УДК 621.316

**О. Б. Бурикін**[1]
**В. В. Кулик**[2]
**В. А. Гриник**[2]
**Ю. В. Малогулко**[2]

# МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЧАСТКИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЗАДАНОГО СПОЖИВАЧА, ЯКА ЗАБЕЗПЕЧУЄТЬСЯ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

[1]АТ «Вінницяобленерго»; [2] Вінницький національний технічний університет

***Анотація***

*Проведено дослідження з оцінювання впливу дахових СЕС на технологічні витрати електроенергії у розподільних електричних мережах 0,4 кВ. Виявлено, що використання типових значень коефіцієнтів форми графіків навантаження призводить до істотного недорахування втрат електроенергії в мережах 0,4 кВ з СЕС. Збільшення частки корисного відпуску, що покривається СЕС призводить до зростання втрат в мережах завдяки різним графіками генерування СЕС та навантаження. Збільшення частки до 40% гарантовано призводить до збільшення втрат.*

**Ключові слова:** втрати електроенергії, відновлювальні джерела енергії, дахова сонячні електрична станція, коефіцієнт форми.

***Abstract***

*A study was conducted to assess the impact of rooftop solar power plants on the technological losses of electricity in 0.4 kV electrical distribution networks. It is revealed that the use of typical values of shape factor of load schedule leads to a significant underconsumption of electricity losses in the 0.4 kV networks with rooftop solar power plants. The increase of the part of useful leave covered by rooftop solar power plants leads to an increase in network losses due to different schedules of rooftop solar power plants generation and load. Increasing the part of generation to 40% is guaranteed to increase losses.*

**Keywords**: electricity losses, renewable energy sources, rooftop solar power plant, shape factor

## Вступ

Зміна клімату є основною передумовою для впровадження сталих рішень з виробництва електроенергії на основі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Швидкий прогрес технологій робить рішення для виробництва та зберігання енергії доступнішими для споживачів та дає їм змогу стати відповідальними учасниками енергетичного процесу. Реальний успіх рішень у сфері енергетики з використанням невичерпних джерел залежить не стільки від технологічної готовності, яка вже значною мірою існує, скільки від усвідомлення споживачами доцільності використання саме ВДЕ. На сьогоднішній день у європейських країнах проводяться активні дослідження стосовно поведінки споживачів під час прийняття рішень щодо використання енергії з відновлюваних джерел шляхом порівняння економічних, екологічних та соціальних переваг. Вже сьогодні у низці європейських країн впроваджуються неекономічні стимули, що відіграють важливу роль [1]. Споживачі готові платити більше за позитивну соціальну норму з використання екологічних інновацій не зважаючи на меншу економічну ефективність рішень [2]. Однією з ключових стратегічних цілей та важливою складовою енергетичної безпеки України є інтеграція її об'єднаної енергосистеми до ENTSO-E. Тому, наведені вище дослідження стають актуальними і для нашої держави.

Збільшення частки ВДЕ у енергобалансі країни в умовах ринку електроенергії з урахуванням соціальних норм, що спрямовані на впровадження екологічних інновацій, актуалізує проблему забезпечення споживача енергією з відновлювальних джерел. Фізично реалізувати процес адресного постачання електроенергії за умов паралельної роботи різнотипних електростанції в системі не можливо. Однак для кожного споживача можливо обґрунтовано оцінити частку електроспоживання, яка забезпечується з відновлювальних джерел. Така задача є динамічною. Постійні зміни навантаження споживачів та генерування ВДЕ, зокрема від метеорологічних умов, призводять до змін у структурі балансу електроенергії в енергосистемі. Зміни структури дохідної частини балансу

електроенергії, а також режимів роботи електромереж операторів систем передачі (ОСП) та розподілу (ОСР) впливають на частку електроспоживання окремого споживача, яка покривається з ВДЕ з урахуванням місць їх приєднання до мереж, а також графіків генерування та споживання.

Дана робота присвячена розробленню методу розрахунку окремих складових перетікань електроенергії у вітках схеми електричної мережі, що зумовлені генеруванням та споживанням у вузлах та, як окремий випадок, оцінювання частки електроспоживання заданого споживача, що забезпечується з відновлювальних джерел енергії. Метод ґрунтується на методах та алгоритмах розрахунку усталених режимів електричних мереж.

## Метод визначення частки перетікань потужності у вітках схеми від навантаження (генерування) окремого вузла

Залежності перетікань потужності у окремих вітках від генерування ВДЕ є нелінійними, що ускладнює задачу виокремлення їх із сукупного перетікання. Тут слід враховувати спади напруги у вітках схеми та, відповідно, втрати потужності, що викликані транспортуванням енергії. Для структурування втрат потужності в ЕМ від параметрів її режиму з врахуванням нелінійності, у [3] запропоновано використовувати матрицю коефіцієнтів розподілу втрат потужності у вигляді (1):

$$\dot{\mathbf{T}}_i = (\dot{\mathbf{U}}_t \mathbf{M}_{\Sigma i})\widehat{\mathbf{C}}_i \dot{\mathbf{U}}_{\text{д}}^{-1}, \tag{1}$$

де $\dot{\mathbf{U}}_t$ – транспонований вектор напруг у вузлах включаючи і базисний; $\mathbf{M}_{\Sigma i}$ – і-ий вектор-стовпець матриці інциденцій; $\widehat{\mathbf{C}}_i$ – *i*-й вектор-рядок матриці розподілу струмів у вузлах $\widehat{\mathbf{J}}$ по вітках схеми електричної мережі з ВДЕ; $\dot{\mathbf{U}}_{\text{д}}^{-1}$ – діагональна обернена матриця напруг у вузлах включаючи і базисний;

Вектор-рядок $\dot{\mathbf{T}}_i$ складається з коефіцієнтів, які показують, яку частку в сумарних втратах потужності і-ої вітки зумовлює протікання по ній потужності навантаження кожного вузла.

У виразі (1) перша матриця з'єднань $\mathbf{M}_\Sigma$, складена для всіх вузлів схеми, враховуючи базисний, може бути подана у вигляді суми двох матриць:

$$\mathbf{M}_\Sigma = \mathbf{M}_\Sigma^+ + \mathbf{M}_\Sigma^- \tag{2}$$

де $\mathbf{M}_\Sigma^+$ – матриця, що містить фрагмент матриці з'єднань, елементами якої є нулі та одиниці з знаком "+"; $\mathbf{M}_\Sigma^-$ – та ж матриця, але її елементами є нулі та одиниці з знаком "–".

Для визначення складових переткань потужності в і-ій лінії за параметрами її кінця вираз (2) можна подати у вигляді:

$$\mathbf{M}_\Sigma{}^\kappa = 0 - \mathbf{M}_\Sigma^- \tag{3}$$

Вираз (3) містить фрагмент матриці з'єднань, елементами якої є нулі та одиниці з додатнім знаком, що для кожної лінії ідентифікують вузол її кінця, або для кожного вузла дають змогу визначати лінії, що закінчуються цим вузлом.

Враховуючи сутність методу структурування втрат потужності (1) [3], після підстановки (3) у (1) замість $\mathbf{M}_\Sigma$, вираз для визначення коефіцієнтів розподілу перетікань потужності у вітках схеми електричної мережі, які викликаються генеруванням чи споживанням у вузлах набуде вигляду:

$$\dot{\mathbf{A}}_i = (\dot{\mathbf{U}}_t \mathbf{M}_{\Sigma i}{}^\kappa)\widehat{\mathbf{C}}_i \dot{\mathbf{U}}_{\text{д}}^{-1}, \tag{4}$$

Аналогічно до [3] для визначення перетікань у вітках схеми можна записати:

$$\dot{\mathbf{S}}_{\text{в}} = \dot{\mathbf{A}} \cdot \dot{\mathbf{S}}. \tag{5}$$

де $\dot{\mathbf{S}}_{\text{в}}$ – вектор перетікань потужності у вітках схеми; $\dot{\mathbf{S}}$ – вектор навантажень та генерування у вузлах схеми.

Помноживши матрицю коефіцієнтів розподілу перетікань потужності у вітках схеми електричної мережі на діагональну матрицю навантажень та генерування у вузлах схеми отримаємо:

$$\dot{\mathbf{S}}_{flow} = \dot{\mathbf{A}} \cdot diag(\dot{\mathbf{S}}). \tag{6}$$

Матриця $\dot{\mathbf{S}}_{flow}$ має розмірність за кількістю вузлів та віток схеми та вміщує частки перетікань у вітках схеми від навантаження(генерування) кожного вузла. Сума часткових перетікань завжди буде дорівнювати сумарному розрахунковому перетіканню враховуючи зв'язок між (5) та (6).

Виділивши у векторі $\dot{\mathbf{S}}$ перелік вузлів приєднання ВДЕ в окремий блок стає можливим для кожної лінії (чи сукупності ліній) визначити її наповнення енергією відновлювальних джерел та напрямок перетікання цієї енергії. Це дає підстави для оцінювання можливості та обсягів покриття навантаження заданого споживача з ВДЕ, що віддають енергію до електричної системи в заданий період часу.

**Висновки**

Розроблено метод визначення частки перетікань потужності у вітках схеми від навантаження(генерування) кожного окремого вузла. Для врахування нелінійності співвідношення втрат потужності та її перетікань по ЛЕП, метод передбачає використання результатів розрахунку усталених режимів, актуальних для заданого періоду часу. Визначення перетікань потужності у вітках електричної мережі від генерування вузлів, що відповідають вузлам приєднання відновлювальних джерел енергії, дає можливість оцінити обсяги покриття електроспоживання заданого споживача з ВДЕ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] K. Kotilainen, J. Valta, S. J. Mäkinen and P. Järventausta, "Understanding consumers' renewable energy behaviour beyond "homo economicus": An exploratory survey in four European countries," 2017 14th International Conference on the European Energy Market (EEM), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/EEM.2017.7981932.

[2] Scheller, Fabian & Graupner, Sören & Edwards, James & Weinand, Jann & Bruckner, Thomas. (2021). Active peer effects in residential photovoltaic adoption: evidence on impact drivers among potential and current adopters in Germany.

[3] Лежнюк П. Д. Взаємовплив електричних мереж і систем в процесі оптимального керування їх режимами / П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. Б. Бурикін: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 123 с.

***Бурикін Олександр Борисович*** — канд. техн. наук, доц., доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: mr.burykin@gmail.com

***Кулик Володимир Володимирович*** — докт. техн. наук, доц., професор кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: volodymyrvkulyk@gmail.com

***Малогулко Юлія Володимирівна*** —кнд. тех. наук, доцент, кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: juliya_malogulko@ukr.net

***Грник Владислав Анатолійович*** — Аспірант кафедри Електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: vladgreen14@gmail.com

***Burykin Oleksandr Borysovych*** - *Candidate tech. Sciences, Associate Professor of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, mr.burykin@gmail.com*

***Kulyk Volodymyr Volodymyrivych*** - *Dr. tech. Sciences, Associate Professor, Professor of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, volodymyrvkulyk@gmail.com*

***Malohulko Yuliia Volodymyrivna*** - *Candidate tech. Sciences, Associate Professor of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, juliya_malogulko@ukr.net*

***Hrynyk Vladyslav Anatoliovych*** - *Postgraduate Student of the Department of Power Plants and Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: vladgreen14@gmail.com*