

**М. М. Чепурний, к. т. н., доц.; С. Й. Ткаченко, д. т. н., проф.; І. М. Димніч**  
**ГАЗОТУРБІННІ ТЕПЛОЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛІ З ТЕПЛОНАСОСНИМИ**  
**УСТАНОВКАМИ**

*Проаналізовано доцільність використання теплонасосних установок на газотурбінних теплоелектроцентралях з більш глибокою утилізацією теплоти відпрацьованих в ГТУ продуктів згорання.*

**Ключові слова:** газова турбіна, котел-утилізатор, теплоелектроцентрально, теплонасосна установка, газоохолоджувач, компресор, випарник, конденсатор.

### **Вступ**

На сьогодні за умови здорожчення органічного палива, особливо імпортного природного газу, пріоритетним завданням є енергозбереження. Необхідність розробки ефективних енергозберігаючих технологій визначається, з одного боку, наявністю в енергетиці України достатньо високого потенціалу для впровадження таких технологій, а з другого – стійкою тенденцією до збільшення вартості палива.

Найбільш ефективним засобом енергозбереження в теплоенергетиці є комбіноване виробництво теплоти та електроенергії [1 – 3]. При цьому все більше уваги приділяється використанню газотурбінних установок (ГТУ) [4 – 6]. В Україні створено необхідну матеріальну базу для застосування газотурбінних технологій (фірма „Зоря” м. Миколаїв; НВО „Турбоатом” м. Харків; ВАТ „Моторсіч” м. Запоріжжя). На цих підприємствах розроблені та серійно виготовляються ГТУ потужністю 2,5 – 135 МВт з коефіцієнтами корисної дії (ККД) до 0,36. Сучасні типорозміри ГТУ передбачають роботу як на газоподібних, так і на різних видах палива.

Досвід спорудження та експлуатації перших ГТУ-ТЕЦ [2] підтвердив, що вони відрізняються надійністю, простотою управління, низькою собівартістю виробленої енергії. Устаткування таких ТЕЦ має невеликі габаритні розміри, а його монтаж здійснюється без значних фінансових і трудових витрат. У більшості випадків забезпечується дистанційне управління роботою устаткування, а також програмування режимів його роботи.

Існує два основних варіанти застосування ГТУ-ТЕЦ. Перший варіант передбачає, що потреба в електроенергії повністю забезпечується ГТУ, а потреба в теплоті – частково за рахунок утилізації теплоти відпрацьованих в ГТУ газів, а решта – опалювальними котельнями. У другому варіанті потреба в теплоті повністю забезпечується за рахунок утилізації теплоти відпрацьованих у ГТУ газів, а електроенергія, яка виробляється в ГТУ, використовується на власні потреби та постачання в енергосистему [7].

Особливість комбінованого виробництва електроенергії на ГТУ-ТЕЦ полягає в тому, що теплова потужність, яка постачається споживачам, пов'язана з електричною потужністю. Зазначимо також, що підвищення коефіцієнта корисної дії ГТУ для заданої електричної потужності  $N$  призводить до зменшення виробництва теплової енергії, а зменшення ККД ГТУ за умови  $N = \text{const}$  – до збільшення виробництва теплоти та перевитрати палива. Виробництво теплоти залежить від міри утилізації теплоти відпрацьованих у ГТУ газів, яка, у свою чергу, залежить від температури газів на виході з котла-утилізатора. Залежно від температури зворотної мережної води, температура газів за котлом-утилізатором може бути порівняно високою, а коефіцієнт утилізації відповідно низьким. Тому додаткове охолодження газів за котлом-утилізатором сприяє збільшенню виробництва теплоти та ефективності використання теплоти палива.



конденсаторі зворотна мережна вода підігрівається до температури  $t_v$ , після чого спрямовується в лінію прямої мережної води. Суміш води з температурою  $t_c$  надходить до теплових споживачів 7. Для утилізації теплоти димових газів використовуються ефективні утилізатори [8, 9].

