УДК 621.312.04

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОСТІ РОБОТИ КОТЛІВ ЗА РАХУНОК МОДЕРНІЗАЦІЇ РПП

Мисак Й.С., Заяць М.Ф.,

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

АНОТАЦІЯ

Представлені дані дослідження запропонованої схеми відсмоктування перетікаючого повітря з ущільнень регенеративного повітропідігрівника (РПП) на котлі ТГМП-314 блока 300 МВт. Впровадження схеми дозволило зменшити присмокти повітря в РПП за включеної схеми в діапазоні навантажень 0,5 – 1,0 номінального на 7,5 – 10,8 %. Збільшення коефіцієнта корисної дії брутто і нетто котла у вказаному діапазоні навантажень 0,2-0,6 % і 0,1 -0,6 %. Зниження вмісту окислів азоту у відхідних газах у середньому на 30 %. Подальше удосконалення схеми заключається у підвищенні ефективності її роботи за рахунок додаткового нагрівання відсмоктуючого середовища теплом димових газів.

Представлены данные исследования предложенной схемы отсоса перетечного воздуха из уплотнений регенеративного воздухоподогревателя (РПП) на котле ТГМП-314 блока 300 МВт. Внедрение схемы позволило уменьшить присосы воздуха в РПП при включенной схеме в диапазоне нагрузок 0,5 – 1,0 номинального на 7,5 - 10,8%. Увеличение коэффициента полезного действия брутто и нетто котла в указанном диапазоне нагрузок 0,2-0,6 % и 0,1 -0,6 %. Снижение содержания окислов азота в уходящих газах в среднем на 30 %. Дальнейшее совершенствование схемы заключается в повышении эффективности ее работы за счет дополнительного нагрева отсасывающей среды теплом дымовых газов.

ВСТУП

На економічність котлів значною мірою впливає перетікання повітря через ущільнення повітропідігрівників. Аналіз існуючих конструкцій і умов роботи ущільнень різних типів РПП показує, що найбільш удосконалені конструкції ущільнень не дозволяють зменшити перетікання повітря в газовий тракт менше 8 % витрати газів. У цьому випадку актуальні подальші дослідження, розробки та впровадження найбільш ефективних та надійних конструкцій ущільнень.

Одним з напрямів підвищення економічності котлів, які працюють з РПП, є раціональне використання повітря, яке перетікає через ущільнення підігрівника. З цією метою на котлах ТГМП-314 була виконана схема відсмоктування повітря з ущільнень РПП димосмоктом рециркуляції димових газів типу ГД-50-500V продуктивністю 60,5 м^3/с при напорі 378 кгс/м^2.

Таке рішення стало можливим, що за навантаження котла, близького до номінального, степінь рециркуляції газів підтримується мінімальною у зв'язку з достатньо високою інтенсивністю теплообміну в конвективній шахті. У цьому випадку димосмокти рециркуляції розвантажуються, і появляється можливість використати їх резерв за продуктивністю і напором для відсмоктування повітря з ущільнень РПП.

© Мисак Й.С., Заяць М.Ф.,

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розглядаючи основні схеми використання перетікаючого повітря РПП, а також експериментальні дані досліджень економічності роботи нової схеми використання перетікаючого повітря, впровадженій на котлі ТГМП-314 з повітропідігрівачем РПП-98.

Схема використання перетікаючого повітря РПП з відсмоктуванням перетікаючого повітря з радіальних ущільнень холодної сторони РПП спеціальними вентиляторами перетікаючого повітря (ВПП) на сторону всмоктування дуттьових вентиляторів. Така схема дозволяє зменшити втрати тепла з відхідними газами. Витрати електричної енергії на власні потреби котла при цьому зростають у зв'язку з додатковими витратами енергії на привід ВПП і дуттьових вентиляторів, внаслідок збільшення питомого об'єму повітря на стороні всмоктування. Порівняння зміни економічності за рахунок зменшення втрат тепла з відхідними газами і за рахунок збільшення витрати енергії на власні потреби показують, що ця схема забезпечує деяке підвищення економічності котла. Але має ряд недоліків:

