

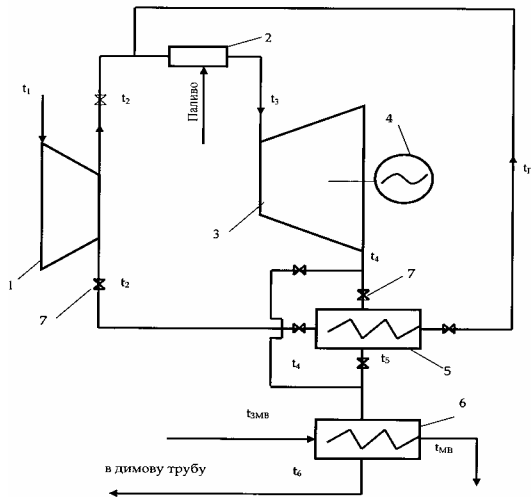
УДК 621.438

М. М. Чепурний, к. т. н., доц.; А. В. Медведева, студ.; Н. В. Колесник, студ.

## ГТУ-ТЕЦ З РЕГЕНЕРАЦІЄЮ ТЕПЛОТИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

Викладено результати порівняльних розрахунків газотурбінних теплоелектроцентралей і опалювальних котелень однакової теплової потужності. Обґрунтовано доцільність застосування таких теплоцентралей.

Загально визнаною можливістю підвищення ефективності використання органічного палива, збільшення електрогенерувальних потужностей в енергосистемі та поліпшення екологічної обстановки є застосування когенераційних установок в енергетиці [1–3]. Прогресивною технологією комбінованого виробництва теплової та електричної енергії є газотурбінна технологія, яка ефективніша, ніж виробництво цих видів енергії на наявних теплоелектроцентралях (ТЕЦ). Об'єктами впровадження газотурбінних ТЕЦ (ГТУ-ТЕЦ) можуть бути численні опалювальні котельні. Головною особливістю ГТУ-ТЕЦ є утилізація теплоти відпрацьованих в ГТУ газів для потреб теплофікації.



Принципова теплова схема ГТУ-ТЕЦ:

- 1 — компресор; 2 — камера згорання;
- 3 — газова турбіна; 4 — електрогенератор;
- 5 — регенеративний підігрівник повітря;
- 6 — підігрівник мережної води;
- 7 — запірні арматури;  $t_1$  і  $t_2$  — температура повітря перед компресором і після нього;
- $t_3$  і  $t_4$  — температура газів перед турбіною;
- $t_4$  — температура відпрацьованих в турбіні газів;
- $t_5$  і  $t_6$  — температура газів за регенеративним підігрівником і підігрівником мережної води відповідно

сунок), що в міжопалювальний період відпрацьовані гази з температурою  $t_4$  спрямовуються в регенеративний підігрівник повітря (регенератор), де охолоджуючись до проміжної температури  $t_5$ , підігрівають повітря після компресора від температури  $t_2$  до температури  $t_{п}$ . Підігріте повітря надходить в камеру згорання, де за рахунок внесення теплоти зменшується необхідна витрата палива. Димові гази після регенератора з температурою  $t_5$  надходять в ПМВ, де підігрівають зворотню мережну воду до заданої температури  $t_{мв}$ , після чого скидаються в димову трубу. Але така досконаліша схема утилізації відпрацьованих газів в міжопалювальний період потребує додаткових капіталовкладень на регенератор.

Найпростіша і найдешевша схема утилізації теплоти відпрацьованих в ГТУ газів (див. рисунок) містить тільки газоводяний підігрівник мережної води, який являє собою конвективний ребристотрубчастий підігрівник або підігрівник пластинчастого типу. Однак такий підігрівник мережної води (ПМВ) працює на повну потужність тільки в опалювальний період року і обігрівається відпрацьованими в ГТУ газами з температурою  $t_4$ . В міжопалювальний період потужність системи гарячого водопостачання становить лише 0,25...0,3 теплового навантаження опалювального періоду. В цьому разі можливі такі варіанти роботи ГТУ-ТЕЦ. За першим варіантом ГТУ працює з номінальним електричним навантаженням, причому більша частина високотемпературних відпрацьованих газів повинна викидатись в димову трубу. За другим — ГТУ працює з 25...30 % навантаженням. При цьому коефіцієнт корисної дії (ККД) значно зменшується [4]. Зрозуміло, що обидва варіанти пов'язані зі значними втратами і призводять до перевитрати палива.

В зв'язку з вищевикладеним пропонується гнучкіша схема утилізації теплоти відпрацьованих в ГТУ газів. Вона передбачає (див. ри-

Тому ставилась задача за допомогою варіантних розрахунків визначити доцільність застосування ГТУ-ТЕЦ з регенерацією теплоти в міжопалювальний період за запропонованою схемою, а також порівняти показники роботи ГТУ-ТЕЦ з показниками роботи водогрійної котельні з однаковою тепловою потужністю. Таким чином, в опалювальний період передбачається робота ГТУ-ТЕЦ з утилізацією теплоти відпрацьованих газів тільки в ПМВ, а в між опалювальний — як в регенераторі, так і в ПМВ. При цьому ГТУ-ТЕЦ оснащується вітчизняними газотурбінними установками, які виготовляються НВО «Машпроект» і фірмою «Зоря» м. Миколаєва, вартість яких значно менше, ніж імпорتنих. Основні характеристики цих ГТУ наведені в табл. 1.

Таблиця 1

## Характеристики ГТУ

Показники	Марка ГТУ			
	ГТД-6001	ГТД-16000	ГТУ-20	ГТД-25000
	Варіант			
	1	2	3	4
Електрична потужність, МВт	6,7	17	20	27,5
Температура газів, °С: перед турбіною	1000	1100	1133	1250
за турбіною	415	420	520	490
Міра підвищення тиску в компресорі	16,6	17,8	17	21,8
Коефіцієнт корисної дії	0,315	0,35	0,355	0,36
Утилізаційна потужність відпрацьованих газів, МВт	10,53	22,9	28,2	37,3

Температурний режим роботи теплової мережі в опалювальний період дорівнював  $t_{МВ}/t_{ЗМВ} = 120/60$ , а в міжопалювальний —  $90/50$ . Виходячи з конструктивних особливостей теплообмінників і температурних умов роботи металу поверхонь (тонкостінні пластинчасті апарати не можуть тривалий час працювати в області температур понад  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), в установку включений газоповітряний регенератор ребристотрубчастого типу і газоводяний ПМВ пластинчастого типу. Капіталовкладення в ГТУ, регенератор і ПМВ враховували вартість устаткування, витрати на його транспортування і монтаж, а також амортизаційні витрати.

За робоче паливо взято природний газ з теплою згорання  $35,8\text{ МДж/м}^3$ . Вартість палива складала 62 дол. США за  $1000\text{ м}^3$ , а вартість відпущеної теплоти — 20,5 дол. США за 1 МВт·год. Вартість споживаної котельнею та відпущеної від ГТУ-ТЕЦ електроенергії дорівнювала 46,3 та 22,2 дол. США за 1 МВт·год відповідно. Частка електроенергії, яка витрачається на власні потреби котельні та ГТУ-ТЕЦ дорівнювала 0,09 і 0,06 відповідно. Коефіцієнт корисної дії котлів брався рівним 0,915, а значення температур становили:  $t_1 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t_6 = 135\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Підігрів повітря в регенераторі здійснювався в межах  $80\text{...}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тривалість опалювального періоду складала 4400 год., а міжопалювального — 3640 год. Теплове навантаження котельні в міжопалювальний період бралось рівним 0,27 від номінального.

Розрахункові річні показники роботи котельні за [5] зведені в табл. 2.

Таблиця 2

## Показники роботи котельні з тепловою потужністю за варіантами табл. 1

Показники	Варіанти			
	1	2	3	4
Опалювальний період				
Витрата палива, тис. $\text{м}^3$	5091,9	11072,2	13634,3	18036,8
Витрати на паливо, млн дол.	0,3157	0,6865	0,8455	1,1183
Споживання електроенергії, МВт·год	2948	7040	8800	12100
Витрати на електроенергію, млн дол.	0,1365	0,3258	0,4073	0,56
Загальні витрати, млн дол.	0,4522	1,0123	1,2528	1,6783

Продовження табл. 2

Показники	Варіанти			
	1	2	3	4
Опалювальний період				
Відпуск теплоти, МВт·год	46332	100762	124080	164120
Виручка за теплоту, млн дол.	0,950	2,065	2,540	3,361
Різниця між виручкою і витратами, млн дол.	0,4978	1,0527	1,2872	1,6827
Міжопалювальний період				
Витрата палива, тис. м <sup>3</sup>	1137,34	2473,42	3045,88	4029,11
Витрати на паливо, млн дол.	0,0715	0,1534	0,1888	0,252
Споживання електроенергії, МВт·год	982,66	2346	2943	4053
Витрати на електроенергію, млн дол.	0,0456	0,1088	0,1365	0,188
Загальні витрати, млн дол.	0,1171	0,2622	0,3253	0,440
Відпуск теплоти, МВт·год	10349	22506	27715	36658
Виручка за теплоту, млн дол.	0,2122	0,4612	0,5673	0,7507
Різниця між виручкою і витратами, млн дол.	0,0951	0,199	0,242	0,3107
Річна різниця між виручкою і витратами, млн дол.	0,5925	1,2517	1,5292	1,9934

Із табл. 2 видно, що витрати за споживану електроенергію навіть за умови її помірної вартості складають понад 40 % в міжопалювальний період. При цьому частка витрат на власні електричні потреби котелень зростає зі збільшенням їх теплової потужності.

Таблиця 3

Показники роботи ГТУ-ТЕЦ за варіантами табл. 1

Показники	Варіанти			
	1	2	3	4
Опалювальний період				
Витрата палива на ГТУ, тис. м <sup>3</sup> /с	0,593	1,355	1,560	2,130
Витрата палива за період, тис. м <sup>3</sup>	9387,11	21469,1	24710	33739,2
Витрати на паливо, млн дол.	0,586	1,331	1,532	2,091
Поверхня нагріву ПМВ, м <sup>2</sup>	486	1040	1160	1490
Капіталовкладення в ПМВ, млн дол.	0,12	0,26	0,29	0,395
Загальні витрати, млн дол.	0,706	1,521	1,822	2,486
Виручка за теплоту, млн дол.	0,95	2,065	2,54	3,361
Відпуск електроенергії, МВт·год	28092,7	71280	83836	115306
Виручка за електроенергію, млн дол.	0,6243	1,584	1,863	2,562
Загальна виручка за енергоносії, млн дол.	1,574	3,649	4,403	5,923
Різниця між виручкою і витратами, млн дол.	0,868	2,058	2,581	3,437
Міжопалювальний період				
Витрата палива на ГТУ, тис. м <sup>3</sup> /с	0,545	1,280	1,478	1,988
Витрата палива за період, тис. м <sup>3</sup>	7168	16812	19459	26208
Економія палива за рахунок регенерації, тис. м <sup>3</sup>	1831,58	3788	4272	6146
Вартість зекономленого палива, млн дол.	0,1135	0,2348	0,2648	0,381
Поверхня нагріву регенератора, м <sup>2</sup>	1720	2700	3040	3960
Капіталовкладення в регенератор, млн дол.	0,21	0,393	0,442	0,576
Витрати на паливо, млн дол.	0,444	1,04	1,206	1,624
Загальні витрати, млн дол.	0,654	1,433	1,648	2,2
Виручка за теплоту, млн дол.	0,2122	0,4612	0,5673	0,7507
Відпуск електроенергії, МВт·год	25563	64865	76291	104928
Виручка за електроенергію, млн дол.	0,568	1,441	1,695	2,33

Показники	Варіанти			
	1	2	3	4
Міжопалювальний період				
Загальна виручка, млн дол	0,780	1,902	2,262	3,082
Різниця між виручкою і витратами, млн дол.	0,126	0,469	0,614	0,882
Річна різниця між виручкою і витратами, млн дол.	0,994	2,527	3,195	4,319
Капіталовкладення в ГТУ, млн дол.	3,3	7,2	8,3	10
Термін окупності капіталовкладень, рік	3,32	2,85	2,6	2,3

Розрахункові дані свідчать про те, що, незважаючи на додаткові витрати, які пов'язані з установленням підігрівника мережної води і регенератора, річна різниця між виручкою за відпущені енергоносії та витратами на зазначене устаткування в 1,7...2 рази більша, ніж в котельнях однакової з ГТУ-ТЕЦ тепловою потужністю. Із табл. 3 видно, що вартість зекономленого в міжопалювальний період роботи ГТУ-ТЕЦ палива завдяки регенерації майже вдвічі менша капіталовкладень в регенератор. Однак в разі роботи ГТУ-ТЕЦ без регенерації електрична і тепла потужності її в міжопалювальний період складатимуть біля 30 % від їх номінальних значень. Але, згідно з даними [4] електричний ККД ГТУ в цьому разі зменшиться на 10...12 %. Це призведе до перевитрат палива і відповідно витрат на нього більш як на 40 %. Крім того, відпуск електроенергії та величина виручки за неї зменшиться на 60 %. Таким чином, робота ГТУ-ТЕЦ в міжопалювальний період буде характеризуватись від'ємною різницею між виручкою і витратами, що суттєво погіршить річні показники її роботи.

Звернемо увагу на те, що переобладнання опалюваних котелень на ГТУ-ТЕЦ потребує значних капіталовкладень саме на газотурбінну установку. Однак термін окупності ГТУ-ТЕЦ цілком прийнятний для умов ринкової економіки, що свідчить про доцільність їх впровадження в муніципальну енергетику. Таке впровадження дозволяє в якійсь мірі вирішити проблему дефіциту маневрових потужностей в енергосистемі, а також поліпшити надійність електропостачання, оскільки виробництво електроенергії здійснюється безпосередньо за місцем її споживання і не пов'язане з істотними втратами в лініях електропередачі.

### Висновки

1. Заміна опалювальних котелень на ГТУ-ТЕЦ в муніципальній енергетиці цілком доцільна, хоча і потребує певних інвестицій.

2. Впровадження ГТУ-ТЕЦ збільшує регульовальні електричні потужності енергосистеми, зменшує витрати в лініях електропередачі та сприяє поліпшенню надійності електропостачання.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дикий Н. А. Комбинированное производство энергии для преодоления кризиса в энергетике // Экотехнология и ресурсосбережение. — 2001. — № 1. — С. 13—17.
2. Долінський А. А., Кліменко В. Н. Когенерація — нові потужності для енергетики // Енергозбереження Поділля. — 2004. — № 2. — С. 53—59.
3. Чепурний М. М., Лопатюк Я. В., Нікіфорова К. В. Когенераційні установки на базі ГТУ і опалювальних котелень // Вісник ВПУ. — 2004. — № 5. — С. 55—58.
4. Сравнение газопоршневой ТЭЦ с газотурбинной и дизельгенераторной // Электронный журнал энергосервисной компании. Экологические системы. — 2003. — № 4. — С. 6—9. (<http://www.jenbacher.ru>)
5. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й., Бужинський В. В. Розрахунки теплових схем когенераційних установок. — Вінниця: ВНТУ. — 2003. — 103 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 11.01.05  
Рекомендована до друку 25.08.05

**Чепурний Марко Миколайович** — доцент кафедри теплоенергетики; **Медведєва Анна Володимирівна, Колесник Наталія Віталіївна** — студенти Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет