

# ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У РОЗПОДІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ 10(6)-0,4 КВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТИПОВИХ ГРАФІКІВ

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

*Аналізується задача підвищення адекватності визначення втрат електроенергії в умовах низької якості інформаційного забезпечення розподільних електричних мереж. Показано, що недосконалість інформаційно-вимірювальних систем, динамічність схем транспортування електроенергії, а також вплив розосереджених джерел електроенергії ускладнюють розв'язання задачі. Запропоновано вдосконалення методу визначення втрат, що полягає у паралельному обчисленні балансових та розрахункових втрат, використовуючи вимірні та типові графіки навантаження та генерування. Показано можливість підвищення адекватності результатів для обох розрахунків.*

**Ключові слова:** розподільні електричні мережі, розосереджене генерування, втрати електроенергії, типові графіки навантаження, типові графіки генерування

## **Abstract**

*The problem of increasing the adequacy of determining electricity losses in the conditions of low quality of information support of distribution electric grids is analyzed. It is shown that the imperfection of information and metering systems, the dynamism of electricity transportation schemes, as well as the impact of dispersed power sources complicate the solution. It is proposed to improve the method of determining losses, which consists in the parallel calculation of balance and estimated losses, using measured and typical graphs of load and generation. The possibility of increasing the adequacy of the results for both calculations is shown.*

**Keywords:** electrical distribution networks, distributed generation, power losses, typical load curves, typical generation curves.

## **Вступ**

Аналіз втрат електроенергії для окремого фрагмента розподільної електричної мережі (РЕМ) переважно виявляється більш інформативним з огляду на формування заходів щодо забезпечення енергоефективності мереж. Однак ця задача виявляється істотно складнішою, порівняно з формуванням структури втрат електроенергії для РЕМ в цілому. Причина полягає в тому, що межа балансової належності РЕМ оснащена належною кількістю засобів обліку відповідної точності. В той же час, фрагменти мереж, навіть, якщо вони є умовно відокремленими, забезпечені інформаційними засобами недостатньо. Похибки, що спричинені цим, можуть бути співмірними з зафіксованим надходженням електроенергії для досліджуваного фрагменту мережі. Схема енергозабезпечення фрагменту мережі часто не відповідає нормальній схемі протягом звітного періоду. Останнє додатково знижує ефективність системи обліку електроенергії.

На даний час практично вирішено проблему комерційного обліку електроенергії для розподільних мереж загалом [1]. Однак задача аналізу втрат електроенергії задля ідентифікації осередків втрат та подальшого їх усунення в різних енергопостачальних компаніях вирішена частково. Задачі періодичного контролю параметрів режимів РЕМ, особливо до 1 кВ, досі є практично не вирішеними [2]. Фрагментарна інформація про ці параметри періодично надходить з засобів вимірювань, яких критично недостатньо. А критичні відхилення параметрів фіксуються завдяки зверненням абонентів до колцентрів енергопостачальних компаній.

Оскільки вимірювання необхідних параметрів електромереж наразі виявляється неможливим, то для розв'язання задачі оцінювання балансу електроенергії доцільно застосовувати комп'ютерне моделювання за результатами натурних вимірювань, а також з використанням типових графіків навантаження. Досвід показав, що для вирішення задачі аналізу втрат можна обмежитися періодичними розрахунками [2]. Та необхідною умовою є імітація динаміки зміни схеми РЕМ, навантаження та

генерування, використовуючи інформацію, яку зібрано протягом звітного періоду.

## Результати досліджень

**Постановка задачі.** Недостатня осначеність сучасних РЕМ засобами обліку внутрішніх перетікань електроенергії є характерною рисою не лише українських енергопостачальних компаній, але й енергокомпаній з інших країн [3]. Якщо звітні втрати електроенергії визначаються для ЕК в цілому, то ці перетікання практично не впливають на кінцевий результат. Однак у випадку визначення втрат для окремого фідера ситуація змінюється, адже частину звітного періоду він може отримувати чи віддавати енергію через внутрішні необліковані зв'язки. Відсутні виміри намагаються замінювати псевдовимірами, які переважно визначаються без проведення імітаційних розрахунків, хоча, механізми внутрішніх перетікань в РЕМ виявляються достатньо складними. Похибки, спричинені таким підходом не можуть бути усунені фільтрацією чи балансуванням змінних, оскільки мають випадковий характер, особливо для мереж з розосередженими джерелами енергії (РДЕ).

Для підвищення точності визначення внутрішніх перетікань в РЕМ пропонується використовувати результати імітаційних розрахунків за результатами комерційного й технічного обліку електроенергії. Для більшості абонентів графіки навантаження чи генерування не реєструються. Тому їх доцільно замінити типовими графіками [4, 5]. Останні задаються в атласах у відносних одиницях відповідно до виду комерційної діяльності абонента. Однак для спрощення перерахунку зафіксованого надходження чи відпуску електроенергії абоненту ці графіки доцільно подавати у відносних одиницях, прийнявши за базис середнє, а не максимальне навантаження/генерування (рис. 1).

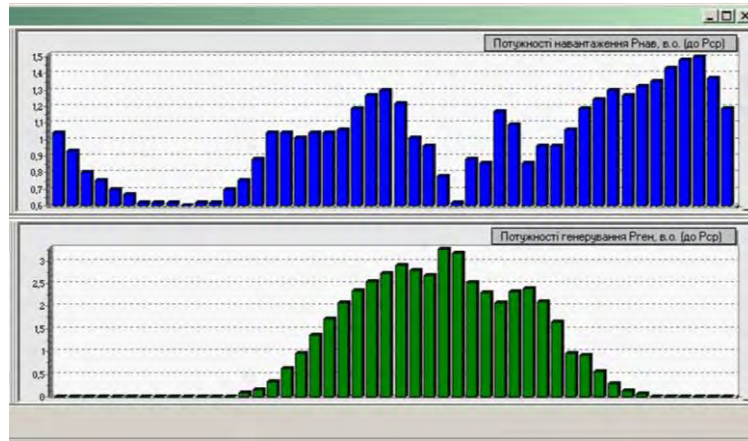


Рис. 1 – Типові графіки навантаження та генерування у відносних одиницях (за базис прийнято середнє навантаження/генерування)

Імітаційні розрахунки для визначення втрат електроенергії в РЕМ пропонується виконувати за таким алгоритмом. За результатами комерційного обліку електроенергії визначають відпуск та надходження електроенергії у приведенні до окремої трансформаторної підстанції (ТП). За нормальною схемою з'єднань РЕМ та графіком перемикачів комутаційних апаратів формують тимчасові схеми для кожного відліку звітної періоду (сходинки графіка навантаження/генерування). За значеннями сумарного відпуску (надходження) електроенергії та тривалості перерв електропостачання для окремих абонентів визначають середні потужності навантаження та генерування для кожної ТП. За середніми потужностями та типовими графіками навантаження чи генерування відновлюють динаміку зміни параметрів кожної ТП. Для кожного відліку звітної періоду розраховується режим середніх навантажень РЕМ, а для кожного внутрішнього зв'язку визначаються перетікання електроенергії  $W_{B+}^t, W_{B-}^t$ . Далі за результатами імітаційних розрахунків для кожного відліку звітної періоду поелементно визначаються технічні втрати  $\Delta W_{TP}^t$  (рис. 2).

Результати імітаційного моделювання компенсують відсутність засобів вимірювання внутрішніх перетікань електроенергії в РЕМ, а також сприяють визначенню технічних втрат електроенергії  $\Delta W_{TP}$  методом чисельного інтегрування [5].

Врахування типових чи вимірних графіків електроспоживання та генерування РДЕ сприяє зменшенню похибки визначення внутрішніх перетікань, і як наслідок, розрахункових втрат електроенергії. Перехід від розрахунку втрат за середніми потужностями та коефіцієнтами форми (рис. 2, а) до чисельного інтегрування втрат з імітацією графіків навантажень (рис. 2, б) сприяє підвищенню точності оцінювання балансу електроенергії, зменшуючи відхилення між звітними  $\Delta W_{ЗВ}$  та технічними розрахунковими  $\Delta W_{ТР}$  втратами. Особливо це стосується РЕМ з розвиненими засобами місцевого генерування. Адже останні призводять до того, що графіки навантаження окремих ліній та підстанцій виявляються істотно відмінними від типових, для яких коефіцієнти форми є унормованими.

