

# КОМПЕНСАЦІЯ НЕСТАБІЛЬНОСТІ НЕГАРАНТОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

Вінницький національний технічний університет

## Анотація

Сформована задача оптимального керування параметрами нормального режиму електроенергетичної системи (ЕЕС) з високим рівнем інтеграції негарантованих відновлюваних джерел енергії, що може бути описана інтегральним критерієм. Дана задача оптимального керування представлена як задача теорії оптимального керування з квадратичним критерієм оптимальності. Зокрема, на відміну від існуючих, запропоновано враховувати планове значення генерування ВДЕ та потужність керованих ВДЕ (біогазових та водневих установок). При цьому розширено основні елементи критерію оптимальності, а саме запропоновано при визначенні критерію оптимальності враховувати неточність прогнозування метеорологічних факторів та технічний стан обладнання ВДЕ.

**Ключові слова:** негарантовані джерела енергії, електроенергетична система, критерій оптимальності.

## Abstract

The task of optimal control of parameters of the electric power system (EPS) normal mode with a high level of integration of renewable energy sources (RES) is formed, which can be described by an integral criterion, and in the general case is formulated as a problem of optimal control theory with quadratic quality criterion. It is proposed to take into account the planned value of RES generation and the capacity of controlled RES (biogas and hydrogen plants). At the same time, the main elements of the criterion of optimality in control are expanded, namely, it is proposed to take into account the inaccuracy of forecasting meteorological factors and changes in the technical condition of RES equipment when determining the criterion of optimality.

**Keywords:** unguaranteed energy sources, electric power system, criterion of optimality.

## Вступ

Станом на 1.10.2020 встановлена потужність електростанцій, що працюють за «зеленим» тарифом становить 7485 МВт, серед яких сонячні електростанції (СЕС) – 5928 МВт, вітрові електростанції (ВЕС) – 1252 МВт. Встановлена потужність об'єктів електроенергетики, що виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії, за підсумками 2019 року зросла втричі в порівнянні з 2018 роком та становить 6378,6 МВт (див. рис. 1) [1].

До 60% електроенергії до 2030 року буде вироблятися за рахунок ВДЕ в європейських електромережах. Енергетична стратегія країни до 2035 року передбачає, що ВДЕ становитимуть 25% в енергетичному балансі. Проведений детальний аналіз встановленої потужності та обсягів генерування електроенергії ВДЕ в умовах реалізації стратегії декарбонізації в світі і в Україні дозволив виявити основні тенденції їх зміни за останні роки та є корисним для оцінювання можливості планування заходів щодо компенсації нестабільності генерування вітрових та фотоелектричних станцій іншими типами ВДЕ з меншою залежністю від метеорологічних факторів. Тому, наразі виникла задача розвитку нових генеруючих потужностей із необхідними для електроенергетичної системи (ЕЕС) динамічними характеристиками, зокрема – високоманеврової генерації, що дозволить забезпечити надійну роботу енергосистеми в умовах стрімко розвиваючихся основних технологій забезпечення балансової надійності та зростання частки відновлюваної енергетики з негарантованим графіком відпуску електроенергії. Тобто, при використанні ВДЕ потрібно мати балансуєчий резерв системи. Наразі, в умовах дефіциту маневрених потужностей, зменшення навантаження енергосистеми покривається за рахунок вугільних ТЕС. Для більшості ТЕС України робота в непередбачених проектом умовах швидко призведе до зменшення ресурсного терміну експлуатації [2-5].

Тому, актуально є задача формування науково-технічних основ компенсації нестабільності генерування негарантованими джерелами енергії в електроенергетичних системах з високою інтеграцією ВДЕ для підвищення балансової та режимної надійності, що створює умови для забезпечення їх ефективної роботи.

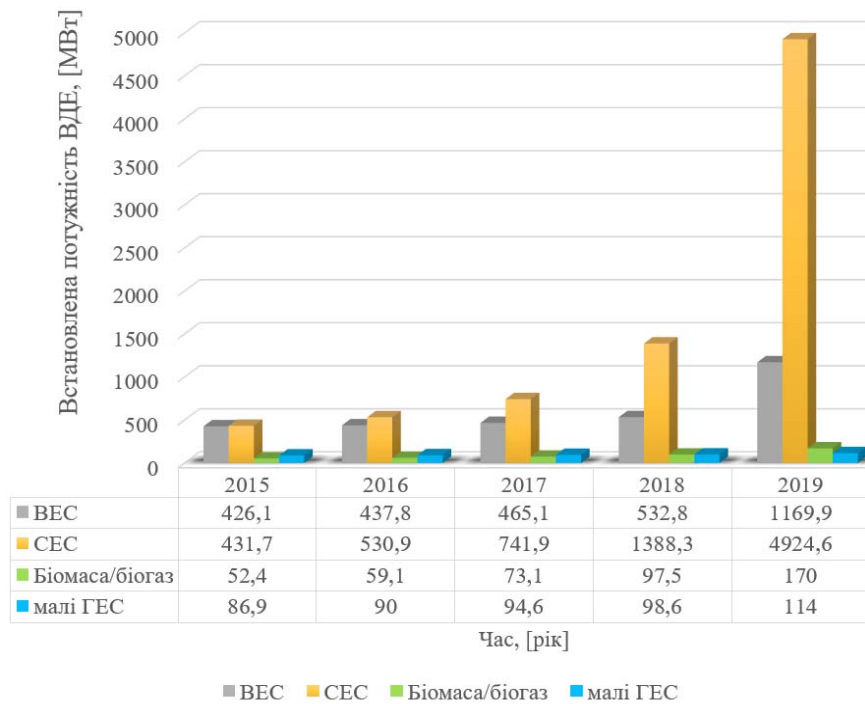


Рисунок 1 – Тенденція збільшення встановленої потужності ФЕС в Україні, які реалізують генерувану потужність за «зеленим» тарифом за даними НКРЕКП.

### Результати дослідження

Задача оптимального керування параметрами нормального режиму електроенергетичної системи (ЕЕС) з високим рівнем інтеграції негарантованих джерел енергії може бути описана інтегральним критерієм, та в загальному випадку сформульована як задача теорії оптимального керування з квадратичним критерієм якості [2, 6]:

мінімізувати функцію керування

$$F(u) = \int_{t_0}^{t_k} [\mathbf{x}_t(t) \mathbf{H} \mathbf{x}(t) + \mathbf{u}_t(t) \mathbf{L} \mathbf{u}(t)] dt \quad (1)$$

в просторі станів системи  $\frac{dx}{dt} = \mathbf{A} \mathbf{x}(t) + \mathbf{B} \mathbf{u}(t); \quad \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0; \quad \mathbf{y}(t) = \mathbf{C} \mathbf{x}(t) + \mathbf{D} \mathbf{u}(t)$ , де  $\mathbf{x}(t)$ ,

$\mathbf{u}(t)$ ,  $\mathbf{y}(t)$  – відповідно вектори стану, керування і спостереження;  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{C}$ ,  $\mathbf{D}$ ,  $\mathbf{H}$ ,  $\mathbf{L}$  – матриці постійних коефіцієнтів, за фізичним змістом узагальнені параметри ЕЕС;  $t_0$ ,  $t_k$  – початок і кінець інтервалу часу, при якому мінімізується функція керування (для ЕЕС це зазвичай 15 хв.);  $\mathbf{x}_0$  – початкове значення вектору стану.

$$\mathbf{x}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{J}(t) \\ \dot{\mathbf{U}}_{\Delta}(t) \\ U_{\delta} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{y}(t) = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{S}}_{\sigma}(t) \\ \dot{\mathbf{I}}_{\sigma}(t) \\ \mathbf{U}(t) \\ \dot{\mathbf{S}}_{ВДЕ\_план}(t) \end{bmatrix}; \quad \mathbf{u}(t) = \begin{bmatrix} \mathbf{k}(t) \\ \mathbf{Q}_{ДРП}(t) \\ \dot{\mathbf{S}}_{ВДЕ}(t) \\ \mathbf{P}_{НЕ}(t) \\ \mathbf{S}_{ВВ\_Біо}(t) \end{bmatrix} \quad (2)$$

де  $\mathbf{J}(t) = \hat{\mathbf{U}}_{\delta}^{-1}(t) \hat{\mathbf{S}}(t)$  – вектор струмів у вузлах ЕЕС;  $\dot{\mathbf{U}}_{\delta}(t)$  – діагональна матриця вузлових напруг;  $\hat{\mathbf{S}}(t) = \mathbf{P} + j\mathbf{Q}$  – вектор потужностей у вузлах;  $\dot{\mathbf{U}}_{\Delta}(t)$  – вектор напруг вузлів відносно базисного;  $U_{\delta}$  – напруга базисного вузла;  $\dot{\mathbf{U}}(t)$  – вектор напруг вузлів;  $\dot{\mathbf{S}}_{\sigma}(t) = \mathbf{P}_{\sigma} + j\mathbf{Q}_{\sigma}$ ,  $\dot{\mathbf{I}}_{\sigma}(t)$  – вектори потужностей і струмів у вітках ЕЕС, де здійснюються телевиміри;  $\dot{\mathbf{S}}_{ВДЕ\_план}(t)$  – вектор прогнозованих значень потужностей генерування ВДЕ;  $\mathbf{k}(t)$ ,  $\mathbf{Q}(t)$ ,  $\dot{\mathbf{S}}_{ВДЕ}(t)$ ,  $\mathbf{P}_{НЕ}(t)$  – вектори коефіцієнтів трансформації, наван-

тажень джерел реактивної потужності, потужностей ВДЕ і накопичувачів електроенергії;  $S_{ВУ,Біо}(t)$  – вектор потужності водневих і біогазових установок. При цьому основні елементи критерію оптимальності при керуванні можуть бути узагальнені, як показано на рис. 2.



Рисунок 2 – Основні елементи критерію оптимальності при керуванні ЕЕС

### Висновки

В Україні спостерігаються проблеми балансування в ЕЕС. Цей дисбаланс потужності, спричинений збільшенням кількості ВЕС і ФЕС. Також проблеми балансування потужності, спричинені недостатнім обсягом маневреної потужності для балансування. Така ситуація в електричних мережах на тлі тенденцій щорічного збільшення встановленої потужності та генерування електроенергії ВДЕ ставить нові виклики та задачі. Для української енергетики проблема є більш актуальною, оскільки з 1 січня 2021 р. прийнято постанову про фінансову відповідальність за небаланс потужності в ЕЕС. Енергопостачальні компанії, які генерують електроенергію за допомогою ВДЕ, будуть платити фінансовий штраф за небаланс електроенергії. В цих умовах актуалізується проблема аналізу нестабільності ВДЕ генерування електроенергії при керуванні параметрами нормальних режимів роботи ЕЕС.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, у 2019 році Затверджений Постановою Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг 27 травня 2020 року № 975, 2020, с. 354.
2. O. Y. Petrushenko, Y. O. Petrushenko, and E. A. Rubanenko, "The dvoistoy problem solution of the optimal control by normal regimes of EPS with using neurofuzzy modelling," Technical Electrodynamics, Note no. 2, pp. 36-37, 2012.
3. O. Rubanenko and V. Yanovych, "Analysis of instability generation of Photovoltaic power station," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 128-133.
4. O. Rubanenko, O. Miroshnyk, S. Shevchenko, V. Yanovych, D. Danylchenko, and O. Rubanenko, "Distribution of Wind Power Generation Dependently of Meteorological Factors," in 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), 2020, pp. 472-477.
5. P. Lezhniuk, V. Komar, and O. Rubanenko, "Information Support for the Task of Estimation the Quality of Functioning of the Electricity Distribution Power Grids with Renewable Energy Source," in 2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS), 2020, pp. 168-171.
6. Лежнюк П. Д. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії: монографія / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 164 с. – ISBN 978-966-641-717-9.

**Рубаненко Олена Олександрівна** – канд. техн. наук, доцент, докторант кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет

**Rubanenko Olena Oleksandrivna** – Ph.D., Associate Professor, Doctoral student of electrical stations and systems department, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: olenarubanenko@ukr.net