

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КОМБІНОВАНИХ ПАРОГАЗОТУРБІННИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ТА ЗМЕНШЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Описано модернізовані схеми парогазотурбінних установок, в яких для роботи газової частини використовується тепло, отримане при згоранні твердого палива. При цьому, за рахунок збільшення кількості виробленої електронергії (чи загальної потужності) при спалюванні більшої кількості твердого палива зменшується загальна кількість питомих валових викидів в атмосферне повітря

Вступ

Об'єкти теплової енергетики, які в переважній більшості працюють на твердому паливі, є на даний момент часу найбільшими джерелами забруднення навколишнього атмосферного повітря. Зокрема, Бурштинська тепла електростанція (БуТЕС), яка працює за традиційною схемою з використанням паротурбінних установок, може в рік тільки по одній димовій трубі (а їх є аж три) викидати в навколишнє середовище до 100 000 т окислів азоту. До недоліків таких енергетичних установок слід ще віднести і низьку маневреність. Це стає несприятливим фактором при роботі в умовах пікових навантажень.

Постановка проблеми

Досить високий ресурс в плані підвищення маневреності та зниження питомих (на 1 Мвт потужності) валових викидів мають парогазотурбінні установки. Однак, для роботи газової турбіни в комбінованій парогазотурбінній установці (ПГТУ) використовується рідкісне та досить дороге газотурбінне паливо. Разом з тим, ще в 40—50 роки минулого століття [1], вже були запропоновані принципові схеми енергетичних установок з використанням для роботи газової частини традиційного твердого палива. При цьому, лопатки газової турбіни працюють у важких умовах через наявність в гарячих продуктах згорання твердих включень та інших агресивних компонентів. Для усунення таких недоліків слід використовувати проміжне робоче середовище. В роботах [2, 3] описані комбіновані парогазотурбінні установки, в яких робочим тілом є звичайне стиснуте повітря, нагріте до потрібних температур за допомогою ефективних сучасних теплопередавальних пристроїв [4], які дозволяють ще і утилізувати тепло, яке викидається в навколишнє середовище із димовими газами.

Шляхи вирішення проблеми

Запропоновані авторами в роботах [2, 3] енергетичні установки, які включають в себе паровий котел з конвективним газоходом, повітряну турбіну з компресором та включену між ними камеру підігріву, що зв'язана через теплопередавальний пристрій з топкою котла. Теплопередавальний пристрій виконаний у вигляді теплової трубки, холодний кінець якої розташований в камері підігріву повітря, а гарячий — в топці котла, причому котел доповнений байпасною лінією, яка включена між газоходом і топкою в місці розташування гарячого кінця теплової трубки.

Слід звернути увагу на той факт, що робота повітряної турбіни забезпечується без спалювання газоподібного чи рідкого палива в камері згорання газової турбіни (ГТУ), що зазвичай робиться у відомих установках.

Принципова схема однієї із таких енергетичних установок показана на рис. 1.

Технічне рішення [3] представляє собою енергетичну установку, яка складається з парового котла, газової турбіни і компресора з камерою підігріву повітря, що розташована між ними, і в якій поміщений конденсатор теплової трубки, випаровувач якої знаходиться в топці парового котла (тобто повністю повторює всі основні конструктивні елементи енергоустановки за авт. свід. СРСР № 1188338). Запропонована енергетична установка додатково обладнана сервомотором з черв'яковою передачею, жорстко зв'язаною з корпусом теплової трубки, випаровувач та конденса-

сатор якої охоплені сальниковими ущільнювачами, які розташовані в корпусі котла і в камері підігріву повітря, а серводвигун, що приводить в рух черв'ячну передачу, з'єднаний через блок керування з тахогенератором, який встановлений на валу газової турбіни, яка може бути виконана із розрізним валом (див. рис.1).

Установка складається із компресора 1, камери 2 підігріву газу, газової турбіни 3 з генератором 4 на його вихідному валу та парового котла. Камера 2 термодинамічно зв'язана з топкою котла 5 за допомогою теплової трубки, причому в камері 2 розміщений конденсатор 6 теплової трубки, а в топці парового котла 5 — її випаровувач 7, які з'єднані між собою корпусом 8.

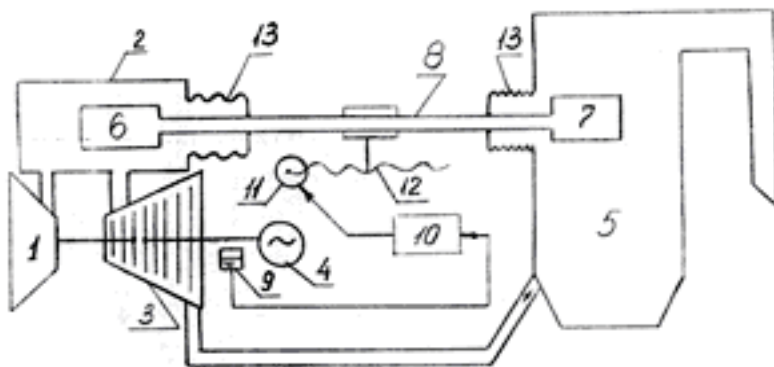


Рис. 1. Енергетична установка з регульованою тепловою трубкою

На валу генератора 4 встановлений тахогенератор 9, який зв'язаний через блок керування 10 з серводвигуном 11, який приводить в рух черв'ячну передачу 12, яка жорстко з'єднана одним своїм елементом з корпусом 8 теплової трубки. Остання герметично закріплена в стінках камери 2 і котла 5 за допомогою сальфонів 13. Вал 14 газової турбіни 3, виконаний з розрізним валом, причому

одна частина вала зв'язана з компресором 1, а інша — з генератором 4.

В топці парового котла 5 спалюють низькосортове паливо, продукти згорання якого генерують пару, а крім цього тими ж газами факела нагрівається випаровувач 7 теплової трубки, яка передає тепловий потік в камеру 2 підігріву газу (повітря), в якій розміщений конденсатор 6 цієї ж теплової трубки. Компресор 1 стискає повітря і подає його в камеру 2, де газ, в даному випадку — повітря, обдуваючи конденсатор 6 теплової трубки, нагрівається до високих температур (1000—1200 °С). Стиснуте та нагріте повітря направляють в газову турбіну 3, де воно розширюється і приводить в рух генератор 4, виробляючи при цьому певну кількість електроенергії.

Тахогенератор 9 видає інформацію про зміну обертів генератора у випадку зміни навантаження. Ця інформація поступає в блок керування 10, який в залежності від знаку різниці подає відповідну команду серводвигуну 12 на переміщення теплової трубки (подачу її в топку чи висунення з неї). Так, при зниженні навантаження ланцюг «тахогенератор — блок керування — серводвигун з черв'ячною передачею» переміщує теплову трубку, всовуючи її в топку котла 5, в зону з більш високими температурами газів. Температурний напір між газами і поверхнею теплообміну конденсатора 6 збільшується, підвищуючи тепловий потік, що передається від факела топки до повітря (до появи явища запирання в тепловій трубці). При цьому підвищується температура повітря в камері 2 підігріву повітря, хоч і не значно. Необхідні глибокі зміни потужності отримують, в основному, за рахунок зміни витрати повітря, що проходить через компресор і через поверхню конденсатора 6, з якого при цьому, знімають додатковий тепловий потік, що стало можливим завдяки переміщенню випаровувача 7 теплової трубки в топку. А зміна витрати повітря через конденсатор 6 досягається шляхом зміни кількості обертів компресора — це дозволяє газова турбіна з розрізним валом.

При зменшенні навантаження всі описані вище процеси відбуваються в зворотному порядку.

Таким чином, переміщення теплової трубки в топці котла 5, а також виконання газової турбіни з розрізним валом дозволяє змінювати в широких межах тепловий потік, що передається з топки парового котла 5 в камеру 2 підігріву газу, і тим самим змінювати в широкому діапазоні потужність електрогенератора. Це дозволяє використовувати запропоновану енергетичну установку в пікових режимах.

Загальною позитивною рисою описаних вище [2, 3] енергоустановок є і те (можливо і в значно більш масштабних рамках), що для роботи газотурбінної установки (ГТУ), яка працює в складі ПГТУ, не використовується додаткова кількість газоподібного чи рідкого палива для підігріву стиснутого повітря в камері згорання газової турбіни.

Кількість спалюваного твердого палива в котельному агрегаті парової частини установки не значно збільшується, що дозволяє в достатній мірі збільшити кількість виробленої електроенергії

при значному зменшенні кількості шкідливих токсичних величин (оксидів азоту та оксиду вуглецю), утворення яких в газовій частині установки не проходить.

Дещо по-іншому вирішена проблема зменшення екологічної безпеки ГТУ в роботі [5]. Там запропонований спосіб роботи енергетичної установки шляхом подачі пари в парову турбину із котла з основною і додатковою топкою, підігріву в останній повітря із компресора, розширення його в повітряній турбіні і подачі відпрацьованого повітря на спалювання палива. Стиснуте повітря нагрівають в додатковій топці шляхом подачі його в оболонку, що охоплює останню протитоком топковим газам, що подається потім в основну топку, при цьому в оболонку додаткової топки подають частину пари із відбору парової турбіни.

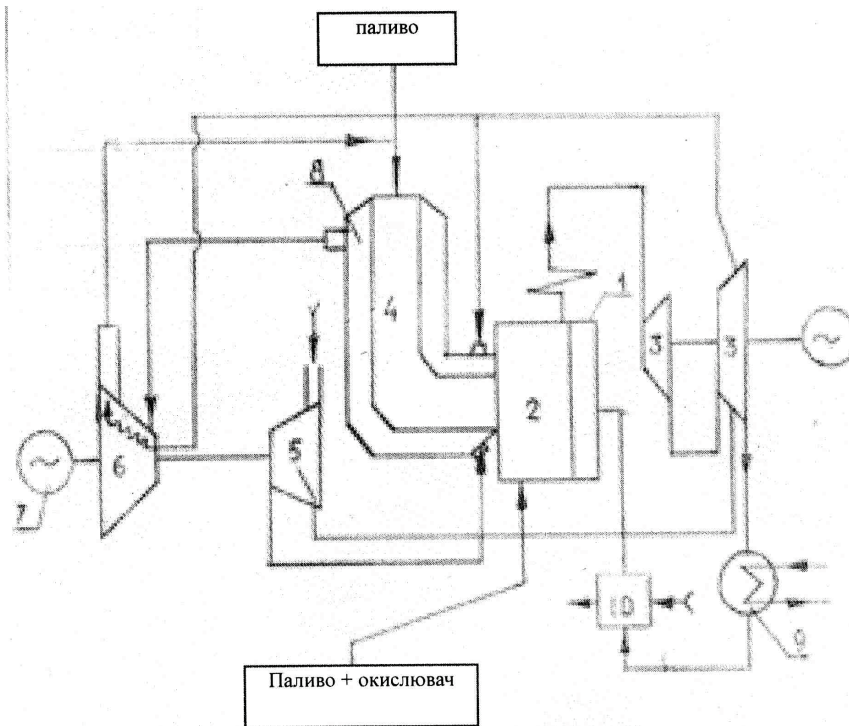


Рис. 2. Парогазова установка з циклонним передтопком

4 переважно виконується у вигляді циклонного передтопка.

При пікових режимах роботи енергетичної установки стиснуте в компресорі 5 повітря подають в оболонку 8 додаткової топки 4, в якій спалюють тверде низькосортове паливо чи важкі мазути. Топочні гази в топці 4 рухаються протитоком повітрю. Нагріте до високих температур повітря направляють в високотемпературну повітряну турбину 6, що виробляє електроенергію. Повітря з вихлопу турбіни 6 подають, як окислювач для реакції спалювання палива в додатковій топці 4 (циклонного передтопка 4), після якої гази викидаються в основну топку 2 котла 1, куди також подають паливо та окислювач. В результаті догорання палива з топки 2 і згорання палива, що поступає в топку 2, в котлі утворюється пара, яку направляють для розширення в паровій турбіні 4. З вихлопу парової турбіни 4 пару подають в конденсатор 9, а воду після підігрівача 10 направляють назад в котел 1. Перегріту пару з відбору парової турбіни 3 подають по трубопроводу в оболонку 8.

При зниженні електричної потужності частково чи повністю припиняють подачу палива і окислювача в основну топку 2. Тепла газів з додаткової топки 4 достатньо для вироблення в котлі пари, що подається в турбину 3 для підтримання її в «гарячому резерві», котел 1 працює як котел утилізатор. Пару із відбору парової турбіни 3 по трубопроводу подають в оболонку 8 для перемішування з повітрям, що підвищує характеристики повітряної турбіни 6. Крім того, пару з відборів турбіни 3 направляють по трубопроводу на охолодження лопаток турбіни 6, а також по трубопроводу між ступенями компресора 5. Таким чином, пара, що іде на охолодження турбіни 6, яка знаходиться в «гарячому резерві», корисно використовується, що зменшує втрати тепла в конденсаторі 10. Потужність установки змінюється в широких межах, терміни переформування турбіни 6 з резерву в номінальний режим невеликі, що значно підвищує маневреність установки.

Висновки

На рис. 2 зображена принципова схема установки для реалізації запропонованого вище способу отримання енергії.

Котел 1 містить послідовно включені основну і додаткову топку 2 і 4, і з'єднаний водяною парою з паровою турбіною 3, яка має конденсатор 9 і регенеративний підігрівач 10. Компресор 5 з'єднаний через оболонку 8 додаткової топки 4 з повітряною турбіною 6, вихлоп якого підключений до входу топки 4. Патрубки відбору пари турбіни 3 з'єднані відповідними трубопроводами з оболонкою 8, повітряною турбіною 6 і компресором 5 відповідно. Топка

Описані принципові технологічні схеми парогазових турбінних установок, побудовані на базі сучасних теплопередавальних пристроїв, дозволяють досягти значного технічного ефекту, який полягає у зменшенні питомих валових викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря навіть при незначному збільшенні кількості спалюваного твердого палива за рахунок додаткового виробітку електроенергії в газовому контурі енергетичної установки. При цьому також досягається суттєве зменшення теплового забруднення навколишнього середовища шляхом утилізації тепла димових газів, що реалізується за допомогою роздільного виконання кип'ятильника теплової трубки, частина якого встановлюється в різних частинах димохідних каналів. Загальний коефіцієнт корисної дії такої комбінованої установки теж значно зростає завдяки усуненню одного циклу перетворення тепла в електроенергію.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Парогазова теплосилова установка. Патент ФРГ № 839290, 1944 р.
2. Грінченко Д. М., Кулик М. П., Єрмакова Л. Ф. Енергетична установка. Авт. свід. СРСР № 1198230, БВ № 46, 1985 р.
3. Грінченко Д. М., Єрмакова Л. Ф., Кулик М. П. Енергетична установка. Авт. свід. СРСР 1281690, БВ № 1, 1987 р.
4. Чи С. Тепловые трубы. Теория и практика. — М.: Машиностроение, 1981 г.
5. Грінченко Д. М., Кулик М. П. Спосіб роботи енергетичної установки. Авт. свід. СРСР № 1188338, БВ № 40, 1985 р.

Кулик Михайло Павлович — доцент кафедри фундаментальних наук.

Івано-Франківського інституту менеджменту та економіки «Галицька академія»