

УДК 621.311.22

О.В. ЛИСИХ, маг., НТУ «КПІ», Київ

ГАЗОПАРОТУРБИННА УСТАНОВКА З ВИКОРИСТАННЯМ НАДЛИШКОВОЇ НАСИЧЕНОЇ ВОДИ В ЇЇ ЦИКЛІ

У газопаротурбінних установках температура відпрацьованих газів після котла-утилізатора залишається досить високою 160-170 ° С. В статті розглядається спосіб зниження цієї температури.

Ключові слова: газопаротурбінна установка, утилізація теплоти, енергозбереження.

В газопаротурбинных установках температура отработанных газов после котла-утилизатора остается достаточно высокой 160-170°C. В статье рассматривается способ снижения этой температуры.

Ключевые слова: газопаротурбинная установка, утилизация теплоты, энергосбережение.

In gas turbine plants temperature of exhaust gases after recovery boiler remains high 160-170 ° C. The article reviews a way to reduce this temperature.

Keywords: gas steam plant, heat utilization, energy saving.

В газотурбінних установках температура відпрацьованих газів після котла-утилізатора залишається досить високою і складає біля 170-160 оС. Це обумовлено значною необоротністю процесів передачі тепла від відпрацьованих газів в котлі-утилізаторі. Зниження цієї необоротності і буде сприяти підвищенню термодинамічної ефективності ГПТУ за рахунок зменшення викидів теплоти з відпрацьованими газами в навколишнє середовище. З цієї причини сьогодні головну увагу у питанні підвищення ККД приділяють саме утилізації теплоти відпрацьованих газів.

Парогазова установка з котлом-утилізатором - найбільш перспективна і широко поширена в енергетиці парогазова установка, що відрізняється простотою і високою ефективністю виробництва електричної енергії. Ці ПГУ - єдині у світі енергетичні установки, які при роботі в конденсаційному режимі відпускають споживачам електроенергію з ККД 45-55%. Такий ККД досягається завдяки застосуванню котлів-утилізаторів двох і трьох тисків, які забезпечують достатню утилізацію відпрацьованих газів. Але разом із цим вони вимагають створення додаткових пароводяних контурів. На практиці це призводить, власне кажучи, до послідовного з'єднання двох і трьох котлів-утилізаторів різних тисків, тобто фактично одержують котловий комплекс, який потребує значних капітальних затрат.

Складність і велетенські габарити, а відповідно і вартість кіловата встановленої потужності таких бінарних енергетичних установок дуже висока, адже кожний додатковий контур це по суті додатковий котел-утилізатор з своїм барабаном-сепаратором і іншим теплосиловим обладнанням. Це обумовлено тим,

що бінарній газопаротурбінній технології подібно газотурбінній когенерації притаманна висока необоротність термодинамічних процесів утилізації теплоти відпрацьованих газів, що пов'язано з високою їх температурою на виході з котла-утилізатора. Останнє обумовлено великою різницею в водяних еквівалентних нагріваної води і охолоджувальних газів на економайзерній дільниці котла-утилізатора.

Разом з тим, сьогодні розроблено технологію ГПТУ з використанням надлишкової насиченої води в циклі яка дає можливість утилізації теплоти в котлі одного тиску. Вона реалізує спосіб поглибленої утилізації теплоти відпрацьованих газів енергоустановки в котлі-утилізаторі одного тиску до температури 110-130°C.

Якби вдалось зменшити необоротність термодинамічних процесів утилізації теплоти відпрацьованих газів в котлі-утилізаторі одного тиску, то ефективність роботи бінарної газотурбінної установки значно підвищилась при одночасному значному зменшенню її габаритів. Саме така модель роботи котла-утилізатора була запропонована і розроблена при розгляді цієї проблеми.

Одним з найбільш вагомих недоліків бінарної схеми газопаротурбінної установки, як це засвідчено вище, є висока необоротність термодинамічного процесу утилізації теплоти відпрацьованих газів в котлі-утилізаторі одного тиску (одноконтурній) бінарній схемі газотурбінної установки. Це наглядно

підтверджується аналізом діаграми процесу утилізації теплоти відпрацьованих газів в [T-S] координатах, яка представлена на рисунку. На діаграмі представлено процес передачі теплоти в котлі-утилізаторі від потоку відпрацьованих газів до води, що подається живильним насосом від конденсатора і нагрівається з подальшим перетворенням її в перегріту пару. При цьому процес охолодження відпрацьованих газів зображено лінією 5б61, а процес нагріву води, її випаровування та перегрів отриманої пари зображено лінією абвг.

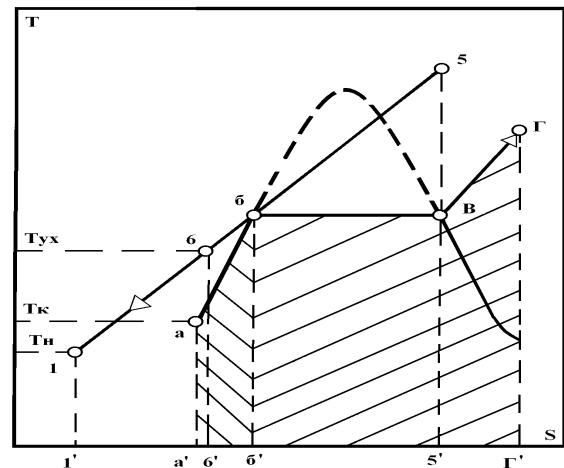


Рис.1. Процес передачі теплоти в котлі-утилізаторі від відпрацьованих газів на нагрів води, її випаровування і перегрів отриманої пари

З теорії теплопередачі відомо, що необоротність процесу передачі теплоти від одного до іншого тіла буде тим більшою, чим більше буде неспівпадання протікання процесів їх охолодження і нагрівання.

Це наглядно підтверджується наступними викладами. З рисунку 1 видно, що в граничному випадку для випару води, нагрітої до температури насичення (процес б-в) та її перегріву (процес в-г) можливо використати тільки теплоту відпрацьованих газів, що характеризується площею 5-5'-б'-б-5, а теплоту, що залишилася, яка характеризується площею б'-б-1-1'-б' можна витратити тільки для нагрівання води (у граничному випадку до температури в крапці „б”).

Використання цієї теплоти буде тим повніше, чим ближче водяні еквіваленти відпрацьованих газів, що нагрівають і води, що нагрівається тобто при повному її використанні повинна виконуватися умова

$$W_{\text{Ж}}=W_{\text{Г}},$$

де $W_{\text{Ж}}$ – водяний еквівалент нагріваємої води в котлі-утилізаторі;

$W_{\text{Г}}$ – водяний еквівалент гріючої газопарової суміші в котлі-утилізаторі

$$W_{\text{Ж}}=C_{\text{Ж}} \cdot G_{\text{Ж}}$$

$$W_{\text{Г}}=C_{\text{РГ}} \cdot G_{\text{Г}}$$

де $C_{\text{Ж}}$, $C_{\text{РГ}}$ – ізобарні теплоємності відповідно води, і газопарової суміші.

$G_{\text{Ж}}$, $G_{\text{РГ}}$ – секундні витрати води, і газопарової суміші.

Якщо водяні еквіваленти віднести до одного кілограму газопарової суміші в котлі-утилізаторі, то їхні вирази приймуть вигляд

$$W_{\text{Ж}}=C_{\text{Ж}}$$

$$W_{\text{Г}}=C_{\text{РГ}}$$

Враховуючи, що ізобарна теплоємність відпрацьованих газів газопарової суміші складає біля $C_{\text{РГ}} \approx 1,26$ кДж/кг·К, а відношення $G_{\text{Ж}}/G_{\text{Г}} \approx 0,121$, то

$$W_{\text{Г}}=1,26 \text{ кДж}\cdot\text{с}/\text{К};$$

$$W_{\text{Ж}1}=4,18 \cdot 0,121=0,52 \text{ кДж}\cdot\text{с}/\text{К}.$$

З отриманих відносин видно, що водяні еквіваленти відпрацьованих газів і води в котлі-утилізаторі відрізняються в 2,4 рази. З цієї причини теплота, що забирається водою на ділянці її нагріву до температури насичення (після економайзера котла-утилізатора) в 2,42 рази менше теплоти, яка наявна у відпрацьованих газах. Внаслідок цього процесу нагрівання води а-б супроводять великі необоротні втрати, які істотно знижують кількість утилізованої теплоти відпрацьованих газів, що виходять з газопаротурбінної установки.

Якби вдалося збільшити витрату води через економайзер котла-утилізатора в порівнянні з кількістю пари, що генерується, то протікання процесу а-б наблизилося б до процесу б-1 (дивись рис. 2) і кількість утилізованої теплоти збільшилося б. Як свідчать виконані розрахунки, для повної утилізації теплоти відпрацьованих газів витрата води в цьому випадку через економайзер повинна перевищувати в 2,42 рази її кількість, випаровану у випарнику котла-утилізатора.

Але при цьому слід пам'ятати, що отримане необхідне збільшення витрати води на економайзерній ділянці в 2,42 рази порівняно з виробництвом пари є умовним і в кожному конкретному випадку залежить від показників відпрацьованих газів, які визначаються параметрами газотурбінного двигуна. Крім того, на величину збільшеної кількості води на економайзерній ділянці котла-утилізатора значний вплив утворює значення величини тиску та температури перегрітої пари.

Як показали дослідження, найбільш ефективно і повне використання надлишкової насиченої води здійснюється при її відборі на виході економайзера котла-утилізатора і використання її теплоти для різних потреб. Зокрема для опалення або гарячого водопостачання або для утворення з неї насиченої пари з послідуочим використанням її в проточній частині парової турбіни. Разом з тим слід зазначити, що найбільший ефект досягається при використанні насиченої надлишкової води в циклі бінарної газопаротурбінної установки для утворення

водяної пари з послідуєчим використанням її в проточній частині парової турбіни.

Список літератури: 1. *Дикий М.О.*, Спосіб утилізації теплоти газів, що відпрацювали, комбінованої енергетичної установки [Текст] : / Дикий М.О., Уваричев О.М., Патент України №19902 М.П.К. 7 F01K21/02. 25.12.1997 Бюл. № 6/1997.2. *Дикий Н. А.*, Судовые газопаротурбинные установки. [Текст] : учеб. / Дикий Н. А., А. В. Белов, – Санкт-Петербург: Судостроение, 1978. – 216 с.3. *Арсеньев, Л. В.*, Параметры газопаротурбинных установок с впрыском воды в компрессор [Текст] : учеб. / Арсеньев, Л. В., Беркович, А. Л. – Тепловая энергетика, 1996. – №6. – 18-22 с.

Поступила в редколлегию 24.04.2011

УДК 621.175-52

Г.И. КАНЮК, док. техн. наук, проф., зав. каф., УИПА, Харьков

А.Р. МИСЬКО, асс., УИПА, Харьков

И.П. ЛАПТИНОВ, асс., УИПА, Харьков

Д.Д. СТЕБЛЯНКО, асс., УИПА, Харьков

А.Н. ТОПЧИЙ, асс., УИПА, Харьков

СИНТЕЗ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Сформульовано завдання створення енергозберігаючої системи автоматичного керування режимами роботи конденсаторів парових турбін. Розроблена загальна математична модель стаціонарного режиму роботи конденсатора. Сформований алгоритм еталонної програми функціонування конденсатора при заданих значеннях витрат пари і конденсату.

Ключові слова: енергозберігаюча система автоматичного керування, конденсатор.

Сформулировано задание создания энергосберегающей системы автоматического управления режимами работы конденсаторов паровых турбин. Разработана общая математическая модель стационарного режима работы конденсатора. Сформирован алгоритм эталонной программы функционирования конденсатора при заданных значениях расходов пара и конденсата.

Ключевые слова: энергосберегающая система автоматического управления, конденсатор.

The task of creation of the energysaving system of automatic control the modes of operations of condensers of steam-turbines is formulated. The general mathematical model of the stationary mode of operations of condenser is developed. The algorithm of the standard program of functioning of condenser is formed at the set values of charges of steam and runback.

Keywords: energysaving system of automatic control, condenser.

Введение

В работе [1] отмечено, что в настоящее время практически исчерпаны резервы повышения экономичности паротурбинных электростанций за счет повышения начальных параметров, усовершенствования систем регенеративного подогрева питательной воды и промежуточного перегрева пара. Вместе с тем, обострение проблем в топливно-энергетическом комплексе и ухудшение экологической ситуации диктует необходимость системного подхода к решению