

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

УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ В ГПУ ГАЗІВ НА ГАЗОПЕРЕКАЧУВАЛЬНИХ СТАНЦІЯХ

Визначено умови створення теплових електричних станцій (ТЕС) з газопаровими енергоблоками на газоперекачувальних станціях, а також показники ефективності їх роботи.

Ключові слова: газова турбіна, парова турбіна, газопарова установка, котел-утилізатор.

Вступ

У теперішній час перспективність застосування газопарових установок (ГПУ) в теплоенергетиці є загально визнаною [1 – 5]. Створення ГПУ на базі газотурбінних установок (ГТУ) дозволяє збільшити виробництво електроенергії, підвищити ефективність використання палива та зменшити кількість шкідливих викидів в атмосферу. В Україні створена необхідна матеріальна база для впровадження газопарових технологій в енергетичну галузь. На енергомашинобудівних підприємствах м. Миколаєва, Харкова, Запоріжжя розроблені та серійно виготовляються ГТУ потужністю від 2,5 до 135 МВт з коефіцієнтами корисної дії від 0,3 до 0,36, які дозволяють забезпечити необхідну теплову ефективність, невеликі питомі вартості, експлуатаційні витрати та концентрації шкідливих викидів у довкілля. Робота сучасних ГТУ характеризується достатньо високими (400 – 500 °С) температурами відпрацьованих в газових турбінах газів. Тому використання таких ГТУ в енергетиці передбачає насамперед утилізацію теплоти відпрацьованих в ГТУ газів, за допомогою якої досягається значна економія робочого палива.

Газова промисловість – це один із найбільших споживачів природного газу, вартість якого постійно зростає. Тому питанням його економії та раціонального використання повинна приділятися належна увага. Сьогодні теплота відпрацьованих в ГТУ газів на газоперекачувальних станціях практично не використовується [6]. Одним із засобів економії газу з одночасним нарощенням електричної потужності енергосистеми, а також зменшення собівартості транспортування газу є застосування газопарових установок, які працюють за бінарним циклом. На газоперекачувальних станціях працюють переважно агрегати, виготовлені у 80-х роках минулого століття, які зараз замінюються на більш сучасні. Характеристики останніх наведені в табл. 1. ГПУ на базі газоперекачувальних станцій можуть бути створені в разі утилізації теплоти відпрацьованих в ГТУ газів в котлах-утилізаторах (КУ), які генерують водяну пару певного тиску $P_{ку}$ і температури $t_{ку}$. Типи та конструкції КУ наведені в [7].

Таблиця 1

Характеристики деяких ГТУ для газоперекачувальних агрегатів

Показники	Тип газоперекачувального агрегату		
	ГПУ-10А	ГПА-Ц-16А	ГПУ-25
Корисна потужність, МВт	10	16	25
Міра підвищення тиску в компресорі	17	18,1	21,8
Коефіцієнт корисної дії	0,34	0,34	0,35
Температура газів, 0С:			
перед турбіною;	1120	1183	1220
за турбіною	480	480	485

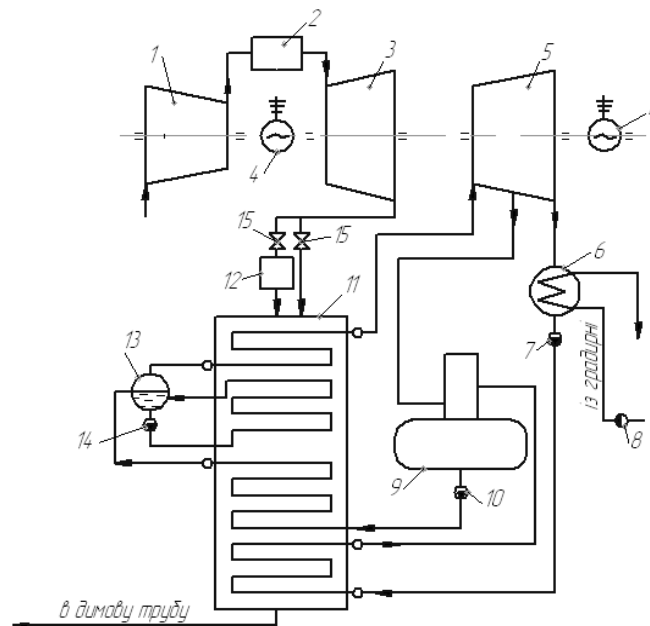


Рис. 1. Принципова теплова схема ГТУ: 1 – компресор; 2 – камера згоряння; 3 – газова турбіна; 4 – електрогенератор; 5 – парова турбіна; 6 – конденсатор; 7 – конденсатний насос; 8 – циркуляційний насос; 9 – деаератор; 10 – живильний насос; 11 – котел-утилізатор; 12 – пристрій для додаткового спалювання палива; 13 – барабан-сепаратор; 14 – насос рециркуляції; 15 – шибер

Котел-утилізатор оснащується пристроєм - блоком для додаткового спалювання палива (БДС), за допомогою якого в разі необхідності може бути підвищена температура відпрацьованих в ГТУ газів на вході в КУ. Допалювання здійснюється без додаткової подачі повітря в середовищі відпрацьованих продуктів згоряння палива. Останні, як відомо, [3 – 6] являють собою забаластований продуктами згоряння окислювач, в якому міститься від 13 до 15 % кисню. Такий спосіб додаткового спалювання газоподібних палив суттєво зменшує утворення оксидів азоту [8].

Утворена в КУ водяна пара надходить у парову турбіну, де розширюється до кінцевого тиску P_k , виконуючи механічну роботу обертання вала з електрогенератором. Відпрацьована в турбіні пара спрямовується в конденсатор, де конденсується і конденсатним насосом перекачується в котел-утилізатор. Таким чином, на базі ГТУ з котлом-утилізатором створюється комбінована газопарова установка з бінарним (газовим і паровим) циклом, принципова теплова схема якої показана на рис. 1.

У цій роботі ставилась задача визначення показників роботи ГПУ, створених на базі ГТУ, які використовуються на газоперекачувальних станціях і характеристики яких наведені в табл. 1.

Основні результати

Для утилізації теплоти відпрацьованих в ГТУ газів і генерації водяної пари вибраний котел-утилізатор типу КГТ-50/39-50, який генерує перегріту пару з параметрами: $P_{ку} = 3,9$ МПа, $t_{ку} = 440$ °С. Паротурбінним приводом електрогенератора вибрана турбіна типу К-11-10 П з електричною потужністю 12 МВт. Параметри пари перед турбіною становлять: $P_0 = 3,5$ МВт, $t_0 = 435$ °С. Система технічного водопостачання – оборотна з градирнею. Кінцевий тиск пари на вході в конденсатор дорівнює 5 кПа. Деаерація живильної води здійснюється в деаераторі атмосферного типу, який заживлений паром з відбору турбіни з тиском 0,12 МПа. Для забезпечення рекомендованої різниці температур між теплоносіями [7] температура газів на вході в котел-утилізатор після БДС складала 540 °С, а на виході із КУ – 133 °С. Зрозуміло, що для досягнення температури 540 °С необхідно спалювати додатково робочого палива B_d в БДС або певну частку палива $\delta = B_d/B_{emy}$, де B_{emy} – витрата

палива на ГТУ. Величина B_0 визначалась із балансового рівняння БДС

$$G_{\text{гз}} \cdot h_{\text{гз}} + B_0 \cdot Q_n^p = (B_0 + G_{\text{гз}}) \cdot h'_{\text{кв}}, \quad (1)$$

де $G_{\text{гз}}$ – витрата відпрацьованих в ГТУ газів; $h_{\text{гз}}$ і $h'_{\text{кв}}$ – ентальпія відпрацьованих в ГТУ газів і продуктів згоряння після БДС (на вході в котел-утилізатор), відповідно; Q_n^p – теплота згоряння робочого палива.

Права частина (1) являє собою теплову потужність продуктів згоряння на вході в КУ $Q_{\text{ку}}$. Теплова потужність, яка утилізована в КУ (потужність котла-утилізатора) складатиме

$$Q_{\text{ум}} = Q_{\text{ку}} \cdot \psi, \quad (2)$$

де $\psi = (t'_{\text{кв}} - t''_{\text{кв}}) / (t'_{\text{кв}} - t_{\text{нс}})$; $t'_{\text{кв}}$ і $t''_{\text{кв}}$ – температура газів на вході в КУ і на виході з нього, відповідно; $t_{\text{нс}}$ – температура навколишнього повітря, яка за міжнародними правилами ISO-23-14 становить 15 °С.

Паливо – природний газ із теплотою згоряння 33,4 МДж/м³. Методика розрахунків ГПУ без додаткового спалювання і з додатковим спалюванням палива в БДС наведена в [3]. Результати розрахунків ГПУ для вибраних типів ГТУ, котла-утилізатора і парової турбіни зведені в табл. 2. Розрахунки викидів оксидів азоту та двоокису вуглецю виконані за методиками [9, 10].

Таблиця 2

Показники роботи газопарових установок

Показники	Тип ГТУ		
	ГПУ-10А	ГПА-Ц-16А	ГПУ-25
Витрата робочого палива на ГТУ, м ³ /с	1,00	1,608	2,44
Витрата відпрацьованих в ГТУ газів, кг/с	36,91	57,5	82,1
Потужність відпрацьованих в ГТУ газів, МВт	19,41	31,06	46,428
Додаткова витрата робочого палива в БДС, м ³ /с	0,128	0,182	0,211
Частина додаткової витрати палива (δ)	1,128	1,788	2,651
Загальна витрата робочого палива в ГПУ, м ³ /с	1,285	2,038	3,02
Загальна витрата умовного палива в ГПУ, кг/с	23,578	36,738	52,444
Потужність газів на вході в котел-утилізатор, МВт			
Коефіцієнт утилізації теплоти продуктів згоряння (ψ)	0,775	0,775	0,775
Теплова потужність котла-утилізатора, МВт			
Витрата пари в КУ, т/год	18,36	28,61	40,80
Електрична потужність паротурбінної установки (ПТУ), МВт	23,04	35,82	46,8
	5,9	9,1	12,9
ККД ПТУ			
Питома витрата умовного палива на виробництво електроенергії в ГПУ, кг/(кВт·год)	0,34	0,34	0,34
ККД ГПУ	0,291	0,292	0,285
Приріст ККД відносно ККД ПТУ, %	0,4226	0,4212	0,4315
Річна економія умовного палива, т	8,26	8,12	9,15
Річна економія кисню, т	10145	16510	25240
Річне зменшення викидів оксидів азоту, т	13695	22230	33932
Річне зменшення викидів парникового газу, т	2205	3588	5486
	925,1	1485,9	2271,6

Отримані результати свідчать про те, що застосування теплових електричних станцій (ТЕС) з газопаровими установками, створеними на базі газоперекачувальних апаратів з газотурбінними приводами, цілком доцільне. Такі ТЕС дозволяють генерувати значні електричні потужності з коефіцієнтами корисної дії, які більш як на 8 – 9 % перевищують ККД теплових електростанцій. На газоперекачувальних станціях, як правило, встановлено три (два робочих і один резервний) газоперекачувальні апарати з приводом від газової

турбіни. Тоді на ТЕС з двома агрегатами ГПА-10 А можна виробляти 11,8 МВт електричної потужності; на ТЕС з агрегатами ГПА-Ц-16 А – 18,2 МВт, а на ТЕС з агрегатами ГПУ-25 – 24 МВт. При цьому частка додаткового спалювання палива не перевищує 0,13, що згідно з [3], відповідає її оптимальним значенням. Збільшення коефіцієнтів корисної дії ПГУ в порівнянні з ККД теплових електростанцій зумовлює суттєву економію умовного палива, що, в свою чергу, зменшує викиди оксидів азоту та двоокису вуглецю в атмосферу. Зазначимо також, що нарощення електрогенерувальних потужностей в енергосистемі не тільки в якійсь мірі вирішує проблему дефіциту маневрових потужностей і електроенергії в регіоні, але й покращує надійність електропостачання, оскільки виробництво електроенергії здійснюється за місцем споживання і не пов'язане зі значними втратами в процесі її транспортування в лініях електропередачі.

Висновки

1. Створення теплових електростанцій з газопаровими установками легко реалізується на базі енергоукомплектування, яке серійно виготовляється та експлуатується.
2. Застосування газопарових установок на газоперекачувальних станціях дозволяє збільшити маневрові електрогенерувальні потужності в енергосистемі.
3. Використання теплоти відпрацьованих в газотурбінних установках продуктів згоряння палива підвищує ефективність його використання, зумовлює його економію і зменшення шкідливих викидів у довкілля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Панасовский О. Г. Программа сохранения и развития энергетики Украины путем объединения парового и газотурбинного циклов / О. Г. Панасовский, Г. И. Кубишко // Энергетика и электрификация, 1997. - № 5. - С. 8 – 12.
2. Ермолаев В. Некоторые аспекты применения ГТУ средней мощности в газопаровых установках утилизационного типа / В. Ермолаев, Ю. Русецкий, О. Шварцман // Газопаровые технологии, 2003. - № 4. - С. 10 – 13.
3. Рейсиг В. А. Энергетические характеристики парогазовых установок с котлами-утилизаторами / В. А. Рейсиг, М. Н. Чепурной, В. В. Бужинский // Пром. Теплотехника, 2003. – Т. 25. - № 1. – С. 61 – 64.
4. Иванов А. П. Энергетические возможности надстройки энергоблоков газотурбинными установками / А. П. Иванов, В. А. Клевцев, А. В. Корячин // Энергосбережение и водоподготовка, 2005. – № 3. – С. 43 – 45.
5. Чепурной М. Н. Эффективность применения ГТУ-ТЭС / М. Н. Чепурной, С. Й. Ткаченко, Е. С. Корженко // Энергосбережение. – 2006. – № 10. – С. 24 – 26.
6. Парфейник В. П. Термодинамическая эффективность газоперекачивающих аппаратов с газотурбинными приводами / В. П. Парфейник, В. И. Еванко // Пром. Теплотехника, 2002. – Т. 22. - № 1. – С. 31 – 36.
7. Резник Н. И. Котлы-утилизаторы АОА «Красный котельщик» для парогазовых и газотурбинных установок / Н. И. Резник, В. В. Иваненко // Теплоэнергетика, 2003. – № 11. – С. 51 – 53.
8. Морозов О. В. Образование оксидов азота при сжигании газа в среде забалластированного окислителя / О. В. Морозов, А. Д. Горбатенко // Теплоэнергетика, 1996. – № 4. – С. 2 – 11.
9. Безгрешнов А. Н. Расчет паровых котлов в примерах и задачах / А. Н. Безгрешнов, Ю. М. Липов, Б. М. Шлейфер. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 238 с.
10. Рыжкин В. Я. Тепловые электрические станции / В. Я. Рыжкин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.

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

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

Димніч Ілона Миколаївна – студентка інституту будівництва, теплоенергетики і газопостачання. Вінницький національний технічний університет.