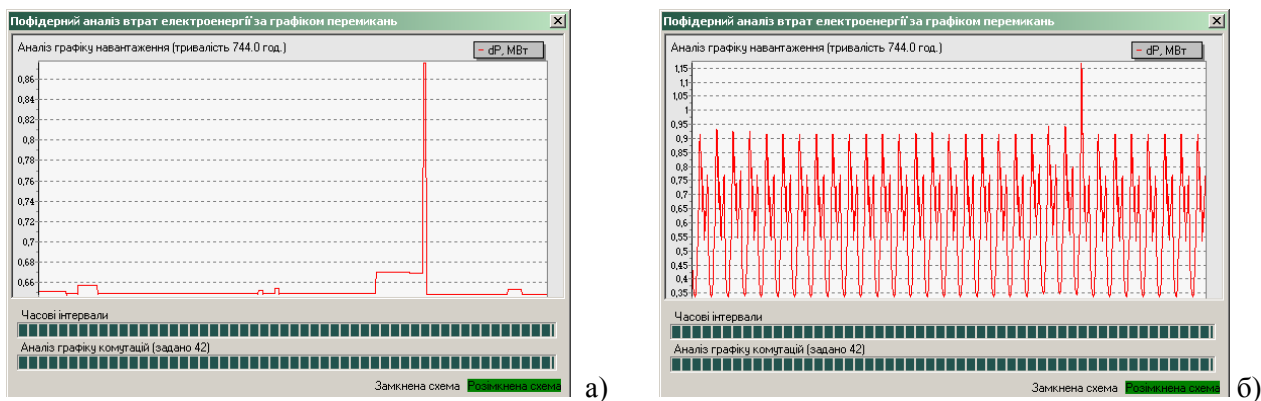


Рис. 2 – Значення втрат потужності в РЕМ за результатами імітаційного моделювання: за середніми навантаженнями (а) та за типовими графіками навантажень (б)

Аналіз ефективності застосування типових графіків навантаження та генерування було проведено на прикладі фрагменту Ямпільських електромереж 10-0.4 кВ, що істотно завантажені перетіканнями електроенергії від РДЕ. Завдяки залученню додаткової інформації та уточненню внутрішніх перетікань, звітні втрати електроенергії для РЕМ зменшилися на 3% (з 1.12 млн. кВт год до 1.07 млн. кВт год на місяць). Розрахункові (технічні) втрати зросли на 6% (з 0.71 млн. кВт год до 0.75 млн. кВт год за місяць). Таким чином, відхилення між звітними та розрахунковими технічними втратами зменшилися з 2.1% до 1.6%, що свідчить про підвищення якості інформаційного забезпечення.

Результати таких розрахунків можуть використовуватися, як вихідні дані для обґрунтованого формування заходів зі зменшення втрат, зокрема оперативної оптимізації нормальної схеми розподільних мереж [6].

## Висновки

Показано, що для підвищення ефективності аналізу втрат електроенергії необхідно залучати результати імітаційного моделювання режимів РЕМ на основі вимірних, або типових графіків надходження чи відпуску електроенергії. Запропоновано алгоритм аналізу втрат електроенергії з урахуванням періодичних змін схеми РЕМ. Використовуючи результати імітаційних розрахунків можливо оцінювати внутрішні перетікання електроенергії в РЕМ, і, як наслідок, розрахункові (технічні) втрати електроенергії з вищою точністю, порівняно з поелементними розрахунками та методом середніх навантажень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Кириленко О. В. *Smart Grid* та організація інформаційного обміну в електроенергетичних системах / О. В. Кириленко, І. В. Блінов, С. Є. Танкевич // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 3. – С. 47–48. – ISSN 0204-3599.
- [2] Кулик В.В. Інформаційно-програмне забезпечення пофідерного аналізу й оптимізації втрат електроенергії у розподільних електромережах з розосередженим генеруванням / В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, О.В. Глоба // Праці Інституту електродинаміки НАНУ. – 2017. – № 48. – С. 33–38.
- [3] A. V. Adebayo, C. T. Gaunt, M. Malengret and K. O. Awodele, "Using Network Parameter in Power Loss Allocation in Restructured Environment," 2019 IEEE AFRICON, 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/AFRICON46755.2019.9133932.

[4] Буславець О.А. Типові графіки електричних навантажень у 3D зображенні / О. А. Буславець, А. О. Квицинський, Л. Н. Кудацький, С. Я. Меженний, Л. В. Мойсеєнко // Енергетика та електрифікація.– 2016.– № 2. – С. 2–12.

[5] Volodymyr V. Kulyk. Estimation of the dynamics of power grid operating parameters based on standard load curves / Yurii Tomashevskiy, Oleksander Burykin, Volodymyr Kulyk, Juliya Malogulko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. – № 8(6). – P. 6-12. ISSN 1729-3774

[6] M. A. Kashem, V. Ganapathy, G. B. Jasmon and M. I. Buhari, "A novel method for loss minimization in distribution networks," DRPT2020. International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. Proceedings (Cat. No.00EX382), 2020, pp. 251-256, doi: 10.1109/DRPT.2020.855672.

**Володимир Кулик** – доктор технічних наук, професор кафедри Електричних станцій та систем ВНТУ, м. Вінниця, E-mail: volodymyrvkulyk@gmail.com

**Владислав Гриник** – студент освітньо-наукової програми «Електроенергетика, електротехніка й електромеханіка» третього рівня вищої освіти Факультету електроенергетики та електромеханіки ВНТУ, м. Вінниця, E-mail: vladgreen14@gmail.com