

ПЛАНУВАННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ З ДЖЕРЕЛАМИ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ

¹Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Планування виробництва потужності сонячними (СЕС) та вітровими (ВЕС) електростанціями є важливим аспектом для забезпечення оптимального режиму роботи електричної мережі та проектування і розвитку зазначених електростанцій. Збільшення встановленої потужності СЕС та ВЕС призвело до значних труднощів з погляду роботи, керування та планування режимів енергосистеми. Географічне місце встановлення СЕС (ВЕС) суттєво впливає на потужність генерації. А отже прогнозування вихідної потужності конкретної фотоелектричної або вітрової установки важливе для оцінки потенційних місць встановлення таких електростанцій. Розроблена цільова функція на основі універсального коефіцієнта генерації дозволяє визначити оптимальне місце підключення СЕС та ВЕС. Внаслідок пікової потужності генерації СЕС в денний провал навантаження в енергосистемі виникає профіцит виробництва. Узгодження графіків генерації СЕС (ВЕС) та навантаження можливе шляхом зміщення пікового навантаження споживачів або за рахунок коригування схеми підключення інверторів, тобто зміни схеми видачі потужності СЕС.

Розглянуто застосування коефіцієнта генерації для короткотермінового визначення потужності сонячної та вітрової генерації у вузлах електричної мережі під час планування її режимів роботи. Запропоновано метод узгодження потужності генерації СЕС (ВЕС) з урахуванням статичних характеристик навантаження. Надлишок потужності від СЕС та ВЕС пропонується або видавати до зовнішньої мережі за умови технічної можливості, або створювати власний резерв для зниження різниці небалансу у разі роботи за реальним графіком. Запропонований метод планування дозволяє забезпечити максимальний рівень генерації активної потужності відновлюваного джерела енергії за дотримання зон безпеки режимних параметрів та мінімуму втрат потужності в мережі. Використання універсального коефіцієнта генерації дозволяє визначити оптимальну потужність генерації джерела СЕС та ВЕС, яка забезпечуватиме зниження втрат енергії в мережі та покращення режиму напруги мережі.

Ключові слова: планування режиму, сонячна генерація, активна потужність, універсальний коефіцієнт генерації, режим електричної мережі, узгодження графіків.

Вступ

Підвищений попит на сонячні відновлювані джерела енергії викликав останнім часом інтерес до економічних та технічних питань, пов'язаних з інтеграцією фотоелектричної енергії до електричної мережі. Зростає інтерес до ймовірного прогнозування для зменшення ризиків, пов'язаних з невизначеністю сонячної та вітрової енергії, але існуючі чисельні методи прогнозування, що доступні для системних операторів, часто упереджені та недостатньо розсіяні. Точне прогнозування надає операторам електромереж та проектувальникам енергосистем важливу інформацію щодо створення оптимальної сонячної фотоелектричної установки та управління потужністю попиту та пропозиції. Організацію оперативного керування режимами електричних систем значно ускладнює зростаюча стохастична потужність сонячних та вітрових електростанцій (СЕС та ВЕС відповідно). Наприклад, для СЕС пік потужності генерації через високу сонячну активність припадає на денний період, коли в енергосистемі спостерігається провал потужності споживання. При цьому електроенергія з СЕС може подаватись в мережу навіть понад обсяги, придбані на ринкових сегментах учасниками ринку для потреб кінцевих споживачів. У результаті утворюється профіцит виробництва в енергосистемі. Для дотримання балансу в енергосистемі та забезпечення операційної безпеки в цей період доби диспетчерам доводиться застосовувати розвантаження блоків ТЕС в межах балансуючого ринку та віддавати команди на роботу ГАЕС у насосному режимі для операційної безпеки.

Як варіант узгодження графіків генерації та споживання за умов дотримання якості та надійності електропостачання, допустимо мотивувати споживачів зміщувати свій добовий графік навантаження і відповідно пікові зони споживання або виконати перерозподіл генерованих потужностей на різні системи шин. Перший варіант реалізується за допомогою зонного тарифу на електроенергію. Другий варіант — коригуванням схеми приєднання інверторів умовно-керованих відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), при цьому надлишок потужності генерації буде перенаправлений до центру живлення. Таким чином відбувається оперативне узгодження графіка видачі потужності СЕС на одній з систем шин та навантаження споживачів, при цьому надлишок потужності генерації видається напряму до центру живлення [1].

Задача короткострокового та оперативного планування електроенергетичного режиму енергосистеми є комплексом заходів, направлених на забезпечення збалансованості графіків споживання та генерації енергосистем, надійності і економічності виробництва та передачі електричної енергії [2], [3]. Короткотермінове планування здійснюється на добу вперед та виконується диспетчерськими центрами.

Для оптимального планування обсягів виробництва, транспортування та споживання електричної енергії, необхідно спрогнозувати виробіток та споживання електричної енергії з кожної електростанції енергосистеми та обсяги споживання електроенергії кожним споживачем. Обсяг генерації електричної енергії з СЕС та ВЕС залежить від багатьох факторів, зокрема від температурного режиму, часу доби, погодних умов тощо.

Метою роботи є дослідження методу оперативного планування електроенергетичного режиму за узгодження обсягів генерації потужності СЕС (ВЕС) та споживання виробленої енергії у розподільних мережах.

Результати досліджень

Встановлено, що для ефективного керування та інноваційного розвитку електричних мереж існує об'єктивна практична необхідність оптимізації місць підключення відновлюваних джерел енергії (наприклад, на базі СЕС та ВЕС). Інтеграція таких джерел в електричні мережі України повинна здійснюватися без погіршення показників якості електричної енергії та ефективності електропостачання споживачів.

З метою створення цільової функції з визначення оптимального місця підключення СЕС або ВЕС, розроблено універсальний коефіцієнт генерації. Для цього виконано моделювання та аналіз режимних параметрів тестових та реальних частин електричних мереж України, та досліджено й проаналізовано показники втрат активної та реактивної енергії в мережі, рівень напруги у вузлах, коефіцієнт завантаження силових трансформаторів. Встановлено, що залежності втрат активної та реактивної потужностей в мережі від коефіцієнта завантаження трансформатора мають досить різні характеристики, однак сумарні втрати мають чітку залежність від коефіцієнта завантаження трансформатора у разі введення нових джерел генерації (рис. 1).

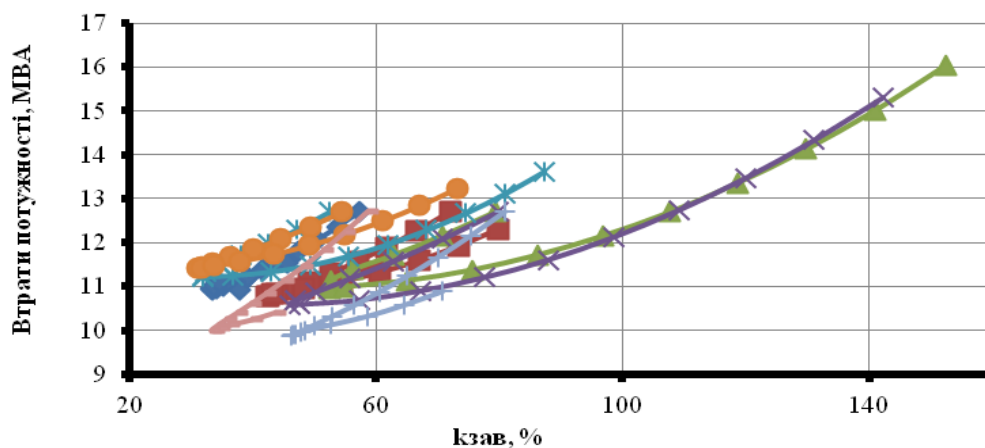


Рис. 1. Залежність втрат потужності від коефіцієнта завантаження трансформаторів

В результаті проведення великої кількості дослідів у Power Factory за умови введення деяких спрощень і особливостей моделювання в цьому програмному забезпеченні виявлено, що реактивна складова втрат потужності має реактивні втрати в лінії, в трансформаторах та зарядну потуж-

ність мережі. Оскільки зарядна потужність в мережі в усталеному режимі квазістаціонарна, а втрати в трансформаторах суттєво залежать від коефіцієнта їх завантаження, то для формування універсального коефіцієнта генерації враховано втрати в лініях. Встановлено, що чим більша довжина лінії від центру живлення до пункту підключення генерації СЕС або ВЕС, тим менші сумарні втрати реактивної потужності в індуктивних опорах ліній [4].

Місце розташування сонячних фотоелектричних установок істотно впливає на обсяги електроенергії, яка може бути вироблена протягом тривалого періоду. Тому прогнозування вихідної потужності конкретної фотоелектричної установки є важливим для оцінки потенційних місць встановлення таких електростанцій. За допомогою аналізу залежності втрат потужності для визначення оптимального вузла введення генерації СЕС або ВЕС, розроблено цільову функцію на основі універсального коефіцієнта встановлення генерації, що враховує потужність генерації та навантаження i -го пункту схеми, сумарну довжину ліній та потужність трансформаторів [4].

Алгоритм методу знаходження оптимального вузла встановлення генерації полягає у визначенні універсального коефіцієнта генерації для кожного пункту мережі для будь-якої можливої потужності генерації. Пріоритетними вузлами для підключення генерації будуть вузли з найменшим значенням універсального коефіцієнта генерації. Саме для них визначається оптимальна потужність встановленої генерації.

Для підвищення техніко-економічної ефективності спільної роботи СЕС (ВЕС) та електричних мереж доцільно враховувати статичні характеристики навантаження за напругою. Для розв'язання задачі узгодження потужності генерації з місцевим навантаженням використано універсальний коефіцієнт генерації. При цьому враховано статичні характеристики навантаження за напругою.

На рис. 2 показано погодинний добовий графік навантаження ПС 110/10 та реальний графік генерації СЕС, яка підключена до цієї підстанції.

Аналізуючи можливості підключення СЕС (ВЕС) до мережі та узгодження графіків її генерації та споживання, а також можливості видачі надлишку потужності до загальної мережі, необхідно враховувати технічний стан мережі та пропускну спроможність ліній електропередачі.

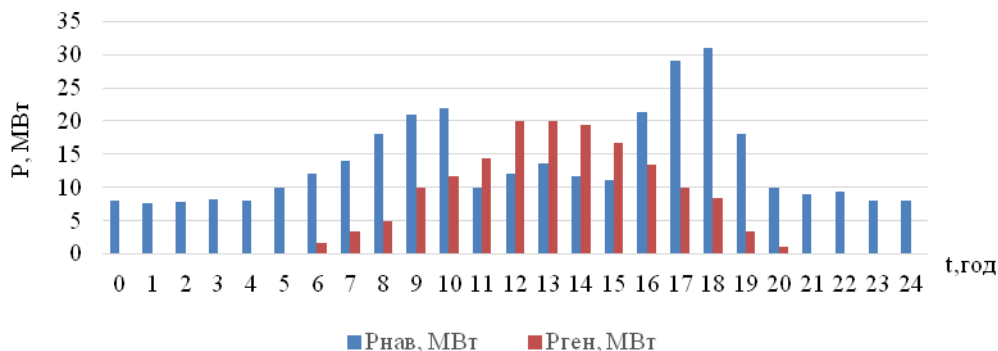


Рис. 2. Погодинний добовий графік навантаження та генерації сонячної електростанції

Внаслідок використання універсального коефіцієнта генерації рівень генерації потужності СЕС приведено у відповідність до графіка навантаження (рис. 3), а сформований надлишок потужності може бути або переданий до загальної електричної мережі, або накопичений з метою створення власного резерву для зменшення різниці небалансу у разі роботи за реальним графіком.

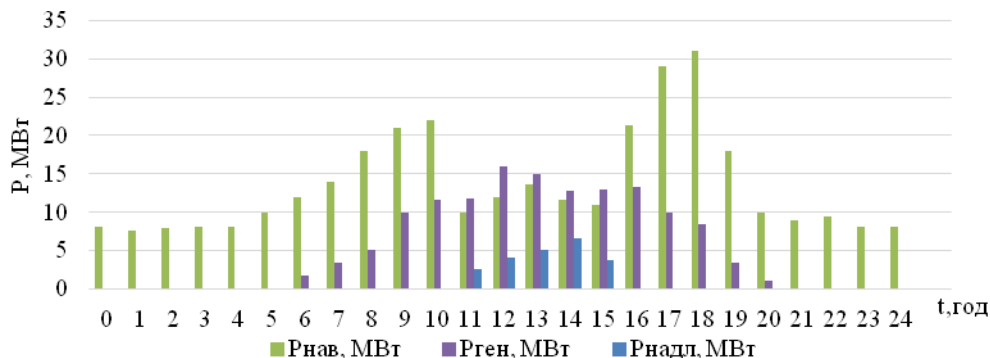


Рис.3. Узгоджений добовий графік навантаження вузла та потужності генерації сонячної електростанції

Висновки

Використання універсального коефіцієнта генерації дозволяє узгодити обсяги генерації СЕС (ВЕС) та навантаження розподільчої мережі за умови мінімізації витрат на передачу електричної енергії та з урахуванням технічних обмежень електричної мережі.

Результати моделювання показують, що запропонована система узгодження потужності генерації СЕС (ВЕС) з навантаженням району підвищує ефективність використання відновлюваної енергії та коефіцієнти потужності генерувальних установок; зменшується пікове навантаження, а також зменшується конфігурація потужності генерувальних установок.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] П. Д. Лежнюк, і С. В. Кравчук, «Оптимізація схем під'єднання нетрадиційних і відновлюваних джерел електроенергії в електричних мережах,» *Вісник Чернігівського державного технологічного університету*, № 2 (65), с. 168-173, 2013.

[2] S. A. Eroshenko et al., "Comparison study of wind flow velocity short-term forecasting methods based on adaptive models and neural networks," *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol. 29, no. 8s, pp. 2108-2115, 2020.

[3] R. Navarro, Short and medium term operation planning in electric power systems," in *2009 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition*, Seattle, WA, USA, 2009, pp. 1-8. <https://doi.org/10.1109/PSCE.2009.4840254> .

[4] О. Богомолова, «Методи та моделі оцінки потужності сонячної та вітрової генерації у вузлах електричної мережі.» дис. канд. техн. наук. 05.14.02. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського. Київ, 2021.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.10.2021

Богомолова Оксана Сергіївна — канд. техн. наук, асистент кафедри електричних мереж та систем, e-mail: Bohomolovaos@ukr.net .

Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», Київ

O. S. Bohomolova¹

Electric Network Operation Planning with Renewable Energy Sources

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Planning the production of capacity by solar (SPP) and wind (WPP) power plants is an important aspect to ensure the optimal mode of operation of the electricity network and the design and development of these power plants. The increase in the installed capacity of SPP and WPPs has led to significant difficulties in terms of operation, management and planning of power system modes. The geographical location of the SPP (WPP) significantly affects the generation capacity. Therefore, forecasting the output capacity of a particular photovoltaic or wind turbine is important in assessing the potential locations of such power plants. The developed target function based on the universal generation coefficient allows determining the optimal place of SPP and WPP connection. Because of the peak power generation of SPP in the daily load failure, there is a surplus of production in the power system. Reconciliation of SPP generation and winding schedules is possible by shifting the peak load of consumers or by adjusting the inverter connection scheme, i.e. by changing the SPP power supply scheme. The application of the generation coefficient for short-term determination of the power of solar and wind generation in the nodes of the electric network when planning its operating modes is considered. A method of matching the power generation of SPP (WPP) taking into account the static characteristics of the load is proposed. Excess power from SES and WPPs is proposed either to be dispensed to the external network, if it is technically possible, or to create its own reserve to reduce the difference in imbalance when working on a real schedule. The presented planning method allows providing the maximum level of generation of active power of a renewable energy source at observance of safety zones of mode parameters and a minimum of power losses in a network. The use of a universal generation factor allows determining the optimal generation power of the source of SES and WPP, which will reduce energy losses in the network and improve the voltage of the network.

Keywords: mode planning, solar generation, active power, universal generation coefficient, electric network mode, schedule coordination.

Bohomolova Oksana S. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant of the Chair of Electrical Networks and Systems, e-mail: Bohomolovaos@ukr.net

О. С. Богомолова¹

Планирование режима работы электрической сети с источниками возобновляемой энергии

¹Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

Планирование производства мощности солнечными (СЭС) и ветровыми (ВЭС) электростанциями является важным аспектом для обеспечения оптимального режима работы электрической сети, а также проектирования и развития, этих электростанций. Увеличение установленной мощности СЭС и ВЭС привело к значительным трудностям с точки зрения работы, управления и планирования режимов энергосистемы. Географическое место установки СЭС (ВЭС) существенно влияет на мощность генерации. А значит прогнозирование выходной мощности конкретной фотозлектрической или ветровой установки является важным при оценке потенциальных мест установки таких электростанций. Разработана целевая функция на основе универсального коэффициента генерации позволяет определить оптимальное место подключения СЭС и ВЭС. В результате пиковой мощности генерации СЭС во время дневного провала нагрузки, в энергосистеме возникает профицит производства. Согласование графиков генерации СЭС (ВЭС) и нагрузки возможно путем смещения пиковой нагрузки потребителей или за счет корректировки схемы подключения инверторов, то есть изменения схемы выдачи мощности СЭС. Рассмотрено применение коэффициента генерации для краткосрочного определения мощности солнечной и ветровой генерации в узлах электрической сети при планировании ее режимов работы. Предложен метод согласования мощности генерации СЭС (ВЭС) с учетом статических характеристик нагрузки. Избыток мощности от СЭС и ВЭС предлагается либо выдавать во внешнюю сеть при условии технической возможности, или создавать собственный резерв для снижения разницы небаланса при работе по реальному графику. Представленный метод планирования позволяет обеспечить максимальный уровень генерации активной мощности источника возобновляемой энергии при соблюдении зон безопасности режимных параметров и минимума потерь мощности в сети. Использование универсального коэффициента генерации позволяет определить оптимальную мощность генерации источника СЭС и ВЭС, которая обеспечит снижение потерь энергии в сети и улучшения режима напряжения.

Ключевые слова: планирование режима, солнечная генерация, активная мощность, универсальный коэффициент генерации, режим электрической сети, согласование графиков.

Богомолова Оксана Сергеевна — канд. техн. наук, ассистент кафедры электрических сетей и систем, e-mail: Bohomolovaos@ukr.net