

ЕНЕРГЕТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 631.438

М. М. Чепурний, к. т. н., доц.;

М. В. Бужинський студ.

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОПАРОВИХ ТЕЦ З ПРОТИТИСКОВИМИ ПАРОВИМИ ТУРБІНАМИ

Визначено залежності між основними показниками комбінованих газопарових установок з котлами-утилізаторами. Наведено результати оцінок теплової економічності таких установок.

Стан проблеми

На теперішній час, коли різко зростають ціни на енергетичне паливо, питання енергозбереження в процесах виробництва теплоти та електроенергії набули пріоритетного значення, що знайшло відображення і на законодавчому рівні [1, 2]. Неefективне використання енергоресурсів спостерігається в усіх галузях промисловості і насамперед в паливно-енергетичному комплексі.

Вирішення накопичених проблем в теплоенергетиці можливо лише в разі застосування прогресивних технологій в процесах виробництва теплової та електричної енергії. Одним із перспективних напрямів економії паливних ресурсів і покриття дефіциту маневрових електричних потужностей є використання газопарових установок (ГПУ) для комбінованого виробництва електроенергії та теплоти. Найefективнішим засобом впровадження газопарових технологій є перетворення сучасних теплових електростанцій (ТЕС) і теплоелектроцентралеї (ТЕЦ) в газопарові за рахунок їх надбудови газотурбінними установками (ГТУ) з котлами-утилізаторами (КУ), про що свідчить досвід [1–6].

На даний момент можна констатувати, що в Україні створена необхідна матеріальна база для впровадження газопарових технологій в теплоенергетичну галузь. На підприємствах: НВП «Маш-проект» (фірма «Зоря» м. Миколаїв), НВО «Турбоатом» (м. Харків), ВАТ «МоторСіч» (м. Запоріжжя) розроблені та серійно виготовляються ГТУ для «малої» та «середньої» енергетики потужністю від 2,5 до 135 МВт з коефіцієнтом корисної дії (ККД) до 0,36. Сучасні типорозміри ГТУ передбачають роботу не тільки на газоподібному, але й на рідкому паливі. Привабливішим вважається впровадження газотурбінних надбудов на ТЕЦ невеликої потужності як за рахунок менших капітальних витрат, так і за рахунок більш швидкого введення в експлуатацію. Створення ГТУ-ТЕЦ на промислових підприємствах не тільки підвищує надійність електропостачання, але й позбавляє від необхідності сплачувати втрати в електромережах. Крім того, створення таких ТЕЦ вносить певний вклад у вирішення проблеми покриття дефіциту регульованих потужностей в енергосистемі, які за оцінками Мінпаливноенерго, складають понад 1000 МВт. На ТЕЦ багатьох переробних підприємств країни працюють протитискові турбіни невеликої потужності (1,5...6 МВт), які часто не можуть в повному обсязі забезпечувати підприємства електричною енергією. Збільшується і кількість промислових підприємств, які зацікавлені в продажу надлишкової електроенергії. Застосування ГТУ-ТЕЦ дозволяє на базі сталої теплової потужності підприємств різко збільшити виробництво електроенергії. В зв'язку з вищевикладеним здійснена спроба визначити основні показники роботи газопарових установок, створених в результаті газотурбінних надбудов на ТЕЦ з проти-тисковими паровими турбінами невеликих потужностей, які характерні для промислових переробних підприємств.

Основні результати

Принципова схема такої ГТУ-ТЕЦ показана на рис. 1, де нанесені позначення: витрати палива (B); витрати пари та води (D); тиску (P); температур (t); ентальпій (h).

© М. М. Чепурний, М. В. Бужинський, 2009

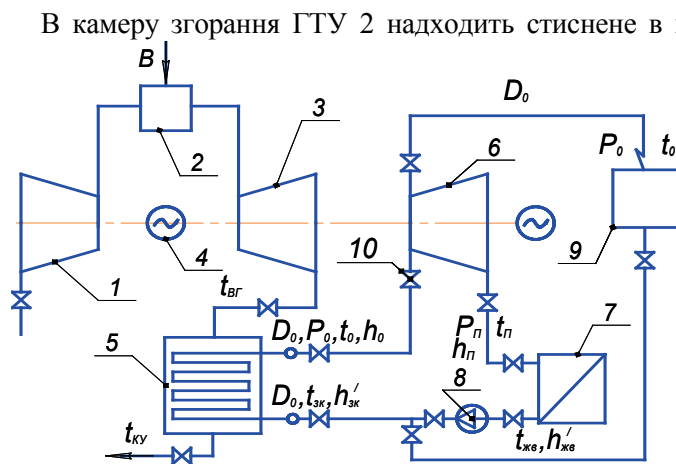


Рис. 1. Принципова схема газопарової ТЕЦ:

- 1 — компресор ГТУ; 2 — камера згорання ГТУ;
- 3 — газова турбіна; 4 — електрогенератор;
- 5 — котел-утилізатор; 6 — парова протитисковий турбіна;
- 7 — споживач пари; 8 — насос зворотного конденсату;
- 9 — паровий котел; 10 — запірні арматура

пература зворотного конденсату визначається особливостями роботи теплових споживачів, але, як правило, вона дорівнює температурі живильної води $t_{жв}$. Для відомих параметрів із таблиць води і водяної пари визначаються значення ентальпій $h_{п}$ і $h'_{зк} = h'_{жв}$ (рис. 1). Оскільки вся пара після турбіни надходить до теплових споживачів, то теплова потужність складатиме

$$Q_T = D_0 (h_n - h'_{жв}); \tag{1}$$

Необхідна потужність котла-утилізатора (КУ за ГТУ)

$$Q_{КУ} = N_{П} + Q_T = N_{П}(1 + e)/e = N_{П}\beta, \tag{2}$$

де $e = N_{П}/Q_T$ — частка виробництва електроенергії на тепловому постачанні, яка є однією із складових, що характеризує ефективність роботи ПГУ [4, 6].

Витрата умовного палива на ПГУ

$$B_{П} = Q_{КУ}/(Q_y \eta_k) = N_{П}\beta/(Q_y \eta_k), \tag{3}$$

де $Q_y = 29,3$ МДж/кг — теплота згорання умовного палива; η_k — коефіцієнт корисної дії (ККД) парового котла.

З іншого боку величина $Q_{КУ}$ має дорівнювати тепловій потужності відпрацьованих в ГТУ газів, яка утилізується в котлі-утилізаторі.

Теплова потужність відпрацьованих в ГТУ газів [6]

$$Q_{ВГ} = (1 - \eta_{Г}) N_{Г}/\eta_{Г} = \alpha N_{Г}, \tag{4}$$

де $\eta_{Г}$ і $N_{Г}$ — ККД і електрична потужність ГТУ, відповідно, $\alpha = (1 - \eta_{Г})/\eta_{Г}$,

Витрата умовного палива на ГТУ [6]

$$B_{Г} = (Q_{ВГ} + N_{Г})/Q_y = (1 + \alpha) N_{Г}/Q_y. \tag{5}$$

Для ефективної роботи котла-утилізатора та зменшення його габаритів різниця температур між теплоносіями Δt на вході в КУ і на виході з нього має бути не менше 50 °С, тобто $t_{ВГ} \geq t_0 + 50$ °С і $t_{КУ} \geq t_{жв} + 50$ °С.

Коефіцієнт утилізації теплоти відпрацьованих і ГТУ газів [6]

$$\psi = (t_{ВГ} - t_{КУ})/(t_{ВГ} - t_{нс}), \tag{6}$$

де $t_{нс}$ — температура навколишнього середовища, яка за міжнародними правилами ISO дорівнює

В камеру згорання ГТУ 2 надходить стиснене в компресорі 1 повітря і паливо з витратою B . Утворені в ній продукти згорання (димові гази) виконують роботу обертання вала в газовій турбіні 3, після чого з температурою $t_{ВГ}$ надходять в котел-утилізатор 5, де, охолоджуючись до температури $t_{КУ}$, генерують водяну пару з витратою D_0 , і параметри: P_0 , t_0 , h_0 . Водяна пара виконує роботу в протитисковій паровій турбіні 6 і з кінцевими параметрами в протитиску $P_{п}$, $t_{п}$, $h_{п}$ і спрямовується до споживачів пари 7. Зворотний конденсат пари з параметрами $t_{зк}$, $h'_{зк}$ насосом зворотного конденсату 8 повертається в котел-утилізатор 5.

Необхідними даними для вибору ГТУ-надбудови є паспортні характеристики наявної паротурбінної установки (ПГУ): електрична потужність $N_{п}$, початкові параметри пари P_0 , t_0 , витрата пари на турбіну D_0 ; параметри пари за турбіною (в протитиску) $P_{п}$, $t_{п}$. Тем-

15 °С.

Теплова потужність котла-утилізатора

$$Q_{КУ} = Q_{ВГ} \psi = \alpha \psi N_{Г} = \phi N_{Г}. \tag{7}$$

Із порівняння (2) і (7) отримаємо

$$N_{Г} = N_{П} \beta / \phi. \tag{8}$$

Електрична потужність парогазової установки (ПГУ)

$$N_{ПГУ} = N_{П} + N_{Г} = N_{П} (1 + \beta / \phi). \tag{9}$$

Відносна витрата умовного палива на підставі (3), (5), (8)

$$B^* = B_{Г} / B_{П} = (1 + \alpha) \eta_{к} / \phi. \tag{10}$$

На підставі (8) і (10) додаткова витрата умовного палива на ГТУ-ТЕЦ дорівнюватиме

$$\Delta B = B_{Г} - B_{П} = N_{П} [(1 + \alpha) \eta_{к} / \phi - 1]. \tag{11}$$

Оскільки показники роботи ПТУ, яка працює в складі ГТУ-ТЕЦ, залишаються незмінними, то можна вважати, що додаткова витрата умовного палива за рахунок ГТУ-надбудови витрачена на додаткове виробництво електроенергії потужністю $N_{Г}$. Тоді питома витрата умовного палива на виробництво електроенергії на ГТУ, яка працює в складі ГТУ-ТЕЦ, становитиме, кг/(кВт·год)

$$b_y = \Delta B \cdot 3,6 / N_{Г},$$

де ΔB має розмірність кг/с, а $N_{Г}$ — МВт.

Отже, отримані прості та зручні формули для визначення основних показників роботи газопарових ТЕЦ з протитисковими турбінами. Для спрощення розрахунків на рис. 2, 3, 4 наведені розрахункові залежності для визначення коефіцієнтів α , ψ і ϕ .

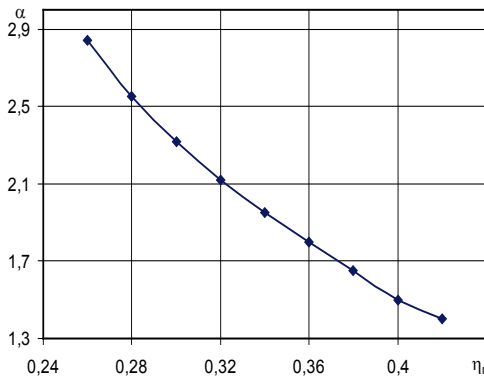


Рис. 2. Поточні значення коефіцієнта α

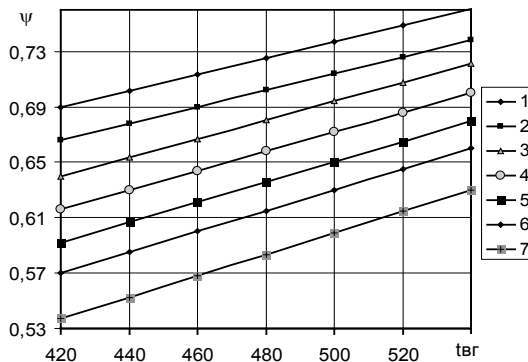


Рис. 3. Залежності для визначення коефіцієнта ψ :

1 — $t_{кв} = 140$; 2 — 150; 3 — 160;
4 — 170; 5 — 180; 6 — 190; 7 — 200 °С

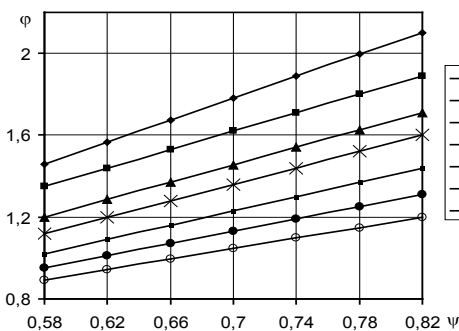


Рис. 4. Залежності для визначення коефіцієнта ϕ : 1 — $\eta_r = 0,28$; 2 — 0,3; 3 — 0,32; 4 — 0,34; 5 — 0,36; 6 — 0,38; 7 — 0,4

За вищевикладеною методикою здійснено розрахунки показників роботи ГТУ-ТЕЦ на базі протитискових турбін, найпоширеніших на промислових ТЕЦ переробних підприємств. Розрахунки виконані за умови: $t_{жв} = 104$ °С; $\eta_{к} = 0,91$; $t_{ку} = 155$ °С. Результати розрахунків зведені в таблицю.

Із наведеної таблиці видно, що електрична потужність вибраних ГТУ, які забезпечують нормальну роботу паротурбінної установки, перевищують електричну потужність останньої в 5 і більше разів. При цьому питома витрата умовного палива на виробництво електроенергії вдвічі менше, ніж в енергосистемі. Найпридатнішими для ГТУ-надбудов є варіанти 2, 3 і 4, в яких питомі витрати умовного палива на виробництво електроенергії в ГТУ найменші, що пояснюється більшими ККД газотурбінних установок. Зазначимо, що застосування ГТУ-надбудов зумовлює зменшення витрат електроенергії на власні потреби

ТЕЦ за рахунок вилучення з роботи допоміжного устаткування парового котла.

Показники роботи парогазових установок

Показники	Тип ПТУ / номер варіанта				
	P-1,5-15/3	P-2,5-15/3	P-2,5-35/3	P-4-35/3	P-6-35/3
	1	2	3	4	5
Електрична потужність ПТУ,	1,5	2,5	2,5	4	6
Температура пари, °С					
— перед турбіною	350	350	435	435	435
— за турбіною	190	193	200	193	189
Витрата пари на турбіну, т/год	21,8	34,3	32,6	35,6	50,5
Потужність теплових споживачів, МВт	15,9	23,95	22,04	23,87	33,7
Витрата умовного палива на ПТУ, кг/с	0,626	0,992	0,921	1,095	1,489
Виробництво електроенергії на тепловому постачанні	0,0987	0,104	0,111	0,1675	0,178
Тип газотурбінної надбудови	ГТД-16	ГТ-20	ГТ-20	ГТ-25	ГТ-35
Максимальна електрична потужність ГТУ,	16	20	20	27,5	32,2
Коефіцієнт корисної дії ГТУ	0,35	0,36	0,36	0,36	0,335
Температура газів за ГТУ, °С	420	520	520	490	440
Необхідна електрична потужність ГТУ,	13,73	20	19,1	22,23	29,85
Витрата умовного палива на ГТУ, кг/с	1,38	1,898	1,812	2,11	3,044
Перевитрата умовного палива на ПТУ, кг/с	0,754	0,906	0,892	1,015	1,555
Питома витрата умовного палива на виробництво електроенергії в ГТУ, кг/(кВт·год)	0,1977	0,163	0,168	0,164	0,187

Ефективність ГТУ-надбудов може бути підвищена за рахунок глибшої утилізації теплоти відпрацьованих в ГТУ газів в додатковому охолоднику, наприклад, для підігріву додаткової (підживлювальної) води з хімівоочистки.

Висновки

1. Необхідна електрична потужність газотурбінних двигунів в п'ять разів перевищує потужність паротурбінних установок з протитисковими турбінами.
2. Газотурбінні надбудови на ТЕЦ дозволять вдвічі зменшити питомі витрати палива на виробництво електроенергії в порівнянні з її виробництвом в енергосистемі.
3. Газопарові ТЕЦ передбачають як сумісну, так і автономну роботу парового і газового циклу і можуть використовуватись як електрогенерувальні маневрові потужності в енергосистемі.
4. Застосування газотурбінних надбудов на ТЕЦ може бути доцільним в разі застосування цін на електроенергію та її дефіциту в даному регіоні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Державна програма реконструкції теплових електростанцій України // ДНД ПВТУ «Енергоперспектива». — Київ, 2001. — 116 с.
2. Закон України про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного потенціалу // Відомості Верховної Ради. — 2005. — № 20. — С. 278—285.
3. Беркнев В. С. Возможный способ повышения мощности и Экономичности стационарных комбинированных установок с газовыми турбинами / В. С. Беркнев, В. Л. Иванов, В. А. Фомин // Теплоэнергетика. — 2005. — № 6. — С. 43—47.
4. Евгенко В. И. Анализ топливной экономичности газотурбинных ТЭЦ / В. И. Евгенко // Теплоэнергетика. — 2006. — № 10. — С. 74—78.
5. Чепурний М. М. Про доцільність впровадження газопарових ТЕЦ на базі ГТУ / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко, Є. С. Корженко // Енергозбереження Поділля. — 2004. — № 4. — С. 33—36.
6. Чепурний М. М. Показники роботи газопарових установок / М. М. Чепурний, В. В. Бужинський, В. А. Рейсиг // Проблеми загальної енергетики. — 2004. — № 11. — С. 65—68.
7. Теплотехнический справочник / Под ред. В. Н. Юреньева, П. Д. Лебедева. — М.: Энергия, 1980. — Т. 1. — 743 с.
8. Ривкин С. Л. Теплофизические свойства воды и водяного пара / С. Л. Ривкин, А. А. Александров. — М.: Энергия, 1980. — 424 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 26.09.08
Рекомендована до друку 20.10.08

Чепурний Марко Миколайович — професор кафедри теплоенергетики, **Бужинський Михайло Вікторович** — студент Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет