

П.Д. Лежнюк<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000 0002 9366 3553  
В.О. Комар<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000 0003 4969 8553  
І.О. Гунько<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент, ORCID 0000-0003-2868-4056  
К.О. Повстанко<sup>1</sup>, аспірантка, ORCID 0000 0002 5501 662X  
<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

## ГАРАНТІЙНЕ ПОХОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

*Робота присвячена розробленню методу визначення частки електроенергії, що генерується відновлюваними джерелами енергії (ВДЕ), в перетоках електроенергії вітками електричної мережі. В основу методу покладено математичну модель електричної мережі, в якій для визначення потоків електроенергії у вітках електричної мережі використовуються коефіцієнти розподілу струмів у вітках схеми від вузлів з ВДЕ та вузлові напруги. В результаті формується матриця коефіцієнтів розподілу потужності вузлів генерування ВДЕ по вузлах навантаження електричної мережі. Таким чином визначається та складова потужності навантаження, яка залежить від потужності у вузлах схеми з ВДЕ. Напруги під час формування матриці розподілу потужності ВДЕ визначаються за результатами розрахунку ustalених режимів електричної мережі або за даними вимірювання АСКОВЕ.*

*Оскільки актуальним є формування локальних електроенергетичних систем (ЛЕС) на основі ВДЕ, то розглянуто ЛЕС як балансуючу групу в складі електроенергетичної системи (ЕЕС), яка за певних умов може функціонувати як автономна. Показано, що для цього в ЛЕС повинна бути утворена система резервування ВДЕ через залежність їх від природних умов і, відповідно, нестабільність їх генерування електроенергії. Коли ЛЕС працює в складі ЕЕС, то, як правило, використовується загально системний резерв (в основному це маневрені потужності теплових і гідроелектростанцій). Щоб ЛЕС могла працювати як автономна, то пропонується використовувати доступні на сьогодні інші засоби резервування потужності: електрохімічні накопичувачі електроенергії, водневі і біогазові технології. Ефективним є спосіб узгодження графіків генерування ВДЕ в ЛЕС з графіками навантаження активних споживачів.*

*На прикладі показано, що за дефіциту потужності в ЛЕС можуть використовуватись розміщені в електричній мережі ВДЕ. Значення необхідної потужності у вузлі приєднання ЛЕС, потоки електроенергії у вітках, що з'єднують ЛЕС і ВДЕ мережі, та втрати електроенергії в них визначаються за пропонованим методом.*

**Ключові слова:** локальна електроенергетична система, відновлювані джерела енергії, нестабільне генерування, електроспоживання, гарантії походження електроенергії.

### Вступ

Прогрес технологій робить рішення для виробництва та зберігання енергії, виробленої на електричних станціях, що використовують відновлювані енергоносії, доступнішими для споживачів та дає їм змогу стати відповідальними учасниками енергетичного процесу. В Україні використання гарантій походження зеленої електроенергії стає дедалі вагомішим інструментом для споживачів, які прагнуть зменшити вплив свого енергоспоживання на зміну клімату та перейти на більш екологічні джерела енергії. Гарантії походження (ГП) є інструментом підтвердження походження електроенергії, що продається на роздрібному ринку [1, 2]. Вони є основою для розрахунків викидів парникових газів та звітування щодо викидів вуглецю і, на сьогодні, є найбільш затребуваним європейськими підприємствами.

Для подальшої розбудови ВДЕ та оптимального інтегрування їх в електричні мережі необхідно продовжувати створювати умови, які б сприяли формуванню зацікавленості в цьому процесі як виробників електроенергії, так і підприємства розподільних мереж та споживачів. Щодо споживачів, то вони мають бути впевнені в джерелі електроенергії, його надійності і перспективі розбудови в майбутньому. Звідси слідує вимога до гарантованого походження електроенергії. Має бути підхід, який ґрунтується на розрахунках згідно законів електротехніки. Результатами розрахунків повинна бути складова потоку електроенергії у кожній вітці електричної мережі, яка належить певному ВДЕ. В заданому вузлі мережі структурується кількість електроенергії, що надійшла від ВДЕ. У вітках мережі визначаються втрати електроенергії від перетоків у них електроенергії, згенерованої ВДЕ.

Наявні рішення для маркування електроенергії на основі сертифікатів мають низку проблем. Вони часто не точно відображають викиди вуглецю, не забезпечують прозорості та можливості перевірки для кінцевих споживачів оскільки не враховують фізичні процеси у системі маркування. Для вирішення цієї проблеми необхідні методи визначення частки навантаження кожного вузла електричної мережі, що

забезпечується певним джерелом електроенергії, використовуючи закони електротехніки. Це дозволить уникнути суб'єктивності і розробити дієвий інструмент підтвердження обсягів електроенергії у гарантіях її походження з урахуванням фізичних процесів електричних мереж [3].

Складність задачі полягає в тому, що в електричних мережах, до яких приєднуються відновлювані джерела електроенергії (ВДЕ), в неповній мірі можуть оцінити наслідки цього процесу. Це стосується того, що змінюються перетоки електроенергії у вітках мережі, змінюються такі її техніко-економічні показники як втрати електроенергії, в тому числі, від ВДЕ, надійність електропостачання і якість електроенергії. Ключем до вирішення проблем може бути моніторинг щодо вироблення і перетікання електроенергії в електричних мережах від ВДЕ. Для цього необхідно метод та засоби оцінювання частки електроспоживання заданого споживача, яка забезпечується з ВДЕ. Його застосування на етапі ідентифікації походження електроенергії, забезпечить енергоефективне керування фізичними процесами в електричних мережах та сприятиме обґрунтованому підвищенню довіри споживачів до електропостачання від ВДЕ. Разом з тим формуватиметься відповідальність споживачів за електроенергію, яку він отримує з електричних мереж. Йдеться не тільки про якість електроенергії, а й про її походження.

Так склалося, що на сьогодні з різних причин важливим є формування локальних електроенергетичних систем (ЛЕС) на основі ВДЕ з переходом їх на автономний режим роботи в нормальному, аварійному та воєнному станах, а для цього необхідно бути впевненим в гарантії походження електроенергії. Важливою проблемою є визначання в балансі ЛЕС частки потужності та електроенергії, виробленої з ВДЕ. В ринкових умовах постає необхідність визначати також кількість електроенергії, яка споживається окремими споживачами. Це дозволяє розв'язувати такі перспективні завдання як формування кооперативів для енергозабезпечення селищних громад та інших об'єднань на основі ВДЕ [4]. Для того, щоб забезпечити потенційно можливість роботи ЛЕС в автономному режимі, необхідно створити в ній умови для балансу потужності та електроенергії. Це вимагає використання в ЛЕС сучасних засобів резервування нестабільності генерування фото та вітрових електростанцій. Ними можуть бути електрохімічні накопичувачі електроенергії, водневі технології, біогазові технології, узгодження графіків генерування та споживання електроенергії, тощо. Завдання полягає тільки в тому, що серед можливих засобів необхідно вибрати ті, які є найбільш технічно ефективними та оптимальними щодо витрат [5, 6].

**Метою** статті є розроблення методу визначення частки перетікань потужності вітками електричної мережі до певного вузла навантаження від відновлюваних джерел енергії на прикладі локальної електроенергетичної системи.

#### **Локальна електроенергетична система з різними джерелами енергії**

На рис. 1 наведено приклад локальної електроенергетичної системи (ЛЕС), яка може бути окремою балансувальною групою в складі електроенергетичної системи (ЕЕС) з тепловими, атомними і гідро електростанціями. ЛЕС сформована на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). За певних умов такі ЛЕС можуть зберігати працездатність і забезпечити електропостачання споживачів в автономному режимі. В цьому випадку вирішується проблема балансування потужності та електроенергії в ЛЕС. Якщо в ЛЕС споживання електроенергії та її генерування відновлюваними джерелами енергії співрозмірні між собою, то в ній реалізується принцип – те, що генерується, споживається власними споживачами. Разом з тим ЛЕС є частиною електроенергетичної системи.

Джерелами електроенергії в ЛЕС можуть бути малі гідроелектростанції (МГЕС), фотоелектричні та вітрові електростанції (ФЕС, ВЕС), вироблення якими електроенергії є нестабільним через залежність від природних умов. Тому в структурі ЛЕС з ВДЕ передбачена система накопичення енергії, запаси якої достатні для компенсації нестабільності генерування та балансування режиму. В ЛЕС задіяні, як резерв, існуючі в ЕЕС маневрені потужності, електрохімічні накопичувачі, водневі технології та біогазові установки. Використовується також спосіб узгодження в ЛЕС графіків генерування і споживання електроенергії за рахунок активних споживачів.

В залежності від технічних і фінансово-економічних можливостей ЛЕС можуть формуватися по різному. Основними є два варіанти: існує інфраструктура з розвиненим електроспоживанням і навколо розбудовується система розосередженого генерування; ЛЕС проектується і будується практично з «нуля» зі споживачем електроенергії і його енергозабезпеченням. Існують реальні приклади. Наприклад, діюча птахофабрика як комплекс з відгодівлею і переробленням сировини, комбикормовий завод, елеватори та ін. загальною потужністю в середньому 30 МВА з живленням від ЕЕС на напрузі 110 кВ. Інший варіант – проектується база відпочинку з окремими повністю електрифікованими будинками, ФЕС і лінією електропередачі від ЕЕС. Як для першого, так і другого варіантів характерною є поетапна розбудова в ЛЕС відновлюваних джерел енергії і засобів резервування їх нестабільного генерування. Виникає питання щодо обґрунтування їх складу, потужності і ємності, а також черговості впровадження [5].

За певних умов, під час втрати зв'язків з ЕЕС, ЛЕС може функціонувати в автономному режимі. В неї входять джерела електроенергії, накопичувачі електроенергії та споживачі електроенергії. Джерелами

електроенергії є ФЕС, ВЕС, малі гідроелектростанції (МГЕС), дизель генератори (ДГ), біогазові установки (БГУ) з когенераційними установками. ЛЕС під'єднана до ЕЕС, в склад якої входять атомні електричні станції (АЕС), теплові електростанції (ТЕС), гідроелектростанції (ГЕС) та гідроакуюлюючі електростанції (ГАЕС). В ЛЕС може також використовуватися електроенергія, яка вироблена на ВДЕ, що не входять в неї, але електрично з нею зв'язані. В залежності від стану і можливостей власних джерел живлення і споживання ЛЕС може брати або передавати електроенергію в ЕЕС.



Рисунок 1- Структура локальної електроенергетичної системи

Як накопичувачі і перетворювачі електроенергії в інші види енергії і навпаки використовуються електрохімічні накопичувачі (ЕХН), водневі і біогазові установки. Водневі технології призначені шляхом електролізу виробляти водень, який може для підтримання балансу електроенергії в ЛЕС використовуватися для вироблення електроенергії. Споживачами електроенергії в ЛЕС є промислове і комунально-побутове навантаження, а також водневі технології та ЕХН в режимі заряду.

Баланс електроенергії в ЛЕС, як в балансуєчій групі, записується:

$$\pm P_{EEC}(t) + P_{ВДЕ}(t) + P_{ФЕС}(t) + P_{ВЕС}(t) + P_{МГЕС}(t) + P_{БГУ}(t) \pm P_{\theta}(t) \pm P_x(t) - P_{cn}(t) - \Delta P(t) = 0, \quad (1)$$

де  $P_{EEC}(t)$  – потужність ЕЕС;  $P_{ВДЕ}(t)$  – потужність ВДЕ за межами ЛЕС;  $P_{ФЕС}(t)$  – потужність ФЕС;  $P_{ВЕС}(t)$  – потужність ВЕС;  $P_{МГЕС}(t)$  – потужність малих гідроелектростанцій;  $P_{БГУ}(t)$  – електрична потужність когенераційних установок;  $P_{\theta}(t)$  – потужність водневих установок;  $P_x(t)$  – потужність електрохімічних накопичувачів;  $P_{cn}(t)$  – потужність споживачів електроенергії, в тому числі «активних»;  $\Delta P(t)$  – технологічні витрати в електричних мережах.

Вибір складу способів і засобів для резервування та балансування режимів ЛЕС є оптимізаційною задачею. Критерієм оптимальності є сумарні витрати на резервування потужності несталої генерування ВДЕ за умови дотримання техніко-технологічних показників. Складність оптимізації полягає в тому, що скористатися традиційними методами оптимізації, в яких складові цільової функції є розмірними величинами (в грошових одиницях), на сьогодні нереально через розбіжність, а то й відсутність відповідних цінових показників. Тому пропонується скористатися критеріальним методом, основою якого є теорія подібності, який дозволяє оцінити складові способів і засобів резервування у відносних одиницях і порівняти їх між собою [5].

#### Визначення походження електроенергії у вузлі електричної мережі

Однією з важливих проблем є визначення в балансі країни частки потужності та електроенергії, виробленої з ВДЕ. В ринкових умовах постала необхідність визначати також кількість електроенергії, яка споживається окремими споживачами. Це дозволяє розв'язувати такі перспективні завдання як формування кооперативів для енергозабезпечення селищних громад та інших угруповань на основі ВДЕ.

Так склалося, що на сьогодні з різних причин важливим є формування локальних електроенергетичних систем на основі ВДЕ з переходом їх на автономний режим в нормальному, аварійному та воєнному станах, а для цього необхідно бути впевненим в гарантії походження електроенергії.

Існуючі підходи до організації роботи національних електронних реєстрів гарантії походження не передбачають врахування топології мережі та місця виробництва електроенергії. Реєстри організовані на принципах відокремлення фізичних процесів від комерційних. Тому, актуальним є доповнення існуючої структури організації ГП врахуванням фізичних процесів у системах передачі та розподілу електроенергії, що потребує розроблення відповідного математичного апарату. Запропоновано метод визначення частки перетікань потужності від сукупності ВДЕ до певних вузлів навантаження, що приєднані до електричної мережі. Суть методу полягає в тому, що значення повної потужності на початку і в кінці кожної вітки схеми визначається за формулою [7]:

$$\dot{\mathbf{S}}_g = \sqrt{3} \dot{\mathbf{U}}_o \mathbf{M} \hat{\mathbf{I}}_o, \quad (1)$$

де  $\dot{\mathbf{U}}_o$  – діагональна матриця напруги у вузлах, включаючи і балансувальні;  $\mathbf{M}$  – матриця з'єднань віток у вузлах, включаючи і балансувальні;  $\hat{\mathbf{I}}_o$  – діагональна матриця струмів у вітках схеми.

Перепишемо (1) через задаючі струми у вузлах  $\dot{\mathbf{J}}$ :

$$\dot{\mathbf{S}}_g = \sqrt{3} \dot{\mathbf{U}}_o \mathbf{M} \hat{\mathbf{C}} \hat{\mathbf{J}}_o, \quad (2)$$

де  $\hat{\mathbf{C}} = \mathbf{z}_g^{-1} \mathbf{M}_t (\mathbf{M} \mathbf{z}_g^{-1} \mathbf{M}_t)^{-1}$  – матриця струморозподілу задаючих струмів по вітках схеми, де  $\mathbf{z}_g$  – діагональна матриця комплексних опорів віток схеми електричної мережі.

З врахуванням того, що

$$\hat{\mathbf{J}} = \frac{1}{\sqrt{3}} \dot{\mathbf{U}}_o^{-1} \dot{\mathbf{S}},$$

значення потужностей у вітках схеми через потужності у вузлах  $\dot{\mathbf{S}}$  запишуться як

$$\dot{\mathbf{S}}_g = \dot{\mathbf{U}}_o \mathbf{M} \hat{\mathbf{C}} \dot{\mathbf{U}}_o^{-1} \dot{\mathbf{S}}. \quad (3)$$

Введем позначення

$$\dot{\mathbf{A}} = \dot{\mathbf{U}}_o \mathbf{M} \hat{\mathbf{C}} \dot{\mathbf{U}}_o^{-1}, \quad (4)$$

де  $\dot{\mathbf{A}}$  – матриця розподілу потужності вузлів по вітках електричної схеми.

Вираз (3) тоді перепишеться

$$\dot{\mathbf{S}}_g = \dot{\mathbf{A}} \dot{\mathbf{S}}. \quad (5)$$

Для визначення перетікань від ВДЕ у вітках схеми можна скористатися виразом (5):

$$\dot{\mathbf{S}}_{гВДЕ} = \dot{\mathbf{A}} \dot{\mathbf{S}}_{ВДЕ}. \quad (6)$$

де  $\dot{\mathbf{S}}_{гВДЕ}$  – вектор перетікань потужності у вітках схеми, викликаних потужністю вузлів з ВДЕ;  $\dot{\mathbf{S}}_{ВДЕ}$  – вектор потужностей вузлів схеми, що відповідають вузлам схеми з ВДЕ.

Окремо виникає задача щодо гарантованого походження електроенергії від ВДЕ для конкретного споживача. В цьому випадку вираз (4) для визначення потоку потужності від ВДЕ до  $i$ -го вузла спрощується:

$$\dot{\mathbf{A}}_i = (\dot{\mathbf{U}}_i \mathbf{M}_i) \hat{\mathbf{C}}_{iВДЕ} \dot{\mathbf{U}}_{oВДЕ}^{-1}, \quad (7)$$

де  $\dot{\mathbf{U}}_{oВДЕ}^{-1}$  – діагональна матриця напруги у вузлах з ВДЕ;  $\hat{\mathbf{C}}_{iВДЕ}$  –  $i$ -й рядок матриці коефіцієнтів розподілу струмів по вітках схеми електричної мережі, який відповідає вузлам з ВДЕ:

$$\hat{\mathbf{C}}_{iВДЕ} = \mathbf{z}_g^{-1} \mathbf{M}_{iВДЕ} \mathbf{Y}_{ВДЕ}^{-1},$$

$\mathbf{M}_{iВДЕ}$ ,  $\mathbf{Y}_{ВДЕ}$  – фрагменти транспонованої матриці з'єднань та матриці вузлових провідностей схеми електричної мережі, які відповідають вузлам з ВДЕ.

Коефіцієнти розподілу потужності вузлів у вітках електричної схеми  $\dot{\mathbf{A}}$  і у вузлах  $\dot{\mathbf{A}}_i$  залежать від параметрів схеми, які за певних допущень вважаються постійними, а також від значень напруги у вузлах, які обумовлені навантаженням і генеруванням у вузлах схеми. Напруга у вузлах для визначення коефіцієнтів матриць  $\dot{\mathbf{A}}$  і  $\dot{\mathbf{A}}_i$  в залежності від необхідної точності може прийматися за результатами розрахунків усталеного режиму, за даними АСКОЕ або як середні значення напруги у вузлах за певний період.

Ефективність розробленого методу визначення потужності, що передається до  $i$ -го вузла електричної мережі від ВДЕ, покажемо на прикладі електричної мережі 110 кВ, схему якої приведено на рис. 2. Опори віток, навантаження і генерування показано на схемі. Балансуючим вузлом є вузол №1, ВДЕ знаходиться у вузлі 6. До 5-го вузла електричної мережі приєднано ЛЕС з максимальним навантаженням

50 МВт, яке збалансоване генеруванням від ВДЕ і системи накопичення енергії. Виконано розрахунок усталеного режиму програмою PowerFactory 15.1 для стану, коли ЛЕС має дефіцит активної потужності 25 МВт. Існують обмеження на значення потужності, яку ЛЕС може споживати з ЕЕС. Тому необхідно створити умови для того, щоб ЛЕС отримувала живлення від ВДЕ, яке розміщене у вузлі 6. За результатами контрольного розрахунку усталеного режиму для такого стану ЛЕС сумарні втрати потужності в електричній мережі становлять  $\Delta S = 3,15 + j2,8$  МВА, значення модулів і фаз напруги у вузлах приведено на схемі рис. 2.

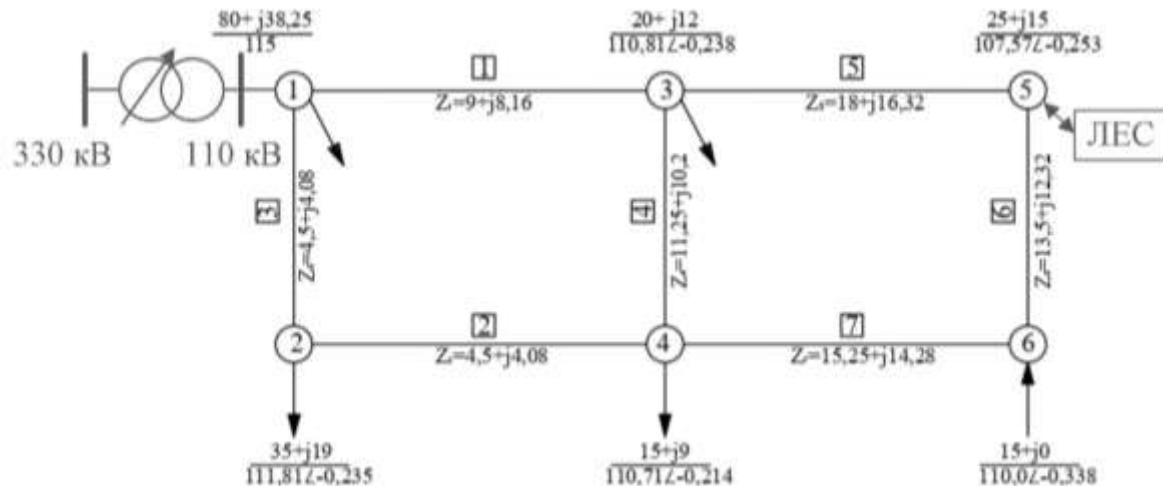


Рисунок 2 - Електрична мережа з локальною електроенергетичною системою

Скориставшись виразом (7), за напруги у вузлі 6 110 кВ віткою 6 до вузла 5 і в ЛЕС передається потужність 14,339 МВт. На початку вітки 6 потужність складає 14,614 МВт, втрати активної потужності в ній дорівнюють 0,275 МВт. Це співпадає з результатами, отриманими шляхом контрольних розрахунків.

### Висновки

Завдяки розбудові відновлюваних джерел в електроенергетичних системах, зокрема в розподільних електричних мережах, появилася можливість створювати системи електропостачання споживачів на основі ВДЕ. Поза тим, що це забезпечує певні переваги щодо енергоефективності електропостачання, є можливість формування локальних електроенергетичних систем на основі ВДЕ як балансуєючих групи в електроенергетичній системі. Проте через те, що генерування фотоелектричних і вітрових електростанцій залежить від погодних умов, то вони не можуть бути гарантованим постачальником електроенергії без додаткових засобів. Такими можуть бути системи, які запасують (накопичують) електроенергію, коли в ЛЕС генерується надлишок електроенергії для власних споживачів, і які повертають електроенергію в ЛЕС, коли в ній спостерігається дефіцит. За таких умов ЛЕС можуть зберігати працездатність і забезпечити електропостачання споживачів в автономному режимі.

Пропонований в роботі метод може бути інструментом підтвердження гарантій походження (ГП) енергії, що продається на роздрібному ринку. Використовуючи його може бути сформована локальна електроенергетична система на основі ВДЕ з можливістю переходу її в автономний режим. За умови, що в ЛЕС встановлена система накопичення електроенергії, використовуються активні споживачі електроенергії та узгоджуються графіки споживання і генерування ВДЕ, то вона може функціонувати як балансуєюча група.

### Список використаних джерел

1. H. Jia, D. Liu, G. Zhuo, Y. Feng and Y. Han Review for Global Practices of Renewable Energy Certificates. *2023 8th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE)*. Tianjin. China. 2023. pp. 642-646
2. Delardas O, Giannos P. Towards Energy Transition: Use of Blockchain in Renewable Certificates to Support Sustainability Commitments. *Sustainability*. 2023; 15(1):258
3. Lezhniuk, P., Kulyk, V., Malogulko, Y., Burykin, O., Sytnyk, A. Method of estimating the share of electricity consumption of a given consumer, which is provided from renewable energy sources. *2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2022. Proceedings*. pp. 85-88.
4. Rubanenko O. Energy Consumption Optimisation of Emergency Shelters for Ukrainian War Refugees. *Renewable Energy and Power Quality Journal*. 2023. 21. pp. 451-455.
5. Лежнюк П.Д., Комар В.О., Повстянко К.О. Відносне оцінювання вартості засобів резервування відновлюваних джерел енергії // *Енергетика: економіка, технології, екології*. – 2023. – №1. – С. 39-45. DOI: 10.20535/1813-5420.1.2023.275958

6. Andrzej Smolarz, Petro Lezhniuk, Stepan Kudrya, Viacheslav Komar, Vladyslav Lysiak, Iryna Hunko. Increasing Technical Efficiency of Renewable Energy Sources in Power Systems. *Energies* 2023. 16. 2828.

7. Lezhniuk P., Burykin O., Malogulko Y. Distributed energy sources in the local electrical systems. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2018. 140 p.

**P. Lezhniuk**<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000 0002 9366 3553

**V. Komar**<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000 0003 4969 8553

**I. Hunko**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0003-2868-4056

**K. Povstianko**<sup>1</sup>, PhD student, ORCID 0000 0002 5501 662X

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

## GUARANTEED ORIGIN OF ELECTRICITY IN THE LOCAL POWER SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

*The article is focused on the development of a method for determining the part of electricity generated by renewable energy sources (RES) in the electricity flows in the branches of the electric grid. The method is based on a mathematical model of the electric grid, in which the coefficients of current distribution in the branches of the circuit from RES nodes and nodal voltages are used to determine the electricity flows in the branches of the electric grid. As a result, a matrix of power distribution coefficients of RES generation units to load nodes of the power grid is formed. This way, the component of the load power that depends on the power in the RES nodes is determined. The voltages used to form the RES power distribution matrix are determined based on the results of calculating the steady-state modes of the power grid or on the measurement data of the ACEMS.*

*Since the forming of local electric power systems (LES) based on RES is actual, the article considers LES as a balancing group within the electric power system (EPS), which can operate as an autonomous system according to certain conditions. It is shown that for this purpose, a RES reservation system should be created in the power system due to their dependence on natural conditions and, accordingly, the instability of their electricity generation. When a transmission system operates as part of an EPS, a general system reserve is usually used (mainly maneuverable capacities of thermal and hydroelectric power plants). In order for the LES can operate as an autonomous one, it is proposed to use other means of power reserve available today: electrochemical energy storage, hydrogen and biogas technologies. An effective way is to coordinate the schedules of RES generation in the LES with the load schedules of active consumers.*

*The example shows that in the case of a power deficit in the LES, RES located in the power grid can be used. The values of the necessary power at the LES connection node, power flows in the branches connecting the LES and RES grid, and power losses in them are determined by the offered method.*

**Keywords:** local electric power system, renewable energy sources, instability of generation, electricity consumption, guarantees of electricity origin.

### References

1. H. Jia, D. Liu, G. Zhuo, Y. Feng and Y. Han Review for Global Practices of Renewable Energy Certificates. *2023 8th Asia Conference on Power and Electrical Engineering (ACPEE)*. Tianjin. China. 2023. pp. 642-646

2. Delardas O, Giannos P. Towards Energy Transition: Use of Blockchain in Renewable Certificates to Support Sustainability Commitments. *Sustainability*. 2023; 15(1):258

3. Lezhniuk, P., Kulyk, V., Malogulko, Y., Burykin, O., Sytnyk, A. Method of estimating the share of electricity consumption of a given consumer, which is provided from renewable energy sources. *2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems, ESS 2022. Proceedings*. pp. 85–88.

4. Rubanenko O. Energy Consumption Optimisation of Emergency Shelters for Ukrainian War Refugees. *Renewable Energy and Power Quality Journal*. 2023. 21. pp. 451-455.

5. Lezhniuk P.D., Komar V.O., Povstianko K.O. Relative estimation of the cost of renewable energy sources reservation means // *Energy: Economics, Technology, Ecology*. 2023 - No. 1. - P. 39-45. DOI: 10.20535/1813-5420.1.2023.275958

6. Andrzej Smolarz, Petro Lezhniuk, Stepan Kudrya, Viacheslav Komar, Vladyslav Lysiak, Iryna Hunko. Increasing Technical Efficiency of Renewable Energy Sources in Power Systems. *Energies* 2023. 16. 2828.

7. Lezhniuk P., Burykin O., Malogulko Y. Distributed energy sources in the local electrical systems. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2018. 140 p.

Надійшла: 14.11.2023

Received: 14.11.2023