

М. М. Чепурний, к. т. н., доц.; О. В. Куцак

ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛІ НА БАЗІ ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОТЕЛЕНЬ І ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

Визначено основні показники роботи опалювальної котельні та ГТУ-ТЕЦ, створеної на базі цієї котельні. Здійснено порівняння показників роботи котельні та ГТУ-ТЕЦ.

Ключові слова: газова турбіна, газотурбінна установка, водогрійний котел, котел-утилізатор.

Вступ

Питанням енергозбереження в процесах виробництва електроенергії та теплоти почали приділяти належну увагу, а економія паливних ресурсів набула пріоритетного значення, що відображено й на законодавчому рівні [1]. Це пояснюється як значним здорожчанням палива, так і низькою ефективністю його використання. Усе вищезазначене зумовлює імпорт близько 50% необхідного палива, переважно природного газу.

Розв'язання накопичених проблем можливе лише в разі застосування нових технологій у процесах енергопостачання. За статистичними даними, на потреби теплопостачання витрачається близько 95 млн. тонн умовного палива й лише 35 млн. тонн – на виробництво електроенергії. У зв'язку з цим стає очевидним, що головну увагу у вирішенні проблеми підвищення ефективності використання паливних ресурсів треба приділяти сектору теплопостачання.

Найбільш перспективним засобом енергозбереження є комбіноване виробництво електроенергії та теплоти. На сьогодні все більша увага акцентується на використанні газотурбінних установок (ГТУ). В Україні створено необхідну матеріальну базу ГТУ з потужностями 2,5 – 135 МВт, коефіцієнти корисної дії (ККД) яких становлять від 0,32 до 0,36. Сучасні типорозміри ГТУ передбачають роботу як на газоподібному, так і на рідкому паливі.

Створення газотурбінних теплоелектроцентралей (ГТУ-ТЕЦ) на базі опалювальних котелень не лише підвищує надійність електропостачання в певному районі, але й позбавляє необхідності сплачувати втрати електроенергії в електромережах. Крім того, створення ГТУ-ТЕЦ сприяє зменшенню дефіциту резервних регульовальних потужностей в енергосистемах. Автономні ГТУ-ТЕЦ комплектуються кількома модулями. Устаткування ГТУ-ТЕЦ має невеликі габаритні розміри, а його монтаж здійснюється без значних фінансових і трудових витрат. У більшості випадків забезпечується дистанційне управління роботою енергетичного устаткування, а також програмування режимів роботи в будь-який період. Досвід експлуатації ГТУ підтвердив, що їхня робота відрізняється простотою управління, низькою собівартістю виробленої електроенергії [2 – 6].

Особливістю комбінованого виробництва теплової та електричної енергії на ГТУ-ТЕЦ є те, що виробництво певної теплової потужності Q тісно пов'язано з виробництвом електроенергії потужності N . При цьому підвищення ККД газотурбінної установки за умови $N = \text{const}$ призводить до зменшення теплової потужності. Умови роботи водогрійних котлів відрізняються значними диспропорціями теплового навантаження в опалювальній і міжопалювальній періоди роботи. Ефективність роботи ГТУ досягається за умови її номінального завантаження. У зв'язку з цим доцільним варіантом створення ГТУ-ТЕЦ є випадок, у якому ГТУ працює з повним електричним завантаженням увесь рік і забезпечує сталу потужність гарячого водопостачання від котла-утилізатора.

Зважаючи на вищевикладене, ставилось завдання визначити показники роботи ГТУ-ТЕЦ

за зазначеним варіантом.

Основні результати

Принципову теплову схему ГТУ-ТЕЦ, створеної на базі водогрійної котельні, показано на рис. 1. Система теплопостачання двотрубна закритого типу. Розрахункова температура прямої та зворотної мережної води вибрана такою, що дорівнює 120° і 60° $^{\circ}\text{C}$ відповідно. Газотурбінна надбудова котельні складається з компресора (11), камери згоряння (12), газової турбіни (13), електрогенератора (14) і котла-утилізатора (15). Розглянуто двосезонну роботу ГТУ-ТЕЦ. В опалювальний період працювали водогрійні котли і ГТУ. У міжопалювальний період працювала лише ГТУ з котлом-утилізатором. Через котел-утилізатор (15) насосом (9) перекачується зворотна мережна вода, яка підігривається від 60° до 120° $^{\circ}\text{C}$ і направляється в лінію прямої мережної води. Ця вода в підігрівнику (8) підігриває водопровідну воду, яка постачається споживачам гарячої води. Термін опалювального і міжопалювального періоду складає 4500 і 3700 годин, відповідно. Паливо – природний газ із тепловою згорання $Q_u^p = 33,4$ МДж/м³ і вартістю 1400 грн. за 1000 м³. Вартість спожитої та відпущеної енергії 700 грн. і 450 грн. за 1 МВт·год. відповідно; вартість відпущеної теплоти 300 грн. за 1 МВт·год. Електрична потужність власних потреб котельні та ГТУ-ТЕЦ визначається за методикою, викладеною в [7].

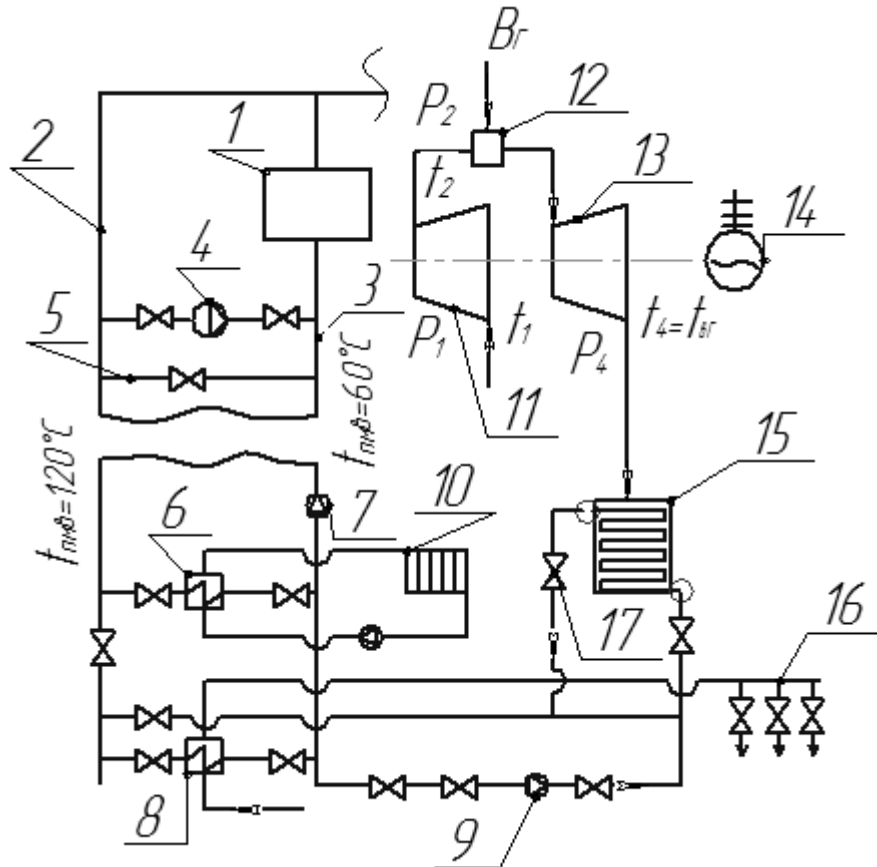


Рис. 1. Принципова схема котельні та ГТУ-ТЕЦ із закритою системою теплопостачання: 1 – водогрійний котел; 2 – магістраль прямої мережної води; 3 – лінія зворотної мережної води; 4 – насос рециркуляції; 5 – лінія перепуски; 6 – мережний підігрівник системи опалення; 7 – мережний насос; 8 – підігрівник води системи гарячого водопостачання; 9 – насос; 10 – споживачі системи опалення; 11 – компресор ГТУ; 12 – камера згоряння; 13 – газова турбіна; 14 – електрогенератор; 15 – котел-утилізатор; 16 – споживачі гарячої води; 17 – запірні арматури

Для прикладу порівняємо показники роботи водогрійної котельні та ГТУ-ТЕЦ із тепловою потужністю $Q_{mf} = 48$ МВт. При цьому потужність опалення складає $Q_{on} = 35$ МВт,

а потужність гарячого водопостачання – $Q_{\text{gen}} = 13$ МВт. У котельні встановлено типові водогрійні котли ПТВМ-30 з номінальною потужністю $Q_n = 34,7$ МВт і коефіцієнтом корисної дії $\eta_k = 0,915$. В опалювальний період роботи котельні повинні працювати два котли з коефіцієнтом завантаження $k_z = Q_{\text{mf}} / (2 \cdot Q_k) = 48 / (2 \cdot 34,7) = 0,69$. У цьому разі ККД котлів зменшується і становить 0,89. У міжопалювальний період працюватиме один котел із коефіцієнтом завантаження $k_z = Q_{\text{gen}} / Q_k = 13 / 34,7 = 0,37$. При цьому ККД котла значно зменшується і складає лише 0,7. Показники роботи котельні обчислювались за [7], а їхні значення зведено в табл. 1.

Таблиця 1

Показники роботи водогрійної котельні

Показники	Числові значення
Опалювальний період	
Витрата робочого палива, тис. м ³	25868,262
Витрати на паливо, млн. грн.	36,215
Електрична потужність власних потреб, МВт	1,82
Спожита електроенергія, МВт·год.	8190
Витрати на електроенергію, млн. грн.	5,733
Витрати на енергоносії, млн. грн.	41,948
Відпущена теплова енергія, МВт·год.	216000
Виторг за відпущену теплоту, млн. грн.	64,8
Різниця між виторгом і витратами, млн. грн.	22,852
Питома витрата умовного палива на виробництво одиниці енергії, кг/ГДж	37,92
Міжопалювальний період	
Витрата робочого палива, тис. м ³	7512,48
Витрати на паливо, млн. грн.	10,517
Електрична потужність власних потреб, МВт	0,77
Спожита електроенергія, МВт·год.	2849
Витрати на електроенергію, млн. грн.	1,994
Витрати на енергоносії, млн. грн.	12,511
Відпущена теплова енергія, МВт·год.	48100
Виторг за відпущену теплоту, млн. грн.	14,432
Різниця між виторгом і витратами, млн. грн.	1,921
Питома витрата умовного палива на виробництво одиниці енергії, кг/ГДж	49
Річний період роботи	
Витрати на паливо, млн. грн.	46,732
Витрати на спожиту електроенергію, млн. грн.	7,727
Витрати на енергоносії, млн. грн.	54,459
Виторг за відпущену теплоту, млн. грн.	79,232
Різниця між виторгом і витратами, млн. грн.	24,773
Питома витрата умовного палива на одиницю виробленої енергії, кг/ГДж	42,9

Із табл. 1 видно, наскільки ефективніше працює котельня в опалювальний період. Це пояснюється як меншим терміном роботи котельні в міжопалювальний період, так і відносним збільшенням витрати палива на котел, що зумовлено значним зменшенням ККД котла внаслідок його недовантаження.

Для створення ГТУ-ТЕЦ необхідно підібрати типорозмір газової турбіни за умови, що потужність котла-утилізатора дорівнюватиме потужності гарячого водопостачання, тобто $Q_{\text{ку}} = Q_{\text{gen}}$. Орієнтовно (з подальшим уточненням) вибираємо газотурбінну установку типу ГПУ-10-А з характеристиками: електрична потужність $N_e = 10$ МВт; температура газів за турбіною $t_4 = 450$ °С; коефіцієнт корисної дії $\eta_r = 0,35$. Згідно з [7] визначаємо.

Витрата робочого палива на турбіну, м³/с

$$B_z = N_e / (\eta_z \cdot Q_n^p) = 10 / (0,35 \cdot 33,4) = 0,8554. \quad (1)$$

Потужність відпрацьованих у ГТУ газів, МВт

$$Q_{\text{вз}} = (1 - \eta_z) \cdot N_e / \eta_z = (1 - 0,35) \cdot 10 / 0,35 = 18,5714. \quad (2)$$

Температуру газів за котлом-утилізатором беремо на 85 °С більше, ніж температуру зворотної мережної води, тобто $t_{\text{кв}} = 60^{\circ} + 85^{\circ} = 145^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнт утилізації теплоти газів у котлі-утилізаторі

$$\psi = (t_4 - t_{\text{кв}}) / (t_4 - t_{\text{нс}}) = (450 - 145) / (450 - 15) = 0,7014, \quad (3)$$

де $t_{\text{нс}}$ – температура навколишнього середовища, яка за міжнародними правилами становить 15 °С.

Теплова потужність котла-утилізатора, МВт

$$Q_{\text{кв}} = Q_{\text{вз}} \cdot \psi = 18,5714 \cdot 0,7014 = 13,02. \quad (4)$$

Оскільки потужність котла-утилізатора дорівнює потужності гарячого водопостачання котельні, то вибраний тип ГТУ цілком підходить для створення ГТУ-ТЕЦ на базі водогрійної котельні, а в подальших уточненнях нема потреби.

Отже, теплова потужність системи гарячого водопостачання в опалювальний і міжопалювальний періоди роботи ГТУ-ТЕЦ забезпечується котлом-утилізатором вибраної газотурбінної установки. В опалювальний період покриття потужності системи теплофікації в 48 МВт забезпечується роботою одного котла ПТВМ-30, який працює з номінальним навантаженням, і роботою ГТУ-10-А з котлом-утилізатором. Показники роботи ГТУ-ТЕЦ зведено в табл. 2.

Таблиця 2

Показники роботи ГТУ-ТЕЦ

Показники	Числові значення
Опалювальний період	
Витрата робочого палива, тис. м ³	32410
Витрати на паливо, млн. грн.	45,374
Відпущена електроенергія, МВт·год.	36810
Виторг за електроенергію, млн. грн.	16,564
Виторг за відпущену теплоту, млн. грн.	64,8
Різниця між виторгом і витратами, млн. грн.	35,99
Питома витрата умовного палива на виробництво одиниці енергії, кг/ГДж	39,2
Міжопалювальний період	
Витрата робочого палива, тис. м ³	13834,8
Витрати на паливо, млн. грн.	19,368
Відпущена електроенергія, МВт·год.	34151
Виторг за електроенергію, млн. грн.	15,368
Виторг за відпущену теплоту, млн. грн.	14,432
Різниця між виторгом і витратами, млн. грн.	10,432
Питома витрата умовного палива на виробництво одиниці енергії, кг/ГДж	42,32
Річний період роботи	
Витрати на паливо, млн. грн.	67,742
Виторг за електроенергію, млн. грн.	31,932
Виторг за відпущену теплоту, млн. грн.	79,232
Різниця між виторгом і витратами, млн. грн.	43,422
Питома витрата умовного палива на одиницю виробленої енергії, кг/ГДж	40,6

Порівнюючи дані, наведені в таблицях 1 і 2, бачимо, що величина річних питомих витрат

умовного палива на виробництво одиниці енергії в ГТУ-ТЕЦ на 5,66% менше, ніж в опалювальній котельні. Про економічну доцільність створення ГТУ-ТЕЦ свідчить і річна різниця між виторгом за енергоносії та витратами на паливо, яке на ГТУ-ТЕЦ в 1,75 рази більше, ніж у котельні. Особливо це стосується міжопалювального періоду, де вона в п'ять разів більше. Зауважимо також, що створення ГТУ-ТЕЦ на базі опалювальних котелень не тільки деякою мірою розв'язує проблему дефіциту електроенергії в певному регіоні, але й покращує надійність електропостачання, оскільки останнє здійснюється за місцем споживання і не пов'язане з втратами електроенергії в лініях електропередачі.

Для зручності вибору газотурбінних установок з метою створення ГТУ-ТЕЦ за запропонованою схемою в табл. 3 наведено основні характеристики й теплові потужності котлів-утилізаторів деяких ГТУ, які виготовляють на вітчизняних енергомашинобудівних підприємствах.

Таблиця 3

Характеристики ГТУ і потужності котлів-утилізаторів

Показники	Тип ГТУ				
	ГТД-2500	ГТД-6001	ГПУ-10-А	ГТД-16	ГТД-25
Електрична потужність, МВт	2,85	6,7	10	17	27,5
Температура газів, °С:					
перед газовою турбіною;	950	1000	1120	1000	1250
за газовою турбіною	445	415	450	420	490
Коефіцієнт корисної дії	0,285	0,315	0,34	0,35	0,36
Витрати умовного палива, кг/с	0,39	0,7259	1,004	1,657	2,607
Коефіцієнт утилізації теплоти в котлі-утилізаторі	0,697	0,675	0,7014	0,679	0,726
Потужність котла-утилізатора, МВт	5,01	9,834	13,02	21,437	35,508

Висновки

1. Теплоелектроцентральною на базі водогрійної котельні може бути легко створена з енергетичного устаткування, яке серійно виготовляють на вітчизняних енергомашинобудівних підприємствах.

2. Створення ГТУ-ТЕЦ, яка увесь рік працює з номінальною потужністю, цілком доцільне, оскільки забезпечує прибуток в 1,75 рази більше, ніж в котельнях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України. Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного потенціалу // Відомості Верховної Ради, 2005. – № 20. – С. 278 – 285.
2. Котлер В. Р. Мини-ТЭЦ: зарубежный ответ / В. Р. Котляр // Теплоэнергетика, 2006. – № 8. – С. 69 – 72.
3. Евенко В. И. Анализ топливной экономичности газотурбинных ТЭЦ / В. И. Евенко // Теплоэнергетика, 2006. - № 10. – С. 74 – 78.
4. Басок Б. И. Сравнительный анализ решений когенерационных установок / Б. И. Басок, Д. А. Коломейко // Промышленная теплотехника, 2006. – т. 28. – № 5. – С. 77 – 82.
5. Демидов О. И. Использование газотурбинных установок при реконструкции ТЭЦ промышленно-отопительного типа / О. И. Демидов, А. Г. Кутахов, В. М. Корень // Промышленная энергетика, 2004. – № 2. – С. 19 – 25.
6. Чепурной М. Н. Теплофикационные когенерационные установки на базе ГТУ / М. Н. Чепурной, В. В. Бужинский, В. А. Рейсиг // Промышленная теплотехника, 2002. – т. 24. – № 6. – С. 47 – 50.
7. Чепурный М. М. Энергоэкономные технологии в теплоэнергетике / М. М. Чепурный, С. Й. Ткаченко. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 114 с.

Чепурний Марко Миколайович – к. т. н., доцент, професор кафедри теплоенергетики.

Куцак Ольга Володимирівна – студентка інституту будівництва, теплоенергетики і газопостачання. Вінницький національний технічний університет.