

УДК 621.438

М. М. Чепурний, к. т. н., доц.;

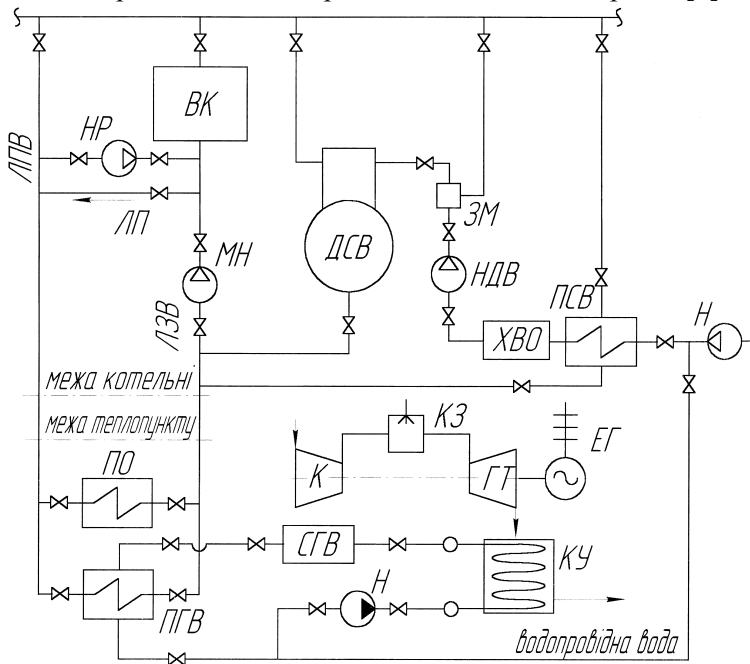
Я. В. Лопатюк, студ.;

К. В. Нікіфорова, студ.

## КОГЕНЕРАЦІЙНІ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ГТУ І ОПАЛЮВАЛЬНИХ КОТЕЛЕНЬ

Скорочення вводу в дію нових електрогенерувальних потужностей, консервація спорудження енергоблоків, моральне і фізичне старіння наявного енергетичного устаткування, значна більшість якого вичерпала і значно перевищила розрахунковий ресурс роботи — все це суттєво ускладнює забезпеченість України електроенергією. Але подальший підйом економіки країни неможливий без збільшення виробництва електроенергії, тобто без випередженого вводу в дію електрогенерувальних потужностей. Моральний і фізичний знос енергетичного устаткування, погіршення якості палива спричинили збільшення витрат палива на одиницю виробленої енергопродукції (електроенергії та теплоти) і забруднення навколишнього середовища продуктами згорання палива.

Перспективність застосування когенераційних технологій (сумісного виробництва електричної та теплової енергії) на базі газотурбінних установок (ГТУ) є загально визнаною [1—5]. Об'єктами впровадження таких технологій можуть бути чисельні промислові та опалювальні котельні, які забезпечують біля 40 % необхідної теплової потужності країни [1, 4]. Особливу увагу вирішенню проблеми підвищення ефективності використання паливних ресурсів слід приділяти саме сектору теплозабезпечення, адже на виробництво теплової енергії витрачається понад 60 % паливних ресурсів енергетичної галузі. Розрахунки техніко-економічної ефективності роздільного і комбінованого виробництва електричної та теплової енергії в [5], показали, що економія палива в разі застосування когенерації складає в середньому 20 % і на стільки ж зменшується забруднення навколишнього середовища. Крім того, нарощення електрогенерувальних потужностей за рахунок ГТУ створює резерв регулювальних потужностей в енергосистемі та поліпшує надійність електропостачання, оскільки виробництво електроенергії здійснюється за місцем її споживання і не пов'язане з втратами в лініях електропередачі. Звернемо увагу на те, що виробництво електроенергії в ГТУ не пов'язане зі споживанням великої кількості води, як на теплових, так і атомних станціях, та витратами на її підготовку, а також на те, що коефіцієнт корисної дії (ККД) ГТУ, як відомо [6], зростає зі зменшенням температури навколишнього середовища, тобто в осінньо-зимовий (опалювальний) період, коли споживання електроенергії та теплоти найбільше. Теплота відпрацьованих в ГТУ газів за допомогою утилізаторів використовується в системах централізованого теплопостачання на опалення і гаряче водо-



Принципова теплова схема водогрійної котельні з надбудовою ГТУ:

ВК — водогрійний котел; ДСВ — вакуумний деаератор;

ЗМ — змішувач; НДВ — насос додаткової води;

Н — насос; ПСВ — підігрівник сирої води; ХВО — хімоводоочистка;

К — компресор; КЗ — камера згорання; ГТ — газова турбіна;

ЕГ — електрогенератор; КУ — котел-утилізатор; СГВ — споживачі гарячої

води; ПГВ — підігрівник гарячої води; ПО — підігрівник системи опалення;

ЛЗВ — лінія зворотної мережної води; ЛПВ — лінія прямої мережної води;

МН — мережний насос;

ЛП — лінія перепуску; НП — насос рециркуляції

стосування когенерації складає в середньому 20 % і на стільки ж зменшується забруднення навколишнього середовища. Крім того, нарощення електрогенерувальних потужностей за рахунок ГТУ створює резерв регулювальних потужностей в енергосистемі та поліпшує надійність електропостачання, оскільки виробництво електроенергії здійснюється за місцем її споживання і не пов'язане з втратами в лініях електропередачі. Звернемо увагу на те, що виробництво електроенергії в ГТУ не пов'язане зі споживанням великої кількості води, як на теплових, так і атомних станціях, та витратами на її підготовку, а також на те, що коефіцієнт корисної дії (ККД) ГТУ, як відомо [6], зростає зі зменшенням температури навколишнього середовища, тобто в осінньо-зимовий (опалювальний) період, коли споживання електроенергії та теплоти найбільше. Теплота відпрацьованих в ГТУ газів за допомогою утилізаторів використовується в системах централізованого теплопостачання на опалення і гаряче водо-

постачання. Зазначимо також, що за експертними оцінками [7] системи централізованого теплопостачання і в майбутньому будуть складати відносно велику частку в країнах Центральної та Східної Європи, в тому числі в Україні.

В даній роботі ставилась задача варіантними розрахунками визначити ефективність роботи і доцільність застосування ГТУ-ТЕЦ, створених на базі опалювальних котелень, в порівнянні з ефективністю роботи останніх. До розгляду приймалися котельні з типовими водогрійними котлами малої та середньої потужності, які переважно експлуатуються в котельнях обласних і районних центрів. Характеристики таких котлів показані в табл. 1.

Таблиця 1

| Показники                        | Марка котла |       |         |         |
|----------------------------------|-------------|-------|---------|---------|
|                                  | КВГМ-6,5    | ТВГ-8 | ПТВМ-30 | ПТВМ-50 |
| Теплова потужність, МВт          | 7,55        | 9,3   | 34,86   | 58      |
| Поверхня нагріву, м <sup>2</sup> | 229         | 282   | 743     | 1286    |
| Витрата води, т/год              | 84          | 104   | 375     | 625     |
| Тиск води на вході в котел, МПа  | 1,4         | 1,4   | 2       | 2,5     |
| Коефіцієнт корисної дії          | 0,89        | 0,9   | 0,915   | 0,915   |

Вважалось, що робочим паливом був природний газ з теплою згорання 35,88 МДж/м<sup>3</sup>. Тривалість опалювального і міжопалювального періоду складала 4500 і 3500 год відповідно. Розрахунки здійснювались для максимального навантаження гарячого водопостачання протягом обох періодів і усередненого навантаження опалення в опалювальний період, яке становило 60 % від максимального. Відповідно до прийнятих навантажень обчислювались електричні потужності допоміжного устаткування (насосів, вентиляторів, димососів та інш.). Температура прямої та зворотної води в тепловій мережі складала 120 і 60 °С відповідно для опалювального періоду та 80 і 40 °С для міжопалювального періоду. Вартість палива приймалась рівною 355 грн за 1000 м<sup>3</sup>. Ціна 1 МВт-год споживаної електроенергії дорівнювала 286 грн, а ціна відпущеної в електромережу — 170 грн. При цьому втрата електроенергії в міських мережах оцінювалась в 6 %. Ціна відпущеної теплоти — 30 грн за 1 ГДж.

Теплова схема котельні показана на рисунку, де також показано устаткування в разі перетворення її на ГТУ-ТЕЦ. Тут крім ГТУ додатково встановлюються котел-утилізатор (КУ) теплоти відпрацьованих в ГТУ димових газів і мережний насос. Для відсмоктування газів із КУ та нагнітання їх в димову трубу використовується один із димососів котельні. Температура газів на виході з КУ приймалась рівною 120 °С.

Обчислювались показники роботи котелень різної структури і потужності. Деякі характерні варіанти таких обчислень зведені в табл. 2.

Таблиця 2

### Річні показники роботи опалювальних котелень

| Показники                                 | Номер варіанту |         |         |         |
|---|----------------|---------|---------|---------|
|   | 1              | 2       | 3       | 4       |
| Витрата палива, тис. м <sup>3</sup>       | 11358,5        | 20065,2 | 60378,2 | 76868,3 |
| Витрати на паливо, млн грн                | 4,0333         | 7,123   | 11,67   | 27,088  |
| Споживана електроенергія, МВт-год         | 708,2          | 1702,55 | 3210,55 | 6056,72 |
| Витрати на електроенергію, млн грн        | 0,177          | 0,4862  | 0,82    | 1,732   |
| Відпущена теплота, МВт-год                | 87250          | 153900  | 295000  | 524762  |
| Виручка за теплоту, млн грн               | 9,423          | 16,61   | 31,864  | 56,674  |
| Різниця між виручкою і витратами, млн грн | 5,2127         | 9,0     | 19,374  | 27,854  |

Варіант 1 стосується котельні, загальна потужність якої 22,5 МВт, в тому числі потужність гарячого водопостачання 5 МВт. Працюють три котла КВГМ — 6,5.

Варіант 2 виконаний для котельні, загальна потужність якої 37 МВт, а потужність гарячого водопостачання 10 МВт. Працюють чотири котла ТВГ — 8.

Варіант 3 відповідає котельні, загальна потужність якої 70 МВт, а потужність гарячого водопостачання 20 МВт. В роботі перебувають два котла ПТВМ — 30.

Варіант 4 відповідає котельні, загальна потужність якої 150 МВт, а потужність гарячого водопостачання 37 МВт. Працюють два котла ПТВМ — 50 і один котел ПТВМ — 30.

Із табл. 2 видно, що виручка коштів за теплоту в два і більше разів перевищує витрати на паливо та електроенергію.

Для переобладнання котелень на ГТУ-ТЕЦ підбирались вітчизняні ГТУ, які виговляються на МВО «Машпроект» м. Миколаєва, характеристики яких наведені в табл. 3. В процесі розрахунків ГТУ визначались склад продуктів згорання і потужність відпрацьованих газів за методикою, розробленою в [7]. Підбір ГТУ здійснювався за принципом, що потужність котла-утилізатора дещо перевищувала потужність системи гарячого водопостачання. За такої умови ГТУ мали змогу працювати протягом всього періоду тепlopостачання з номінальною потужністю і з номінальним ККД. Це дозволяло в опалювальний період виключити з роботи один котел, а в міжопалювальний — всі водогрійні котли в котельні. В розрахунках техніко-економічних показників роботи ГТУ-ТЕЦ враховувалась вартість основного та допоміжного устаткування, а також амортизаційні та експлуатаційні витрати відповідно до чинних норм. При цьому вважалось, що витрати на заробітну плату та відрахування в позабюджетні фонди залишаються такими ж самими як і для котельні, через що не входили в сумарні витрати порівняльних розрахунків.

Таблиця 3

### Характеристики ГТУ

| Показники                             | Марка ГТУ / номер варіанту |          |           |           |
|---------------------------------------|----------------------------|----------|-----------|-----------|
|                                       | ГТД-2500                   | ГТД-6001 | ГТД-16000 | ГТД-25000 |
|                                       | 1                          | 2        | 3         | 4         |
| Марка двигуна                         | Д049                       | ДВ71     | ДБ90      | ДГ80      |
| Номінальна електрична потужність, МВт | 2,85                       | 6,7      | 17        | 27,5      |
| Міра підвищення тиску                 | 12                         | 16,6     | 17,8      | 21,8      |
| Коефіцієнт корисної дії               | 0,285                      | 0,315    | 0,35      | 0,36      |
| Температура газів, °С:                |                            |          |           |           |
| перед турбіною                        | 950                        | 1000     | 1100      | 1250      |
| після турбіни                         | 442                        | 415      | 420       | 490       |

В табл. 4 дані результати розрахунків техніко-економічних показників роботи ГТУ-ТЕЦ на базі опалювальних котлів, де марка ГТУ за нумерацією в табл. 3 відповідає нумерації варіанту котельні в табл. 2.

Таблиця 4

### Річні показники роботи ГТУ-ТЕЦ

| Показники  | Марка ГТУ |          |           |           |
|--|-----------|----------|-----------|-----------|
|  | ГТД-2500  | ГТД-6001 | ГТД-16000 | ГТД-25000 |
| Витрата робочого палива, тис. м <sup>3</sup>   | 13361,76  | 25291,8  | 52574,4   | 94800,3   |
| Річні витрати на паливо, млн грн   | 4,7435    | 8,978    | 18,754    | 33,654    |
| Відпуск електроенергії, МВт·год  | 19988,6   | 44442,6  | 105519,6  | 170693,5  |
| Виручка за електроенергію, млн грн   | 3,398     | 7,554    | 17,938    | 29,017    |
| Відпуск теплоти, МВт·год   | 87250     | 153900   | 295000    | 524762    |
| Оплата за теплоту, млн грн   | 9,423     | 16,61    | 31,864    | 56,674    |
| Різниця між виручкою і витратами, млн грн  | 8,086     | 15,186   | 31,048    | 52,037    |
| Сумарні капіталовкладення в ГТУ, млн грн   | 7,888     | 16,23    | 35,035    | 59,687    |
| Сумарні капіталовкладення в котел-утилізатор, млн грн  | 1,819     | 3,592    | 6,445     | 10,52     |
| Амортизаційні та експлуатаційні витрати, млн грн   | 1,456     | 2,055    | 4,285     | 7,59      |
| Сумарні витрати на ГТУ-ТЕЦ, млн грн  | 11,163    | 21,877   | 45,765    | 77,797    |
| Термін окупності капіталовкладень, рік   | 3,6       | 3,27     | 3,11      | 3,02      |
| Економія умовного палива на виробництво електроенергії в порівнянні з її виробництвом в енергосистемі, т/рік | 3965,7    | 8847,2   | 21251,6   | 35265,2   |

Порівнюючи дані табл. 2 і табл. 4 неважко помітити, що витрата палива і витрати на паливо в ГТУ-ТЕЦ більше, ніж в котельнях. Але в той же час більша і різниця між виручкою та витратами, яка зростає зі збільшенням електричної потужності ГТУ. Зрозуміло, що це пояснюється не тільки

відсутністю витрат за споживану електроенергію, але й зростанням виручки за її відпуск споживачам. Розрахунки показали, що питомі витрати умовного палива на виробництво електроенергії в ГТУ-ТЕЦ удвічі менше, ніж на теплових електростанціях. Це пояснюється ефективнішим використанням палива за рахунок утилізації теплоти відпрацьованих в ГТУ газів. Величина річної економії умовного палива, яка пропорційна відпущеній електроенергії, показана в останній графі табл. 4. Отже, застосування когенераційних установок подібного типу дозволяє не тільки зменшити дефіцит електроенергії в енергосистемі, але й зменшити витрати палива на її виробництво. До цього треба додати, що економія палива зумовлює зменшення шкідливих викидів в атмосферу і сприятливо впливає на поліпшення екологічної обстановки.

Хоча сумарні капіталовкладення в переобладнання опалювальних котелень на ГТУ-ТЕЦ зростають зі збільшенням електричної потужності ГТУ, однак термін окупності капіталовкладень при цьому зменшується і цілком прийнятний для умов ринкової економіки. Зазначимо тільки, що дійсні значення терміну окупності капіталовкладень можуть виявитись трохи більшими, ніж розрахункові, оскільки, як вже зазначалось, в розрахунках не враховувались витрати на заробітну плату і відрахування в позабюджетні фонди. Незважаючи на це, можна констатувати про доцільність переобладнання опалювальних котелень на ТЕЦ запропонованого типу.

### Висновки

1. Застосування когенераційних установок на базі ГТУ та опалювальних котелень дозволяє підвищити ефективність енергопостачання, отримати резерв електричних потужностей в енергосистемі, економію палива і поліпшити екологічну обстановку.

2. Термін окупності капіталовкладень на переобладнання опалювальних котелень в ГТУ-ТЕЦ цілком прийнятний для умов ринкової економіки.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Клименко В. Н. Проблемы когенерационных технологий в Украине // Промышленная теплотехника. — 2001. — Т. 23. — № 4—5. — С. 107—110.
2. Дугосельский В. И., Зубков В. Я. Надстройка водогрейных котельных газотурбинными установками // Теплоэнергетика. — 1999. — № 1. — С. 47—50.
3. Бужинський В. В., Чепурной М. Н., Рейсиг В. А. Теплофикационные когенерационные установки на базе ГТУ // Промышленная теплотехника. — 2002. — Т. 24. — № 6. — С. 47—50.
4. Дикий Н. А. Комбинированное производство энергии для преодоления кризиса в энергетике // Экология и ресурсосбережение. — 2000. — № 1. — С. 13—17.
5. 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.
6. Чепурний М. М., Ткаченко С. Й. Основи технічної термодинаміки. — Вінниця: Поділля-2000. — 2004. — 358 с.
7. Карп І. Н., Мхитарян Н. М. Децентрализованное теплоснабжение зданий и сооружений // Экология и ресурсосбережение. — 2000. — № 1. — С. 5—12.
8. 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;  
**Лопатюк Ярослав Володимирович, Нікіфорова Катерина Володимирівна** — студенти Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет