

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ УМОВИ ЗАСТОСУВАННЯ МАЛИХ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК У ЛОКАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

¹Вінницький Національний Технічний Університет

Анотація

У роботі розглянуто експлуатаційні умови застосування малих газотурбінних установок у локальних енергетичних системах. Обґрунтовано актуальність використання малих ГТУ в умовах зростання ризиків порушення централізованого електропостачання, пошкодження енергетичної інфраструктури та необхідності забезпечення живлення критичних споживачів. Визначено основні режими роботи малих газотурбінних установок: паралельна робота з мережею, резервний, автономний та острівний режими. Проаналізовано основні технічні й режимні обмеження експлуатації ГТУ, зокрема вимоги до паливного забезпечення, якості палива, вибору потужності, роботи при змінному навантаженні, синхронізації з мережею, автоматики та релейного захисту. Показано, що мала газотурбінна установка має розглядатися не лише як резервне джерело електроенергії, а як функціональний елемент локальної енергетичної системи, здатний підвищувати автономність, надійність і живучість електропостачання.

Ключові слова: газотурбінна установка, локальна енергетична система, розосереджене генерування, енергоострів, автономний режим, надійність електропостачання, критичні споживачі.

Abstract

The paper considers the operating conditions for the application of small gas turbine units in local energy systems. The relevance of using small gas turbine units is substantiated under conditions of increased risks of centralized power supply disruption, damage to energy infrastructure, and the need to supply critical consumers. The main operating modes of small gas turbine units are identified: parallel operation with the grid, standby mode, autonomous mode, and island mode. The main technical and operational limitations of gas turbine units are analyzed, including fuel supply requirements, fuel quality, power selection, operation under variable load, grid synchronization, automation, and relay protection. It is shown that a small gas turbine unit should be considered not only as a backup power source, but also as a functional element of a local energy system capable of increasing the autonomy, reliability, and resilience of power supply.

Keywords: gas turbine unit, local energy system, distributed generation, energy island, autonomous mode, power supply reliability, critical consumers.

Вступ

Актуальність роботи. У сучасних умовах енергетична система України функціонує в режимі підвищених ризиків, пов'язаних із пошкодженням електростанцій, підстанцій, автотрансформаторів, магістральних і розподільчих ліній електропередачі. Централізована структура Об'єднаної енергетичної системи забезпечує ефективне керування в нормальних режимах, однак у разі пошкодження ключових елементів виникає дефіцит потужності, ускладнюється балансування, знижується маневровість та зростає ймовірність перерв електропостачання [1–3].

Особливо критичними такі порушення є для лікарень, водоканалів, котелень, промислових підприємств, об'єктів зв'язку, систем безпеки та інших споживачів, робота яких потребує

безперервного живлення [2, 3]. У таких умовах важливого значення набуває розвиток локальних енергетичних систем із власними джерелами розосередженого генерування [1, 3].

Одним із перспективних технічних рішень є застосування малих газотурбінних установок [4]. Вони можуть використовуватися як резервні, автономні або основні джерела живлення в локальних енергетичних системах, а також працювати у складі енергоостровів [3, 4]. На відміну від традиційного резервного джерела, мала ГТУ повинна не лише забезпечити подачу електроенергії, а й підтримувати допустимі параметри напруги, частоти, потужності та якості електроенергії в умовах змінного навантаження.

Метою роботи є визначення основних експлуатаційних умов застосування малих газотурбінних установок у локальних енергетичних системах для підвищення надійності та живучості електропостачання критичних споживачів.

Об'єктом дослідження є локальні енергетичні системи з джерелами розосередженого генерування.

Предметом дослідження є режими роботи та експлуатаційні умови застосування малих газотурбінних установок у локальних енергетичних системах.

Результати дослідження

Мала газотурбінна установка є джерелом локального електропостачання, принцип роботи якого базується на стисненні атмосферного повітря, спалюванні палива в камері згоряння, розширенні гарячих газів у турбіні та перетворенні механічної енергії обертання в електричну енергію за допомогою генератора. Частина енергії турбіни витрачається на привід компресора, а корисна частина передається електричному генератору [4].

У локальній енергетичній системі мала ГТУ може працювати в кількох режимах. У паралельному режимі установка працює одночасно із зовнішньою електричною мережею та покриває частину локального навантаження. Це дозволяє зменшити відбір потужності з мережі, розвантажити зовнішнє живлення та підвищити стійкість електропостачання об'єкта [3, 4].

Основні експлуатаційні умови застосування малих ГТУ в локальних енергетичних системах узагальнено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Експлуатаційні умови застосування малих ГТУ в локальних енергетичних системах

Експлуатаційна умова	Технічне значення	Можливий ризик при неврахуванні	Необхідне рішення
Паливне забезпечення	ГТУ потребує стабільного постачання природного газу або іншого палива	Неможливість пуску, зупинка установки, обмеження автономної роботи	Резервування паливопостачання, контроль запасу та тиску палива
Якість палива	Робота установки залежить від складу, теплоти згоряння, чистоти й тиску палива	Нестабільне горіння, зниження потужності, прискорений знос камери згоряння і турбіни	Фільтрація, контроль параметрів палива, дотримання вимог виробника
Вибір потужності установки	Потужність ГТУ має відповідати не лише максимуму, а й характеру добового навантаження	Робота на неповному навантаженні, зниження ККД, збільшення питомої витрати палива	Вибір потужності за критичним або базовим навантаженням, модульне компонування

Продовження таблиці 1

Змінність навантаження	У локальній системі навантаження може швидко змінюватися протягом доби	Просідання частоти й напруги, перевантаження генератора	Автоматичне керування навантаженням, пріоритетність споживачів
Температура зовнішнього повітря	При зростанні температури зменшується густина повітря на вході компресора	Зменшення доступної потужності установки в спекотний період	Урахування температурного зниження потужності, вентиляція та охолодження
Острівний режим	ГТУ повинна самостійно підтримувати баланс потужності, частоту і напругу	Порушення якості електроенергії, аварійне відключення навантажень	Система автоматичного регулювання, АВР, РЗА, секціонування мережі
Синхронізація з мережею	Перед паралельною роботою потрібно узгодити напругу, частоту, фазу та чергування фаз	Ударні струми, пошкодження генератора, спрацювання захистів	Автоматичні синхронізатори, контроль параметрів мережі
Розміщення установки	ГТУ створює шум, тепловиділення та потребує відведення відпрацьованих газів	Обмеження експлуатації на території об'єкта	Шумозахист, вентиляція, димовідведення, дотримання норм безпеки

Дані таблиці 1 показують, що застосування малої газотурбінної установки в локальній енергетичній системі не може розглядатися лише як встановлення додаткового генератора. Ефективність і надійність її роботи визначаються комплексом умов: наявністю палива, правильним вибором потужності, здатністю працювати при змінному навантаженні, надійністю автоматики, можливістю синхронізації із зовнішньою мережею та готовністю до автономного або острівного режиму. Важливою експлуатаційною особливістю малих ГТУ є зниження ефективності при неповному навантаженні. Паспортні показники установки зазвичай відповідають режиму, близькому до номінального. Якщо ж установка тривалий час працює на значно меншій потужності, її ККД зменшується, а питома витрата палива зростає [4]. Для локальних енергетичних систем це має велике значення, оскільки навантаження об'єкта протягом доби може суттєво змінюватися.

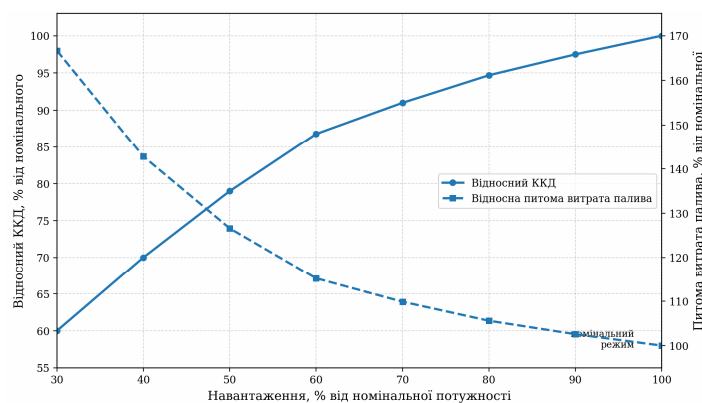


Рисунок 1 – Зміна ефективності малої газотурбінної установки залежно від рівня навантаження

З рисунка 1 видно, що раціональна експлуатація малої ГТУ потребує узгодження потужності установки з реальним графіком навантаження. Якщо установка вибрана лише за максимальним

піком, значну частину часу вона може працювати в неекономічному режимі [4]. Тому для локальних енергосистем доцільним є вибір потужності за критичним або тривалим базовим навантаженням, а для більших об'єктів застосування кількох менших модулів замість однієї установки завищеної потужності.

Окрему увагу необхідно приділяти роботі ГТУ в автономному та острівному режимах. У таких режимах зовнішня мережа не бере участі в підтриманні частоти й напруги, тому локальна система повинна самостійно забезпечувати баланс між виробництвом і споживанням електроенергії. При різкому збільшенні навантаження можливе зниження частоти та напруги, а при раптовому відключенні великого споживача їх перевищення. Для запобігання таким режимам необхідно передбачати автоматичне керування навантаженням, секціонування мережі, релейний захист, АВР і пріоритетне відключення некритичних електроприймачів.

Таким чином, експлуатаційні умови застосування малих ГТУ визначаються не лише технічними характеристиками самої установки, а й параметрами локальної енергетичної системи, структурою навантаження, станом зовнішньої мережі, якістю автоматики та вимогами до надійності електропостачання. Найбільший ефект такі установки дають для об'єктів, де необхідно забезпечити гарантоване живлення критичних споживачів у разі порушення роботи централізованої енергосистеми.

Висновки

Проведений аналіз показав, що малі газотурбінні установки є перспективним засобом підвищення надійності електропостачання в локальних енергетичних системах. Їх основними перевагами є швидкий пуск, компактність, можливість розміщення поблизу споживача, автономність і придатність до роботи в складі енергоостровів.

Встановлено, що ефективність застосування малих ГТУ залежить не лише від номінальної потужності установки, а від комплексу експлуатаційних умов. Найбільш важливими серед них є стабільне паливне забезпечення, якість палива, правильний вибір потужності, урахування змінного навантаження, впливу температури зовнішнього повітря, наявність систем синхронізації, релейного захисту, автоматики та АВР.

Показано, що в автономному й острівному режимах мала ГТУ повинна розглядатися як елемент локальної енергетичної системи, який забезпечує не тільки виробництво електроенергії, а й підтримання балансу потужності, частоти, напруги та живлення критичних споживачів. Тому застосування малих газотурбінних установок є доцільним для підвищення автономності, надійності та живучості електропостачання в умовах нестабільної роботи централізованої електричної мережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 р. № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/373-2023-%D1%80>.
2. Ukraine's Energy Security and the Coming Winter. Paris : International Energy Agency, 2024. URL: <https://www.iea.org/reports/ukraines-energy-security-and-the-coming-winter>.
3. Energy System Resilience. Paris : International Energy Agency, 2026. URL: <https://www.iea.org/reports/energy-system-resilience>.
4. Combined Heat and Power Technology Fact Sheet: Gas Turbines. U.S. Department of Energy, 2024. URL: <https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/resources/combined-heat-and-power-technology-fact-sheet-gas-turbines>.

Келип Антон Сергійович – студент групи ІЕС-22б, факультет електроенергетики та електромеханіки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, ел. пошта: kelyp.anton@gmail.com

Науковий керівник: **Кулик Володимир Володимирович** – д-р техн. наук, доцент, професор кафедри електричних станцій та систем, e-mail: volodymyrvkulyk@gmail.com ;

Kelyp Anton Serhiiovych – student of the IES-22b group, Faculty of Electrical Power Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kelyp.anton@gmail.com

Research supervisor: **Kulyk Volodymyr V.** – Dr. Sc. (Eng.), Associate Professor, Professor of the Chair of Power Stations and Systems, e-mail: volodymyrvkulyk@gmail.com