

М. С. Сегеда<sup>1</sup>  
А. В. Олексин<sup>1</sup>  
О. В. Сабан<sup>1</sup>

## РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ СИСТЕМІ АСИНХРОНІЗОВАНИМИ ТУРБОГЕНЕРАТОРАМИ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ ЇХ КІЛЬКОСТІ

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»

Розглянуто вибір кількості асинхронізованих турбогенераторів (АСТГ), необхідних для встановлення на електростанціях (ЕС) під час їх будівництва чи реконструкції для компенсації надлишків реактивної потужності, що перевищують регульовальні можливості синхронних турбогенераторів (СТГ), з метою забезпечення заданих рівнів напруги. АСТГ мають значно більші регульовальні можливості в режимах споживання реактивної потужності у порівнянні з СТГ та здатні забезпечити задані рівні напруги на шинах ЕС в режимах мінімальних навантажень електроенергетичної системи (ЕЕС). Водночас АСТГ є конструктивно складнішими за СТГ і, як наслідок, дорожчими. У зв'язку з цим з економічної точки не доцільно встановлювати на ЕС виключно АСТГ. Їх кількість повинна забезпечувати споживання надлишків реактивної потужності в мережі і забезпечення заданого рівня напруг на розподільних пристроях (РП) ТЕС у всіх режимах. Вихідними даними для розрахунків є графіки потужності ЕС в періоди зимового максимуму і літнього мінімуму навантажень а також заводські діаграми допустимих режимів роботи різних типів генераторів. Розроблена методика детально описує порядок визначення мінімальної кількості АСТГ для встановлення на ЕС, на яких існують режими роботи з надлишками реактивної потужності. Визначальними чинниками, які впливають на кількість АСТГ, є величина очікуваного максимального некомпенсованого надлишку реактивної потужності на шинах ЕС та регульовальні можливості СТГ і АСТГ в режимах споживання реактивної потужності. Подано приклад розрахунку оптимальної кількості АСТГ типу АСТГ-200 для встановлення на ЕС встановленою потужністю 1400 МВт з енергоблоками номінальною потужністю 200 МВт. За результатами розрахунку на проєктованій ЕС доцільно встановити 3 турбогенератори типу АСТГ-200 та 4 турбогенератори ТГВ-200М для забезпечення заданих рівнів напруг у всіх режимах роботи станції.

**Ключові слова:** вибір кількості АСТГ, надлишок реактивної потужності, регульовальні можливості СТГ і АСТГ, регулювання напруги, методика, генератори.

### Вступ

У дослідженнях [1]—[3] показано, що в системоутворювальних мережах об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України напруги не завжди відповідають нормативним рівням. Зокрема, мають місце випадки постійного перевищення допустимого рівня напруги в певних її вузлах внаслідок недостатньої компенсації надлишків реактивної потужності. Регулювання напруги на шинах ЕС забезпечують генератори шляхом вироблення чи споживання реактивної потужності. У зв'язку з тим, що СТГ мають обмежені регульовальні можливості в режимах споживання реактивної потужності за нагрівом торцевих зон та стійкістю [4], вони не завжди можуть забезпечити необхідні рівні напруги під час виникнення на шинах ЕС значних надлишків реактивної потужності. В цих умовах найефективніше разом з СТГ використовувати асинхронізовані турбогенератори (АСТГ) [5]. АСТГ відносяться до ефективного та добре керованого устаткування ЕС, яке позитивно впливає на їхню надійність. Основна задача, яка ставиться перед АСТГ на ЕС, є забезпечення необхідних рівнів напруги в режимах зі значними надлишками реактивної потужності, які не можуть компенсувати СТГ.

Необхідно зазначити, що АСТГ є конструктивно складнішими виробами ніж СТГ. Ротор АСТГ

має дві зсунуті на кут  $\chi$  обмотки збудження. Система збудження АСТГ включає в себе два однакові канали для живлення двох обмоток збудження. Це суттєво впливає на вартість АСТГ. За однакової номінальної потужності АСТГ є дорожчими за СТГ. У зв'язку з цим з економічної точки зору на ЕС доцільно встановлювати таку кількість АСТГ, якої достатньо для забезпечення споживання реактивної потужності у всіх режимах її роботи.

В умовах, коли більшість обладнання ЕС ОЕС України відпрацювало свій ресурс, а частина його знищена внаслідок ракетних ударів, особливої актуальності набуває питання будівництва нових та реконструкції наявних ЕС. Під час підготовки до будівництва на етапі проектування необхідно визначити, яке нове обладнання встановлювати і в яких кількостях.

*Метою роботи* є встановлення критеріїв та розроблення методики визначення кількості АСТГ для встановлення на ЕС під час їх реконструкції чи будівництва.

### Результати дослідження

Для розв'язання поставленої задачі наведемо аналіз всіх чинників, що можуть впливати на кількісний склад генераторів ЕС, який може забезпечити задані рівні напруги на її шинах у всіх режимах роботи. Враховуючи основне призначення АСТГ, вихідними даними для розрахунку їх мінімальної кількості є:

- значення очікуваного максимального надлишку реактивної потужності на шинах ЕС, який необхідно компенсувати генераторами для забезпечення заданих рівнів напруг;
- значення активного навантаження ЕС за максимального надлишку реактивної потужності;
- діаграма допустимих режимів роботи СТГ;
- діаграма допустимих режимів роботи АСТГ.

АСТГ повинні забезпечити задані напруги та допустимі режими роботи СТГ у всіх режимах роботи ЕС. Тому розрахункові значення сумарної активної потужності ЕС  $P_{\Sigma PS}$  та максимального надлишку реактивної потужності на шинах ЕС  $Q_N$  повинні вибиратися для режимів роботи ЕС, за яких на шинах ЕС виникають максимальні надлишки реактивної потужності. Це зазвичай спостерігається в літній мінімум навантаження через недовантаженість приєднаних до ЕС ліній електропередачі (ЛЕП) чи під час аварій, викликаних пошкодженням пристроїв, що здійснюють регулювання напруги в ЕС. Сумарна активна потужність енергоблоків для таких режимів може бути меншою за встановлену потужність ЕС. Для ЕС з генераторами однакової номінальної активної потужності сумарна кількість енергоблоків  $N$ , які повинні знаходитись в роботі, для покриття заданого графіку активного навантаження, визначається так:

$$N \geq \frac{P_{\Sigma PS}}{P_{Unom}}, \quad (1)$$

де  $P_{Unom}$  — номінальна активна потужність енергоблоків.

$N$  вважається найменшим цілим числом, що задовольняє виразу (1). В такому випадку фактична потужність кожного енергоблока буде менша ніж  $P_{Unom}$  і становитиме

$$P_{Uf} = \frac{P_{\Sigma PS}}{N}. \quad (2)$$

Мінімальне значення реактивної потужності, яку можуть споживати СТГ, повинно відповідати допустимим та дійсним експлуатаційним границям в області недозбудження. Цьому значенню реактивної потужності СТГ відповідає певне допустиме значення коефіцієнта потужності  $\cos \phi_{STGd}$ . В

подальших розрахунках використовуватимемо  $\operatorname{tg} \varphi_{STGd} = \frac{\sqrt{(1 - \cos \phi_{STGd})^2}}{\cos \phi_{STGd}}$ . У режимах роботи ге-

нераторів зі споживанням реактивної потужності з мережі  $\operatorname{tg} \varphi_{STGd}$  буде мати від'ємні значення.

Мінімальна кількість АСТГ для ЕС з однаковими енергоблоками, визначається з урахуванням необхідності забезпечення виконання такої умови

$$\operatorname{tg} \varphi_{STG} \geq \operatorname{tg} \phi_{STGd}. \quad (3)$$

$\operatorname{tg} \varphi_{STGd}$  визначається із діаграми допустимих режимів роботи СТГ, враховуючи фактичну

активну потужність енергоблоків (2).

Активна потужність, яку будуть виробляти СТГ, визначається так:

$$P_{\Sigma STG} = P_{\Sigma PS} - N_{ASTG} P_{STG}, \quad (4)$$

де  $P_{ASTG}$  — номінальна активна потужність одного АСТГ;  $N_{ASTG}$  — кількість АСТГ, яка необхідна для забезпечення допустимих режимів роботи СТГ і заданих рівнів напруг.

Реактивна потужність, яку будуть виробляти СТГ, є сумою дозволених мінімальних значень реактивних потужностей кожного окремого генератора, які визначаються згідно з діаграмою допустимих режимів роботи, а саме

$$Q_{\Sigma STG} = \sum_{i=1}^{N_{STG}} Q_{STGd_i}, \quad (5)$$

де  $Q_{STGd_i}$  — допустиме мінімальне значення реактивної потужності  $i$ -го СТГ;  $N_{STG}$  — кількість СТГ.

У випадку однотипних енергоблоків з СТГ рівняння (5) набуде такого вигляду:

$$Q_{\Sigma STG} = N_{STG} Q_{STGd} = N_{STG} P_{Uf} \operatorname{tg} \phi_{STGd}. \quad (6)$$

Також реактивну потужність, яку будуть виробляти СТГ, можна визначити так:

$$Q_{\Sigma STG} = Q_N - N_{ASTG} Q_{ASTG}, \quad (7)$$

де  $Q_N$  — максимальний надлишок реактивної потужності на шинах ЕС, який необхідно скомпенсувати для забезпечення заданих рівнів напруг;  $Q_{ASTG}$  — мінімальне допустиме значення величини реактивної потужності АСТГ за  $P_{ASTG} = P_{Uf}$  відповідно до діаграми допустимих режимів АСТГ.

Враховуючи, що  $N_{STG} = N - N_{ASTG}$  на підставі (6) і (7) та виконавши певні перетворення, отримуємо формулу для визначення мінімальної кількості АСТГ, які здатні забезпечити допустимі режими роботи СТГ і задані рівні напруг, а саме

$$N_{ASTG} = \frac{Q_N - N P_{Uf} \operatorname{tg} \phi_{STGd}}{Q_{ASTG} - P_{Uf} \operatorname{tg} \phi_{STGd}}. \quad (8)$$

Чисельник рівняння (8) є перевищенням реактивного навантаження ЕС над регульовальними можливостями СТГ, а знаменник — перевищенням маневреності АСТГ над СТГ за реактивною потужністю. З урахуванням цього (8) можна записати у вигляді

$$N_{ASTG} = \frac{\Delta Q_N}{\Delta Q_{ASTG}}, \quad (9)$$

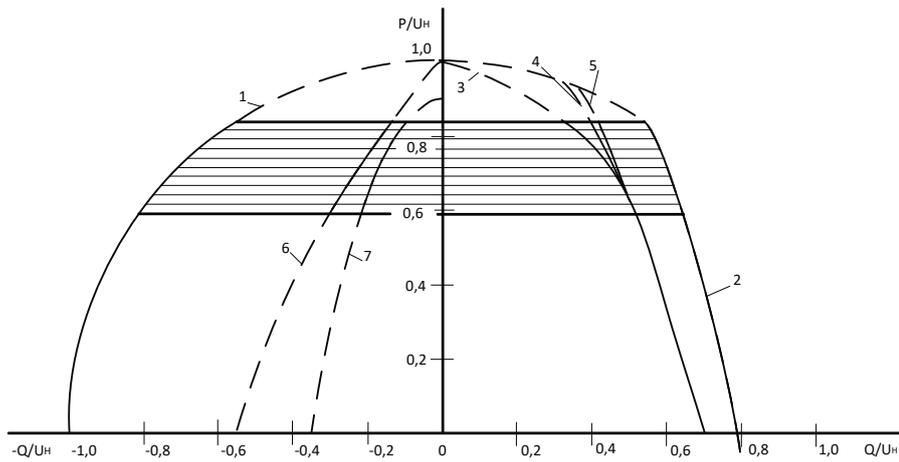
де  $\Delta Q_N$  — перевищення надлишку реактивної потужності на шинах електростанції над регульовальними можливостями СТГ;  $\Delta Q_{ASTG}$  — перевищення величини споживання реактивної потужності АСТГ у порівнянні з СТГ.

Отримане в (8) значення заокруглюємо в більшу сторону і отримуємо кількість АСТГ, які доцільно встановити для забезпечення заданих рівнів напруг у всіх режимах роботи ЕС.

### Приклад розрахунку

Для прикладу проведено розрахунок кількості АСТГ для встановлення на проєктованій ЕС потужністю 1400 МВт з блоками  $7 \times 200$  МВт. В період літнього мінімуму навантажень ця ЕС повинна генерувати 1140 МВт активної потужності та споживати 400 Мвар реактивної потужності для забезпечення заданого рівня напруг на системах шин.

Діаграми потужностей турбогенераторів ТГВ-200М та АСТГ-200, які плануються встановлювати на ЕС, показано на рисунку. Крива 1 на рис. 1 відповідає обмеженню генераторів за струмом статора; крива 2 — обмеженню за струмом ротора ТГВ-200М; криві 3, 4, 5 — обмеженням за струмом ротора АСТГ-200 за різних ковзань; крива 6 — обмеженню за стійкістю ТГВ-200М; крива 7 — обмеженню за нагрівом торцевих зон ТГВ-200М.



Діаграма допустимих режимів роботи ТГВ-200М і АСТГ-200-2У3

Послідовність визначення кількості АСТГ для встановлення на ЕС така:

1. Відповідно до (1) визначаємо кількість енергоблоків, яка повинна бути в роботі для генерування встановленої активної потужності ЕС

$$N \geq \frac{P_{\Sigma PS}}{P_{U_{nom}}} \geq \frac{1140}{200} = 5,7 \approx 6.$$

2. Визначаємо фактичну потужність кожного з енергоблоків, що працюють, для такого режиму роботи ЕС:

$$P_{Uf} = \frac{P_{\Sigma PS}}{N} = \frac{1140}{6} = 190 \text{ МВт.}$$

3. З діаграми потужності ТГВ-200М для  $P_{Uf}$ , враховуючи обмеження за нагрівом торцевих зон, визначаємо  $\text{tg}\phi_{STGd} = -0,105$ .

4. З діаграми потужності АСТГ-200 для  $P_{Uf}$  визначаємо  $Q_{ASTG} = -120$  Мвар.

5. Відповідно до (8) знаходимо

$$N_{ASTG} = \frac{Q_N - NP_{Uf} \cdot \text{tg}\phi_{STGd}}{Q_{ASTG} - P_{Uf} \cdot \text{tg}\phi_{STGd}} = \frac{-400 - 6 \cdot 190 \cdot (-0,105)}{-120 - 190 \cdot (-0,105)} = 2,802 \approx 3.$$

За результатами розрахунку на проєктованій ЕС доцільно встановити 3 турбогенератори типу АСТГ-200 та 4 турбогенератори ТГВ-200М для забезпечення заданих рівнів напруг у всіх режимах її роботи.

### Висновки

Розроблено методику розрахунку кількості АСТГ, які необхідно встановити на ЕС з надлишками реактивної потужності, що перевищують регульовальні можливості СТГ, для забезпечення на шинах заданих рівнів напруги. Визначальними чинниками є величина очікуваного максимального некомпенсованого надлишку реактивної потужності на шинах ЕС та регульовальні спроможності СТГ і АСТГ в режимах споживання.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Д. В. Бородин, «Проблеми якості електроенергії в мережах 330-750 кВ ДП НЕК «Укренерго»,» *Світлотехніка та електроенергетика*, № 2, с. 79-81, 2008.
- [2] В. А. Чевичелов, «До проблем регулювання реактивної потужності в електричних мережах ОЕС України»,» *Гидроенергетика України*, № 1, с. 29, 2005.
- [3] В. А. Чевичелов, «Властивості електроенергетичних систем з асинхронізованими синхронними турбогенераторами»,» *Енергетика і Електрифікація*, № 1, с. 43-46, 1990.
- [4] С. Н. Макаровський, і З. Г. Хвошинська, «Техніко-економічний аспект застосування асинхронізованих турбогенераторів»,» *Електричні станції*. № 2, с. 52-58, 2002.

[5] М. С. Сегеда, В. П. Олексин, і А. В. Олексин, «Техніко-економічні аспекти застосування на ТЕС АСТГ,» *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 3, с. 71-75, 2013.

Рекомендована оргкомітетом міжнародної науково-технічної конференції  
«Оптимальне керування електроустановками (ОКЕУ-2025)»

Стаття надійшла до редакції 20.01.2026

**Сегеда Михайло Станкович** — д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри електроенергетики та систем управління, e-mail: sseheda@gmail.com ;

**Олексин Андрій Васильович** — канд. техн. наук, асистент кафедри електроенергетики та систем управління, e-mail: andrii.v.oleksyn@lpnu.ua ;

**Сабан Олеся Василівна** — старший викладач кафедри прикладної лінгвістики, e-mail: olesia.v.saban@lpnu.ua.  
Національний університет «Львівська політехніка», Львів

**M. S. Sehedá<sup>1</sup>**  
**A. V. Oleksyn<sup>1</sup>**  
**O. V. Saban<sup>1</sup>**

## **Voltage Regulation in Power Systems Using Asynchronized Turbo Generators of Power Plants and Optimization of their Quantity Selection**

<sup>1</sup>Lviv Polytechnic National University

*The study examines the selection of the number of asynchronized turbo generators (ASTGs) required for installation at power plants during construction or reconstruction to compensate for excess reactive power exceeding the regulatory capabilities of synchronous turbo generators (STGs) to ensure the specified voltage levels. Compared with STGs, ASTGs have significantly superior regulatory capabilities under reactive power consumption modes. They are capable of maintaining specified voltage levels at the power system (PS) buses under minimum load conditions of the electric power system (EPS). At the same time, ASTGs are more complex in design than STGs and, consequently, more expensive. Therefore, it is not advisable to install only ASTGs in power systems. Their quantity must ensure the consumption of excess reactive power in the network and maintain the specified voltage levels at the distribution devices (DD) of the thermal power plants (TPP) in all operating modes. The input data for the calculations are the power profiles of the PS during the winter peak and summer minimum load periods as well as the manufacturer's diagrams of permissible operating conditions for various generator types. The developed methodology provides a detailed description of the procedure for determining the minimum number of ASTGs required for installation in power systems experiencing operating conditions with excess reactive power. The magnitude of the expected maximum of uncompensated excess of the reactive power at the PS buses and the regulatory capabilities of STG and ASTG in reactive power consumption modes are the key factors. An example of the calculation of the optimal number of ASTGs of the ASTG-200 type for installation in a power system with a rated capacity of 1400 MW and power units with a nominal capacity of 200 MW is provided. Based on the calculation results, it is advisable to install 3 turbo generators of the ASTG-200 type and 4 turbo generators of the TGV-200M type in the designed power system to maintain the specified voltage levels in all operating modes.*

**Keywords:** ASTG quantity selection, excess reactive power, regulatory capabilities of STGs and ASTGs, voltage regulation, methodology, generators.

**Sehedá Mykhailo S.** — Dr Sc. (Eng.), Professor, Head of the Chair of Electric Power Engineering and Control Systems, e-mail: msseheda@gmail.com ;

**Oleksyn Andrii V.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant of the Chair of Electric Power Engineering and Control Systems, e-mail: andrii.v.oleksyn@lpnu.ua ;

**Saban Olesya V.** — Senior Lecturer of the Chair of Applied Linguistics, e-mail: olesia.v.saban@lpnu.ua