- низька економічна ефективність у зв'язку із збільшенням витрати електричної енергії на власні потреби котла;
- ускладнення схеми газоповітряного тракту котла, його експлуатації і ремонту внаслідок встановлення спеціальних додаткових вентиляторів перетікаючого повітря РПП і повітропроводів, які підлягають корозії в умовах відносно низької температури (100 °С) перепомповуючого середовища;
- погіршення умов роботи дуттьових вентиляторів через відкладення на лопастях робочих коліс продуктів згоряння, які відсмоктуються з перетікаючим повітрям з ущільнень РПП. Останнє зумовлюється різким зниженням температури агресивного середовища значно нижчого його точки роси під час змішування перетікаючого повітря з повітрям, яке поступає на сторону всмоктування дуттьових вентиляторів. Відкладення золи на лопастях робочих коліс нерівномірне, яке викликає розбалансування роторів і збільшує вібрацію вентилятора.
- зниження ефективності теплообміну в калориферних установках внаслідок золового заносу поверхонь нагріву.

Ця схема відсмоктування повітря з ущільнень РПП не отримала широкого застосування.

Відома також і інша менш ефективна схема використання перетікаючого повітря з перших по ходу радіальних ущільнень холодної сторони РПП і подаванням його під другі по ходу ротора радіальні ущільнення холодної сторони РПП. Дослідження такої схеми показали, що використання її не приводить до зменшення перетоків повітря в РПП.

Модернізована схема використання перетікаючого повітря з ущільнень РПП представлена на рис.1.

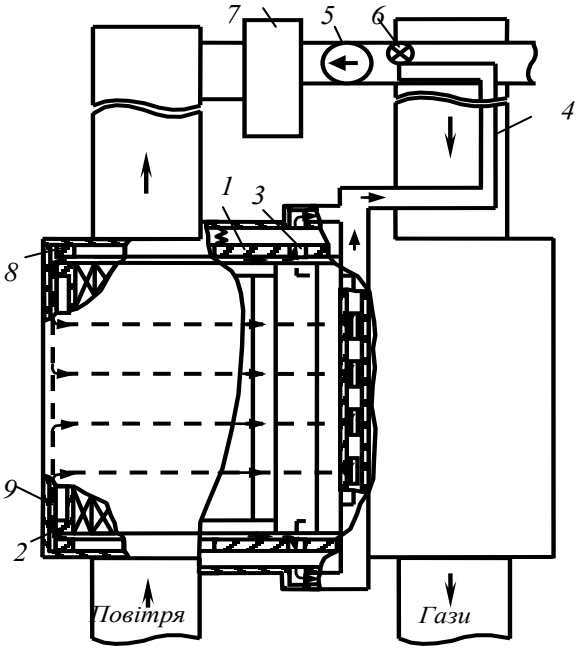

Рис.1 Схема використання перетікаючого повітря з ущільнень РПП. 1 - радіальна плита; 2 – ротор; 3 - отвір у радіальній плиті; 4 - повітропровід відсмоктування перетікаючого повітря; 5 - димосмок рециркуляції димових газів; 6 - направляючий апарат; 7 – паливня; 8 - периферійні ущільнення; 9 – кожух РПП.

За включеної схеми повітря, яке перетікає через зазор між радіальною плитою 1 гарячої сторони РПП і ротором 2, поступає через отвори плити 3 повітропроводом 4 на сторону всмоктування димосмокта рециркуляції димових газів 5, минаючи його направляючий апарат 6 і подається димосмоктом рециркуляції димових газів у паливню 7, де перетікаюче повітря приймає участь в процесі горіння.

Повітря, яке перетікає через периферійні ущільнення 8 між ротором і кожухом РПП 9,

поступає у повітропровід з бокового кільцевого зазору між ротором і кожухом.

Відсмоктування перетікаючого повітря з ущільнень забезпечується за рахунок розрідження повітря за направляючим апаратом димосмоку рециркуляції димових газів і перетікаючого повітря під радіальними плитами і за периферійними ущільненнями.

Відмінною особливістю схеми є розміщення повітропроводу всередині підвідного газоходу до РПП для забезпечення підігріву відсмоктуючого повітря теплом відхідних газів до температури гарячого повітря за підігрівником, а також для запобігання корозії повітропровода і спрощення компоновки обладнання.

З метою визначення економічності роботи РПП і котла в цілому були проведені випробовування за включеної та відключеної схеми відсмоктування з ущільнень РПП.

Досліди проводились в діапазоні продуктивності котла від 50 – 100 % за навантаження блоку 310 -300, 250, 200 і 150 МВт. Вміст кисню і RO_2 у димових газах і у відсмоктуючому середовищі з ущільнень РПП визначалось газоаналізатором.