Відомо [10], що ефективність роботи ТНУ оцінюється за допомогою коефіцієнта перетворення енергії (коефіцієнта опалення)  $\phi$ , який дорівнює відношенню теплової потужності конденсатора до потужності компресора. Значення  $\phi$  залежать від середньотермодинамічних температур теплоносіїв у випарнику та конденсаторі [10]. У зв'язку з цим спочатку проаналізовано ефективність роботи аміачної парокомпресійної ТНУ для різних температур циркуляційної води у випарнику за умови, що температура підігрітої води на виході з конденсатора дорівнювала  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Розрахункові значення показників роботи ТНУ наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Показники роботи ТНУ

| Показники   | Варіанти |       |       |      |
|---|----------|-------|-------|------|
|   | 1        | 2     | 3     | 4    |
| Температура води, $^{\circ}\text{C}$ :                |          |       |       |      |
| на вході у випарник                                   | 35       | 40    | 45    | 50   |
| на виході з випарника                                 | 20       | 25    | 30    | 35   |
| Питома теплота, яка підведена у випарник, кДж/кг      | 880      | 880   | 880   | 880  |
| Питома робота компресора, кДж/кг                      | 342      | 317   | 293   | 258  |
| Питома теплота, яка відведена із конденсатора, кДж/кг | 1222     | 1197  | 1173  | 1138 |
| Коефіцієнт перетворення енергії                       | 3,573    | 3,776 | 4,003 | 4,41 |

З табл. 2 видно, що за умови однакової теплоти, підведеної у випарник, і однакової температури води на виході з конденсатора, коефіцієнт перетворення енергії в ТНУ зростає зі збільшенням температури води на вході у випарник.

За методикою [7] визначено показники роботи ГТУ-ТЕЦ з газовими турбінами, характеристики яких наведено в табл. 1. Розрахунки здійснено для опалювального періоду тривалістю 4500 год. Для розрахунків вибрано: паливо – природний газ із теплою згорання  $33,4\text{ МДж/м}^3$ ; температура газів за котлом-утилізатором  $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температурний режим теплової мережі  $120/60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; вартість палива 2000 грн. за  $1000\text{ м}^3$ ; вартість відпущеної теплоти та електроенергії 250 і 700 грн. за  $1\text{ МВт}\cdot\text{год.}$ , відповідно. Результати розрахунків подано в табл. 3.

Таблиця 3

Показники роботи ГТУ-ТЕЦ

| Показники  | Варіанти |        |         |         |
|--|----------|--------|---------|---------|
|  | 1        | 2      | 3       | 4       |
| Потужність котла-утилізатора, МВт                                    | 4,571    | 9,0    | 19,482  | 32,929  |
| Витрата димових газів, кг/с  | 14,67    | 32,01  | 69,38   | 90,38   |
| Відпущена теплота, МВт·год.  | 20565    | 40473  | 87660   | 140180  |
| Виручка за теплоту, млн. грн.  | 5,141    | 10,118 | 21,915  | 37,045  |
| Електрична потужність власних потреб, кВт                            | 31,125   | 60,346 | 130,460 | 151,802 |
| Відпущена електроенергія, МВт·год.                                   | 12684    | 29878  | 75913   | 123067  |
| Виручка за електроенергію, млн. грн.                                 | 8,879    | 20,914 | 53,139  | 86,116  |
| Витрата палива, тис. $\text{м}^3$                                    | 4860     | 10319  | 23538   | 37049   |
| Витрати на паливо, млн. грн.   | 10,692   | 20,638 | 47,076  | 74,010  |
| Різниця між виручками і витратами, млн. грн.                         | 3,328    | 10,380 | 28,013  | 49,181  |
| Питома витрата умовного палива на одиницю виробленої енергії, кг/ГДж | 45,99    | 46,24  | 45,43   | 43,12   |

теплонасосною установкою, яка працює за варіантом 3 в табл. 2, для прикладу наведено в табл. 4. Вважалось, що температура газів за газоохолоджувачем складала 105 °С.

Таблиця 4

## Показники роботи ГТУ-ТЕЦ з ТНУ

| Показники  | Варіанти |        |        |        |
|--|----------|--------|--------|--------|
|  | 1        | 2      | 3      | 4      |
| Потужність газоохолоджувач, МВт                                      | 1,028    | 2,266  | 4,907  | 6,610  |
| Відпущена теплота, МВт·год   | 25191    | 50670  | 109741 | 178105 |
| Виручка за теплоту, млн. грн.  | 6,297    | 12,667 | 27,435 | 44,526 |
| Потужність компресора ТНУ, кВт                                       | 248      | 555    | 1377   | 1701   |
| Електрична потужність власних потреб, кВт                            | 296      | 654    | 1601   | 1968   |
| Відпущена електроенергія, МВт·год.                                   | 11452    | 27207  | 69295  | 114894 |
| Виручка за електроенергію, млн. грн.                                 | 8,016    | 19,045 | 48,506 | 80,425 |
| Витрати на паливо, млн. грн.   | 10,692   | 20,638 | 47,076 | 74,010 |
| Різниця між виручками і витратами, млн. грн.                         | 3,621    | 11,074 | 28,865 | 50,911 |
| Питома витрата умовного палива на одиницю виробленої енергії, кг/ГДж | 40,03    | 40,04  | 40,0   | 38,80  |

Із зіставлення показників роботи ГТУ-ТЕЦ, наведених у таблицях 3 і 4, видно, що ГТУ з теплонасосними установками й додатковим охолодженням газів за котлом-утилізатором працюють більш ефективно. Незважаючи на збільшення потужності власних потреб і зменшення відпуску електроенергії в енергосистему, загальна виручка за відпущені види енергії зростає на 10 – 11 % за рахунок зростання теплової потужності та виручки за відпущену теплоту. Приблизно на таку ж величину зменшується питома витрата умовного палива на виробництво одиниці енергії. Розрахунки показали, що у випадку роботи ГТУ-ТЕЦ з теплонасосною установкою, яка працює за четвертим варіантом в табл. 2, ефективність роботи зростає на 15 – 16 %, що дозволяє економити паливо на цю ж величину.

## Висновки

1. Створення ГТУ-ТЕЦ з додатковим охолодженням газів і теплонасосними установками підвищує ефективність використання палива.
2. Ефективність роботи ГТУ-ТЕЦ зростає зі збільшенням коефіцієнта перетворення енергії в ТНУ.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Андрущенко А. И. Методика предварительного выбора экономически целесообразных альтернативных вариантов тепловых схем ТЭЦ / А. И. Андрущенко, П. Г. Антронов // Изв. вузов. Проблемы энергетики: Казань, 2001, - №1 - 2. – С. 60 - 63.
2. Котлер В. Р. Мини-ТЭЦ: зарубежный опыт / В. Р. Котлер // Теплоэнергетика, 2006. - № 8. – С. 69 - 72.
3. Басок Б. И. Сравнительный анализ решений когенерационных установок / Б. И. Басок, Д. А. Коломейка // Пром. Теплотехника, 2006. – Т. 28. - № 5. – С. 77 - 82.
4. Ревзин Б. С. О роли теплофикации и о развитии ГТУ и ПГУ в новых условиях / Б. С. Ревзин, О. В. Комаров, А. А. Стяжкин // Газотурбинные технологии, 2007. - № 5. – С. 12 - 13.
5. Жарков В. С. О перспективах оборудования отопительных ТЭЦ в России / С. В. Жарков // Газотурбинные технологии, 2007. - № 2. – С. 15 - 18.
6. Чепурний М. М. До питання ефективності міні-ТЕЦ на базі котельні і газотурбінних установок / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко, Є. С. Корженко // Енергозбереження Поділля, 2004. - № 2. – С. 69 - 72.
7. Чепурний М. М. Енергозбережні технології в теплоенергетиці / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. - Вінниця: ВНТУ, 2009. – 114 с.
8. Гершуни А. Н. Разработка и внедрение эффективных утилизаторов на основе теплопередающих элементов испарительно-конденсационного типа / А. Н. Гершуни, В. П. Нищик // Пром. Теплотехника, 1997. – Т. 19. - № 5. – С. 69 - 73.
9. Фиалко М. М. Эффективность систем утилизации теплоты отходящих газов энергетических установок различного типа / М. М. Фиалко, Ю. В. Шеренковский, А. И. Степанова // Пром. Теплотехника, 2008. – Т. 30. - Наукові праці ВНТУ, 2012, № 1

№ 3. – С. 68 - 75.

10. Чепурний М. М. Аналіз впливу температур на ефективність роботи теплонасосних установок / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко, Т. П. Куть // Вісник Вінницького політехнічного інституту, 2001. - № 4. – С. 53 - 56.

**Чепурний Марко Миколайович** – к. т. н., професор кафедри теплоенергетики, інститут будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

**Ткаченко Станіслав Йосипович** – д. т. н., професор, завідувач кафедри теплоенергетики, інститут будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

**Димніч Ілона Миколаївна** – студентка інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет.