

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

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ГАЗОТУРБІННИХ ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ

Визначено основні показники роботи газотурбінних теплоелектроцентралей. Здійснено порівняння ефективності роботи ГТУ-ТЕЦ з ефективністю роботи опалювальних котелень однакової теплової потужності.

Ключові слова: газотурбінна установка, теплоелектроцентрально, регенеративний підігрівник, водогрійний котел.

Вступ

Комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерація) запропоновано ще на початку минулого сторіччя й реалізовано шляхом будівництва промислових паротурбінних теплоелектроцентралей (ТЕЦ). Когенерація є перспективною технологією, яка дозволяє зменшити витрати палива в енергосистемі і поліпшити екологічну обстановку. Вона набула відображення на законодавчому рівні [1].

На теренах України є багато промислових ТЕЦ. Однак сьогодні склалась ситуація, коли зменшення споживання технологічної пари унеможливує досягання проектних теплових та електричних потужностей. Загальновідомим є той факт, що понад 90% теплоенергетичного устаткування на існуючих паротурбінних електростанціях давно вичерпало нормативний ресурс роботи. Однак подальший підйом економіки країни вимагає нарощення електричних потужностей. Розвинута система централізованого тепlopостачання базується, переважно, на використанні опалювальних котелень.

За останні десятиліття набула розвитку газотурбінна технологія. Сучасні газотурбінні установки (ГТУ) вітчизняного виробництва мають коефіцієнт корисної дії (ККД) не нижче, ніж ККД паротурбінних установок. Газотурбінні теплоелектроцентралі (ГТУ-ТЕЦ) дозволяють виробляти суттєву частку електроенергії на базі теплового постачання, яка є одним із складників загальної проблеми енергозбереження [2 – 4], і підвищувати ефективність використання палива. Найпростіша схема ГТУ-ТЕЦ складається з газотурбінної установки й котла-утилізатора теплоти відпрацьованих у ГТУ газів, який виконує роль газового підігрівника мережної води в системі теплофікації.

Специфіка роботи системи теплофікації полягає в різкій зміні сезонних теплових навантажень. В опалювальний період роботи ТЕЦ теплота витрачається на опалення й гаряче водопостачання. При цьому ГТУ працює з номінальним навантаженням. В міжопалювальний період потужність системи гарячого водопостачання складає лише 0,25 – 0,3 теплового навантаження опалювального періоду. У цей час ГТУ має працювати значно недовантажено, що різко зменшує її ефективність і призводить до суттєвої перевитрати палива. Ця проблема, до речі, стосується і роботи опалювальних котелень.

У зв'язку з вищевикладеним пропонуємо схему ГТУ-ТЕЦ з регенеративним підігрівом повітря в міжопалювальний період (рис. 1), що дозволяє за допомогою регенеративного підігрівника повітря працювати протягом року з номінальним навантаженням. Тому постає завдання визначити основні показники ефективності роботи ГТУ-ТЕЦ за запропонованою тепловою схемою, а також порівняти ефективність її роботи з роботою опалювальних котелень за умови однакових теплових потужностей.

Основні результати

Принцип дії запропонованої ГТУ-ТЕЦ (рис. 1).

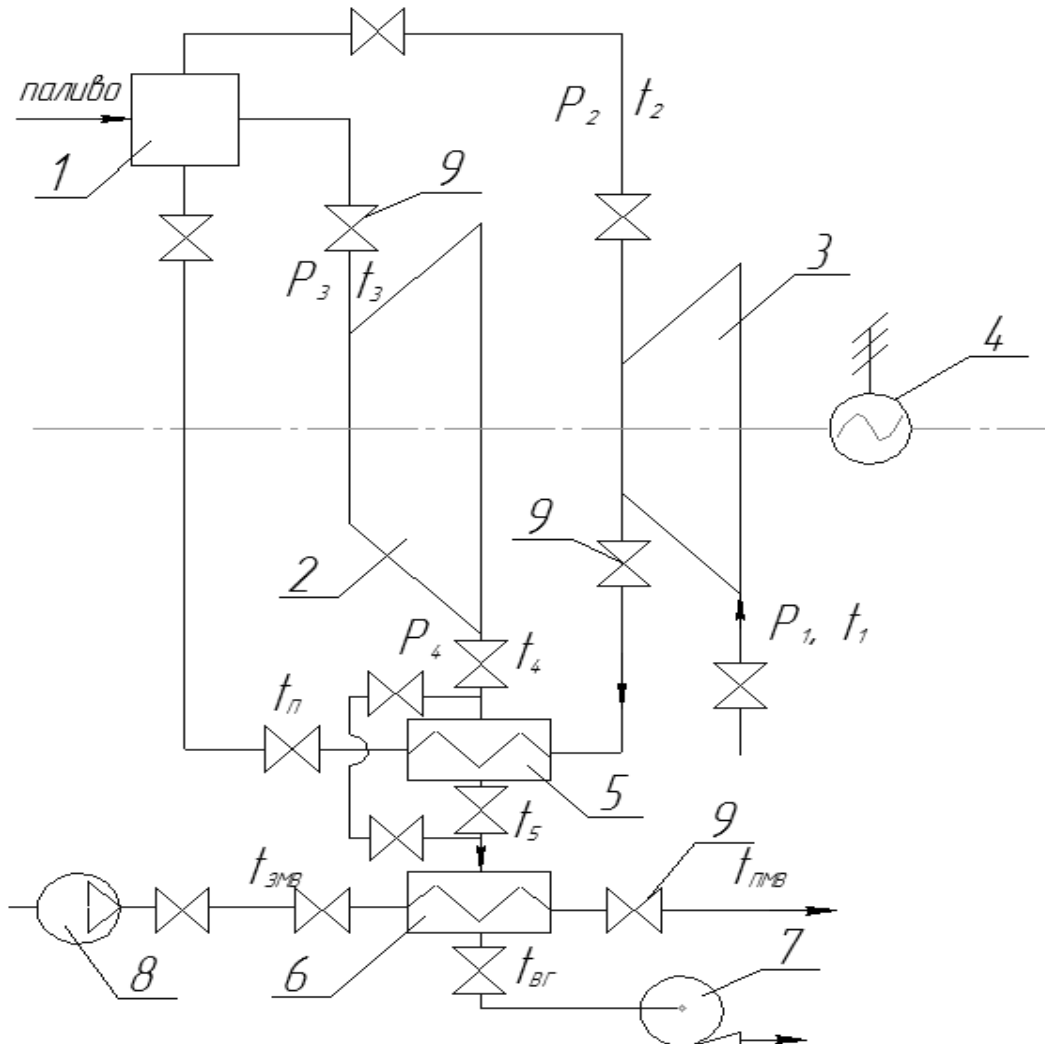


Рис. 1. Принципова теплова схема ГТУ-ТЕЦ з регенерацією теплоти: 1 – камера згорання; 2 – газова турбіна; 3 – компресор; 4 – електрогенератор; 5 – регенеративний підігрівник повітря; 6 – підігрівник мережної води; 7 – димосос; 8 – мережний насос; 9 – запірні арматури

В опалювальний період компресор ГТУ (3) стискає навколишнє повітря з температурою t_1 , внаслідок чого його тиск і температура зростають до значення P_2 і t_2 відповідно. Стиснене повітря надходить в камеру згорання (1), куди також надходить робоче паливо. Продукти згорання (димові гази) з параметрами P_3 і t_3 спрямовуються в газову турбіну (2), де розширюються до параметрів P_4 і t_4 , виконуючи механічну роботу обертання вала, яка в електрогенераторі (4) перетворюється на електричну енергію. Відпрацьовані в ГТУ гази з температурою t_4 надходять у підігрівник мережної води (6), де, охолоджуючись до температури $t_{вг}$, підігрівають мережну воду системи теплофікації від температури $t_{зmv}$ до температури $t_{пмв}$. Відхідні гази димососом (7) видаляють в димову трубу.

У міжопалювальний період стиснене компресором повітря надходить спочатку в регенеративний підігрівник (5), де підігрівається до температури $t_п$, а потім спрямовується в камеру згорання (1). Димові гази з температурою t_4 надходять у регенеративний підігрівник повітря (5), де охолоджуються до температури t_5 . Далі вони спрямовуються в мережний підігрівник (6), де підігрівають воду, яка йде на гаряче водопостачання.

Варіантні розрахунки теплових схем здійснювались для ГТУ різних потужностей вітчизняного виробництва, основні характеристики яких наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики ГТУ

Показники	Тип ГТУ/номер варіанта				
	ГТД-6001	ГТУ-9,5	ГТД-16	ГТД-25	ГТД-60
	1	2	3	4	5
Електрична потужність, МВт	6,7	8,8	17	27,5	60
Міра підвищення тиску в компресорі	16,6	21,7	17,8	21,8	15
Температура газів, °С: перед турбіною, за турбіною	1000	1120	1000	1250	1170
	415	480	420	490	490
Коефіцієнт корисної дії	0,315	0,32	0,35	0,36	0,34

Розрахунки здійснювались за умови: паливно-природний газ із теплотою згорання 33,4 МДж/м³; ціна палива – 1400 грн. за 1000 м³; ціна відпущеної та споживаної електроенергії – 400 і 700 грн. за 1 МВт·год., відповідно; ціна відпущеної теплоти – 220 грн. за 1 МВт·год; тривалість опалювального і міжопалювального періодів 4500 і 3500 год.; частка потужності гарячого водопостачання від загальної потужності теплофікації – 0,27; температурний режим роботи теплової мережі в опалювальний і міжопалювальний період – 120/180°С і 80/40°С відповідно; температура відхідних газів 130°С. Розрахунки здійснювались за методиками, викладеними в [5]. Температура газів за підігрівником (6) визначається за тепловим балансом підігрівника. Температура підігрітого повітря t_p обиралась з урахуванням забезпечення температурного напору ($\Delta t=70^\circ\text{C}$) на виході газів із підігрівника (5). Розрахункові показники роботи ГТУ-ТЕЦ за варіантами, показаними в табл. 1, зведено в табл. 2.

Таблиця 2

Показники роботи ГТУ-ТЕЦ за періодами

Показники	Варіанти				
	1	2	3	4	5
Опалювальний період					
Витрати робочого палива, тис. м ³	10316,16	13337,46	23554,03	37049,43	85584,61
Витрати на паливо, млн. грн.	11,716	18,672	32,976	51,869	119,818
Потужність системи теплофікації, МВт	10,385	14,08	22,61	37,04	88,21
Відпущена теплота, ГВт·год.	46,7325	63,36	101,745	166,68	396,90
Виторг за теплоту, млн. грн.	10,281	13,939	22,384	36,669	87,318
Електрична потужність власних потреб, МВт	0,2692	0,319	0,649	0,8068	1,745
Відпущена електроенергія, ГВт·год.	28,938	38,164	73,539	120,119	262,147
Виторг за електроенергію, млн. грн.	11,575	15,265	29,415	48,047	104,858
Різниця між виторгом і витратами, млн. грн.	10,146	10,536	18,823	32,847	72,358

Продовження табл. 2

Міжопалувальний період					
Потужність системи гарячого водопостачання, МВт	2,8	3,8	6,1	10	23,8
Підігрів повітря в підігрівнику, °С	60	65	60	70	70
Коефіцієнт корисної дії ГТУ	0,35	0,355	0,386	0,395	0,375
Витрати робочого палива, тис. м ³	7219,8	92,61	16608	26,129	60303,6
Витрати на паливо, млн. грн.	10,11	12,964	23,249	36,575	84,042
Відпущена теплота, ГВт-год.	9,8	13,3	21,35	35,0	83,3
Виторг за теплоту, млн. грн.	2,156	2,926	4,697	7,7	18,326
Електрична потужність власних потреб, МВт	0,224	0,255	0,5	0,646	1,538
Відпущена електроенергія, ГВт-год.	22,664	29,908	57,750	93,989	204,617
Виторг за електроенергію, млн. грн.	9,065	11,632	23,1	37,595	81,846
Різниця між виторгом і витратами, млн. грн.	1,111	1,594	4,548	8,72	16,3
Річна різниця між виторгом і витратами, млн. грн.	11,257	12,126	23,371	41,567	88,658

Із табл. 2 видно, що, завдяки застосуванню регенерації теплоти в міжопалувальний період, коефіцієнти корисної дії ГТУ підвищуються на 3,5%. Разом з тим, економічність роботи ГТУ-ТЕЦ у цей період погіршується внаслідок меншого виробництва теплової енергії та відповідно виторгу за неї. В опалувальний період роботи ГТУ-ТЕЦ виторг за відпущену електроенергію перевищує виторг за теплоту, що пояснюється значно більшою вартістю електроенергії порівняно з вартістю теплоти. Загалом більш економічно працюють ГТУ-ТЕЦ з вищим значенням ККД і більшою електричною потужністю.

Порівнюємо показники роботи ГТУ-ТЕЦ з показниками роботи опалувальної котельні з однаковою тепловою потужністю. Для прикладу наведемо значення основних показників роботи котельні з котлом ПТВМ-20 для опалувального періоду, тепла потужність якого дорівнює тепловій потужності ГТУ-ТЕЦ з газовою турбіною ГТД-16 (варіант 3 в табл. 2). У процесі розрахунків обчислювалась електрична потужність власних потреб котельні (вентилятора, димососа котла, мережного насоса і допоміжних насосів). Коефіцієнт корисної дії котла дорівнював 0,91. Результати розрахунків показано в табл. 3.

Таблиця 3

Показники роботи котельні

Показники	Числові значення
Теплова потужність, МВт	22,61
Витрата робочого палива, тис. м ³	11985,275
Витрати на паливо, млн. грн.	16,779
Відпущена теплота, ГВт-год.	101,745
Виторг за теплоту, млн. грн.	22,384
Електрична потужність власних потреб, МВт	0,308
Споживана електроенергія, ГВт-год.	1,386
Витрати на електроенергію, млн. грн.	0,9702
Різниця між виторгом і витратами, млн. грн.	4,6348

Порівнюючи показники роботи опалувальної котельні та ГТУ-ТЕЦ з тепловою потужністю 22,61 МВт, бачимо, що різниця між виторгами і витратами в котельні в чотири рази менше, ніж в ГТУ-ТЕЦ. Це зумовлено тим, що в ГТУ-ТЕЦ виторг за відпущену електроенергію пропорційний з витратами на паливо. Для того, щоб досягти такої

економності роботи котельні, необхідно ціну за відпущену теплоту підняти майже у два рази. Отже, в умовах суттєвого підвищення цін на енергетичне паливо й електроенергію робота ГТУ-ТЕЦ стає значно економнішою, ніж робота опалювальних котелень. Зазначимо також, що застосування ГТУ-ТЕЦ поліпшує надійність електропостачання в регіоні, не зв'язано з втратами електроенергії в електролініях і сприяє зменшенню дефіциту електрорегулювальних потужностей в електросистемі.

Висновки

1. Застосування регенерації теплоти відпрацьованих у ГТУ газів у міжопалювальний період дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії ГТУ і здійснювати роботу ГТУ-ТЕЦ з повним електричним навантаженням.

2. В умовах суттєвого підвищення цін на енергетичне паливо й електроенергію робота ГТУ-ТЕЦ стає значно економнішою, ніж робота опалювальних котелень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії та використання скидного потенціалу // Відомості Верховної Ради. – 2005. – № 20. – С. 278 – 285.

2. Долінський А. А. Когенерація – нові потужності для енергетики / А. А. Долінський, В. Н. Кліменко // Енергозбереження Поділля. – 2004. – № 2. – С. 53 – 59.

Жарков С. В. О перспективах оборудования отопительных ТЭЦ в России / С. В. Жарков // Газотурбинные технологи. – 2007. – № 2. – С. 12 – 17.

4. Чепурной М. Н. Эффективность применения ГТУ-ТЭС / М. Н. Чепурной, С. Й. Ткаченко, Е. С. Корженко // Энергосбережение. – 2006. – № 10. – С. 24 – 26.

5. Чепурний М. М. Енергозбережні технології в теплоенергетиці / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. – Вінниця: ВНТУ. – 2009. – 114 с.

Чепурний Марко Миколайович – к. т. н., професор кафедри теплоенергетики, інститут будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Куцак Ольга Володимирівна – студентка інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет.