

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНЮВАННЯ БАЛАНСОВОЇ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет;

### *Анотація*

*В роботі проведений аналіз основних показників балансової надійності (ПБН) з огляду на можливість їх застосування до електричних мереж з відновлювальними джерелами енергії (ВДЕ). Проведені дослідження показали, що, по-перше, ПБН можна розділи на дві групи: відносні показники та іменовані. Більш детальніше було розглянуто відносні ПБН, оскільки вони є більш інформативними. По-друге, розглянуті показники дають не повну інформацію, щодо надійності електричних мереж з ВДЕ, виходячи з цього необхідно розробити додаткових показник для оцінювання балансової надійності електричних мереж. Такий показник повинен ґрунтуватись на визначенні імовірнісних характеристик генерування електростанцій на базі ВДЕ.*

**Ключові слова:** відновлювальні джерела енергії, показники балансової надійності, втрата навантаження, імовірнісні характеристики.

## ANALYSIS OF EXISTING INDICATORS OF EVALUATION OF BALANCE RELIABILITY OF ELECTRICAL NETWORKS

### *Abstract*

*The paper analyzes the main indicators of balance reliability (PBN) in view of the possibility of their application to renewable energy sources (RES). Studies have been carried out so far that, firstly, PBN can be divided into two groups: relative indicators and named. In more detail, relative PBNs were considered, since they are more informative. Secondly, the considered indicators provide incomplete information regarding the reliability of electrical networks with RES, based on which it is necessary to develop additional indicators for assessing the reliability of electrical networks. Such an indicator should be based on the determination of the probabilistic characteristics of generation of RES-based power plants.*

**Keywords:** renewable energy sources, balance sheet reliability, load loss, probabilistic characteristics.

### Вступ

Визначаючи пріоритетність розв'язання задач в ЛЕС, визначимо балансову надійність, як надійність ЛЕС, коли її розрахункова модель визначається балансом споживання і генерування електроенергії з врахуванням зовнішнього надходження. Від того, в який спосіб і якими засобами забезпечується балансова надійність, залежить як успішно розв'язуються інші задачі [1–3]. Від балансу активної і реактивної потужності в ЛЕС залежать її техніко-економічні показники [5,6]. На процес балансування потужності в ЛЕС суттєво впливає нестабільність генерування ВДЕ, зокрема ФЕС.

Нестабільність генерування ФЕС компенсується потужністю, яка поступає в ЛЕС з енергосистеми. Через те умови балансування режиму ЛЕС впливають і на режими ЕЕС. Оптимізації сумісної роботи ЛЕС і ЕЕС присвячено низку робіт. В умовах сьогодення забезпечення балансу покладено суто на централізовану систему електропостачання. Проте, поступово відбуваються зміни в механізмах функціонування енергоринку України, що спонукають власників ВДЕ працювати за заданим графіком, зокрема введення штрафів за недотримання заявленого добового графіка генерування. Для роботи за заданим графіком, потрібно перш за все дослідити потенційні можливості джерел генерування щодо покриття графіка навантаження. На основі статистичних даних з генерування, якщо станція вже експлуатується, або прогнозних щодо вироблення електроенергії, якщо станція ще не введена в експлуатацію, можна отримати вихідну інформацію для визначення потужності резерву, який повинен підтримуватись для забезпечення балансової надійності ЛЕС, або визначення ємності накопичувача.

**Метою роботи** є аналіз існуючих показників оцінювання балансової надійності електричних мереж

## Результати дослідження

Серед існуючих показників балансової надійності (ПБН) [4], можна виділити такі відносні ПБН як  $LOLP$ ,  $LOLE$ ,  $LOLH$  та  $J_{Д}$ , оскільки вони є найбільш інформативними:

- математичне очікування річного недовідпуску електроенергії споживачам  $M(\Delta W)$  (за кордоном аналогами є  $EUE$  – *Expected Unserved Energy* або  $LOEE$  – *Loss of Energy Expectation*, МВт год/рік);
- математичне очікування компенсаційних затрат від ненадійного електропостачання споживачів (для заданих характеристик питомих затрат  $y_0$ ) (млн. грн);
- $LOLP$  (*Loss of Load Probability*) – імовірність втрати навантаження (в.о.):

$$LOLP = \sum_{i=1}^T Q_i \sum_{k=1}^N p_{ik} (\Delta P_{ik}), \quad (1)$$

де  $Q_i = \frac{1}{T}$  – імовірність ступені графіка навантаження;

$p_{ik}$  – імовірність стану генерувальних потужностей пов'язаних з відмовою агрегатів;

$\Delta P_{ik} = P_{Гik} - P_{Нik} < 0$  – дефіцит потужності в розподільних електричних мережах для  $k$ -го випадкового стану генерувальних потужностей;

–  $LOLE$  (*Loss of Load Expectation*) і  $LOLH$  – тривалість втрати навантаження, відповідно в кількості діб і годин на рік):

$$LOLE = \sum_{i=1}^T Q_i P_{i\text{дiб}} \sum_{k=1}^N p_{ik} (\Delta P_{ik}) \text{ або } LOLH = \sum_{i=1}^T Q_i P_{i\text{год}} \sum_{k=1}^N p_{ik} (\Delta P_{ik}), \quad (2)$$

де  $P_{i\text{дiб}}$ ,  $P_{i\text{год}}$  – тривалість  $i$ -го періоду, відповідно діб і годин.

Також для оцінки балансової надійності використовують ПБН у вигляді інтегральних ймовірностей появи дефіциту потужності. Вони за своєю фізичною суттю для ЕЕС повністю відповідають показнику  $LOLP$ .

Для ЕЕС інтегральні ПБН визначаються за допомогою частинних похідних математичного очікування недовідпуску електроенергії для всієї ЕЕС за параметрами системи – оперативним резервам потужності територіальних зон і запасам пропускної спроможності ліній електропередач між ними. В роботі [112] показано, що такі часткові похідні можуть визначатися аналізом двоїстих оцінок ( $m_j$ ) для  $j$ -х параметрів лінійної моделі, які дорівнюють *одиниці* у випадку, коли генерувальна потужність зони, що розглядається, впливає на зміну системного дефіциту потужності, і *нулю* в іншому випадку.

Тому вираз, для визначення інтегральних ймовірностей дефіциту потужності запишеться наступним чином:

$$J_{Дj} = \frac{\partial M[\Delta W]}{\partial R_j} = \sum_{u=1}^U Q_u \sum_{z=1}^Z Q_z \sum_{k=1}^K Q_k m_j^{u,z,k}, \quad (3)$$

де  $M[\Delta W]$  – математичне очікування річного об'єму недовідпуску електроенергії, у в.о;

$R_j$  – кількість електроенергії, що має забезпечити джерело резерву для  $j$ -ої територіальної зони, у

в.о.

$Q_u$  та  $Q_z$  – відносний час існування  $u$ -того та  $z$ -того часового інтервалу зміни навантаження;

$Q_k$  – ймовірність існування  $k$ -того випадкового стану системи, що викликане аварійним виходом генерувального обладнання на  $u$ -тому сезонному та  $z$ -тій добовій зміні навантаження;

$m_j^{u,z,k}$  – двоїста оцінка лінійного програмування (ЛП) для  $j$ -ої територіальної зони;

$U$  та  $Z$  – кількості відповідно сезонних і добових інтервалів зміни навантаження;

$K$  – кількість випадкових станів ЕЕС, що моделюється статистичними методами.

Однак, перераховані показники: *LOLP*, *LOLE*, *LOLH* та  $J_d$ , по-перше, не враховують залежності роботи ФЕС від природних умов, а, по-друге, не дозволяють характеризувати стабільність цих джерел по відношенню до графіка навантаження, оскільки розроблялись для генерувальних потужностей, режим роботи яких є повністю керованим.

### Висновки

Отже для електричних мереж, потрібно розробити додатковий показник, який дасть змогу характеризувати стабільність генерування ФЕС, що дозволить оцінити вплив останніх на балансову надійність. Такий показник повинен ґрунтуватись на оцінюванні ймовірнісної природи генерування відновлювальних джерел енергії.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. П. Д. Лежнюк, В. В. Кулик, О. А. Ковальчук, І. В. Котилко, "Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами енергії з використанням SMART Grid технологій", Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. - 2014. - № 2. - С. 17-20. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekit\\_2014\\_2\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekit_2014_2_6)
2. П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, О.Б. Бурикін, О.А. Ковальчук, "Оптимізація режимів електричних мереж з малими ГЕС в умовах адресного електропостачання", Технічна електродинаміка. Тематичний випуск: Проблеми сучасної електротехніки. Ч. 3. – 2010. – С. 31–34.
3. П.Д. Лежнюк, В.О. Комар, В.В. Кулик, "Вплив відновлюваних джерел енергії на функціонування розподільних електричних мереж", Енергетика та електрифікація. – 2015. – №1. – С. 8–12.
4. Ю.Я. Чукреев, "К вопросу нормирования вероятностных показателей балансовой надежности территориальных зон электроэнергетической системы", Науково-технічний збірник. Комунальне господарство міст. Випуск 101. Серія: Технічні науки та архітектура. – Харків: ХНАМГ. – 2011. С. 364-371
5. В. Попов, Е. Ярмолюк, П. Замковой, " Алгоритм многокритериального управления режимами работы микросетей", Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 2. – Р. 61-68. – doi: 10.15587/1729-4061.2014.23158.
6. О.В. Кириленко, В.В. Павловський, О.С. Яндульський, А.О. Стелюк, "Керування режимом роботи електростанції з відновлюваними джерелами енергії в умовах зміни частоти в енергосистемі", Технічна електродинаміка. – 2012. – № 4. – С. 52–57.

**Колодзійський А. С.** — студент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [2E15b.kolodziyskiy@gmail.com](mailto:2E15b.kolodziyskiy@gmail.com)

Науковий керівник: **Кравчук Сергій Васильович** — кандидат технічних наук, асистент, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [sv.kravchuk@ukr.net](mailto:sv.kravchuk@ukr.net).

**Kolodziyskiy Andrii S.** - student, Vinnitsa National Technical University, student of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine, e-mail: [2E15b.kolodziyskiy@gmail.com](mailto:2E15b.kolodziyskiy@gmail.com)

Supervisor: **Kravchuk Sergey V.** - Candidate of Technical Sciences (Ph. D.),assistant, Vinnitsa National Technical University, assistant of power plants and systems department; Vinnitsa, Ukraine; e-mail: [sv.kravchuk@ukr.net](mailto:sv.kravchuk@ukr.net).