

УДК 621.577:438

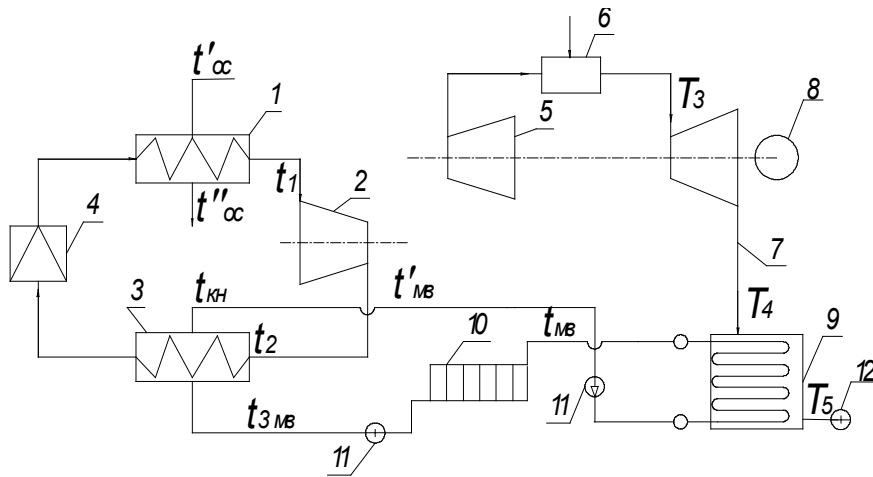
М. М. Чепурний, к. т. н., доц.;**Я. В. Лопатюк**, студ.;**К. В. Нікіфорова**, студ.

ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛІ НА БАЗІ ГАЗОТУРБІННИХ І ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК

В наш час економія паливно-енергетичних ресурсів набула пріоритетного значення. Скрутний стан вітчизняної енергетики зумовлений, в основному, неналежним технічним рівнем. Біля 95 % тепло- і електрогенеруючого устаткування вичерпало допустимий ресурс роботи, більшість якого перевищило визначений в світовій практиці термін фізичного зносу та морального старіння. Складне становище спостерігається і з паливозабезпеченням. Енергетична галузь країни забезпечена вітчизняним паливом лише на 50 % від необхідного. При цьому якість палива (особливо вугілля) погіршилась. Вищевикладене спричинило збільшення витрат палива на одиницю виробленої енергії, що, в свою чергу, призвело до збільшення шкідливих викидів з продуктами згорання палива в атмосферу. Саме цим, в значній мірі, пояснюється те, що Україною не виконуються міжнародні екологічні умови. Крім того, на теперешній час виникла ще одна проблема, яка пов'язана зі значним дефіцитом резервних регулювальних потужностей. За оцінками Мінпаливоенерго для гарантованого запобігання важким системним аваріям необхідно мати резерв регулювальних потужностей більше 1000 МВт. Ситуація з маневреними потужностями може ускладнитись після введення в дію нових енергоблоків на Рівненській та Хмельницькій АЕС.

Вирішення накопичених проблем можливе тільки завдяки застосуванню новітніх технологій в процесах виробництва електричної та теплової енергії. За даними офіційної статистики та експертних розрахунків [1] на потреби теплозабезпечення країни витрачається біля 91 млн тонн умовного палива (м.т.у.п.), в той час як на виробництво електроенергії 33 м.т.у.п. В зв'язку з цим стає очевидним, що основну увагу у вирішенні проблеми підвищення ефективності використання паливних ресурсів слід приділяти сектору теплозабезпечення. Найбільш вагомим засобом енергозбереження є застосування комбінованого виробництва теплової та електричної енергії [1–3]. Останнім часом все більше уваги приділяється застосуванню газотурбінних надбудов для створення теплоелектроцентралей (ТЕЦ) на базі промислових та опалювальних котелень [3, 4]. З'явилась і нова технологія спільного виробництва теплової та електричної енергії, яка реалізується за допомогою газотурбінних (ГТУ) та теплонасосних (ТНУ) установок [2, 5]. Включення ТНУ в тепловий баланс країни дозволяє не тільки скоротити витрати первинної енергії на виробництво теплоти, але й зменшити забруднення навколишнього середовища. Масове виробництво і впровадження ТНУ давно налагоджено за кордоном (США, Швеція, Німеччина, Японія, Данія та інші). Спеціалісти вважають, що в найближчій перспективі ТНУ будуть займати одне з головних місць в низькотемпературних системах теплозабезпечення. В зарубіжних країнах ТНУ набули поширення в автономних (децентралізованих) системах тепlopостачання. В Україні, де поширені централізовані системи тепlopостачання роботи з впровадженням ТНУ перебувають, в основному, на стадії досліджень, хоча певний досвід свідчить про ефективність такого впровадження [2, 5].

Використання природного газу як моторного палива, незважаючи на переважне поширення в світі ТНУ з електроприводом компресора, має сприяти створенню і впровадженню ТНУ з приводом компресора від ГТУ. Застосування таких ТНУ може розглядатись як один з ефективних напрямків енергозбереження, оскільки передбачає утилізацію відпрацьованих в ГТУ газів для потреб тепlopостачання. При цьому електрогенератор ГТУ виробляє електроенергію як для покриття власних потреб ТЕЦ, так і для електрозабезпечення зовнішніх споживачів. Принципом дії таких ТЕЦ, утворених на базі ГТУ і ТНУ, є виробництво електроенергії на базі тепlopостачання. Вони здатні з успіхом замінити (витіснити) багаточисельні районні опалювальні котельні, коефіцієнти корисної дії (ККД) яких не перевищують, як правило, 0,8 і забезпечити теплотою та електроенергією компактно розташованих споживачів.



Принципова теплова схема ТЕЦ: 1 — випарник; 2 — компресор ТНУ; 3 — конденсатор; 4 — дросельний вентиль; 5 — компресор ГТУ; 6 — камера згорання; 7 — газова турбіна; 8 — електрогенератор; 9 — утилізатор теплоти; 10 — теплові прилади системи теплофікації; 11 — насоси мережної води

В зв'язку з вищевикладеним ставилася задача визначити ефективність роботи ТЕЦ подібного типу і порівняти її з ефективністю роботи опалювальних котелень однакової теплової потужності. Принципова теплова схема ТЕЦ на базі ГТУ і ТНУ показана на рисунку. Вона складається з двох частин: теплонасосної установки і газотурбінної установки з утилізатором теплоти відпрацьованих в ГТУ газів, які працюють на єдину теплову мережу. На схемі також дані позначення температур в характерних вузлових точках обох циклів. Низькотемпературним джерелом теплоти (НТДТ) можуть бути теплі стічні води, повітря або інші речовини, що підлягають охолодженню. У випарнику ТНУ 1 теплота від НТДТ передається рідкому робочому тілу, внаслідок чого рідина перетворюється на пару низького тиску, яка потім стискається в компресорі 2. Стиснена пара конденсується в конденсаторі 3 і підігріває до певної температури зворотну мережну воду системи теплофікації, яка перекачується насосом 11. Далі ця вода остаточно підігрівається в утилізаторі 9 до необхідної температури за рахунок охолодження відпрацьованих в ГТУ газів. Відхідні гази з утилізатора димососом 12 спрямовуються в димову трубу. ГТУ складається з компресора для стиснення повітря 5, камери згорання палива 6, газової турбіни 7 і електрогенератора 8. Електроенергія, яка виробляється електрогенератором витрачається на живлення власних потреб ТЕЦ (електроприводи: компресора ТНУ, насосів, димососів, повітрянагнітальників та ін.), а також зовнішніх споживачів.

Для обчислення ефективності роботи ТЕЦ і опалювальних котелень була розроблена математична модель, яка включала формули для розрахунків продуктів згорання палива (природного газу з теплою згорання $35,88 \text{ МДж/м}^3$), теплових схем: аміачних ТНУ, ГТУ і опалювальних котелень [6, 7]. Розрахунки здійснювались для річного терміну роботи ТЕЦ і котельні з опалювальним періодом 4500 год і міжопалювальним періодом 3500 год. Потужність системи теплофікації складалась із потужності опалення і потужності гарячого водопостачання (ГВ). При цьому потужність ГВ становила 25 % від потужності опалення. В опалювальний період роботи ТЕЦ температура прямої та зворотної мережної води складала 120 і 60 °С відповідно, а в міжопалювальний – 80 і 40 °С відповідно. В опалювальний період мережна вода підігрівалась на 15 °С в конденсаторі ТНУ і на 45 °С в утилізаторі. В міжопалювальний період ГТУ не працювала, а підігрів мережної води здійснювався тільки в конденсаторі ТНУ. При цьому електроприводи ТЕЦ жилились з електромережі. Крім того, приймалось: температура стічної води $t'_{cb} = 25 \text{ °С}$, $t''_{cb} = 15 \text{ °С}$; температура відхідних газів із утилізатора $T_5 = 393 \text{ К}$; ККД компресорів – 0,85; ККД насосів – 0,8; ККД вентиляторів – 0,7; ККД димососів – 0,65; електромеханічний ККД – 0,96; ціна палива 370 грн за 1000 м^3 ; ціна електроенергії, споживаної з електромережі, 285 грн за 1 МВт·год; ціна електроенергії, відпущеної в електромережу, 180 грн за 1 МВт·год; ціна відпущеної теплоти 30 грн за 1 ГДж.

Проаналізована робота ТЕЦ з ГТУ різних типорозмірів, які випускаються вітчизняними енергомашинобудівними заводами. Характеристики ГТУ наведені в табл. 1.

Параметри деяких вітчизняних ГТУ

Показники	Марка ГТУ / номер варіанта			
	ГТД-2500	ГТД-6001	ГТД-16000	ГТД-25000
	1	2	3	4
Електрична потужність, МВт	2,85	6,7	17	27,5
Коефіцієнт корисної дії	0,285	0,315	0,35	0,36
Температура газів, °С:				
перед турбіною	950	1000	1100	1250
за турбіною	442	415	420	490
Витрата газів, кг/с	14,7	31,5	71	86,5

Розрахунки показників роботи ТЕЦ на базі ГТУ і ТНУ та опалювальних котельень з такими самими потужностями як і ТЕЦ зведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків річних показників роботи ТЕЦ і котельень

Показники	Номери варіантів ГТУ на ТЕЦ за табл. 1			
	1	2	3	4
Річні показники роботи ТЕЦ				
Теплова потужність, МВт:				
в опалювальний період	7	13,95	30,45	49,54
в міжопалювальний період	1,925	3,84	8,37	13,62
Витрата палива, тис. нм ³	4519,8	9339,8	21341,3	33547,5
Витрати на паливо, млн грн	1,672	3,456	7,896	12,413
Відпуск електроенергії в електромережу, МВт · год	7289,5	19219,2	51619	84671
Виручка за електроенергію, млн грн	1,312	3,459	9,292	15,243
Відпуск теплоти, ГДж	137655	274374	598752	974160
Виручка за відпущену теплоту, млн грн	4,129	8,231	17,962	29,224
Сумарна виручка, млн грн	3,769	8,234	19,358	32,054
Річні показники роботи котельень				
Витрата палива, тис. нм ³	2966,66	6779,34	14767,9	24041,6
Витрати на паливо, млн грн	1,0976	2,508	5,464	8,895
Споживана електроенергія, МВт · год	427,3	853,356	1859,76	2901,2
Витрати на електроенергію, млн грн	0,0795	0,158	0,344	0,537
Виручка за відпущену теплоту, млн грн	4,129	8,231	17,962	29,224
Сумарна виручка, млн грн	2,951	5,565	12,154	19,722
Різниця між виручками на ТЕЦ і в котельнях, млн грн	0,818	2,669	7,204	12,332

Із табл. 2 видно, що витрата палива на ТЕЦ в 1,4...1,5 разів більше, ніж в котельнях. Але, незважаючи на споживання електроенергії з електромережі в міжопалювальний період, економічна ефективність ТЕЦ на базі ГТУ і ТНУ в залежності від їх теплової потужності на 27,7...62,5 % більше, ніж в котельнях відповідної потужності. Це пояснюється тим, що електрична потужність власних потреб ТЕЦ в опалювальний період покривається за рахунок власного виробництва електроенергії, а надлишок останньої реалізується зовнішнім споживачам. При цьому ціна реалізації майже вдвічі нижче від ціни споживання. Дані розрахунків свідчать про доцільність створення ТЕЦ запропонованого типу.

Оскільки ефективність роботи ТЕЦ зростає зі збільшенням електричної потужності ГТУ, то заміна чисельних наявних опалювальних котлів, більшість з яких вичерпали допустимий ресурс роботи, на комплекси із ГТУ і ТНУ може скласти достатній резерв регулювальних потужностей в енергосистемі країни. Зазначимо також, що виробництво електроенергії безпосередньо за місцем її споживання покращує надійність електропостачання і не пов'язане з суттєвими втратами під час транспортування енергії в лініях електропередачі. Подібна переорієнтація невеликих теплогене-

руючих підприємств України може стати важливим елементом загальнодержавної програми енергозбереження.

Висновки

1. Теплоелектроцентралі, що утворені на базі газотурбінних і теплонасосних установок працюють значно економніше, ніж опалювальні котельні такої самої теплової потужності.
2. Застосування таких ТЕЦ покращує надійність електропостачання і створює резерв регулювальних потужностей в енергосистемі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Плачков І. В., Кулик М. М., Гінайло В. О. Підвищення ефективності систем централізованого теплопостачання з комбінованим виробництвом теплоти та електроенергії // Енергетика і електрифікація. — 1999. — № 4. — С. 1—8.
2. Клер А. М., Маринченко А. Ю. Сопоставление эффективности использования низкотемпературной теплоты для комбинированной теплопроизводящей установки с тепловым насосом // Сб. Энергетика: управление, качество и эффективность использования энергоресурсов. — Благовещенск. — 2003. — Т. 2. — С. 278—283
3. Дикий Н. А. Комбинированное производство энергии для преодоления кризиса в энергетике // Экотехнология и ресурсосбережение. — 2000. — № 1. — С. 13—17.
4. Бужинський В. В., Чепурной М. М., Рейсиг В. А. Теплофикационные когенерационные установки на базе ГТУ // Промышленная теплотехника. — 2002. — Т. 24. — № 6. — С. 47—50
5. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й., Остапенко О. П. Аналіз ефективності застосування теплонасосних установок з дизельним приводом компресора // Вісник ВПІ. — 2002. — № 5. — С. 39—41
6. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Основи технічної термодинаміки. — Вінниця: Поділля-2000. — 2004. — 358 с.
7. 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 13.05.04
Рекомендована до опублікування 01.07.04

Чепурний Марко Миколайович — доцент кафедри теплоенергетики та газопостачання, **Лопатюк Ярослав Володимирович, Нікіфорова Катерина Володимирівна** — студенти Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет