



УКРАЇНА

(19) UA (11) 25065 (13) U
(51) МПК (2006)
F01K 11/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) УСТАНОВКА ДЛЯ КОМБІНОВАНОГО ВИРОБЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1

2

(21) u200702752

(22) 15.03.2007

(24) 25.07.2007

(46) 25.07.2007, Бюл. № 11, 2007 р.

(72) Долінський Анатолій Андрійович, Білека Борис
Дмитрович, Гаркуша Леонід Кирилович(73) ІНСТИТУТ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ НАЦІ-
ОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ(57) Установа для комбінованого вироблення те-
плової та електричної енергії, що містить газотур-
бінну установку (ГТУ) у складі компресора, камери
спалювання та газової турбіни з електрогенерато-
ром, змішувач продуктів спалювання ГТУ з повіт-
рям, розташований після ГТУ, активний теплофі-

каційний котел з штатними палинками, систему
трубопроводів та газоходів, теплофікаційне обла-
днання з системою автоматики та регулювання,
яка **відрізняється** тим, що ГТУ додатково містить
регенератор, з'єднаний повітропроводами з комп-
ресором і камерою спалювання ГТУ, розподільник
продуктів спалювання ГТУ між регенератором і
змішувачем, розташований між ГТУ і змішувачем,
систему регулювання розподілу продуктів спалю-
вання ГТУ, додаткові стехіометричні палинки в
топці котла, причому компресор виконаний багато-
ступеневим з водяним охолодженням циклового
повітря.

Корисна модель стосується комунальної та
промислової теплоенергетики й може бути вико-
ристана для комбінованого вироблення теплової
та електричної енергії в системах комунального й
промислового теплопостачання.

Комбіноване вироблення теплової та електри-
чної енергії вже давно застосовується в централі-
зованому теплоелектрозабезпеченні (ТЕЦ) [1, 2].

Недоліком цих установок є висока капітальна
вартість. Крім того, їм властиві недоліки, пов'язані
із централізованим енергопостачанням (великі
втрати в теплових та електричних мережах, кон-
центровані викиди шкідливих речовин, недостатня
надійність тепло- і електропостачання, високі та-
рифи на електроенергію й теплоенергію).

В останні роки в Україні комбіноване вироб-
лення енергії (когенераційні технології) розпо-
всюджується на комунальне теплопостачання та те-
лопостачання промислових підприємств.
Когенераційні технології в комунальному теплопо-
стачанні побудовані на використанні теплових
двигунів (газотурбінних установок (ГТУ) і газопор-
шневих двигунів (ГПД)) з електрогенераторами,
технологічно зв'язаних з теплофікаційним обла-
днанням. Застосування когенераційних технологій
пов'язане з підвищенням надійності теплоелектро-
постачання й значним економічним ефектом, який
обумовлюється відмовою від дорогої мережевої
електроенергії для власних потреб підприємств,

зменшенням потреб у паливі для теплопостачання
й можливістю продажу надлишку виробленої де-
шевої електроенергії в мережу.

В останні роки знайшли поширення когенера-
ційні установки, які поставляються разом з котлом-
утилізатором. Це пояснюється їх компактністю,
більш простою технологією застосування і монта-
жу. Когенераційна установка з котлом-
утилізатором працює автономно і зв'язана із заг-
альною технологічною схемою котельні тільки по
цілому теплоносію.

Відомі когенераційні установки на базі газопо-
ршневих двигунів (ГПД), які застосовуються в ко-
тельнях малої й частково середньої потужності [3-
5]. Газопоршневі двигуни у складі когенераційної
установки можуть працювати тільки з котлами-
утилізаторами.

Недоліком цих установок є обмеженість їх по-
тужнісного ряду установками 2-4Мвт електричної й
такого ж порядку теплової потужності, що значно
звужує можливість їх використання для опалення,
обмежуючи їх застосування переважно для потреб
гарячого водозабезпечення відповідної потужнос-
ті. Іншим серйозним недоліком цих установок є
незадовільні екологічні характеристики (великі
викиди NO_x й СО (до 500мг на кубічний метр про-
дуктів спалення)), що обмежує їх використання в
густо заселених місцевостях і курортних зонах.

(13) U

(11) 25065

(19) UA

Відомі когенераційні установки на базі газотурбінного двигуна з котлом-утилізатором, які застосовуються в котельнях високої потужності комунальних і промислових підприємств [6]. Ці установки задовольняють широкий діапазон теплових та електричних навантажень. Теплова потужність когенераційної установки на базі ГТУ значно більша, ніж установи на базі ГПД і для комунальних підприємств її нарощення принципово не обмежене. Установки на базі ГТУ мають відносно низькі шкідливі викиди (викиди NO_x й CO в найкращих зразках ГТУ на рівні $50\ldots 100 \text{ мг/м}^3$ продуктів спалення) і менш небезпечні, ніж установи з ГПД.

Недоліком цих установок, як і всіх когенераційних установок з котлами-утилізаторами, є те, що їх застосування в котельнях припускає обмежене використання вже існуючого теплофікаційного обладнання котельні (теплофікаційних котлів) і нерозрахунковий режим його роботи, чи повне його виключення. Нерозрахунковий режим роботи теплофікаційного обладнання призводить до зниження ефективності його роботи, що призводить до зниження економії палива на виробництво теплоти. Крім того, застосування котлів-утилізаторів пов'язане з додатковими капітальними витратами.

В разі використання ГТУ існує принципова можливість безпосереднього включення до складу когенераційної установки існуючих теплофікаційних котлів, що дозволяє заощадити кошти на створення когенераційних установок за рахунок відмови від котлів-утилізаторів, додаткових пристроїв і монтажних робіт для підключення котлів-утилізаторів до теплофікаційної мережі, використовувати всю існуючу теплотехнічну інфраструктуру існуючих котельні, а також пом'якшити погіршення екологічної ситуації, обумовлене використанням теплових двигунів.

Відома когенераційна установка на базі ГТУ зі скидом продуктів спалення з ГТУ в топку теплофікаційних котлів зі спаленням в їх середовищі додаткового палива для одержання цільової теплової енергії [7, 8], яка обрана за прототип.

В цій установці ГТУ працює по простому циклу. Продукти спалення з ГТУ скидають в топку теплофікаційних котлів і в їх середовищі для одержання необхідної цільової теплової потужності спалюють додаткове паливо (допалення). Високий тепловий потенціал продуктів спалення з ГТУ дозволяє заощадити паливо на одержання цільової теплової енергії в котлі. Цій установці властиві всі перелічені вище переваги когенераційних установок з ГТУ. Заощадження палива в котлі і одержання в когенераційній установці додатково дешевої електроенергії обумовлюють економічну ефективність прототипу.

Недоліком цих установок є недостатня вивченість паливних процесів при використанні продуктів спалення з ГТУ, які містять приблизно 15% кисню, як окислювача. Вже доказана практично складність спалення палива безпосередньо в продуктах спалення ГТУ при використанні штатних паливних котлів. Для надійного спалення палива в цих умовах доводиться збільшувати концентрацію кисню на декілька відсотків шляхом додавання в продукти спалення ГТУ перед подачею їх в шта-

тні палиники котла додаткового повітря, що знижує тепловий потенціал продуктів спалення. При допаленні наслідком забаластованості окислювача і зниження його теплового потенціалу є зниження температури в топці котла і перехід котла в нерозрахунковий режим роботи, що призводить до зниження його теплової потужності і ефективності використання палива. Крім того, забаластованість окислювача і необхідність подачі додаткового повітря в продукти спалення з ГТУ призводить до підвищення маси продуктів спалення в котлі, приріст якої може дорівнювати масі продуктів спалення з ГТУ. Цей фактор ставить обмеження на мінімальну потужність котла, який може працювати в парі з ГТУ у складі когенераційної установки, що знижує можливість використання в комунальних підприємствах когенераційних установок на базі ГТУ. Наприклад, мінімальна потужність теплофікаційного котла, який може працювати в парі з ГТУ потужністю 2,5 МВт, яку розглядають як мінімальну потужність ГТУ перспективну для використання в когенераційних установках, становить близько 50 МВт. Котлів з такою потужністю в комунальній енергетиці небагато. Переважна більшість котлів в комунальному господарстві має значно меншу потужність. Неможливою в більшості випадків є і сумісна робота ГТУ з декількома теплофікаційними котлами одночасно, оскільки сумарна теплова потужність більшості комунальних котельні не перевищує 30 МВт.

Недоліком прототипу є і складність вирішення проблеми цілорічної роботи установки, що пов'язано із сезонністю роботи теплофікаційних котлів комунальної котельні. Припинення роботи котлів в неопалювальний сезон призводить до необхідності скиду високотемпературних продуктів спалення ГТУ в навколишнє середовище, що призводить до його теплового забруднення. Крім того, робота ГТУ в такому режимі є недостатньо ефективною. Це обумовлює зупинку ГТУ. Сезонність роботи негативно впливає на окупність когенераційної установки в цілому, основну вартість якої складає вартість ГТУ.

