

УДК 621.438

М. М. Чепурний, к. т. н., доц.;
С. Й. Ткаченко, д. т. н., проф.;
В. В. Бужинський, к. т. н., доц.;
Л. А. Лісіна, студ.

ДО ПИТАННЯ ПРО РОЗПОДІЛ ВИТРАТ ПАЛИВА МІЖ ВИДАМИ ЕНЕРГОПРОДУКЦІЇ В КОГЕНЕРАЦІЙНИХ УСТАНОВКАХ, УТВОРЕНИХ НА БАЗІ КОТЕЛЕНЬ І ГТУ

Різкий спад уведення нових електричних потужностей, консервація будівництва енергоблоків, моральне і фізичне старіння наявного енергетичного устаткування, 60 % якого вже на початку дев'яностих років минулого століття мало знос 50 %, — все це істотно ускладнює забезпечення України електроенергією. Подальший підйом економіки країни неможливий без збільшення виробництва електроенергії, тобто без випередженого вводу електрогенерувальних потужностей.

Одним із перспективних напрямків розвитку енергетики є застосування когенераційних технологій на базі газотурбінних установок (ГТУ), які дозволяють суттєво підвищити ефективність використання органічного палива і поліпшити екологічну обстановку [1, 2]. Об'єктами застосування таких технологій може бути велика кількість промислових і опалювальних котелень, які забезпечують майже 40 % теплової потужності країни. Такі котельні без значних грошових витрат можуть бути переобладнанні в міні-ТЕЦ, де вироблення електроенергії здійснюється в ГТУ, які працюють за «скидною» схемою (з передвключеною ГТУ), тобто зі скиданням відпрацьованих газів в топку котла або котла-утилізатора. Принципові схеми таких когенераційних установок наведені в [3, 4]. За експертними оцінками [5] приріст електричної потужності в Україні на утворених таким чином міні-ТЕЦ може сягати 10—12 % від загальної електрогенерувальної потужності. Зазначені міні-ТЕЦ відрізняються тим, що тут вироблення електроенергії здійснюється на базі вироблення теплоти, а не навпаки, як на наявних ТЕЦ.

Відпрацьовані в ГТУ газу мають значну температуру (420—500 °С) і містять від 13,5 до 15,5 % кисню, тобто являють собою високотемпературний окислювач, що може використовуватись для спалювання палива в котлах. Крім утилізації в котлах теплоти відпрацьованих в ГТУ газів і, як наслідок цього, економії палива, спалювання палива в середовищі забаластованого окислювача майже вдвічі зменшує утворення оксидів азоту і викид їх в атмосферу [6]. Дослідженнями, виконаними на кафедрі теплоенергетики ВНТУ, встановлено, що для реконструкції котелень на міні-ТЕЦ найпридатнішими є саме вітчизняні ГТУ невеликої потужності, які відрізняються нижчим рівнем підвищення тиску повітря в компресорі, більшою витратою повітря і більшою утилізаційною спроможністю.

Переобладнання котелень на міні-ТЕЦ за запропонованою схемою має ряд переваг у порівнянні з іншими схемами:

- відносно мала величина капіталовкладень;
- використання енергоустаткування, яке експлуатується або серійно виготовляється;
- можливість як сумісної, так і роздільної роботи ГТУ і котла;
- можливість котла працювати на будь-якому паливі (твердому, рідкому, газоподібному);
- електроенергія, що виробляється на міні-ТЕЦ, постачається безпосередньо за місцем споживання, що дає змогу зменшити її втрати в лініях електропередачі, підвищити надійність електропостачання і зменшити залежність споживачів від монополізму енергетиків.

Для визначення техніко-економічних показників роботи міні-ТЕЦ, собівартості видів енергопродукції, обґрунтованих тарифів на них і терміну окупності капіталовкладень необхідно насамперед визначитись з певною схемою розподілу палива, яке витрачається на вироблення теплоти і електроенергії, адже добре відомо, що саме паливна складова є вирішальною в структурі собівартості енергії.

На теперішній час, на жаль, не існує єдиної методики щодо розподілу витрат палива між видами енергопродукції в разі їх комбінованого вироблення в когенераційних установках (КГУ) зазна-

ченого типу. В літературі обговорюється кілька методів такого розподілу: 1 — нормативний (Мін-паливоенерго); 2 — НДІ Енергетики; 3 — ексергетичний; 4 — термодинамічний.

За нормативним методом загальна витрата палива, яка витрачається в когенераційній установці, розподіляється пропорційно виробленим видам енергії: електричної з потужністю N і теплової з потужністю Q . Згідно з методикою НДІ Енергетики [7] обчислюється економія палива на когенераційній установці в порівнянні з роздільною схемою енергопостачання (електричної енергії з електромережі, а теплової з котельні), половину якої відносять на виробництво електроенергії, а половину — на виробництво теплоти. Ексергетичний метод передбачає, що витрата палива на виробництво електроенергії та теплоти розподіляється пропорційно їх ексергіям. Термодинамічний метод розподілу витрат палива між видами енергопродукції [8] наближається до ексергетичного, але враховує особливості газотурбінної установки.

Порівняльний аналіз теплової ефективності роботи когенераційних установок, що обчислена за наведеними методами, краще за все проілюструвати на конкретному прикладі. Нехай котел з коефіцієнтом корисної дії $\eta_k = 0,92$ виробляє теплову потужність $Q_k = 30$ МВт. При цьому температура продуктів згорання, які залишають котел (температура відхідних газів) складає $t_k = 120$ °С, а температура в приміщенні котельної — $t_n = 20$ °С. Когенераційна установка утворюється за рахунок передвключеної ГТУ типу ГТД-2500 виробництва АТ «Машпроект» м. Миколаєва з електричною потужністю $N = 2,85$ МВт і коефіцієнтом корисної дії $\eta_{ГТУ} = 0,285$. Відпрацьовані в ГТУ газів з температурою $t_r = 440$ °С скидаються в котел.

Визначимо спочатку витрати умовного палива на котел і ГТУ в разі їх автономної роботи, кг/с

$$B_k = Q_k / (Q_{НУ} \cdot \eta_k) = 30 / (29,3 \cdot 0,92) = 1,113;$$

$$B_{ГТУ} = 0,123 N / (3,6 \eta_{ГТУ}) = 0,123 \cdot 2,85 / (3,6 \cdot 0,285) = 0,3416;$$

де $Q_{НУ} = 29,3$ МДж/кг — теплота згорання умовного палива.

Теплова потужність відпрацьованих в ГТУ газів, МВт

$$Q_r = (1 - \eta_{ГТУ}) N / \eta_{ГТУ} = (1 - 0,285) 2,85 / 0,285 = 7,15.$$

Оскільки відпрацьовані газів надходять в котел з температурою $t_r = 440$ °С, а видаляються з нього з температурою $t_k = 120$ °С, то коефіцієнт, який характеризує міру утилізації теплоти, дорівнює

$$\psi = (t_r - t_k) / (t_r - t_n) = (440 - 120) / (440 - 20) = 0,762.$$

Теплова потужність, яка утилізується в котлі в разі сумісної роботи ГТУ і котла, МВт

$$Q_{УТ} = \psi Q_r = 0,762 \cdot 7,15 = 5,448.$$

З урахуванням утилізованої теплоти необхідна витрата умовного палива в котлі складатиме, кг/с

$$B_n = (Q_k - Q_{УТ}) / (Q_{НУ} \cdot \eta_k) = (30 - 5,448) / (29,3 \cdot 0,92) = 0,911.$$

Економія умовного палива в когенераційній установці, кг/с

$$\Delta B = B_k - B_n = 1,113 - 0,911 = 0,202.$$

Загальна витрата умовного палива в КГУ, кг/с

$$B_{КГУ} = B_{ГТУ} + B_n = 0,3416 + 0,911 = 1,2526.$$

Отримані дані є початковими для розрахунків теплової ефективності роботи когенераційної установки (міні-ТЕЦ) і розподілу витрат умовного палива між видами виробленої енергопродукції за різними методиками. Результати таких розрахунків зведені в таблицю, нумерація методик в якій відповідає зазначеній вище нумерації.

З наведеної таблиці видно, що результати розрахунків, які отримані за різними методиками, значно відрізняються один від одного. За нормативним методом ККД виробництва електроенергії надзвичайно високий, а за умови сталої теплової потужності наближається до одиниці зі зменшенням електричного навантаження. В той же час ККД виробництва теплоти виявляється нижчим, ніж ККД котла, який і виробляє цю теплову потужність.

Таблиця розрахунків показників роботи міні-ТЕЦ

№	Показники	Номер методики			
		1	2	3	4
1.	Витрата умовного палива, кг/с:				
	на виробництво електроенергії;	0,10867	0,2416	0,21719	0,17395
	на виробництво теплоти	1,14393	1,0354	1,0354	1,0786
2.	Питома витрата умовного палива:				
	на виробництво електроенергії, кг/(кВт год);	0,13727	0,3052	0,2734	0,2197
	на виробництво теплоти, кг/ГДж	38,132	33,763	34,512	35,954
3.	Коефіцієнт корисної дії бруто:				
	з виробництва електроенергії;	0,896	0,403	0,4483	0,5591
	з виробництва теплоти	0,895	1,011	0,993	0,95

За методом НДІ Енергопроекту ККД з виробництва теплоти перевищує одиницю, що суперечить здоровому глузду. Інші методи дають значення ККД з виробництва теплоти більшими, ніж ККД котла, що також не узгоджується з фізичною суттю. Зважаючи на вищевикладене, навряд чи можна визнати наявні методики розподілу палива між видами енергопродукції задовільними стосовно до когенераційних установок зазначеного типу, що зумовлюється суттєвою їх відмінністю від наявних ТЕЦ.

В зв'язку з цим автори пропонують іншу методику розподілу палива на виробництво електроенергії та теплоти в когенераційних установках на базі ГТУ, що працюють за «скидною» схемою. Виходячи з того, що теплова енергія виробляється в котлі, ККД з виробництва теплоти не може бути ані нижчим, ані вищим, ніж ККД котла, вважається цілком логічним, що ККД з виробництва теплоти дорівнює ККД котла. За цих умов для наведеного прикладу будемо мати.

Питома витрата умовного палива на виробництво теплоти, кг/ГДж

$$v_T = 34,14/\eta_K = 34,14/0,92 = 37,108.$$

Витрата умовного палива на виробництво електроенергії, кг/с

$$B_e = B_{ГТУ} - (B_K - B_H) = 0,3416 - (1,113 - 0,911) = 0,1396.$$

Питома витрата умовного палива на виробництво електроенергії, кг/кВт год.

$$v_e = B_e \cdot 3,6/N = 0,1396 \cdot 3,6/2,85 = 0,17633.$$

ККД бруто ГТУ з виробництва електроенергії

$$\eta_e = 0,123/v_e = 0,123/0,17633 = 0,697.$$

Відзначимо, що запропонована методика цілком придатна для міні-ТЕЦ, утворених із ГТУ і котла — утилізатора. В цьому випадку вся утилізована теплота «виробляється» в котлі — утилізаторі, а економія умовного палива в порівнянні з роздільною схемою енергопостачання (від ГТУ і котла) складає, кг/с

$$\Delta B = Q_{НУ}/(Q_{НУ}\eta_K) = 5,448/(29,3 \cdot 0,92) = 0,202.$$

Тобто така сама як і в першому випадку.

Зауважимо також, що значення ККД нетто (з урахуванням затрат електроенергії та теплоти на власні потреби ГТУ), які називають ще ККД з відпуску енергопродукції, будуть нижче визначених.

Висновки

1. Відомі методики розподілу витрат палива між видами енергопродукції непридатні для міні-ТЕЦ, утворених на базі котельні і ГТУ.

2. Запропонована методика розподілу витрат палива на виробництво електроенергії та теплоти в когенераційних установках позбавлена недоліків попередніх методик.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бузов В. Д., Цонев С. В. Эффективность технического перевооружения теплофикационных установок с использованием парогазовых технологий // Энергосбережение и водоподготовка. — 2001. — № 1. — С. 18—23.
2. Соколовский М. И., Кислицин Г. Ф., Митин Е. М. О внедрении газотурбинных электростанций // Пром. энергетика. — 2001. — № 1. — С. 19—21.
3. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й., Крот О. Г. Застосування парогазових установок на ТЕЦ невеликих потужностей // Вісник ВПІ. — 1999. — № 2. — С. 44—47.
4. Лежнюк П. Д., Чепурний М. М., Бужинський В. В. Визначення показників роботи парогазових установок з котлами-утилізаторами // Вісник Кременчуцького ДПУ. — 2002. — № 1. — С. 163—166.
5. Клименко В. Н. Проблемы когенерационных технологий в Украине // Пром. Теплотехника. — 2002. — Т. 23. — № 4—5. — С. 107—110.
6. Морозов О. В., Горбатенко А. Д. Образование оксидов азота при сжигании газа в среде забалластированного окислителя // Теплоэнергетика. — 1995. — № 1. — С. 39—41.
7. ГКД 34.09.108-98. Розподіл витрат палива на відпущену електричну і теплову енергію при їх комбінованому виробництві: Методика НДІ Енергетики. — К., 1998. — 22 с.
8. Дубовской С. В. Термодинамический метод определения объективных показателей тепловой экономичности ГТУ ТЭЦ простого цикла // Пром. Теплотехника. — 2000. — Т. 22. — № 2. — С. 85—89.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 23.09.03
Рекомендована до опублікування 17.11.03

Чепурний Марко Миколайович — доцент; *Ткаченко Станіслав Йосипович* — завідувач кафедри; *Бужинський Віктор Володимирович* — доцент.

Кафедра теплоенергетики

Лісіна Людмила Анатоліївна — студентка Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.
Вінницький національний технічний університет