

Технічні науки

УДК 620.9

Сігал Олександр Ісакович

*кандидат технічних наук,
завідувач лабораторії теплофізичних процесів у котлах
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Sigal Oleksandr

*Candidate of Technical Sciences,
Head of the Laboratory of Thermophysical Processes in Boilers
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine*

Бикоріз Євген Йосипович

*науковий співробітник лабораторії теплофізичних процесів у котлах
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Bykoriz Evgen

*Researcher at the Laboratory of Thermophysical Processes in Boilers
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine*

Фіалко Наталія Михайлівна

*доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України, завідувач відділу
Інститут технічної теплофізики НАН України*

Fialko Nataliia

*Doctor of Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Head of the Department
Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine*

Плашихін Сергій Володимирович

кандидат технічних наук,

доцент кафедри технічних та програмних засобів автоматизації

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Plashykhin Serhii

Candidate of Technical Sciences,

Associate Professor of the Department of Automation Hardware and Software

National Technical University of Ukraine

«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Падерно Дмитро Юрійович

кандидат фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник

лабораторії теплофізичних процесів у котлах

Інститут технічної теплофізики НАН України

Paderno Dmytro

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher at the

Laboratory of Thermophysical Processes in Boilers

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

Меранова Наталія Олегівна

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

провідний науковий співробітник

Інститут технічної теплофізики НАН України

Meranova Nataliia

Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Leading Researcher

Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine

DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2026-9-12155>

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ РОЗПОДІЛЕНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ І КОГЕНЕРАЦІЇ CURRENT STATE AND DEVELOPMENT TRENDS OF DISTRIBUTED GENERATION AND COGENERATION

Анотація. В роботі розглянуто концептуальні поняття розподіленої генерації. Висвітлено особливості застосування когенераційних технологій в системах централізованого і децентралізованого теплопостачання. Наведено дані щодо динаміки розвитку розподіленої генерації в Україні протягом останніх років. Представлено короткий огляд зарубіжного досвіду впровадження розподіленої генерації і когенерації.

Ключові слова: розподілена генерація, когенерація, розміщення об'єктів генерації.

Summary. This paper examines the conceptual aspects of distributed generation. It highlights the specific features of applying cogeneration technologies in centralized and decentralized heat supply systems. Data on the development trends of distributed generation in Ukraine over recent years are presented, along with a brief overview of international experience in implementing distributed generation and cogeneration.

Key words: distributed generation, cogeneration, siting of generation facilities, decentralized energy systems.

Концептуальні поняття розподіленої генерації

Розподілена генерація (РГ) — поняття, що охоплює широкий клас технологій виробництва електричної та теплової енергії безпосередньо поблизу споживача, з одиничними потужностями, як правило, від кількох кіловат до 10–50 МВт. На відміну від централізованої генерації з передаванням енергії на великі відстані, РГ дозволяє знизити втрати в

мережах, підвищити надійність енергопостачання і гнучко реагувати на локальні коливання попиту.

Відповідно до класифікації IEEE Std 1547 [1] та CIGRE [2], об'єкти РГ поділяються за типом первинного енергоресурсу (природний газ, дизельне паливо, біогаз, сонячна, вітрова, геотермальна енергія тощо), за технологією перетворення, а також за типом підключення до мережі (острівний режим, паралельна робота).

Газотурбінна установка визначається як керована (диспетчеризована) електроустановка, здатна забезпечувати гарантовану видачу потужності за командою оператора, з широким діапазоном регулювання (близько 60% встановленої потужності) і виходом на номінальну потужність протягом 15 хвилин з «холодного» старту; строк її будівництва та введення в експлуатацію не перевищує одного року. Електричний коефіцієнт корисної дії класичних ГТУ відкритого циклу сягає 40%, а установок комбінованого циклу — до 60%, тоді як застосування когенерації дає змогу підвищити загальний ККД такої установки до 90% [3].

Газопоршнева установка має подібні характеристики, однак у модульному виконанні забезпечує ширший діапазон регулювання (до 90% номінальної потужності), швидший вихід на номінальний режим (до 5 хвилин) та вищий електричний ККД (до 50%) [3]. Когенераційна установка визначається законодавством як електроустановка, призначена для комбінованого виробництва електричної та теплової енергії, яка є керованою, економічною, сталою у довгостроковій перспективі, швидкою у будівництві та введенні в експлуатацію та гарантовано може брати участь у покритті графіка навантаження [3].

Паливні елементи (ПЕ) типів PEMFC, SOFC та MCFC забезпечують найвищий електричний ккд серед технологій малої когенерації — 40–60% (і понад 85% при урахуванні тепловиділення), однак їх вартість залишається

значно вищою, а терміни окупності — довшими [4, 5]. Перспективним є застосування SOFC на біогазі та синтез-газі [6].

Сонячні фотовольтаїчні системи (ФВ) у поєднанні з системами накопичення (BESS) становлять зростаючий сегмент РГ, особливо для промислових підприємств і торговельно-офісних об'єктів [7]. Теплові сонячні колектори застосовуються для гарячого водопостачання та підігріву мережевої води.

Теплові насоси (ТН) — повітряні, ґрунтові та водяні — знаходять все ширше застосування для опалення та ГВП, особливо в умовах електроенергетичної мережі з високою часткою відновлюваних джерел [8].

Системи комбінованого виробництва теплоти, холоду та електроенергії (CCHP — Combined Cooling, Heating and Power) є найбільш ефективним форматом використання первинного паливного ресурсу і знаходять впровадження в лікарнях, готелях, торгових центрах [9].

Когенерація в системах централізованого та децентралізованого теплопостачання

Когенерація, або комбіноване виробництво тепла та електроенергії (КВТЕ), є технологією з найвищим рівнем використання первинного паливного ресурсу серед усіх традиційних теплоенергетичних технологій. Коефіцієнт використання палива при когенерації досягає 80–92% порівняно з 30–40% при роздільному виробництві тепла та електроенергії на окремих установках.

Відповідно до методології ЄС [10], ефективна когенерація визначається як така, що забезпечує економію первинної енергії (PES — Primary Energy Saving) не менше 10% порівняно з роздільним виробництвом. Показник *PEE* (Primary Energy Efficiency) для когенераційної установки розраховується за формулою:

$$PEE = (E + H) / (F \times \eta_{ref}), \quad (1)$$

де E — вироблена електроенергія, ГДж; H — вироблена теплова енергія, ГДж; F — витрата палива, ГДж; η_{ref} — контрольний рівень ефективності відповідно до Директиви 2012/27/ЄС.

Системи централізованого теплопостачання (СЦТ), що є переважаючою формою міського теплопостачання в Україні (частка централізованого теплопостачання у великих містах — 60–85%), традиційно ґрунтуються на великих ТЕЦ і котельнях. Водночас децентралізація з використанням малих КМ-ГПА є перспективним напрямком у тих районах, де щільність теплового навантаження знижується до рівнів, що роблять нерентабельним утримання розгалуженої мережі [11].

Динаміка нарощення потужностей розподіленої генерації в Україні

Кількісна динаміка розвитку розподіленої генерації в Україні протягом 2024–2026 років демонструє прискорене нарощення потужностей, хоча й з відставанням фактично працюючих об'єктів від номінально поставлених. За узагальненими даними Міністерства розвитку громад та територій, станом на початок 2026 року в комунальному секторі введено в експлуатацію понад 570 МВт нових децентралізованих потужностей, з яких понад 360 МВт припадає на блочно-модульні котельні (здатні забезпечити теплом близько 200 тисяч українців) і понад 200 МВт — на когенерацію [12].

Міжнародні донори загалом підтвердили постачання в Україну 568 когенераційних установок сумарною потужністю 973,7 МВт електроенергії, 364 блочно-модульних котелень потужністю 756,2 МВт тепла та 28 газотурбінних установок потужністю 233,7 МВт електроенергії [12]. Значна частина цього обладнання вже змонтована, підключена або перебуває на фінальній стадії запуску, водночас частина, за оцінками незалежних експертів галузі, залишається невведеною в експлуатацію.

Планові показники на 2026 рік передбачають введення ще понад 500 МВт нових децентралізованих потужностей мають остаточно закріпити перехід України до стійкої та диверсифікованої енергосистеми. Порівняння планових і фактично введених показників за попередні періоди дозволяє прогнозувати, що ключовим фактором виконання цього плану буде не стільки постачання нового обладнання, скільки прискорення введення в експлуатацію вже наявного (табл. 1.)

Огляд зарубіжного досвіду впровадження РГ і когенерації

Країни Центральної та Східної Європи — Польща, Чехія, Словаччина, країни Балтії — мають цінний досвід трансформації радянських систем централізованого теплопостачання у напрямку підвищення ефективності та децентралізації [13]. Польська стратегія «когенерація плюс» передбачає надання преміальних аукціонних цін для малих когенераційних систем потужністю до 1 МВт·ел. [14].

Таблиця 1

Показники введення енергогенеруючих потужностей на початок 2026 р.

Показник	Значення станом на початок 2026 р.
Введено в експлуатацію децентралізованих потужностей у комунальному секторі	понад 570 МВт
у т.ч. блочно-модульні котельні	понад 360 МВт (тепло для ≈200 тис. осіб)
у т.ч. когенерація	понад 200 МВт
Постачання донорами когенераційних установок (КГУ)	568 од. / 973,7 МВт е/е
Постачання донорами блочно-модульних котелень	364 од. / 756,2 МВт тепла
Постачання донорами газотурбінних установок (ГТУ)	28 од. / 233,7 МВт е/е
Заплановане введення нових потужностей у 2026р.	понад 500 МВт
Фактично працююча частка поставлених КГУ (експертна оцінка)	≈ 40–50 %

Данія є світовим лідером за часткою когенерації в теплопостачанні (понад 60% тепла виробляється на когенераційних установках) [15]. Датська модель поєднує великі ТЕЦ, районні малі когенераційні станції та тепловіддачу від промисловості. Нідерланди демонструють найвищу в ЄС ефективність когенерації у промисловому секторі [16].

Досвід Фінляндії свідчить про успішну інтеграцію теплових насосів у системи централізованого теплопостачання (великих ТН потужністю 50–100 МВт) поруч із когенерацією [117]. Це дозволило суттєво знизити викиди CO₂ без відмови від централізованих мереж. У США розвиток РГ стимулюється програмами ЕРА СНР Partnership та рядом штатових регуляторних ініціатив [18]. Особливо активно когенерація розвивається в секторі університетських кампусів, лікарень і промислових парків, де забезпечується стабільний базовий тепловий попит.

Висновок. Отже виконаний аналіз свідчить, що розвиток розподіленої генерації в Україні протягом останніх років демонструє прискорення нарощування потужностей та широке впровадження когенераційних технологій. Відповідний цінний досвід мають також країни Центральної та Східної Європи, Балтії та ін.

Література

1. IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces : IEEE Std 1547-2018. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2018.8332112>
2. Distributed Energy Resources in Active Distribution Networks : Reference: GB 19-2026. URL: <https://www.e-cigre.org/publications/detail/gb-19-distributed-energy-resources-in-active-distribution-networks.html> (дата звернення: 05.09.2026).

3. Polyzakis A. L., Koroneos C., Xydis G. Optimum gas turbine cycle for combined cycle power plant. *Energy Conversion and Management*. 2008. Vol. 49, No. 4. P. 551–563. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.08.002>
4. Qasem N. A. A., Abdulrahman G. A. Q. A recent comprehensive review of fuel cells: History, types, and applications. *International Journal of Energy Research*. 2024. Art. 7271748. 36 p. DOI: <https://doi.org/10.1155/2024/7271748>
5. Arsalis A. A comprehensive review of fuel cell-based micro-combined-heat-and-power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019. Vol. 105. P. 391–414. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.013>
6. Saadabadi S. A., Thattai A. T., Fan L., Lindeboom R. E. F., Spanjers H., Aravind P. V. Solid oxide fuel cells fuelled with biogas: Potential and constraints. *Renewable Energy*. 2019. Vol. 134. P. 194–214. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.028>
7. Li B., Liu Z., Wu Y., Wang P., Liu R., Zhang L. Review on photovoltaic with battery energy storage system for power supply to buildings: Challenges and opportunities. *Journal of Energy Storage*. 2023. Vol. 61. Art. 106763. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.106763>
8. Jarre M., Noussan M., Simonetti M. Primary energy consumption of heat pumps in high renewable share electricity mixes. *Energy Conversion and Management*. 2018. Vol. 171. P. 1339–1351. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.067>
9. Wu D. W., Wang R. Z. Combined cooling, heating and power: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2006. Vol. 32, No. 5–6. P. 459–495. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2006.02.001>
10. Frangopoulos C. A. A method to determine the power to heat ratio, the cogenerated electricity and the primary energy savings of cogeneration systems after the European Directive. *Energy*. 2012. Vol. 45, No. 1. P. 52–61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.12.044>

11. Fialko N. M., Tymchenko N. P., Sherenkovskiy J. V. Fourth generation of district heating and centralized heating supply systems of Ukraine. In: Blikharsky Z., Koszelnik P., Mesaros P. (eds.). *Proceedings of CEE 2019. CEE 2019. Lecture Notes in Civil Engineering*. Cham : Springer, 2020. Vol. 47. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-27011-7_10

12. Розподілена генерація в Україні: як децентралізовані рішення допомагають тримати тепло та водопостачання в умовах війни. URL: <https://mininfra.gov.ua/news/rozpodilena-heneratsiia-v-ukraini-iak-detsentralizovani-rishennia-dopomahaiut-trymaty-teplo-ta-vodopostachannia-v-umovakh-viiny> (дата звернення: 05.09.2026).

13. Mrkic-Bosancic M., Gvero P., Ibrulj J., Husika A., Vasković S. Comparative of the district heating system of countries in transition. *Quality Fest*. Jahorina, RS, B&H, 26–28 October 2017. University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, 2017.

14. Zamasz K., Kapłan R., Kaszyński P., Saługa P. W. An analysis of support mechanisms for new CHPs: The case of Poland. *Energies*. 2020. Vol. 13, No. 21. Art. 5635. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13215635>

15. Johansen K., Werner S. Something is sustainable in the state of Denmark: A review of the Danish district heating sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2022. Vol. 158. Art. 112117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112117>

16. Hendriks C., Blok K. Regulation for combined heat and power in the European Union. *Energy Conversion and Management*. 1996. Vol. 37, No. 6–8. P. 729–734. DOI: [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(95\)00247-2](https://doi.org/10.1016/0196-8904(95)00247-2)

17. Kontu K., Rinne S., Junnila S. Introducing modern heat pumps to existing district heating systems – Global lessons from viable decarbonizing of district heating in Finland. *Energy*. 2019. Vol. 166. P. 862–870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.10.077>

18. Kalam A., King A., Moret E. et al. Combined heat and power systems: Economic and policy barriers to growth. *Chemistry Central Journal*. 2012. Vol. 6, Suppl. 1. Art. S3. DOI: <https://doi.org/10.1186/1752-153X-6-S1-S3>