



УКРАЇНА

(19) UA (11) 25066 (13) U

(51) МПК (2006)

F01K 11/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ КОМБІНОВАНОГО ВИРОБЛЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

1

2

(21) u200702753

(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) Спосіб комбінованого вироблення теплової та
електричної енергії, що виконують в когенерацій-
ній установці з використанням газотурбінної уста-
новки (ГТУ) з електрогенератором і теплофікацій-
ного котла, при якому спалюють природний газ в
ГТУ з електрогенератором для одержання елект-
роенергії, формують потік вихлопних газів з ГТУ,
скидають вихлопні гази в змішувач, куди одночас-
но подають повітря для збагачення вихлопних

газів з ГТУ киснем, скидають збагачені вихлопні
гази в штатні пальники теплофікаційного котла зі
спалюванням в їх середовищі додаткового палива
для одержання теплової енергії, який **відрізня-**
ється тим, що використовують регенеративний
цикл ГТУ з багатоступеневим компресором з про-
міжним повітряним охолодженням циклового пові-
тря, вихлопні гази з ГТУ розподіляють на два по-
токи, один з котрих направляють в регенератор, а
другий - в змішувач для збагачення киснем, при-
чому як збагачувальний агент використовують
гаряче повітря з системи проміжного охолодження
циклового повітря в компресорі, а в топку котла
додатково подають стехіометричну суміш повітря з
паливом для роботи котла в розрахунковому ре-
жимі.

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].

Основним недоліком цього способу при
централізованому застосуванні, спрямованому на
енергопостачання крупних споживачів (міста, ра-
йони), є висока капітальна вартість необхідного
обладнання, значна залежність ефективності спо-
собу від потужності, яка швидко падає при її зме-
ншенні, недостатньо висока надійність централі-
зованого енергопостачання, великі втрати
теплової енергії, пов'язані з необхідністю її транс-
портування на великі відстані, значна кількість
концентрованих шкідливих викидів, практична не-
можливість задовольнити потреби в енергії, особ-
ливо в тепловій, при зростанні міст і районів, що
призводить до необхідності будування додаткових
котелень для теплопостачання.

В останні роки в Україні комбіноване вироб-
лення енергії (когенераційні технології) розповсю-
джується на комунальне теплопостачання та теп-

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 облад-
нанням. 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. При цьому значне
поширення знайшли когенераційні технології на
базі теплових двигунів з котлами - утилізаторами,
що пояснюється, більш простою технологією їх
застосування і монтажу установок.

Відомі когенераційні технології на базі газопо-
ршневих двигунів (ГПД) з котлами - утилізаторами,
які застосовуються в котельнях малої й частково
середньої потужності [3-5].

Недоліком цих технологій є обмеженість їх ви-
користання при великих теплових навантаженнях (на-
приклад, опалення) внаслідок обмеженості теп-
лової потужності ГПД (2-4МВт). Областю їх вико-

(13) U

(11) 25066

(19) UA

ристання є головним чином гаряче водопостачання.

Відомі когенераційні технології на базі ГТУ з котлом - утилізатором, які застосовуються в котельнях високої потужності комунальних і промислових підприємств [6]. Ці технології задовольняють широкий діапазон теплових та електричних навантажень. Теплова потужність когенераційної установки на базі ГТУ значно більша, ніж установки на базі ГПД і для комунальних підприємств її нарощення принципово не обмежене.

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

Когенераційні технології на базі ГТУ, на відміну від когенераційних технологій на базі ГПД, допускають принципову 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 теплотехнічну інфраструктуру існуючих котельень, а також пом'якшити погіршення екологічної ситуації, обумовлене використанням теплових двигунів.

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

В цій технології ГТУ працює по простому циклу. Продукти спалювання 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 спалювання з ГТУ дозволяє заощадити паливо на одержання цільової теплової енергії в котлі. Цій технології властиві всі перелічені вище переваги когенераційних технологій з ГТУ. Заощадження палива в котлі і одержання в когенераційній установці додатково дешевої електроенергії обумовлюють економічну ефективність прототипу.

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

їх в штатні пальники котла додаткового повітря, що знижує тепловий потенціал продуктів спалювання. Наслідком забаластованості окислювача і зниження його теплового потенціалу при додаванні холодного повітря 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 спалювання з ГТУ призводить до підвищення маси продуктів спалювання в котлі, приріст якої може дорівнювати масі продуктів спалювання з ГТУ. Цей фактор ставить обмеження на мінімальну потужність котла, який може працювати в парі з обраною ГТУ у складі когенераційної установки, що знижує можливості використання в комунальних підприємствах когенераційних установок на базі ГТУ. Наприклад, мінімальна потужність теплофікаційного котла, який може працювати в парі з ГТУ потужністю 2,5МВт, яку розглядають як мінімальну потужність ГТУ перспективну для використання в когенераційних установках, становить близько 50МВт. Котлів з такою потужністю в комунальній енергетиці небагато. Переважна більшість котлів в комунальному господарстві має значно меншу потужність. Не вирішує цю проблему і сумісна робота ГТУ з декількома теплофікаційними котлами одночасно, оскільки сумарна теплова потужність більшості комунальних котельень не перевищує 30МВт.

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 спалювання 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 технології на базі ГТУ з теплофікаційним котлом для комбінованого вироблення теплової та електричної енергії в комунальних теплофікаційних і промислових підприємствах шляхом введення в технологію додаткових елементів з метою підвищення її ефективності й розширення сфери застосування в комунальній енергетиці й промислових підприємствах.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі комбінованого вироблення теплової та електричної енергії в когенераційній установці з використанням газотурбінної установки (ГТУ) з електрогенератором і теплофікаційного котла, при якому спалюють природний газ в ГТУ з електрогенератором для одержання електроенергії, формують потік вихлопних газів з ГТУ, скидають вихлопні гази в змішувач, куди одночасно подають повітря для збагачення вихлопних газів з ГТУ киснем, скидають збагачені вихлопні гази в штатні пальники

теплофікаційного котла зі спалюванням в їх середовищі додаткового палива для одержання теплової енергії, згідно корисної моделі, використовують регенеративний цикл ГТУ з багатоступеневим компресором з проміжним повітряним охолодженням циклового повітря, вихлопні гази з ГТУ розподіляють на два потоки, один з котрих направляють в регенератор, а другий - в змішувач для збагачення киснем, причому як збагачувальний агент використовують гаряче повітря з системи охолодження компресора, а в топку котла додатково подають стехіометричну суміш повітря з паливом для роботи котла в розрахунковому режимі.

Використання регенеративного циклу необхідне для підвищення ефективності ГТУ. Крім того, у регенератор, присутність якого у складі ГТУ обумовлює регенеративний цикл ГТУ, в опалювальний сезон скидають продукти спалювання ГТУ, які є зайвими для теплофікаційного котла, що знімає обмеження мінімальної теплової потужності котла, який може працювати в парі з ГТУ у складі когенераційної установки, і тим самим розширює сферу застосування когенераційних технологій на базі ГТУ з теплофікаційним котлом. Застосування регенеративного циклу ГТУ вирішує й проблему сезонності роботи ГТУ когенераційної установки. В неопалювальний сезон завдяки регенеративному циклу ГТУ спроможна ефективно працювати як електрогенеруюча установка з подачею електроенергії в електричну мережу.

Використання багатоступеневого компресора з проміжним охолодженням циклового повітря є необхідним для підвищення ефективності роботи ГТУ за рахунок як зниження необхідної потужності компресора, так і підвищення ступеня регенерації в ГТУ.

Використання повітря для охолодження циклового повітря в компресорі необхідне для можливості подальшого ефективного використання нагрітого охолоджуючого агента з системи охолодження компресора.

Розподіл вихлопних газів з ГТУ на два потоки з подачею одного потоку, в регенератор, а другого - в змішувач, зв'язаний з топкою котла є необхідним для забезпечення роботи котла та регенератора і можливості регулювання теплового навантаження котла.

Використання в змішувачі як збагачувального агента гарячого повітря з системи охолодження компресора є необхідним, оскільки гаряче повітря при змішуванні з продуктами спалювання ГТУ в меншій мірі знижує їх тепловий потенціал.

Додаткова подача в топку котла стехіометричної суміші повітря з паливом необхідна для забезпечення розрахункового режиму роботи котла при номінальному тепловому навантаженні в режимі допалювання.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, на якому зображена принципова технологічна схема запропонованого комбінованого вироблення теплової та електричної енергії.

Запропонована технологічна схема комбінованого вироблення енергії передбачає наступні процеси.

Стисле циклове повітря з багатоступеневого компресора з повітряним охолодженням циклового повітря 1 подають в регенератор 2, звідкіля нагріте повітря подають в камеру спалювання 3, куди одночасно подають паливо. Продукти згоряння з камери спалювання 3 подають в газову турбіну 4, механічно з'єднану з електрогенератором 5. В системі газова турбіна - електрогенератор відбувається перетворення теплової енергії продуктів спалювання в електроенергію. Викидні гази з газової турбіни 4 розділяють на два потоки в роздільнику 6, звідкіля один потік викидних газів направляють в регенератор 2, де вони охолоджуються, віддаючи свою теплову енергію стислому повітрю, яке подають в регенератор 2 з компресора 1. Завдяки охолодженню в системі охолодження 8 циклового повітря в компресорі 1, стисле повітря після компресора має достатньо низьку температуру, що сприяє підвищенню ступеня регенерації і ефективності ГТУ.

Другий потік продуктів спалювання ГТУ з роздільника 6 спрямовують в змішувач 7, куди одночасно подають гаряче повітря з системи охолодження 8 компресора 1. Зі змішувача 7 суміш продуктів спалювання та повітря спрямовують в штатні пальники 9 теплофікаційних котлів 10, куди одночасно подають паливо (допалювання в топках котлів).

Подача в змішувач, замість холодного повітря, гарячого повітря з системи охолодження компресора, значно зменшує втрату теплового потенціалу в змішувачі, що призводить до покращення процесу спалювання, наближення роботи котлів до розрахункового режиму і підвищення ефективності їх роботи.

Для доведення режиму роботи котла до розрахункового, що забезпечує найбільшу ефективність роботи котла, в топку котла з допомогою додаткових пальників необхідно додатково подавати повітря і паливо в пропорції близької до стехіометричної. При цьому досягається найбільша економія палива для вироблення цільової теплової енергії.

Таким чином, запропонована когенераційна технологія пропонує комплекс заходів для підвищення ефективності роботи когенераційної установки на базі ГТУ - охолодження циклового повітря в компресорі, регенеративний цикл ГТУ, використання гарячого повітря з системи охолодження циклового повітря в компресорі для збагачення продуктів спалювання ГТУ, використання додаткової стехіометричної паливної суміші для доведення режиму роботи котла до розрахункового. Одночасно вирішується й проблема, пов'язана з мінімальним рівнем потужності теплофікаційного котла, який може працювати у складі когенераційної установки в парі з турбіною даної потужності. При цьому регенератор виконує роль своєрідного демпфера, куди скидаються продукти спалювання ГТУ, зайві для котла. Дана технологія практично знімає всі обмеження в потужності для пари ГТУ - котел у складі когенераційної установки при умові можливості передачі в мережу зайвої електроенергії. При цьому ефективність ГТУ буде тим більшою, чим більша її потужність. При використанні

даної технології вибір ГТУ для даної котельні базується тільки на техніко - економічному аналізі та екологічних вимогах.

Запропонована когенераційна технологія дозволяє шляхом регулювання розподілу продуктів спалювання ГТУ між регенератором 2 і теплофікаційними котлами 10 та подачі повітря і палива в додаткові пальники 11 топки котла легко регулювати теплове навантаження теплофікаційних котлів 10, причому зменшення навантаження теплофікаційних котлів 10 супроводжується підвищенням ефективності ГТУ внаслідок підвищення ступеня регенерації.

Запропонована когенераційна технологія вирішує і проблему сезонності. В неопалювальний сезон при відключенні теплофікаційних котлів 10 ГТУ працює як електрогенеруюча установка з подачею електроенергії в мережу. При цьому роздільник 6 спрямовує всі продукти спалювання ГТУ в регенератор 2, ГТУ працює з максимальним ступенем регенерації і максимальною ефективністю. Влітку гаряче повітря з системи охолодження 8 компресора 1 можна використовувати в системі кондиціювання повітря в котельні з допомогою абсорбційної холодильної машини.

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 АООТ "Первомайскдизельмаш", г. Первомайск, Украина.
5. Мини - теплоэлектростанции DEUTZ. «Автомоторе», 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.