В корисній моделі поставлено задачу удосконалення когенераційної установки на базі ГТУ з теплофікаційним котлом для комбінованого вироблення теплової та електричної енергії в комунальних теплофікаційних і промислових підприємствах шляхом введення в схему установки додаткових пристроїв з метою підвищення ефективності когенераційної установки й розширення можливої сфери впровадження когенераційних технологій на базі ГТУ в комунальній енергетиці й промислових підприємствах.

Поставлена задача вирішується тим, що установка для комбінованого вироблення теплової та електричної енергії, яка містить газотурбінну установку (ГТУ) у складі компресора, камери спалювання й газової турбіни з електрогенератором, змішувач продуктів спалення ГТУ з повітрям, розташований після ГТУ, активний теплофікаційний котел з штатними палинками, систему трубопроводів й газоходів, теплофікаційне обладнання з системою автоматики й регулювання, згідно корисної моделі, ГТУ додатково містить регенератор,

з'єднаний повітропроводами з компресором і камерою спалювання ГТУ, розподільник продуктів спалення ГТУ між регенератором і змішувачем, розташований між ГТУ і змішувачем, систему регулювання розподілу продуктів спалення ГТУ, додаткові стехіометричні пальники в топці котла, причому компресор виконаний багатоступеневим з водяним охолодженням циклового повітря.

Регенератор необхідний для скиду в нього продуктів спалення ГТУ, надлишкових для теплофікаційного котла, й підвищення ефективності ГТУ за рахунок організації регенеративного циклу.

Розподільник продуктів спалення газотурбінної установки є необхідним для розподілу продуктів спалення ГТУ між регенератором та топкою теплофікаційного котла.

Система регулювання розподілу продуктів спалення з газотурбінної установки необхідна для оптимального розподілу продуктів спалення ГТУ між топкою теплофікаційного котла та регенератором в умовах добових і сезонних коливань теплового навантаження когенераційної установки.

Додаткові стехіометричні пальники в топці котла необхідні для забезпечення розрахункового режиму роботи котла при номінальному тепловому навантаженні в режимі допалення.

Компресор ГТУ повинен бути багатоступеневим з водяним охолодженням циклового повітря для забезпечення ефективної регенерації і підвищення ефективності роботи ГТУ.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, на якому зображена принципова схема запропонованої установки для комбінованого вироблення теплової та електричної енергії.

Установка містить ГТУ, яка складається з багатоступеневого компресора з водяним охолодженням циклового повітря 1 з охолоджувачами 6, камери спалення ГТУ 2, газової турбіни 3 з електрогенератором 4, регенератора 5, розподільником продуктів спалення ГТУ 7 з системою регулювання, змішувач 8, теплофікаційний котел 9 з штатними пальниками 10 і додатковими стехіометричними пальниками 11, газоходи, повітропроводи, систему регулювання розподілу продуктів спалення ГТУ, теплофікаційне обладнання з системою автоматики і регулювання.

Працює установка, наступним чином. Стисле повітря з водоохолоджуємого компресора 1 з порівняно низькою температурою внаслідок охолодження в процесі стиснення подають в регенератор 5, де температура повітря підвищується внаслідок теплообміну з продуктами спалення ГТУ. З регенератора повітря подають в камеру спалення 2, куди одночасно подають і паливо. З камери спалення продукти спалення подають в газову турбіну 3 з електрогенератором 4, де тепла енергія продуктів спалення перетворюється в електроенергію. Видобуту електроенергію використовують для власних потреб комунального підприємства, а надлишок передають в мережу. З турбіни продукти спалення подають в розподільник 7, в котрому продукти спалення розподіляють на два потоки, один з котрих направляють в регенератор 5. Після охолодження внаслідок теплообміну зі стислим повітрям з компресора продукти

спалення викидають з регенератора 5 в оточуюче середовище (викид після регенератора).

Другий потік продуктів спалення з розподільника 7 спрямовують в змішувач 8, де він збагачується киснем до 17-18% за рахунок подаваного в змішувач повітря для подальшого сталого спалення палива в середовищі продуктів спалення ГТУ. Зі змішувача продукти спалення ГТУ подають в штатні пальники 10 теплофікаційного котла 9. В пальниках високотемпературні збагачені продукти спалення використовують як окислювач для спалення подаваного в пальники палива (процес допалення). Внаслідок зменшеного вмісту кисню в продуктах спалення ГТУ витрата кисню в штатних пальниках теплофікаційного котла у складі когенераційної установки менша за таку в автономному котлі. Відповідно повинна бути зменшена і витрата палива в штатних пальниках для запобігання його недопалення. В результаті котел переходить в не розрахунковий режим роботи зі зниженням його теплової потужності і ефективності. Для забезпечення розрахункового режиму роботи і номінального навантаження в котел повинні бути вмонтовані додаткові пальники 11 з використанням як окислювача повітря. При цьому додаткові пальники повинні працювати при коефіцієнті надлишку повітря, близькому до одиниці (stechіометричні пальники), що дозволяє наблизитись до розрахункового режиму роботи котла у складі когенераційної установки при найменшій додатковій витраті палива в додаткових пальниках. Розрахунковий режим роботи котла у складі когенераційної установки забезпечує його максимальну ефективність і максимальну економію палива на виробництво цільової теплової енергії. Продукти спалення з теплофікаційного котла 9 викидають в навколишнє середовище.

Використання запропонованої корисної моделі дозволяє одночасно вирішувати обидві задачі - зниження мінімальної можливої потужності котлів (котелень), які спроможні працювати в парі з ГТУ у складі когенераційної установки, що дозволяє розширити як діапазон потужностей ГТУ, так і сферу застосування когенераційних установок даного типу в комунальній енергетиці та промислових підприємствах, і підвищення ефективності когенераційної установки. Перша задача вирішується тим, що частина маси продуктів спалення ГТУ після змішувача 7, яка є зайвою для котла чи котельні, які працюють в парі з ГТУ, скидають в регенератор. При цьому котли мають можливість працювати в ефективному режимі допалення, близьким до розрахункового, з незначним використанням додаткових стехіометричних пальників. Одночасно ГТУ при цьому працює в регенеративному циклі, що підвищує її ккд. Ступінь регенерації залежить від співвідношення потужності ГТУ і котла (котлів). Найбільш ефективною буде когенераційна установка, в якій ступінь регенерації максимальна можлива за умов скидання частини продуктів спалення в теплофікаційний котел, а котли працюють в розрахунковому режимі. Запропонована корисна модель по суті знімає всі обмеження на потужність ГТУ для даної котельні при

умові можливості подачі виробленої електроенергії в мережу.

За рахунок перерозподілу маси продуктів спалення ГТУ між регенератором і котлами запропонована схема когенераційної установки забезпечує можливість широкого регулювання її теплового навантаження при незначних коливаннях ефективності. Наприклад, при нічному зменшенні гарячого теплопостачання і переводу котлів в неномінальний режим роботи автоматично підвищується ступінь регенерації ГТУ і її ефективність, що компенсує зниження ефективності роботи котлів.

При застосуванні запропонованої корисної моделі вирішується і проблема сезонності в роботі когенераційної установки. При відключенні теплофікаційних котлів в неопалювальний сезон ГТУ продовжує роботу з максимальним ступенем регенерації, що обумовлює її максимальну ефективність (з електричним ккд близько 45%), як електрогенеруюча установка з подачею електроенергії в мережу. Безперервна цілорічна робота ГТУ забезпечує прийнятний термін окупності когенераційної установки (3-5 років).

Джерела інформації:

1. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.: «Энергия», 1967.

2. Канаев А.А., Корнеев М.И. Парогазовые установки. Л.: «Машиностроение», 1974.

3. Каталог ООО "Налим", г. Севастополь, Украина.

4. Когенерационные установки (для комбинированного производства электрической энергии и тепла). Каталог АО "Первомайскдизельмаш", г. Первомайск, Украина.

5. Мини-теплоэлектростанции DEUTZ. «Автомоторс», Генеральное представительство АО «DEUTZ» (Германия) в Украине, г. Киев.

6. ГТЭС когенерационного цикла (теплофикационные). Каталог газотурбинного оборудования. «Газотурбинные технологии», 2005г., Россия.

7. Степанов Р.И.. Котлы с предвключенными газовыми турбинами. - "Теплоэнергетика", 1995, №4, с.41-43.

8. Арсеньев Л.В., Тырышкин П.Г. Комбинированные установки с газовыми турбинами. Л.: «Машиностроение», Ленинградское отделение, 1982.

