

УДК 621.165

Маляренко В.А., д.техн.н., професор<sup>1</sup>, Казарова І.О., к.техн.н., доц.<sup>2</sup>,  
Сенецький О.В., к.техн.н., с.н.с.<sup>3</sup>, Темнохуд О.О., аспірант<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет міського господарства ім. О.М.Бекетова,  
Україна

<sup>2</sup>Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

<sup>3</sup>Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ГАЗОПОРШНЕВИХ ТА ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ПРИ ПЕРЕВЕДЕННІ КОТЕЛЬНІ В РЕЖИМ КОГЕНЕРАЦІЇ

**Ключові слова:** газопоршневий двигун, газотурбінний двигун, когенерація, котельня

**Постановка проблеми.** Вибір типу двигуна, а також їх кількості для приводу електрогенераторів будь-якої потужності є складним техніко-економічним завданням. Переведення котельні в міні-ТЕЦ шляхом впровадження газопоршневих та газотурбінних двигунів дозволяє повністю відмовитися від зовнішнього електропостачання, але необхідно зважувати всі ризики, що виникають при цьому (аварійні ситуації, відсутність палива та ін.).

Принципові переваги та недоліки газопоршневих та газотурбінних установок неодноразово аналізувалися в технічній літературі [1–12], в рекламних проспектах виробників електростанцій, на сторінках Інтернету [1–12].

Метою цієї статті є визначення та порівняння характеристик та показників роботи газопоршневих та газотурбінних двигунів з урахуванням особливостей їх впровадження на котельнях.

**Виклад основного матеріалу.** На вибір типу та схеми енергоустановки, зокрема котельні, впливає велика кількість різних факторів, а саме: 1) технічна можливість установки обладнання (наявність і можливість використання тих чи інших, паливних ресурсів; особливості існуючої інфраструктури (нове будівництво або модернізація); надійність обладнання; великі періоди середніх і капітальних ремонтів; мінімальні витрати на техобслуговування і витратні матеріали; максимальне завантаження протягом року; 2) фінансово-економічна доцільність установки обладнання (мінімальний термін окупності капіталовкладень; отримання максимуму прибутку; оптимальні обсяги, джерела та способи фінансування (покупка, оренда, лізинг); 3) екологічні показники (кліматичне і географічне положення розглядуваного об'єкта; мінімум викидів шкідливих речовин; нешкідливість на експлуатаційний персонал; 4) експлуатаційні показники (проста процедура запуску і зупинки; легкість контролю основних показників установки); 5) організаційні питання (під час установки когенерації буде потрібно значне збільшення споживання палива (необхідно виділення лімітів); зв'язок між підрозділами, що беруть участь у розробленні та реалізації проекту). Спроби порівняти між собою в

якості приводу поршневі та газотурбінні двигуни найчастіше робляться за умови використання як палива природного газу. Зазвичай наводяться узагальнені відомості про різницю у витратах палива, у вартості двигунів без жодного врахування їх потужності та умов роботи. Часто відзначається, що склад споживачів встановленою електричною потужністю меншою 10 МВт переважніше формувати на базі поршневих двигунів, а більшої потужності – на базі газотурбінних. Приймати ці рекомендації як аксіому не слід. Очевидно одне: кожен тип двигуна має свої переваги та недоліки, і при виборі приводу потрібні деякі, хоча б орієнтовні, кількісні критерії їх оцінки [1–12].

В даний час на українському енергетичному ринку пропонується досить широка номенклатура як поршневих, так і газотурбінних двигунів. Обробка наявної інформації дозволила сформувати наведену нижче табл. 1, яка містить як кількісну, так і якісну оцінку переваг та недоліків ГПД і ГТУ. На жаль, частина характеристик взята з рекламних матеріалів, перевірити достовірність яких важко або практично неможливо.

Таблиця 1 – Порівняння основних показників поршневих і газотурбінних двигунів, що працюють у складі електростанцій

Показник	Тип двигуна	
	Поршневий	Газотурбінний
1	2	3
Діапазон одиничних потужностей двигуна (ISO), МВт	0,1...80,0	0,03...265,0
Вплив температури зовнішнього повітря на ККД двигуна	Практично не впливає	При зниженні температури до мінус 20 °С ККД збільшується приблизно на 1,5 % абс.
Вплив температури зовнішнього повітря на потужність двигуна	Практично не впливає	При зниженні температури до мінус 20 °С потужність збільшується приблизно на 10-20 %, при збільшенні до +30 °С – зменшується на 15–20 %.
Паливо	Газообразне, рідке	Газообразне, рідке (за спецзаказом)
Необхідний тиск паливного газу, МПа	0,01...0,035	Більше 1,2
ККД по виробництву електроенергії при роботі на газі (ISO)	От 31 до 48 %	В простому циклі від 25 до 38 %
Питома витрата палива при 100 % и 50 % навантаженні	0,264...0,329 м <sup>3</sup> /кВт·год.	0,375...0,503 м <sup>3</sup> /кВт·год.

Продовження таблиці 1

1	2	3
Вплив перемінного навантаження	Не бажана тривала робота на навантаженнях менш 50 % (сильно впливає на інтервали обслуговування); при меншій одиничній потужності агрегату, більш гнучка робота електростанції в цілому і вище надійність енергопостачання	Робота на часткових навантаженнях (менше 50 %) не впливає на стан турбіни; при високій одиничній потужності агрегату, відключення викликає втрату 30 ... 50 % потужності електростанції
Падіння напруги і час відновлення після 50 % набросу навантаження	22 % 8 с	40 % 38 с
Темп росту експлуатаційних витрат зі збільшенням терміну служби	Менш високий	Більш високий
Можливості використання утилізованої теплоти	<i>Високопотенційну теплоту</i> вихлопних газів - на виробництво пари для вироблення електроенергії <i>Низькопотенційну теплоту</i> , що відводиться від системи охолодження, - на нагрів води до температури 90–115 С	На виробництво пари для вироблення електроенергії, холоду, опріснення води тощо; на нагрів води до температури 150 С.
Моторесурс, годин	Більше (до 300 000 для середньо оборотних двигунів)	Менше (до 100 000)
Вплив температури зовнішнього повітря на кількість утилізованої теплоти	Практично не впливає	При зниженні температури повітря кількість теплоти при наявності регульованого лопаточного апарату у газовій турбіні майже не зменшується, при його відсутності – зменшується
Маса енергоблоку (двигун з електрогенератором і допоміжним обладнанням), кг/кВт	Суттєво вище (22,5)	Суттєво нижче (10,0)

1	2	3
Габарити енергоблоку, м	Більше (18,3x5,0x5,9 при одиничній потужності агрегату 16 МВт без системи охолодження)	Менше (19,9x5,2x3,8 при одиничній потужності агрегату 25 МВт)
Питома витрата масла, г/кВтгод	0,3...0,4	0,05
Кількість пусків	Не обмежено і не впливає на скорочення моторесурсу	Не обмежено, але впливає на скорочення моторесурсу
Вартість капремонту	Дешевше	Дорожче
Екологія (шкідливі викиди у вихлопі)	Концентрація вище (в мг/м <sup>3</sup> ), але загальний об'єм вихлопу (в м <sup>3</sup> ) менше	Концентрація менше (в мг/м <sup>3</sup> ), але загальний об'єм вихлопу (в м <sup>3</sup> ) більше
Обслуговування	Зупинка після кожних 1000 год роботи, заміна мастила; кап. ремонт через 70000 год, виконується на місці встановлення	Зупинка після кожних 2000 год (дані фірми Solar); кап. ремонт через 30000 год, виконується на спеціальному заводі
Розміщення в будівлі	Вимагає більше місця, тому що має більшу вагу на одиницю потужності; не вимагає компресора для дотискування газу, робочий тиск газу на вході – 0,1...0,35 бар	При потужності електростанції більш 5 МВт вигравш від меншого розміру приміщення не значний; мінімальний робочий тиск газу на вході – 12 бар, потрібно газ високого тиску, або дотискний компресор
Ремонтопридатність	Ремонт проводиться на місці; ремонт вимагає менше часу	Ремонт проводиться на спеціальних заводах; витрати часу і грошей на транспортування, центрування тощо

В табл. 1 наведені узагальнені дані, деякі з них подані у відповідності зі стандартами ISO, фактичні ж умови роботи двигунів можуть істотно відрізнятись від стандартних.

Порівняння ГТУ і ГПД в складі міні-ТЕЦ показує, що установка газових турбін можлива на об'єктах, які мають електричні навантаження більше 14–15 МВт, але через високий витрати газу турбіни рекомендуються для електростанцій набагато більшої потужності (від 50 МВт) зі стаціонарним електричним та тепловим навантаженням.

Для багатьох сучасних електрогенеруючих установок 200 тис. мотогодин експлуатації не є критичною величиною.

Якісні газопоршневі установки сьогодні так само успішно долають 200 тис. мотогодин експлуатації. Дотримання графіка планового технічного обслуговування і поетапної заміни частин генеруючого обладнання, схильних до зносу (підшипники, інжектори, різне допоміжне обладнання) робить подальшу експлуатацію установок економічно доцільною [1-12].

Одним з критеріїв вибору виробника ГТУ або ГПД (українського або закордонного) є вартість обслуговування в процесі експлуатації.

### **Висновок**

Проведено порівняльний аналіз характеристик електрогенеруючих установок на базі ГПД та ГТУ. За результатами виявлено, що діапазон потужності поршневих двигунів від 10 кВт до 6 МВт, а у газотурбінних установок від 100 кВт до 265 МВт. Поршневі двигуни більш ефективно працюють їх ККД становить до 48 %, а газотурбінних установок до 38 %. Поршневі двигуни більш ефективно працюють на часткових режимах навантаження. Перевагою поршневих двигунів є можливість ремонту на місці. Для котелен ЖКГ важливим фактором при виборі електрогенеруючих установок служить ступінь завантаженості протягом року. З огляду манерності та виходячи з наведених порівняльних характеристик більш доцільним буде обрати для реалізації на об'єктах комунальної енергетики ГПД [1–8].

### **Література**

1. Малярєнко В.А., Шубєнко О.Л., Андрєєв С.Ю., Бабак М.Ю., Сенєцький О.В., Когенєраційні технології в малій енергетиці : монографія // Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бєкетова, Ін-т проблем машинобуд. ім. А.М. Підгорного. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бєкетова, 2018. – 454 с.
2. Казарова І.О. Підвищення ефективності систем енергопостачання за рахунок впровадження когенєрації: дис. канд. техн. наук : 05.14.06 / Казарова Інна Олександрівна – Харків, 2017. – 194 с.
3. Казарова І.О. Підвищення ефективності систем енергопостачання за рахунок впровадження когенєрації: авторєф. дис. на здобуття наук. ступєня канд. техн. наук : спец. 05.14.06 "Тєхнічна тєплофізика та промислова тєплоенєрgetика" / І.О. Казарова. – Харків, 2018. – 24 с.
4. Шубєнко А.Л., Малярєнко В.А., Сенєцький А.В., Бабак Н.Ю., Темнохуд І.А. (Казарова І.О.), Сравнительный анализ характеристик поршневых и газотурбинных двигателей // Инновации в сельском хозяйстве. – М, 2016. – №4. – С. 347–352. ISSN 2304-4926
5. Андрєєв С.Ю., Малярєнко В.А., Темнохуд І.О. (Казарова І.О.), Сенєцький О.В. Можливості підвищення енергоєфективності тєлових мереж шляхом впровадження когенєрації // Енергетичні та тєплотєхнічні процеси й устаткування. Вісник НТУ «ХП»: Зб. наук. праць. Харків: НТУ «ХП», 2015. № 17(1126). С. 147-155. ISSN 2078-774X.

6. Губич А. Применение газотурбинных двигателей малой мощности в энергетике // Газотурбинные технологии, 2001. № 6. С. 30–31.

7. Буров В.Д. Газотурбинные и газопоршневые энергетические установки малой мощности // Горный журнал, 2004. специальный выпуск. С. 87–89.

8. Что лучше, надежнее, экономичнее для автономной электростанции: газопоршневые или газотурбинные силовые агрегаты? [Электронный ресурс] // Новая Генерация. [http://www.manbw.ru/analytics/which\\_is\\_better\\_gas\\_piston\\_or\\_gas\\_turbine\\_power\\_units.html](http://www.manbw.ru/analytics/which_is_better_gas_piston_or_gas_turbine_power_units.html)

9. Van der Waals J.D. On the Continuity of the Gaseous and Liquid States // New York: Dover, 2004. 320 p. ISBN 0486495930.

10. Soave G. Equilibrium Constants from a Modified Redlich-Kwong Equation of State // Chemical Engineering Science, 1972. № 27. PP. 1197–1203.

11. Heidemann R.A., Prausnitz J.M. A Van der Waals-type equation of state for fluids with associating molecules // Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1976. Vol. 73. № 6. PP. 1773–1776.

12. Garland C.W., Nibler J.W., Shoe-maker D.P. Experiments in Physical Chemistry. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2009. 100 p.

#### Bibliography (transliterated)

1. Maliarenko V.A., Shubenko O.L., Andrieiev S.Yu., Babak M.Yu., Senetskyi O.V., Koheneratsiini tekhnolohii v malii enerhetytsi : monohrafiia [Cogeneration Technologies in Small Energy : Monograph] // Kharkiv. nats. un-t misk. hosp-va im. O. M. Beketova, In-t problem mashynobud. im. A. M. Pidhornoho. – Kharkiv : KhNUMHim. O.M. Beketova, 2018. – 454 p.

2. Kazarova I.O. Pidvyshchennia efektyvnosti system enerhopostachannia za rakhunok vprovadzhennia koheneratsii [Improving the Efficiency of Power Supply Systems through the Introduction of Cogeneration] : dys. kand. tekhn. nauk [Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences] : 05.14.06 / Kazarova Inna Oleksandrivna – Kharkiv, 2017. – 194 p.

3. Kazarova I.O. Pidvyshchennia efektyvnosti system enerhopostachannia za rakhunok vprovadzhennia koheneratsii [Improving the Efficiency of Power Supply Systems through the Introduction of Cogeneration]: avtoref. dys. na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : spets. 05.14.06 "Tekhnichna teplofizyka ta promyslova teploenerhetyka" [Author's Abstract of Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences : speciality 05.14.06 – Technical Thermophysics and Industrial Heat Power Engineering] / I.O. Kazarova. – Kharkiv, 2018. – 24 p.

4. Shubenko A.L., Maliarenko V.A., Senetskyi O.V., Babak N.Yu., Temnohud I.A. (Kazarova I.O.), Sravnitelnyi analiz kharakteristik porshnevnykh i gazoturbinykh dvigateley// Innovatsii v selskom khozyaystve [Comparative Analysis of the Characteristics of Piston and Gas Turbine Engines]. – М., 2016. – #4. – Pp. 347-352. ISSN 2304-4926.

5. Andrieiev S.Yu., Maliarenko V.A., Temnohud I.O. (Kazarova I.O.), Senetskyi O.V. Mozhlyvosti pidvyshchennia enerhoefektyvnosti teplovykh merezh shliakhom vprovadzhennia koheneratsii [Opportunities to Improve the Energy Efficiency of Heating

Networks through the Introduction of Cogeneration] // Enerhetichni ta teplotekhnichni protsesy y ustatkuvannia. Visnyk NTU «KhPI» [Bulletin of the National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” series: “Power and heat engineering processes and equipment”]: Zb. nauk. prats. Kharkiv: NTU «KhPI», 2015. # 17(1126). Pp. 147-155. ISSN 2078-774X.

6. Gubich A. Primeneniye gazoturbinykh dvigateley maloy moshchnosti v energetike [The Use of Gas Turbine Engines of Low Power in the Energy Sector] // Gazoturbinye tekhnologii, 2001. # 6. Pp. 30–31.

7. Burov V.D. Gazoturbinye i gazoporshnevyye energeticheskiye ustanovki maloy moshchnosti [Gas Turbine and Gas Piston Power Plants of Low Power] // Gornyy zhurnal, 2004. spetsialnyy vypusk [special issue]. Pp. 87–89.

8. Chto luchshe, nadezhneye, ekonomichneye dlya avtonomnoy elektrostantsii: gazoporshnevyye ili gazoturbinye silovyye agregaty? [Elektronnyy resurs] [What is Better, More Reliable, More Economical for an Isolated Power Plant: Gas Piston or Gas Turbine Power Units? [Electronic resource]] // Novaya Generatsiya. [http://www.manbw.ru/analytcs/which\\_is\\_better\\_gas\\_piston\\_or\\_gas\\_turbine\\_power\\_units.html](http://www.manbw.ru/analytcs/which_is_better_gas_piston_or_gas_turbine_power_units.html)

9. Van der Waals J.D. On the Continuity of the Gaseous and Liquid States // New York: Dover, 2004. 320 p. ISBN 0486495930.

10. Soave G. Equilibrium Constants from a Modified Redlich-Kwong Equation of State // Chemical Engineering Science, 1972. № 27. PP. 1197–1203.

11. Heidemann R.A., Prausnitz J.M. A Van der Waals-type equation of state for fluids with associating molecules // Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1976. Vol. 73. № 6. PP. 1773–1776.

12. Garland C.W., Nibler J.W., Shoe-maker D.P. Experiments in Physical Chemistry. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2009. 100 p.

УДК 621.165

Маляренко В.А., Казарова І.О., Сенецький О.В., Темнохуд О.О.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ГАЗОПОРШНЕВИХ ТА ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ ПРИ ПЕРЕВЕДЕННІ КОТЕЛЬНІ В РЕЖИМ КОГЕНЕРАЦІЇ**

Розглянуті напрями модернізації котельні за допомогою впровадження газопоршневих та газотурбінних двигунів при переведенні в режим когенерації. Порівняні такі основні характеристики роботи газопоршневих та газотурбінних двигунів як вплив перемінного навантаження, вплив температури зовнішнього повітря на потужність двигуна, можливості використання утилізованої теплоти та інші важливі фактори.

**Ключові слова:** газопоршневий двигун, газотурбінний двигун, когенерація, котельня.

УДК 621.165

Маляренко В.А., Казарова И.А., Сенецкий А.В., Темнохуд А.А.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВЫХ И ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПЕРЕВОДЕ КОТЕЛЬНОЙ В РЕЖИМ КОГЕНЕРАЦИИ**

Рассмотрены направления модернизации котельной с помощью внедрения газопоршневых и газотурбинных двигателей при переводе в режим когенерации. Сравнены такие основные характеристики работы газопоршневых и газотурбинных двигателей как влияние переменной нагрузки, влияние температуры наружного воздуха на мощность двигателя, возможности использования утилизированной теплоты и другие важные факторы.

**Ключевые слова:** газопоршневой двигатель, газотурбинный двигатель, когенерация, котельная.

Malyarenko V. A., Kazarova I.O., Senetskyi O.V., Temnokhud O.O.

**STUDIES OF THE INTRODUCTION OF GAS PISTON AND GAS TURBINE ENGINES UPON THE BOILER HOUSE SWITCHING TO COGENERATION MODE**

The directions of modernization of the boiler house with the help of the introduction of gas piston and gas turbine engines when switching to cogeneration mode have been considered. The main characteristics of the operation of gas piston and gas turbine engines, such as the effect of variable load, the effect of outside air temperature on engine power, the possibility of using recycled heat, and other important factors have been compared.

**Key words:** gas piston engines, gas turbine engines, cogeneration, boiler house.