим, максимально адаптоване до реалізації.

5. Розроблено алгоритм узгодження псевдовимірювань для підстанцій розподільних мереж, що забезпечують живлення абонентів з різнотипним споживанням та істотно відмінними максимальними потужностями, а також прийом електроенергії від розосереджених джерел енергії. Для цього запропоновано використовувати вагові коефіцієнти, що визначаються відношенням максимальних навантажень окремих споживачів до максимального навантаження споживача з найбільшою зафіксованою потужністю споживання (договірною потужністю). Показано, що застосування коефіцієнтів узгодження сприяє підвищенню адекватності відтворення графіків сумарного споживання на основі ТГН.

6. Розроблено алгоритми формування псевдовимірювань ТГН та ТГГ, визначення типових графіків втрат потужності та визначення оптимальної послідовності впровадження засобів обліку електроенергії Smart Metering. Зазначені алгоритми можуть бути використані для підвищення спостережності розподільних електричних мереж з використанням пристроїв Smart Metering, а також для автоматизації процесу структурування втрат електроенергії в розподільних мережах.

#### Висновки

Практичне значення роботи полягає в можливості використання розроблених методів та алгоритмів для пофідерного формування структури балансу електроенергії з урахуванням змін схеми та параметрів розподільних мереж протягом звітного періоду, а також для формування інформаційної інфраструктури яка дасть змогу підвищити адекватність моделювання режимів розподільних мереж 10(6) кВ та створить передумови для адресного внесення вартості розподілу електроенергії до тарифів кінцевого споживача.

Розроблені математичні моделі, алгоритми, програмні засоби, передані для експлуатації в АТ «Вінницяобленерго» та ТОВ «Енергоінвест». Деякі теоретичні та програмні розробки використовуються у навчальному процесі кафедри електричних станцій та систем ВНТУ під час викладення курсів «Математичні задачі електроенергетики», «Електроощадні режими й технології» і «АСУ електричних систем».

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] О. Бурикін, Ю. Томашевський, та Ю. Малогулко, "Стандартизація функціонування локальних енергосистем при їх інтеграції у системи централізованого живлення на базі концепції SmartGrid", *Енергетика та електрифікація*, № 12, с. 46-48, 2012.

[2] Ю. Томашевський, О. Бурикін, Ю. Малогулко, та В. Гриник, "Інформаційна система розподільної електричної мережі на базі концепції Smart metering із застосуванням типових графіків навантаження", *Технічні науки та технології*, № 321, с. 229-241, 2020, doi: 10.25140/2411-5363-2020-3(21)-229-241.

[3] Y. Tomashevskiy, O. Burykin, V. Kulyk, and J. Malogulko, "Estimation of the dynamics of power grid operating parameters based on standard load curves", *EEJET*, vol. 6, no. 8 (102), pp. 6–12, 2019.

[4] В. Кулик, Ю. Томашевський, та О. Глоба, "Пофідерний аналіз втрат електроенергії у розподільних електромережах 10(6)-0,4 кВ з використанням імітаційного моделювання", *Енергетика та електрифікація*, № 7-8, с. 18-24, 2020.

**Томашевський Юрій Васильович** — канд. техн. наук, доц., Директор з інформаційних технологій АТ «Вінницяобленерго»

**Tomashevsky Yuriy V.** - Cand. Sc. (Eng.), Director of Information Technologies, JSC "Vinnytsyaoblenergo", Vinnytsya