У зв'язку з нерівномірністю температурного поля і поля по складу газів в перетині до і за РПП визначення присмоктів, перетікання і перенесення повітря набивкою ротора і газову частину РПП за включеної і відключеної схеми відсмоктування середовища з ущільнень РПП виконувалось в перетині перед водяним економайзером – за димосмоктом.

Методика проведення основних «парних» дослідів (за включеної і відключеної схеми відсмоктування середовища з ущільнень РПП) заключалась у тому, що в стабільному режимі роботи котла з включеною і відключеною схемою відсмоктування середовища з ущільнень РПП фіксувались всі параметри, необхідні для визначення економічності і надійності його роботи.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

З аналізу дослідних даних видно, що за включення схеми відсмоктування середовища з ущільнень РПП за незмінного навантаження дуттьових вентиляторів вміст кисню в димових газах в перетині перед водяним економайзером підвищується у всьому експлуатаційному діапазоні навантажень (рис.2).

Підвищення вмісту кисню в газах конвективної шахти котла під час включення схеми відсмоктування середовища з ущільнень РПП свідчить про те, що з ущільнень відсмоктується в основному перетікаюче повітря.

Об'єм відсмоктуючого середовища з ущільнень РПП за номінального навантаження котла і оптимальній степені рециркуляції димових газів склав приблизно 28 $м^3/с$. Температура відсмоктуючого середовища в коробі на стороні всмоктування димосмока рециркуляції димових газів склала 300 °С, на виході з РПП – 260 °С, а температура гарячого повітря – приблизно 325 °С.

Зі збільшенням степені рециркуляції димових газів і зменшенням у зв'язку з цим розрідження на стороні всмоктування димосмока рециркуляції димових газів зменшується витрата відсмоктуючого середовища у всьому експлуатаційному діапазоні навантажень. Аналіз дослідних даних показує, що за навантаження блока, 300 МВт, зміна розрідження на стороні всмоктування димосмока рециркуляції димових газів на 100 $кгс/м^2$ привоздить до зміни витрати відсмоктуючого середовища з ущільнень РПП в середньому на 5,5 $м^3/с$.

Під час зміни степені рециркуляції димових газів змінюється вміст в відсмоктуючому середовищі кисню і RO_2, причому зі збільшенням степені рециркуляції димових газів вміст кисню у відсмоктуючому середовищі підвищується, а вміст RO_2 знижується. Це пояснюється тим, що під час збільшення степені рециркуляції димових газів і постійній продуктивності котла, розрідження в коробі відсмоктування середовища зменшується внаслідок зниження розрідження за направляючим апаратом димосмока рециркуляції димових газів. Відповідно, зменшується перепад розрідження між газовою стороною ротора РПП і коробом відсмоктування, що призводить за інших рівних умов до зменшення відсмоктування газу, отже до підвищення вмісту в середовищі кисню.

У діапазоні навантажень котла 0,5 – 1,04 номінального зменшення присмоктів повітря в РПП за включеної схеми складає відповідно 7,5 – 10,8 % абс., тобто зі збільшенням навантаження котла і за експлуатаційної степені рециркуляції димових газів ефективність роботи схеми відсмоктування підвищується.

Загальні присмокти на ділянці перетину перед водяним економайзером – за димос-

моктом за включеної схеми відсмоктування в діапазоні вказаних навантажень котла відповідно склали 18 і 16 %.

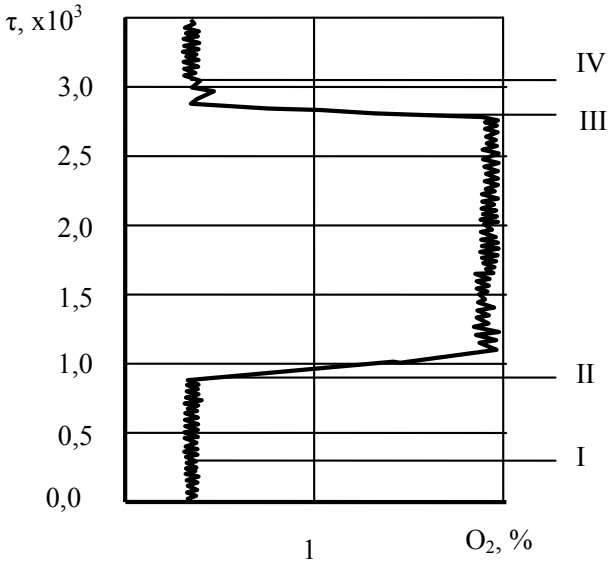

Рис.2 Зміна вмісту кисню в димових газах в перетині до водяного економайзера (за киснеміром БЩУ) за номінального навантаження котла, відключеній та включеній схемі відсмоктування середовища з ущільнень РПП. I –II - схема відсмоктування середовища з ущільнень РПП відключена; II – включення схеми відсмоктування середовища з ущільнень РПП; II – III – робота котла з включеною схемою відсмоктування середовища з ущільнень РПП і за незмінного завантаження дуттьових вентиляторів; III – IV – розвантаження дуттьових вентиляторів і стабілізація режиму

Перепад тисків повітря на ділянці перед і за РПП за номінального навантаження котла і відключеної схеми відсмоктування склав 80 кгс/м^2, за включеної схеми – 72 кгс/м^2, а середній тиск перед пальниками – відповідно 110 і 87 кгс/м^2, тобто за постійного надлишку повітря в паливні котла тиск повітря перед пальниками за включеної схеми відсмоктування середовища на 23 кгс/м^2 нижче тиску перед пальниками за відключеної схеми.

Перепад тиску на ділянці газоходу перед РПП з площею перетину 36 м^2 за розміщення в ньому повітропроводів площею сумарного перетину 3 м^2 збільшується за розрахунком на 2 – 3 кгс/м^2 .

Включення схеми відсмоктування з ущільнень РПП призводить до перерозподілу потужності, яка споживається димосмоками, дуттьовими вентиляторами і димосмоками рециркуляції димових газів.

Із зменшенням перетікання повітря з повітряної частини РПП в газову зменшується спожита потужність дуттьових вентиляторів і димосмоків. За навантажень котла 0,5 – 1,0 номінального зменшення відповідно за дослідними даними складає 15 і 50; 170 і 130 кВт.

Потужність, яка споживається димосмоками рециркуляції димових газів, при цьому збільшується у зв'язку зі збільшенням об'єму перепомпованого середовища. У вказаному діапазоні навантажень котла потужність, яка споживається димосмоками рециркуляції димових газів, збільшується в середньому на 370 кВт, а сумарне збільшення потужності, яке споживається димосмоками, дуттьовими вентиляторами і димосмоками рециркуляції димових газів за навантаження 0,5 номінального, складає приблизно 250 кВт. Збільшення витрати енергії на привід димосмоку рециркуляції димових газів супроводжується таким ж збільшенням тепла, яке вноситься в паливню котла, і відповідно, підвищенням потужності блоку на величину, яка визначається добутком зміни спожитої потужності димосмоку рециркуляції димових газів і ККД блоку.

За вказаної зміни потужності димосмока рециркуляції димових газів і ККД блока, рівному 40 %, підвищення потужності блока знаходиться на рівні 140 кВт, а збільшення втрат на привід димосмока рециркуляції димових газів за включеної схеми в режимі номінального навантаження – 230 кВт під час сумарного зменшення втрат енергії на привід димосмоків і дуттьових вентиляторів на 300 кВт.

Зменшення опору повітряного тракту і перетікання повітря в РПП за включеної схеми відсмоктування дозволяє забезпечити номінальне навантаження котла на перших швидкостях дуттьових вентиляторів за розрахункового опору калориферних установок і РПП. У зв'язку з тим додатково знижується витрата електроенергії на привід дуттьових вентиляторів. Під час підвищеного опору калориферних установок і РПП номінальне навантаження блока стійко забезпечується за роботи одного з двох дуттьових вентиляторів на першій швидкості. Дослідна експлуатація блока протягом 2-3 місяців з включеною схемою відсмоктування, яка проведена з метою визначення фактичної

зміни витрати електроенергії на власні потреби котла, показали, що витрата енергії за включеної схеми не збільшується.

Включення схеми відсмоктування повітря підвищує температуру відхідних газів за РПП за даними досліджень на 5 – 7 °С. це пояснюється зменшенням витрати повітря через набивку, зниженням інтенсивності теплообміну у повітряній частині і підвищенням температури стінки набивки на вказану величину. Оскільки надійність і ефективність роботи набивки РПП визначається температурою стінки, підвищення її температури буде сприяти зменшенню заносу набивки відкладеннями і зниженню швидкості корозії. Останнє сприяє підвищенню економічності котла в процесі довготривалої експлуатації. Також за вказаного підвищення температури стінки набивки можливе зниження температури попереднього підігріву повітря на таку величину, щоб температура стінки набивки залишилась незмінною за включеної і відключеної схеми. Таке рішення позволить додатково підвищити економічність блока.

Підвищення в ККД нетто котла за включеної схеми в діапазоні навантажень 0,5 - 1,0 номінального за даними досліджень складає приблизно 0,1 – 0,6 % абс.

Додатковою перевагою впровадженої схеми є зниження концентрації окислів азоту у відхідних газах на 10 – 30 %. Це зниження пояснюється спалюванням палива в суміші повітря і газів, яка поступає по периферійному каналу пальників, і зменшенням витрати повітря безпосередньо до ядра факела пальників. Ці фактори сприяють зниженню температури факела, що і призводить до зменшення утворення окислів азоту і до зниження падаючих теплових потоків на пальникові екрани. Погіршення режиму горіння у цьому випадку не виявлено.

Для знешкодження окислів азоту введення в паливню повітря, яке відсмоктується з РПП, в суміші з газами через периферійний канал пальників, на нашу думку, більш ефективно, порівняно з введенням газів рециркуляції у повітряні короби або під радіальні плити РПП, так як забезпечується більш рівномірний розподіл повітря і газів по пальниках. У цьому випадку в режимі часткових навантажень із збільшеною кількістю рециркуляції газів, тоді температура факела і, відповідно, інтенсивність утворення окислів азоту значно понижується, до кореня факела поступає більше повітря. Тоді покращується режим горіння і зменшується концентрація сажистих частинок у відхідних газах за однакових надлишках повітря.

Головним експлуатаційним недоліком схеми є невизначеність імпульсу по тиску повітря за РПП для автоматизації підтримання відповідності між паливо – повітря. Цей недолік характерний для всіх схем спалювання палива в схемі повітря і газів, так як зміна продуктивності димосмоків рециркуляції димових газів за газами викликає зміну тиску повітря і за РПП. Вирішення цієї проблеми у цьому випадку досягається зміною імпульсу за тиском залежно від розрідження перед робочим колесом димосмока рециркуляції димових газів.

Основна складність реалізації розгляненої схеми заключається у виконанні поверхні повітропровода, достатньою для підігріву відсмоктуючого повітря до температури гарячого повітря за набивкою. На виробництво короба, який забезпечує теплову ефективність схеми, потрібно приблизно 30 т листової сталі товщиною 3 мм. Другою умовою реалізації схеми є наявність в схемі котла димосмокта рециркуляції димових газів.

ВИСНОВОК

Проведені досліди та промислова експлуатація запропонованої схеми використання перетікаючого повітря показали надійну її роботу у всьому експлуатаційному діапазоні навантажень котла.

Основні переваги рекомендованої схеми у порівнянні з існуючими:

- відсутність спеціально встановлених вентиляторів перетікаючого повітря;
- порівняно висока ефективність.

В діапазоні навантажень котла 0,5-1,0 номінальної присмокти повітря в РПП при включеній схемі відсмоктування середовища з ущільнень РПП у порівнянні з присмоктами при відключеній схемі зменшились відповідно на 7,5 10,8 абс.%.

Подальше удосконалення рекомендованої схеми заключається в підвищенні ефективності її роботи за рахунок додаткового нагрівання відсмоктуваного середовища теплом димових газів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мигай В.К., Назаренко В.С., Новожилов И.Ф., Добряков Т.С., Регенеративные вращающиеся воздухоподогреватели. «Энергия», М.,1971г.
2. Добряков Т.С., Мигай В.К., Назаренко В.С., Надыров И.И., Федоров И.И. Воздухоподогреватели котельных установок. «Энергия», М.,1977г.
3. Гидравлический расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / Балдина О.М., Локшин В.А., Петерсон Д.Ф.; Под ред. Локшина В.А. и др. -М.: Энергия, 1978.
4. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод). Под ред. Н.В. Кузнецова и др., М., «Энергия», 1973.
5. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции. М.:Энергия, 1976. 448с.
6. Прокопенко А.Г., Мысак И.С. Стационарные, переменные и пусковые режимы энергоблоков ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1990. 302с.401 – 410.