

УДК 621.438

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

## ГАЗОПАРОВІ УСТАНОВКИ НА БАЗІ ПРОМИСЛОВИХ КОТЕЛЕНЬ

*Викладено результати порівняльних розрахунків газопарових установок на базі промислових котелень і газотурбінних установок. Визначені залежності між основними показниками роботи установок з введенням пари в газовий тракт турбіни. Наведено результати кількісних оцінок енергетичної ефективності таких установок.*

На сучасному етапі економічного розвитку паливно-енергетичний комплекс країни опинився в критичному стані, який посилюється через те, що скорочення обсягів виробництва не супроводжується зменшенням споживання електричної та теплової енергії. Внаслідок цього утворився дефіцит електрогенерувальних маневрових потужностей в енергосистемі. Ідея комбінованого виробництва електроенергії та теплової енергії, запропонована ще на початку минулого століття, передбачала зменшення витрат палива на виробництво одиниці енергопродукції. Ця ідея була реалізована в будівництві теплоелектроцентралей (ТЕЦ). Однак тепер склалась ситуація, коли, внаслідок зменшення споживання технологічної пари промисловими підприємствами, неможливо виробляти проектні електричні потужності. Крім того, внаслідок фізичного і морального старіння енергетичного устаткування, більшість якого ще на початку нового тисячоліття значно перевищувало допустимий ресурс роботи, витрати палива на одиницю виробленої електроенергії та теплоти значно перевищують аналогічні показники в розвинутих країнах. Ефект системної економії палива від централізованого енергопостачання практично нівелюється. Друга складова паливного ефекту від комбінованого виробництва електроенергії та теплової енергії виявилась нижче розрахункової через великі втрати в мережах в процесі транспортування.

В цьому плані будівництво нових потужних ТЕЦ для покриття дефіциту теплових і електричних потужностей неминуче пов'язано з омертвінням капіталу і проблемами пошуку джерел фінансування. Орієнтація на будівництво потужних опалювальних котелень є також неперспективною, оскільки потребує додаткових паливних ресурсів і вирішення екологічних проблем. Серед різноманітних способів виробництва електричної та теплової енергії все більшого поширення набувають автономні (децентралізовані) когенераційні установки. Такі установки (міні-ТЕЦ, блок-ТЕЦ) не потребують значних інвестицій, мають невеликі терміни введення в дію і окупності, зменшують техногенне навантаження на довкілля і є гарантією від аварійних відключень, які неминучі через зношеність енергоустаткування в системах централізованого енергопостачання.

Прогресивною технологією комбінованого виробництва теплової та електричної енергії є газотурбінна технологія, яка ефективніша, ніж виробництво цих видів енергопродукції на ТЕЦ [1, 2]. В газопарових установках (ГПУ) робочим тілом є газопарова суміш, яка утворюється за рахунок введення пари в продукти згорання палива. Одним із варіантів ГПУ є установка з введенням насиченої пари в газовий тракт газотурбінної установки (ГТУ) і глибокою утилізацією теплоти відпрацьованої в ГТУ газопарової суміші в контактних утилізаторах (економайзерах) [1, 3]. Вагома частина пари в складі газопарової суміші покращує охолодження проточної частини газової турбіни, дозволяє значно зменшити величину коефіцієнта надлишку повітря в камері згорання ГТУ і у відпрацьованих газах, зменшити подачу і потужність компресора, збільшити, завдяки цьому, корисну потужність ГТУ, а також підвищити температуру в камері згорання, яка, власне, і є визначальною теплової ефективності циклу. Наявність пари і малі значення коефіцієнтів надлишку повітря дозволяють підвищити температуру конденсації в контактному економайзері (КЕ), яка характеризує граничну температуру підігріву охолодної води в ньому, надаючи можливість її безпосереднього використання в системі теплофікації.



турбіни  $\psi$  наведені на рис. 2 штриховими лініями. З рис. 2 видно, що значення  $\psi$  зростають зі зменшенням температури суміші і збільшенням величини  $\lambda$ . Це пояснюється тим, що меншим значенням  $t_c$  відповідає більша витрата пари, а, отже, і витрата суміші. За певних умов електрична потужність ГТУ завдяки домішкам пари може бути збільшена на 11...26 %.

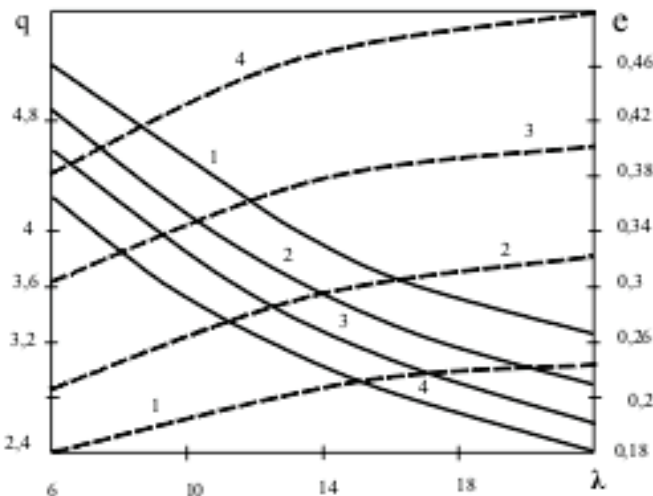


Рис. 3. Характер зміни питомої теплової потужності відпрацьованої газопарової суміші та питомого виробництва електроенергії:

1 –  $t_c = 750 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 2 –  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 3 –  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 4 –  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$

На рис. 3 показано зміну значень питомої (на 1 кВт електричної потужності ГТУ) теплової потужності  $q$ , кВт, відпрацьованої в турбіні парогазової суміші (суцільні лінії), та питомого виробництва електроенергії  $e$ , кВт-год/кг, віднесено до 1 кг введеної пари (штрихові лінії). Зростання теплофікаційної потужності зі зменшенням  $\lambda$  і  $t_c$  очевидно, оскільки ГТУ з більш низькими ККД мають більшу потужність відпрацьованих газів. З іншого боку, зі збільшенням  $\lambda$  і  $t_c$  підвищується ККД установки і працездатність газопарової суміші в турбіні, а, отже, і питоме виробництво електроенергії, що віднесено до витрати парової фази в суміші. Отримані залежності є необхідною передумовою для правильного підбору газотурбінного устаткування в разі створення міні-ТЕЦ на базі промислових котелень. За умови, коли на промисловому підприємстві теплове

навантаження переважає електричне, слід вибирати ГТУ з невеликими значеннями  $\lambda$  і  $t_c$ , а інакше — навпаки. Для реалізації запропонованих технологій найпридатніші саме вітчизняні газотурбінні двигуни, які характеризуються помірними значеннями  $\lambda$  і  $t_c$ .

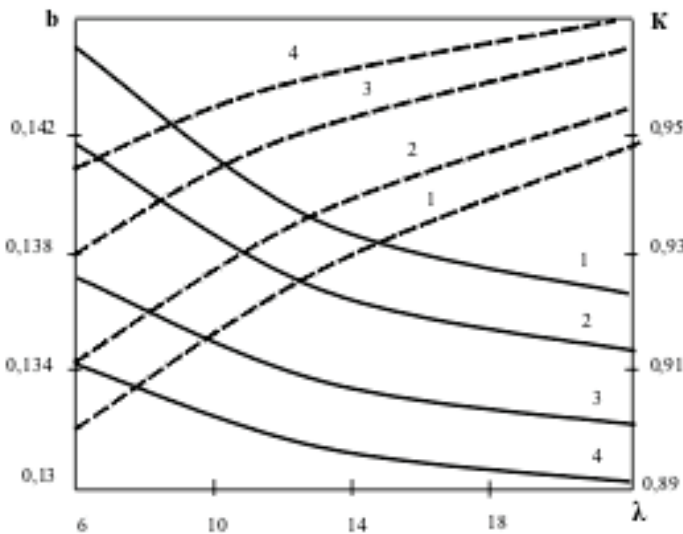


Рис. 4. Значення питомої витрати умовного палива і коефіцієнтів використання теплоти палива:

1 –  $t_c = 700 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 2 –  $900 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 3 –  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ ; 4 –  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$

В процесі варіантних розрахунків установлено, що з підвищенням  $\lambda$  і  $t_c$  збільшується ККД ГТУ з виробництва електроенергії. Це зумовлює зменшення питомої витрати умовного палива  $b$ , кг/кВт-год, на одиницю цієї виробленої енергопродукції. Поточні значення  $b$  показані на рис. 4 (суцільні лінії), де також наведені значення коефіцієнтів використання теплоти палива  $K$  (штрихові лінії). У зазначеному інтервалі зміни  $\lambda$  і  $t_c$  значення  $b$  виявляються вдвічі меншими, ніж на конденсаційних теплових електростанціях і в 1,4...1,45 разів меншими, ніж на ТЕЦ. Із цього випливає, що застосування подібних ГТУ у вітчизняній енергетиці може забезпечити вагомий приріст електричних потужностей зі значно меншими витратами паливних ресурсів. Зростання

величини  $K$  зі збільшенням  $\lambda$  і  $t_c$  пояснюється як зменшенням витрат палива на ГТУ, так і в котлоагрегатах, оскільки з підвищенням температури газопарової суміші перед турбіною зменшується витрата пари.

Зазначимо також, що перехід на спалювання палива з низькими значеннями коефіцієнта надлишку повітря та наявністю водяної пари в продуктах згорання, майже вдвічі зменшує викиди оксидів азоту в атмосферу [4].

## Висновки

Перебудова промислових котельень на міні-ТЕЦ з газотурбінними установками здійснюється на базі наявного й серійного обладнання, що виготовляють вітчизняні підприємства.

Такі ТЕЦ дозволяють:

- використовувати парові котли з будь-яким паливом; при цьому котел може постійно працювати з номінальною потужністю;
- виробляти електроенергію за місцем її споживання, що мінімізує втрати в лініях електропередач.

Збільшення електрогенерувальних потужностей за допомогою газотурбінних установок зумовлює не тільки значну економію палива й поліпшення екологічної обстановки, але й певною мірою вирішує проблему покриття дефіциту маневрових потужностей в енергосистемі, одночасно підвищуючи надійність електропостачання.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дикий Н. А. Комбинированная газотурбинная установка для преодоления кризиса в энергетике // Экотехнология и ресурсосбережение. — 2001. — № 1. — С. 13—17.
2. Долинский А. А., Клименко В. Н. Когенерация — нові потужності для енергетики // Энергобережения Поділля. — 2004. — № 2. — С. 53—59.
3. Бужинский В. В., Чепурной М. Н., Рейсиг В. А. Теплофикационные когенерационные установки на базе ГТУ // Пром. теплотехника. — 2002. — Т. 24. — № 6. — С. 47—50.
4. Батенин В. М., Зейганик Ю. А., Копелев С. З. Парогазовая установка с вводом пара в газовую турбину — перспективное направление развития энергетических установок // Теплоэнергетика. — 1993. — № 10. — С. 56—62.
5. Чепурный М. М., Ткаченко С. Й., Бужинський В. В., Розрахунки теплових схем когенераційних установок. — Вінниця: ВНТУ. — 2003. — 103 с.
6. Рейсиг В. А., Чепурной М. Н., Бужинский В. В. Эффективность использования теплофикационных газотурбинных установок // Науковий збірник НАНУ «Проблеми загальної енергетики». — 2002. — № 7. — С. 48—52.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 18.11.04  
Рекомендована до друку 25.11.04

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

Кафедра теплоенергетики;

**Медведєва Анна Володимирівна** — студентка Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет