

А. М. Чернюк¹
Є. І. Качанов¹
Ю. О. Черевик¹
З. В. Оберемок¹

ЗАГАЛЬНІ ЗАСАДИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ЛОКАЛЬНИХ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ЕНЕРГОСИСТЕМАХ

¹Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

Проаналізовано сучасні тенденції розвитку систем розподіленої генерації, запропоновано загальний підхід до забезпечення надійної та стабільної роботи децентралізованих енергетичних систем, побудованих на основі відновлюваних джерел електричної енергії, з урахуванням можливостей систем накопичення енергії та кліматичного прогнозування генерації. На підставі аналізу особливостей технологічного процесу вироблення електричної енергії альтернативними джерелами живлення, притаманними українським реаліям, проведено їх класифікацію за ознаками керованості та прогнозованості. На підставі вказаної класифікації запропоновано узагальнений підхід до побудови комбінованої локальної енергетичної системи, яка б відповідала вимогам надійності електроспоживання. Запропоновано умовний розподіл елементів локальної енергетичної системи на інформаційно-логічні складові та технологічні підсистеми. Визначені інформаційні та технологічні зв'язки між елементами локальної енергетичної системи. Проведено попередній аналіз маневрових можливостей наявних потужностей альтернативних джерел електричної енергії. На підставі проведеного аналізу до подальшого використання запропоновано застосовувати метод суміщення графіків генерації та споживання електричної енергії для формування графіка невідповідності балансу споживаної та виробленої електроенергії. Пропонується застосовувати графік невідповідності споживаної та генерованої потужностей як математичну функцію управління процесом генерації та споживання електричної енергії в локальних електричних мережах. Вказано на необхідність застосування засобів регулювання не лише для об'єктів генерації, а й для споживачів та систем накопичення енергії з метою усунення невідповідностей балансів виробленої та спожитої електричної енергії.

Ключові слова: баланс електричної енергії, децентралізовані енергосистеми, альтернативні джерела живлення, алгоритм управління, надійність електропостачання.

Вступ

Сучасні тенденції розвитку енергетичної галузі характеризуються значним збільшенням частки генерувальних потужностей альтернативних відновлюваних джерел електричної енергії. Найбільшого розвитку останнім часом отримали системи генерації електричної енергії, побудовані на основі сонячних та вітрових електростанцій. Так, станом на середину вересня 2021 року за даними НЕК «Укренерго» частка генерації в покритті навантаження цими електростанціями складала 8 % (214,8 млн кВт год), що перевищує генерацію українських ГЕС та ГАЕС [1], а в структурі генерації електроенергії розвинених країн Європи частка сонячних та вітрових електростанцій може сягати більше ніж 50 % [2]—[4]. Розвиток технологій розподіленої генерації суттєво впливає на процеси децентралізації енергетичних систем та демонополізацію ринку електричної енергії та послуг в енергетичній галузі [5], [6]. Тому можна констатувати, що розвиток систем розподіленої генерації має стійку тенденцію до зростання. Отже, актуальним є питання всебічного аналізу загальних та часткових принципів побудови систем розподіленої генерації та визначення характерних властивостей цих систем взагалі та окремих їх елементів і режимів їх роботи.

Проте, існує низка причин економічного, політичного, технічного та технологічного характеру, які стримують процеси переходу енергетичної галузі до енергетики майбутнього. Розглянемо саме

технологічну складову функціонування та розвитку систем розподіленої генерації, побудованих на засадах відмови від викопного палива. Традиційні системи генерації електричної енергії використовують як первинний енергоносіє висококонцентрованого палива, яке природа створювала мільйонами років (вугілля, природний газ, нафтопродукти). При цьому генерація електричної енергії на теплових електростанціях є прогнозованою та має досить високий рівень керованості. Альтернативні джерела енергії працюють з первинним енергоресурсом низької концентрації, які ще й мають слабкі показники прогнозованості та стабільності (розподілені сонячне випромінювання, вітер, відходи сільського господарства, тощо). Ця особливість суттєво та при цьому негативно впливає на процес електропостачання споживачів, який також характеризується досить жорстким дотриманням балансу генерованої, переданої та спожитої енергії.

Метою роботи є визначення загальних засад забезпечення показників надійності та стабільної роботи децентралізованих енергосистем з пріоритетним споживанням розподілених та слабо-прогнозованих первинних енергетичних ресурсів.

Результати дослідження

Децентралізовані енергетичні системи в умовах України використовують переважно сонячну та вітрову енергію безпосередньо та енергію фотосинтезу через процес виробництва та подальшого використання біогазу. Окрім цього, до об'єктів розподіленої генерації можна віднести мікро ГЕС місцевого значення [7].



Рис. 1. Узагальнений підхід до забезпечення надійної роботи

Окрім генерувальних потужностей до технологічних підсистем відносяться акумуляторні батареї (АБ), що перетворюють електричну енергію на хімічну і таким чином запасують її, та гравітаційні акумулятори баштового типу [9], [10].

Коректну спільну роботу технологічних підсистем повинні забезпечити інформаційно-логічні складові, до яких відносяться інформаційні складові (графіки навантажень, генерації, невідповідності, баланс генерації та споживання) та логічні складові (кліматичне прогнозування та алгоритм управління генерацією та споживанням).

Однією з основних проблем децентралізованих енергетичних систем з переважною генерацією за рахунок сонячних та вітрових електростанцій є слабка прогнозованість генерації та незбіжність графіків навантаження споживачів та генерації.

Освоєні геотермальні енергоресурси в Україні є локально сконцентрованими в Криму та на Західній Україні та не є притаманними для іншої частини нашої країни, тому в цій роботі залишимо їх без розгляду.

Відповідно до рис. 1 загальна структура функціонування запропонованої в цій роботі децентралізованої системи генерації електричної енергії, містить технологічні об'єкти та інформаційно-логічні складові, які забезпечують коректну спільну роботу цих об'єктів.

Основним завданням системи є забезпечення балансу виробленої та спожитої електричної енергії, що відображається у збіжності графіків генерації на енергогенерувальних об'єктах та навантаження споживачів. До генерувальних потужностей належать:

- вітрові електростанції (ВЕС);
- сонячні електростанції (СЕС);
- біогазові електростанції (БГЕС);
- мікрогідроелектростанції, які доцільно використовувати в режимі гідроакумуляційних електростанцій (ГЕС–ГАЕС).

БГЕС та ГЕС–ГАЕС на відміну від ВЕС та СЕС мають прогнозований та керований графік генерації електричної енергії. Тому енергетичний потенціал цих електростанцій можна використовувати в маневровому режимі задля покриття піків електричних навантажень споживачів [8].

Як видно з рис. 2 [1], пік генерації відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в українській енергосистемі (орієнтовно 12:00) не збігається з піками навантаження (орієнтовно 8:00 та 20:00), а це потребує роботи маневрових потужностей як генерації під час піків споживання, так і акумулювання під час піку генерації ВДЕ.

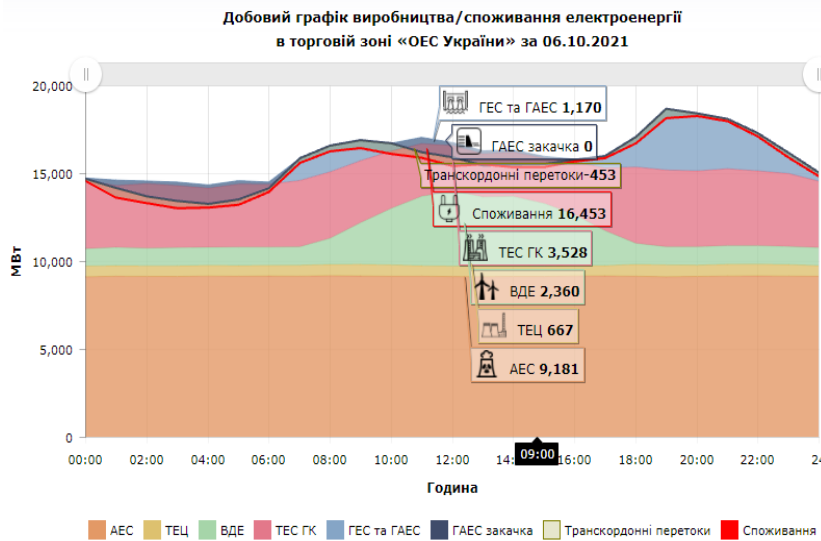


Рис. 2. Характерний графік виробництва/споживання електроенергії

Варто зазначити, що пік генерації ВДЕ в рази перевищує рівень генерації у стабільному та мінімальному режимах, а в умовах локальних енергосистем, коли кількість об'єктів генерації стає значно меншою, існують періоди, коли генерація за рахунок сонячних та вітрових електростанцій може бути взагалі відсутня. В ці періоди потрібно розраховувати лише на потужність об'єктів з прогнозованою генерацією (БГЕС, ГЕС) та наявні засоби акумулювання енергії

АБ, ГА, ГАЕС. Для того щоби правильно визначити загальну потужність та режим роботи цих елементів потрібно насамперед отримати два характерних графіки — очікуваний графік навантаження споживачів та очікуваний графік генерації електричної енергії вітровими та сонячними електростанціями. Лише за наявності цих вихідних даних можливе подальше ефективне управління процесом електропостачання споживачів в локальних децентралізованих енергосистемах.

Очікуваний графік генерації електричної енергії сонячними та вітровими електростанціями можна отримати на підставі математичного моделювання процесу генерації електричної енергії в реальному часі в функції швидкості вітру (для вітрових електростанцій) та функції інтенсивності сонячного випромінювання (для сонячних електростанцій). А от вихідні дані для цих розрахунків потрібно отримувати засобами короткострокового кліматичного прогнозування та ноукастінгу.

Методом суміщення двох вищевказаних графіків отримано графік невідповідності балансів виробленої та спожитої електричної енергії. Цей графік і є основою для складання алгоритму управління генерацією та споживанням електричної енергії з метою підтримання необхідного енергетичного балансу

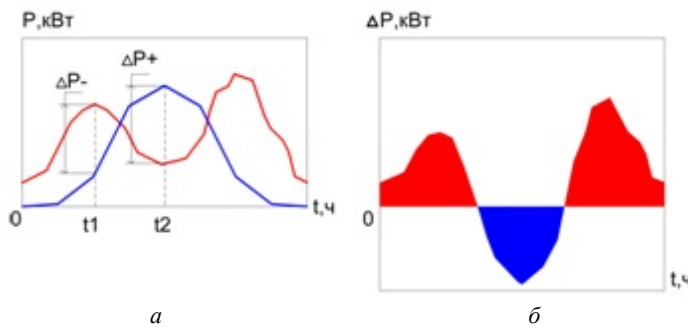


Рис. 3. Побудова графіка невідповідності генерації/споживання

в електричних мережах локальної децентралізованої системи електропостачання. На рис. 3 проілюстровано метод суміщення графіків генерації та навантаження споживачів. За основу взяті типові графіки генерації СЕС у світлу пору доби (синій) та графік навантаження загальнопромислових та цивільних споживачів (червоний) (рис. 3а). В будь-який час доби (за рідкісним винятком) існує певна невідповідність генерованої потужності та навантаження споживачів: $\Delta P-$ (у разі дефіциту потужності) або $\Delta P+$ (у разі профіциту потужності). Таким чином утворюється графік невідповідності (рис. 3б). Цей графік і є інформаційною основою подальшого процесу управління генерацією та споживанням електричної енергії в локальній децентралізованій енергосистемі. Відповідно до нього в червоних зонах (рис. 3б) треба вмикати агрегати генерації ГЕС—ГАЕС, БГЕС та об'єктів акумуляції в режимі видачі енергії, в синій зоні використовувати усі можливі резерви акумулювання надлишкової енергії з метою її подальшого використання.

На відміну від об'єднаної енергосистеми в локальній енергосистемі набагато менше споживачів та об'єктів генерації, що додає ваги кожному об'єкту системи та зумовлює значну нерівномірність графіків генерації та навантаження. Тому формування необхідного режиму роботи кожної технологічної підсистеми має велику вагу. Разом з цим, зважаючи на графік невідповідності та наявні

резерви з генерації електроенергії, не завжди можливо скласти баланс виробленої та спожитої енергії без змін в графіку навантаження споживачів, тому алгоритм управління процесом електропостачання повинен мати елементи формування та надсилання керувальних сигналів та команд не лише підсистемам генерації, а й споживачам щодо можливої корекції свого графіка споживання шляхом зсуву піків електроспоживання на інший часовий проміжок.

Висновки

Запропоновано загальний підхід до вирішення питань забезпечення надійної стабільної роботи локальних децентралізованих енергосистем за допомогою засобів короточасного кліматичного прогнозування, формування графіка електричних навантажень споживачів з урахуванням наявних резервів генерації та на підставі відповідного алгоритму управління.

Згідно зі сформульованими в статті загальними підходами стосовно забезпечення стабільної роботи децентралізованих енергосистем, до подальших перспективних напрямків досліджень слід віднести розробку загальних засад та методів короточасного метеоенергетичного прогнозування генерації вітровими та сонячними електростанціями, розробку комплексної математичної моделі генерації/споживання в децентралізованих енергосистемах з урахуванням особливостей роботи кожної технологічної підсистеми, розробку системи автоматичного формування графіка невідповідності генерації/споживання, розробку алгоритму та практичну реалізацію системи управління процесом електропостачання в локальних децентралізованих енергосистемах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Офіційний сайт НЕК «Укренерго». 13–19 вересня 2021 р. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ua.energy/robotaiips/robota-energosityemy-13-19-veresnya-2021-roku/>.
- [2] *Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/erneuerbare-energien.html>.
- [3] *Monitoring bericht 2020 Monitoringbericht gemäß, § 63 Abs. 3 i. V. m. § 35 EnWG und § 48 Abs. 3 i. V. m. § 53 Abs. 3 GWB Stand: 1. März 2021*.
- [4] *EES EAEC мировая энергетика*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.eeseaec.org/energetika-regionov-mira>.
- [5] Верховна Рада України, Закон України «Про ринок електричної енергії», *Відомості Верховної Ради (ВВР)*, 2017, № 27-28, ст. 312. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text>.
- [6] Н. Є. Стрельбіцька, «Лібералізація оптового ринку електроенергетики України: перші наслідки», *Бізнес Інформ*, № 4, с. 136-139, 2014.
- [7] А. М. Чернюк, І. Г. Кирисов, і Ю. О. Черевик, «Аналіз перспектив розвитку систем розподіленої генерації електроенергії в Україні», *наук. журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*, т. 32 (71), № 3, с. 239-247, 2021.
- [8] А. М. Чернюк, І. Г. Кирисов, і Є. І. Качанов, «Засоби забезпечення процесу генерації та споживання електричної енергії в електроенергетичних системах з розподіленою генерацією з врахуванням фактора невизначеності погодних та кліматичних умов», *Вісник НТУ «ХП» Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*, № 1 (1), с. 95-99, 2020.
- [9] *Energy Vault. Enabling a Renewable World*. [Electronic resource]. Available: <https://www.energyvault.com/>.
- [10] Ю. А. Веремійчук, В. П. Опришко, І. В. Притискач, і О. С. Ярмолюк, *Оптимізація функціонування інтегрованих систем енергозабезпечення споживачів*. Київ, Україна: Вид. дім «Кий», 2020, 186 с.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 26.10.2021

Чернюк Артем Михайлович — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики, e-mail: archer.uipa@gmail.com ;

Качанов Євген Ігорович — аспірант кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики;

Черевик Юлія Олександрівна — аспірантка кафедри фізики, електротехніки та електроенергетики;

Оберемок Злата Вадимівна — студентка факультету енергетики і автоматизації.

Українська інженерно-педагогічна академія, Харків

A. M. Cherniuk¹
Ye. I. Kachanov¹
Yu. O. Cherevyk¹
Z. V. Oberemok¹

General Framework for Ensuring Indicators of Reliable Power Supply in Local Decentralized Power Systems

¹Ukrainian Engineering Pedagogical Academy, Kharkiv

There has been carried out the analysis of current trends in the development of distributed generation systems, a general approach to ensuring reliable and stable operation of decentralized energy systems based on renewable energy

sources, taking into account the capabilities of energy storage systems and climate forecasting generation. Based on the analysis of the peculiarities of the technological process of electricity generation by alternative power sources inherent in the Ukrainian realities, their classification is carried out on the basis of controllability and predictability. On the basis of the specified classification the generalized approach to construction of the combined local power system which would meet requirements of reliability of power consumption of consumers is offered. The conditional division of the elements of the local energy system into information-logical components and technological subsystems is proposed. Information and technological connections between the elements of the local energy system are determined. Preliminary analysis of shunting capabilities of available capacities of alternative power sources is carried out. Based on the analysis, it is proposed to use the method of combining schedules of generation and consumption of electricity for further formation to form a graph of the mismatch between the balance of consumed and produced electricity. It is proposed to use the graph of mismatch of consumed and generated capacity as a mathematical function of control of the process of generation and consumption of electricity in local electrical networks. It is pointed out the need to apply regulatory means not only for generation facilities, but also for consumers and energy storage systems in order to eliminate inconsistencies in the balances of produced and consumed electricity.

Keywords: balance of electrical energy, decentralized power systems, alternative power sources, control algorithm, reliability of power supply.

Cherniuk Artem M. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Head of the Chair of Physics, Electrical Engineering and Electric Power, e-mail: archer.uipa@gmail.com ;

Kachanov Yevhen I. — Post-Graduate Student of the Chair of Physics, Electrical Engineering and Electric Power;

Cherevyk Yuliia O. — Post-Graduate Student of the Chair of Physics, Electrical Engineering and Electric Power;

Oberemok Zlata V. — Student of the Department of Energy and Automation

А. М. Чернюк¹
Е. И. Качанов¹
Ю. А. Черевик¹
З. В. Оберемок¹

Общие основы обеспечения показателей надежного электроснабжения в локальных децентрализованных энергосистемах

¹Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

Проанализированы современные тенденции развития систем распределенной генерации, предложен общий подход к обеспечению надежной и стабильной работы децентрализованных энергетических систем, построенных на основе возобновляемых источников электрической энергии с учетом возможностей систем накопления энергии и климатического прогнозирования генерации. На основании анализа особенностей технологического процесса выработки электрической энергии альтернативными источниками питания, присущими украинским реалиям, проведена их классификация по признакам управляемости и прогнозируемости. На основании указанной классификации предложен обобщенный подход к построению комбинированной локальной энергетической системы, отвечающей требованиям надежности электропотребления потребителей. Предложено условное распределение элементов локальной энергетической системы на информационно-логические составляющие и технологические подсистемы. Определены информационные и технологические связи между элементами энергетической системы. Проведен предварительный анализ маневровых способностей имеющихся мощностей альтернативных источников питания. На основании анализа предложено к дальнейшему использованию применять метод совмещения графиков генерации и потребления электрической энергии для формирования графика несоответствия баланса потребляемой и производимой электроэнергии. Предлагается применять график несоответствия потребляемой и генерируемой мощностей как математическую функцию управления процессом генерации и потребления электрической энергии в локальных электрических сетях. Указано на необходимость применения средств регулирования не только для объектов генерации, но и потребителей и систем накопления энергии с целью устранения несоответствий балансов производимой и потребленной электрической энергии.

Ключевые слова: баланс электрической энергии, децентрализованные энергосистемы, альтернативные источники питания, алгоритм управления, надежность электроснабжения.

Чернюк Артем Михайлович — канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой физики, электротехники и электроэнергетики, e-mail: archer.uipa@gmail.com ;

Качанов Евгений Игоревич — аспирант кафедры физики, электротехники и электроэнергетики;

Черевик Юлия Александровна — аспирант кафедры физики, электротехники и электроэнергетики;

Оберемок Злата Вадимовна — студент факультета энергетики и автоматизации