

УДК 621. 438

М. М. Чепурний, к. т. н.;

О. В. Антропова, студ.

ПОКАЗНИКИ РОБОТИ ГТУ-ТЕЦ УТИЛІЗАЦІЙНОГО ТИПУ З ДОДАТКОВИМ СПАЛЮВАННЯМ ПАЛИВА

Наведено розрахункові залежності впливу окремих факторів на ефективність роботи парогазових установок утилізаційного типу. Побудовано номограми для визначення основних показників ефективності таких установок.

Стан проблеми

За останні десятиріччя минулого століття відбулась переорієнтація значної частини виробництва електроенергії та теплоти з використанням природного газу. Цьому сприяли низькі ціни на цей вид енергетичного палива. Разом з тим, різке зростання споживання газу в теплоенергетичній галузі здійснювалось без підвищення ефективності його використання. Масове спалювання газу в камерних топках котлів на теперішній час, коли суттєво зростають ціни на паливо, можна розглядати як ознаку технічної відсталості. На Заході давно зрозуміли вигоду від газопарових установок (ГПУ) з утилізацією теплоти відпрацьованих в газотурбінних установках (ГТУ) продуктів згорання палива. Застосування ГПУ у вітчизняній енергетиці дозволяє здійснити якісні зміни в процесах виробництва електроенергії: отримати додаткові електрогенерувальні та маневрові потужності, зменшити питомі витрати палива на виробництво електроенергії, поліпшити екологічні показники теплових електричних станцій (ТЕС).

Найефективнішим засобом впровадження газопарових технологій є перетворення наявних теплоелектроцентралей (ТЕЦ) невеликої потужності в газопарові за рахунок їх надбудови ГТУ з котлами-утилізаторами, про що свідчать матеріали літературних джерел [1—7]. На даний момент можна констатувати, що в Україні створена необхідна матеріальна база для впровадження газопарових технологій в теплоенергетичну галузь. На енергомашинобудівних підприємствах Миколаєва, Харкова, 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 як на газоподібному, так і на рідкому паливі. Привабливішим вважається впровадження газотурбінних надбудов на енергоблоках невеликої потужності як за рахунок менших капітальних витрат, так і за рахунок швидшого введення в експлуатацію [3, 4, 6]. Застосування газотурбінних надбудов саме на таких ТЕЦ дозволяє суттєво збільшити виробництво електроенергії, зменшити дефіцит маневрових потужностей та покращити надійність регіонального електропостачання за рахунок зменшення втрат енергії в центральних лініях електропередачі.

Основні результати

В попередній роботі [6] розглянуто ефективність роботи двоконтурної ГТУ-ТЕЦ, паровий контур якої утворений за рахунок утилізації теплоти відпрацьованих в ГТУ продуктів згорання (димових газів). До складу комбінованої газопарової установки входили: ГТУ, котел-утилізатор (КУ), паротурбінна установка (ПТУ) з конденсаційною турбіною та допоміжне устаткування. Там же з'ясовано вплив ККД окремих агрегатів на ефективність комбінованого енергоблоку в цілому. Визначено, що потужність паротурбінного циклу може складати 40...45 % від потужності ГТУ. При цьому ККД газопарової установки перевищує ККД ГТУ на 8...10 %. До недоліків таких ГТУ-ТЕЦ слід віднести невисокі значення ККД парового циклу в зв'язку з обмеженими температурами гострої пари на виході з котла-утилізатора, які залежать від температури димових газів на виході з ГТУ.

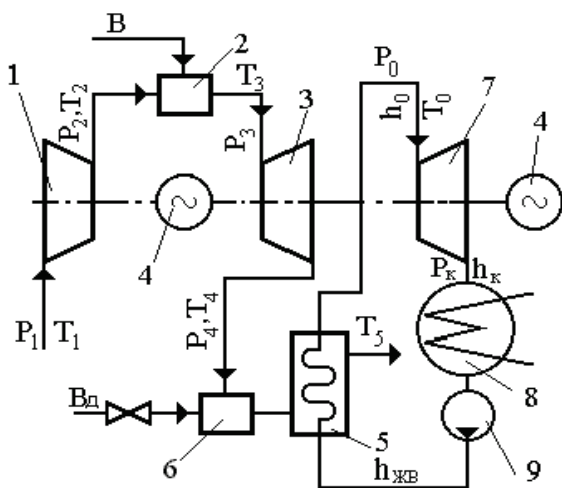


Рис. 1. Принципова теплова схема ГТУ утилізаційного типу: 1 — компресор; 2 — камера згорання; 3 — газова турбіна; 4 — електрогенератор; 5 — котел-утилізатор; 6 — камера додаткового спалювання палива; 7 — парова турбіна; 8 — конденсатор; 9 — насос

кількість палива, яка витрачається на додаткове спалювання має бути обмежена умовами повного згорання. Крім цього, необхідно з'ясувати оптимальну витрату додаткового палива на допалювання та його вплив на ефективність роботи ГПУ.

В зв'язку з вищевикладеним, ставилася задача варіантними розрахунками виявити вплив додаткового спалювання палива на ефективність роботи ГТУ-ТЕЦ утилізаційного типу. Методика розрахунків таких ГПУ викладена в [4]. Безрозмірна витрата додаткового палива, що спалюється в камері допалювання перед котлом-утилізатором, оцінювалась за допомогою коефіцієнта $\beta = V_d/V_{ГТУ}$, де V_d і $V_{ГТУ}$ — витрати палива в камері допалювання і в камері згорання ГТУ, відповідно.

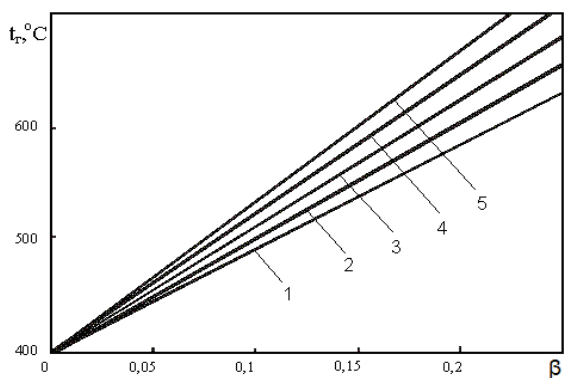


Рис. 2. Значення температур відпрацьованих в ГТУ газів в залежності від частки допалювання:

- 1 — $\eta_{ГТУ} = 0,22$; 2 — $0,26$; 3 — $0,3$;
- 4 — $0,34$; 5 — $0,38$

На рис. 2 показані залежності, які характеризують вплив β на підвищення температури димових газів t_r після камери допалювання (перед котлом-утилізатором) за умови, що температура відпрацьованих в ГТУ газів дорівнює $400\text{ }^\circ\text{C}$. Із рисунка видно, що основний вплив на величину t_r справляє саме значення β . Вплив ККД ГТУ ($\eta_{ГТУ}$) на підвищення температури димових газів починає проявлятися в області $\beta > 0,07$.

Для оцінки ефективності використання теплоти димових газів в котлі-утилізаторі був вибраний коефіцієнт утилізації [4]

$$\phi = \psi(1 - \eta_{ГТУ} + \beta),$$

де $\psi = (t_{кy} - t_s)/(t_{кy} - t_{nc})$; $t_{кy}$, t_s і t_{nc} — температура газів на вході в КУ, на виході з нього і навколишнього середовища, відповідно. Для спрощення визначення значень ϕ побудована номограма, яка наведена на рис. 3.

За допомогою цієї номограми і залежностей, показаних на рис. 4 легко визначаються величини відносної потужності $N^* = N_{ГТУ} / N_{ПТУ}$, де $N_{ГТУ}$ і $N_{ПТУ}$ — електричні потужності ГТУ і ПТУ; $\eta^* = \eta_{ГТУ} / \eta_{ПТУ}$ — відносний ККД; $\eta_{ПТУ}$ — ККД ПТУ. Із рис. 3 і 4 випливає, що зі збільшенням β , а, отже, і ϕ значення відносної потужності N^* зменшуються за рахунок збільшення потужності ПТУ.

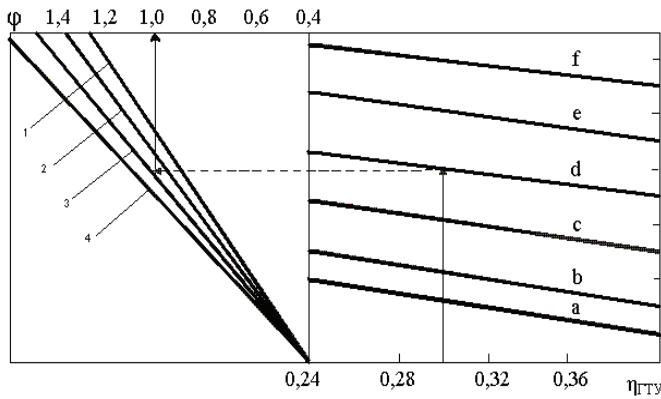


Рис. 3. Номограма для визначення коефіцієнтів ефективності використання теплоти відпрацьованих газів: $a - \beta = 0,05$; $b - 0,1$; $c - 0,2$; $d - 0,4$; $e - 0,6$; $f - 0,8$; $1 - \psi = 0,74$; $2 - 0,8$; $3 - 0,86$; $4 - 0,92$

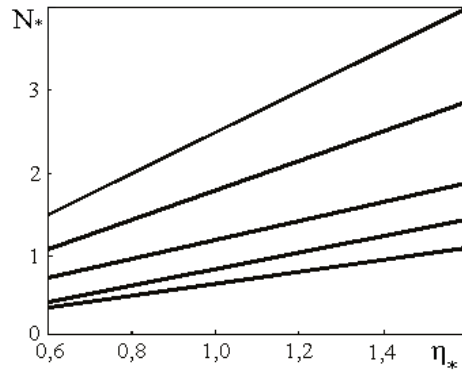


Рис. 4. Залежності зміни відносної потужності ГТУ: $1 - \phi = 0,4$; $2 - 0,6$; $4 - 1,2$; $5 - 1,6$

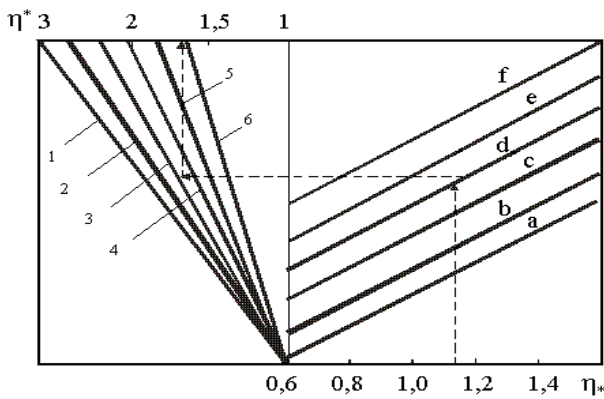


Рис. 5. Номограма для визначення відносних ККД ГТУ: $a - \phi = 0,4$; $b - 0,6$; $c - 0,8$; $d - 1$; $e - 1,2$; $f - 1,4$; $1 - \beta = 0,05$; $2 - 0,1$; $3 - 0,15$; $4 - 0,2$; $5 - 0,25$; $6 - 0,3$

Для оцінки впливу β на ефективність роботи ГПУ з додатковим спалюванням палива на рис. 5 побудована номограма, де $\eta^* = \eta_{\text{ГПУ}}^* / \eta_{\text{ГТУ}}$. Із номограми видно, що для заданого співвідношення η^* величина відносного коефіцієнта корисної дії ГПУ (η^*) тим менше, чим більше частка допалювання β . Це пояснюється тим, що зі збільшенням β підвищуються початкові параметри пари перед паровою турбіною, а, отже, і ККД ПТУ.

Для фіксованих значень β і ϕ зменшення η^* обумовлено зменшенням величини відносного ККД η^* , тобто знов таки підвищенням ККД паротурбінного циклу. Наявність наведених залежностей і номограм дає змогу оперативно оцінювати основні показники ГТУ-ТЕЦ з додатковим спалюванням палива перед котлом-утилізатором, а також підбирати типове газотурбінне і паротурбінне уста-

ткування, що входить до складу ГПУ.

Для прикладу в таблиці наведені результати розрахунків показників роботи ГПУ, створених на базі ГТУ і ПТУ, що серійно випускаються на енергомашинобудівних підприємствах України та Росії. Розрахунки виконані за умови: $N_{\text{ГТУ}} = 1$ МВт; $\eta_{\text{ГТУ}} = 0,3$; $t_4 = 400$ °С; $t_5 = 120$ °С; кінцева міра сухості пари на виході з ПТУ — $0,88 \div 0,89$; електромеханічний ККД ГТУ і ПТУ — $0,96$.

Показники роботи ГПУ з додатковим спалюванням палива

Показники	Значення β					
	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
Температура газів на вході в КУ, °С	400	460	510	570	625	675
Температурний коефіцієнт ψ	0,727	0,764	0,787	0,81	0,821	0,84
Величина ϕ	0,509	0,573	0,63	0,688	0,739	0,791
Теплова потужність КУ, МВт	1,696	1,91	2,11	2,293	2,463	2,864
Параметри пари перед ПТУ:						
тиск, МПа	2,4	2,4	3,5	8,88	12,75	12,75
температура, °С	330	390	440	500	540	555
Коефіцієнт корисної дії ПТУ	0,262	0,274	0,307	0,33	0,341	0,345
Питома потужність ПТУ, МВт	0,444	0,523	0,617	0,725	0,841	0,91
Коефіцієнт корисної дії ГТУ	0,432	0,436	0,448	0,458	0,462	0,464

Розрахункові дані свідчать про те, що збільшення частки допалювання β дозволяє підвищити початкові параметри пари перед ПТУ, що в свою чергу, зумовлює підвищення потужності та ККД ПТУ. Для $\beta = 0,25$, наприклад, електрична потужність зростає більш як на 100 % в порівнянні з потужністю без додаткового спалювання палива ($\beta = 0$). При цьому ККД ПТУ зростає на 3,3 %, а ККД ПГУ — на 8,3 %. Однак слід зазначити, що зі збільшенням β величина прирощення ККД газопарової установки зменшується. Крім того, треба мати на увазі, що зростання β погіршує умови для повного згорання додаткового палива і сприяє зростанню втрат від хімічної неповноти згорання. Розрахунки процесів горіння за [9] показали, що найбільш доцільними режимами роботи ГТУ-ТЕЦ з додатковим спалюванням палива перед КУ слід вважати режими, коли $\beta \leq 0,2$.

Висновки

Застосування додаткового спалювання палива в ГПУ утилізаційного типу дозволяє підвищити їх електричну потужність і ККД.

Орієнтовні значення найпридатніших часток допалювання палива перед котлом-утилізатором перебувають в діапазоні $\beta = 0,15 \dots 0,2$.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ольховский Г. Г. Модернизация энергетических блоков путем их надстройки газовыми турбинами / [Г. Г. Ольховский, Н. С. Чернецкий, П. А. Березинец] // Электрические станции, 1997. — № 4. — С. 9—18.
2. Панасовский О. Г. Программа сохранения и развития энергетики Украины путем объединения парового и газотурбинного циклов / О. Г. Панасовский, Г. И. Кубышко // Энергетика и электрификация, 1997. — № 5. — С. 8—12.
3. 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.
4. Чепурний М. М. Показники роботи газопарових установок бінарного типу / М. М. Чепурний, В. А. Рейсиг // Проблеми загальної енергетики, 2004. — № 11. — С. 65—67.
5. Иванов А. П. О возможности надстройки энергоблоков газотурбинными установками / А. П. Иванов, А. В. Клевцов, А. В. Корягин // Энергосбережение и водоподготовка, 2005. — № 3. — С. 43—45.
6. Чепурной М. М. Эффективность применения ГТУ-ТЭС / М. М. Чепурной, С. Й. Ткаченко, Е. С. Корженко // Энергосбережение, 2006. — № 10 — С. 24—26.
7. Чепурной М. М. Использование парогазовых установок на тепловых электростанциях с энергоблоками К-300-240 / М. М. Чепурной, С. Й. Ткаченко, Е. С. Корженко // Энергосбережение, 2007. — № 3 — С. 22—26.
8. Морозов О. В., Горбатенко А. Д. Образование оксидов азота при сжигании газа в среде забалластированного окислителя / О. В. Морозов, А. Д. Горбатенко // Теплоэнергетика, 1996. — № 4. — С. 61—64.
9. Чепурний М. М. Теплові розрахунки парогенераторів / Чепурний М. М., Степанов Д. В., Корженко Є. С. — Вінниця: ВНТУ, 2005. — 154 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 17.04.08
Рекомендована до опублікування 15.05.08

Чепурний Марко Миколайович — професор кафедри теплоенергетики, **Антропова Олена Володимирівна** — студентка Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет