

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
КАФЕДРА ПРОГРАМНИХ І КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ДИСЦИПЛІНИ
АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ
(теоретична частина)

для студентів інституту штучного інтелекту та робототехніки

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма – Комп'ютерні технології автоматизації

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ОДЕСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
КАФЕДРА ПРОГРАМНИХ І КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ З ДИСЦИПЛІНИ
АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ
(теоретична частина)

для студентів інституту штучного інтелекту та робототехніки

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітньо-професійна програма – Комп'ютерні технології автоматизації

Кількість год/кредитів ECTS за навчальним планом –

Затверджено на засіданні

кафедри програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій

Протокол № 7 від 26.01.2022 р.

Одеса 2022

Методичні вказівки з дисципліни Автоматизація виробничих процесів. (Теоретична частина): для студ. напрямку 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання./ Укл. Тарахтій О.С. – Одеса: ОП, 2022. – 45 с.

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| 1. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ БАРАБАННИХ ПАРОВИХ КОТЛІВ | 5 |
| 1.1 Барабанний паровий котел як об'єкт управління..... | 5 |
| 1.2. Регулювання процесів горіння та пароутворення | 7 |
| 1.2.1 Регулювання тиску перегрітої пари та теплового навантаження | 8 |
| 1.3 Регулювання економічності процесу горіння..... | 13 |
| 1.4 Регулювання розрідження в топці | 17 |
| 1.5 Регулювання перегріву пари в барабанних парових котлах | 20 |
| 1.6 Регулювання живлення парових котлів | 22 |
| 2. ПРЯМОТОЧНИЙ ПАРОВИЙ КОТЕЛ ЯК ОБ'ЄКТ УПРАВЛІННЯ | 25 |
| 2.1 Регулювання теплового навантаження та температурного режиму первинного тракту..... | 27 |
| 2.2 Регулювання економічності процесу горіння..... | 30 |
| 2.3 Регулювання перегріву пари прямоточних котлів | 31 |
| 3. АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ АТОМНИХ РЕАКТОРІВ | 37 |
| 3.1 Автоматизовані системи керування АЕС..... | 40 |
| 3.2 Автоматичне регулювання конденсатора | 42 |
| 3.3 Автоматичне регулювання регенеративних підігрівачів..... | 44 |
| 3.4 Автоматичне регулювання деаераторних установок..... | 44 |

1. Автоматичне регулювання барабанних парових котлів

1.1 Барабанний паровий котел як об'єкт управління

Паливо в паровий котел надходить через пальники в топку 1, де спалюється факельним способом. Для підтримки процесу горіння в топку подають повітря у кількості Q_B . Його нагнітають за допомогою дуттьового вентилятора ДВ і попередньо нагрівають у повітропідігрівачі 9 (рис. 1.1).

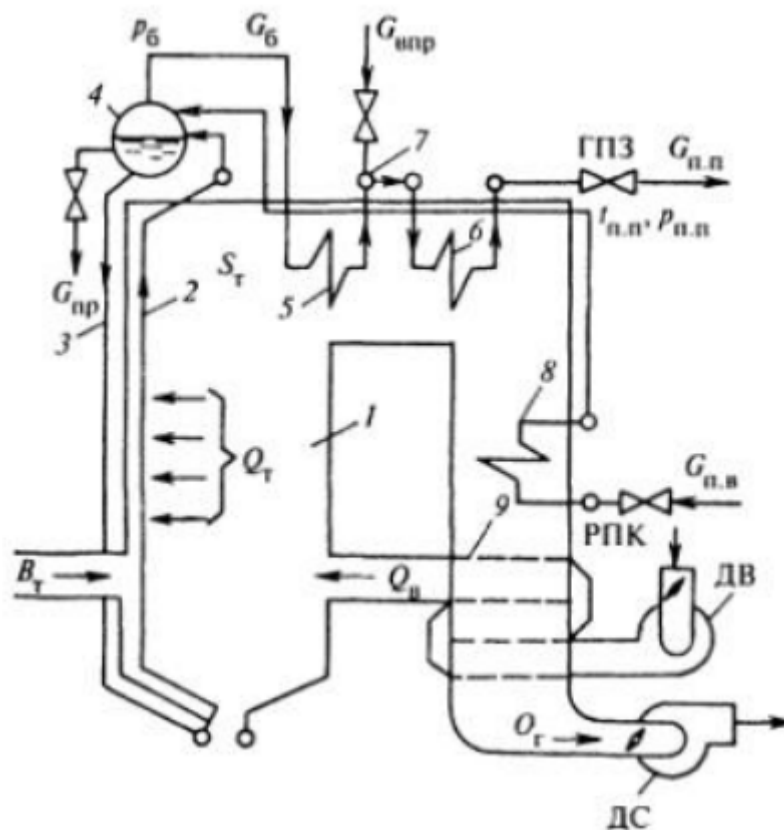


Рис. 1.1 Принципова технологічна схема барабанного котла:

ГПЗ – головна парова засувка; РПК – регулюючий живильний клапан; 1 – топка;
2 – циркуляційний контур; 3 – опускні труби; 4 – барабан; 5, 6 – пароперегрівачі;
7 – пароохолоджувач; 8 – економайзер; 9 – повітропідігрівач.

Димові гази, що утворилися в процесі горіння Q_T видаляють з топки димососом ДС. Попутно гази проходять через поверхні нагрівання пароперегрівачів 5 і 6, водяного економайзера 8, повітропідігрівача 9 і віддаються через димову трубу в атмосферу.

Процес пароутворення протікає у підйомних трубах циркуляційного контуру 2, що екранують камерну топку та постачаються водою з опускних труб 3. Насичений пар $G_б$ з барабана 4 надходить у пароперегрівач, де нагрівається до встановленої температури за рахунок радіації факела та конвективного обігріву топковими газами. При цьому температуру перегріву пари регулюють у пароохолоджувачі 7 за допомогою упорскування води $G_{впр}$.

Основними регульованими величинами котла є витрата перегрітої пари $G_{п.п.}$, її тиск $p_{п.п.}$ і температура $t_{п.п.}$. Витрата пари є змінною величиною, а її тиск та температуру

підтримують поблизу постійних значень у межах допустимих відхилень, що обумовлюється вимогами заданого режиму роботи турбіни чи іншого споживача теплової енергії.

Крім того, слід підтримувати в межах допустимих відхилень значення наступних величин:

- ✓ Рівень води в барабані H_6 – регулюють зміною подачі живильної води $G_{п.в}$;
- ✓ Розрідження у верхній частині топки S_T – регулюють зміною числа оборотів (подачі) димососів, що видаляють димові гази з топки;
- ✓ Оптимального надлишку повітря за пароперегрівачем α (O_2) – регулюють зміною подачі дуттьових вентиляторів, що нагнітають повітря в топку;
- ✓ Концентрації оксиду азоту в димових газах C_{NO_x} – регулюють подачею вентиляторів рециркуляції газів у топку;
- ✓ Солевмісту котлової води (NaCl) – регулюють зміною витрати води $G_{п.р}$, що випускається з барабана в розширювач безперервної продувки.

Перераховані величини змінюються в результаті регулюючих впливів та під впливом зовнішніх та внутрішніх збурень. Котел в цілому, наприклад, по каналу *витрата палива – витрата* або *тиск пари*, вважають системою спрямованої дії. Однак вихідні регульовані величини деяких ділянок служать одночасно вхідними по відношенню до інших. Наприклад, витрата перегрітої пари, будучи вихідною величиною по відношенню до витрати пального B_T , служить вхідним впливом по відношенню до тиску і температури перегрітої пари (рис.1.2).

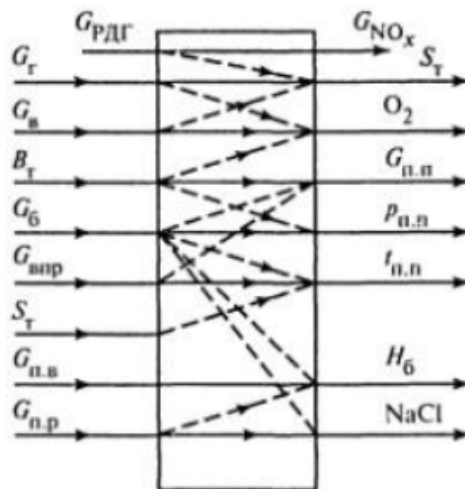


Рис. 1.2 *Схема взаємозв'язків між вихідними та вхідними величинами в барабанному котлі*

Таким чином, котел як об'єкт управління є складною динамічною системою з кількома взаємопов'язаними вхідними та вихідними величинами. Однак явно виражена спрямованість окремих ділянок, таких як *витрата води на випарування* $G_{впр}$ – *температура перегріву пари* $t_{п.п}$, *витрата палива* B_T – *тиск перегрітої пари* $p_{п.п}$ дозволяє здійснювати стабілізацію регульованих величин. При цьому регулюючий вплив тієї чи іншої ділянки (рис. 1.2, суцільні лінії) служить основним способом стабілізації його

вихідної величини, а інші впливи (пунктирні лінії) вважають по відношенню до цієї ділянки внутрішніми або зовнішніми обуреннями.

1.2. Регулювання процесів горіння та пароутворення

Процеси горіння та пароутворення тісно пов'язані. Кількість спалюваного палива, а точніше, тепловиділення в топці в режимі, що встановився, має відповідати кількості пари, що виробляється G_6 . Непрямим показником тепловиділення Q_T служить теплове навантаження G_q . Воно характеризує кількість теплоти, сприйнятої поверхнями нагріву в одиницю часу і витраченої на нагрівання котлової води в екранних трубах та пароутворення. Кількість пари, що виробляється котлом, у свою чергу, повинна відповідати витраті пари на турбіну $G_{п.п}$. Непрямим показником цієї відповідності служить тиск пари перед турбіною. Вона повинна підтримуватися поблизу заданого значення з високою точністю за умов економічності та безпеки роботи котла.



Рис. 1.3 Топка енергетичного котла ТГМП Костромської ГРЕС

Процес спалювання палива повинен протікати з максимальною економічністю, втрати теплоти під час її передачі поверхням нагріву повинні бути мінімальними.

У сучасних енергетичних котлах здійснюють факельний спосіб спалювання палива. Непрямим показником стійкості факела в топковій камері служить сталість розрідження в її верхній частині S_T .

Регулювання процесів горіння та пароутворення загалом зводять до підтримки поблизу заданих значень наступних величин:

- тиску перегрітої пари $p_{п.п}$ та теплового навантаження G_q ;
- надлишку повітря в топці α (вмісту кисню O_2 , %) за пароперегрівачем, що впливає на економічність процесу горіння;
- розрідження у верхній частині топки S_T .

1.2.1 Регулювання тиску перегрітої пари та теплового навантаження

Паровий котел як об'єкт регулювання тиску та теплового навантаження може бути представлений у вигляді послідовного з'єднання простих ділянок: топкової камери; пароутворюючої частини, що складається з поверхонь нагріву, розташованих у топковій камері; барабана та пароперегрівача.

Динаміка випарної ділянки, в якій вода нагрівається до температури кипіння і де відбувається процес пароутворення, описується наступним чином. Зміна тепловиділення у топці Q'_T призводить до зміни паропродуктивності G_6 (витрати пари з барабана котла) і, як наслідок, викликає зміну тиску пари в барабані p_6 . Якщо збільшення витрати палива та тепловиділення йде цілком на нагрівання пароводяної суміші та металу поверхонь нагріву, то виходячи з рівняння теплового балансу можна записати:

$$A \frac{dp_6}{dt} = Q'_T - G_6(h_{п.} - h_{п.в.}) \quad (1.1)$$

де A – розмірний коефіцієнт, що характеризує теплову акумулюючу здатність пароводяної суміші, металу випарної частини барабана; $\frac{dp_6}{dt}$ – швидкість зміни тиску пари в барабані; Q'_T – теплота, витрачена на нагрівання пароводяної суміші; $h_{п.}$ – ентальпія насиченої пари на виході з барабана; $h_{п.в.}$ – ентальпія живильної води; $G_6(h_{п.} - h_{п.в.})$ – теплота, що пішла з паром.

Якщо розділити праву та ліву частини рівняння (1.1) на $h_{п.} - h_{п.в.}$, то отримаємо іншу форму запису рівняння:

$$\frac{A}{h_{п.} - h_{п.в.}} \frac{dp_6}{dt} = \frac{Q'_T}{h_{п.} - h_{п.в.}} - G_6 \quad \text{або} \quad C_{п.} \frac{dp_6}{dt} = G_q - G_6 \quad (1.2)$$

де $C_{п.} = \frac{A}{h_{п.} - h_{п.в.}}$ – постійна, що характеризує масову акумулюючу здатність пароводяної суміші та металу випарної частини котла, кг/(кгс/см²); $G_q = \frac{Q'_T}{h_{п.} - h_{п.в.}}$ – теплове навантаження котла, що характеризує теплосприйняття випарних поверхонь в одиницю часу, кг/с. Чисельні значення $C_{п.}$ для поширених типів котлів наводяться у довідковій літературі.

Після перетворень (1.2) отримаємо форму запису для сигналу по теплоті, що використовується в промисловості як індикатор теплового навантаження:

$$\Delta G_q = C_{п.} \frac{dp_6}{dt} \pm \Delta G_{п.п} \quad (1.3)$$

Схема формування сигналу по теплоті представлена на рис. 1.3.1.

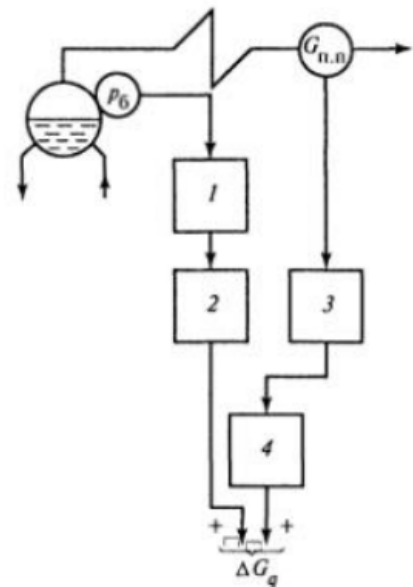


Рис. 1.3.1 Схема формування сигналу по теплоті: 1 – датчик тиску пари; 2 – диференціатор; 3 – датчик витрати пари; 4 – вимірювальний блок регулятора.

Сигнал по теплоті, володіючи перевагою у простоті та надійності вимірювання, має недоліки:

- залежить від витрати води на упорскування в паропровід свіжої пари;
- реагує з відносно великим запізненням на зміну тепловиділення в топці за каналами неконтрольованих збурень (якість палива, коливання витрати повітря, нерівномірність роботи паливних пристроїв).

Способи та схеми регулювання

Існуючі способи та схеми автоматичного регулювання теплового навантаження та тиску пари в магістралі засновані на принципах регулювання за відхиленням та збуренням. Їх визначають заданий режим роботи котла (базовий або регулюючий) та схема приєднання паропроводу перегрітої пари до споживача (турбіни).

Базовим називають режим підтримки парового навантаження котла на заданому рівні незалежно від зміни загального електричного або теплового навантаження ТЕС.

У регулюючому режимі котел приймає коливання теплової (парової) та електричної навантажень турбін, тобто бере участь у регулюванні теплового та електричного навантажень ТЕС.

Котел може бути підключений як до однієї турбіни (блоковий варіант ТЕС, ще називають енергоблок котел разом з турбіною), так і до загальної парової магістралі, що об'єднує групу котлів та турбін (ТЕС із загальним паропроводом).

РЕГУЛЮВАННЯ ЕНЕРГОБЛОКУ «КОТЕЛ-ТУРБІНА». Головним способом регулювання тиску пари в *регулюючому режимі* є вплив на витрату палива, що подається в топку, залежно від відхилення тиску пари в магістралі.

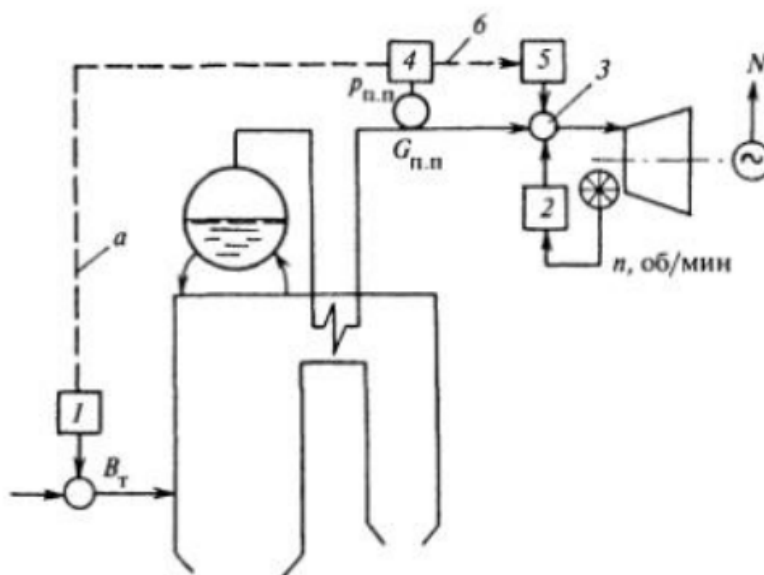


Рис. 1.4 Принципова схема регулювання тиску пари перед турбіною:

- 1 – регулятор подачі палива; 2 – регулятор частоти обертання; 3 – регулюючі клапани турбіни;
4 – регулятор тиску; 5 – електропривод синхронізатора турбіни.

Принципова схема замкнутої АСП тиску пари перед турбіною для розглянутого випадку зображена на рис. 1.4, лінія *a*. На цій схемі тиск пари підтримує регулятор тиску 4,

що впливає на регулятор подачі палива 1, а частоту обертання ротора турбіни підтримує регулятор швидкості 2.

У базовому режимі вплив регулятора тиску повинен бути переключений на механізм керування регулюючими клапанами турбіни 3 через електропривод синхронізатора турбіни 5 (рис. 1.4, лінія б).

Регулювання групи котлів із загальним паропроводом. Принципова схема регулювання цього випадку представлена на рис. 1.5 (схема з головним регулятором).

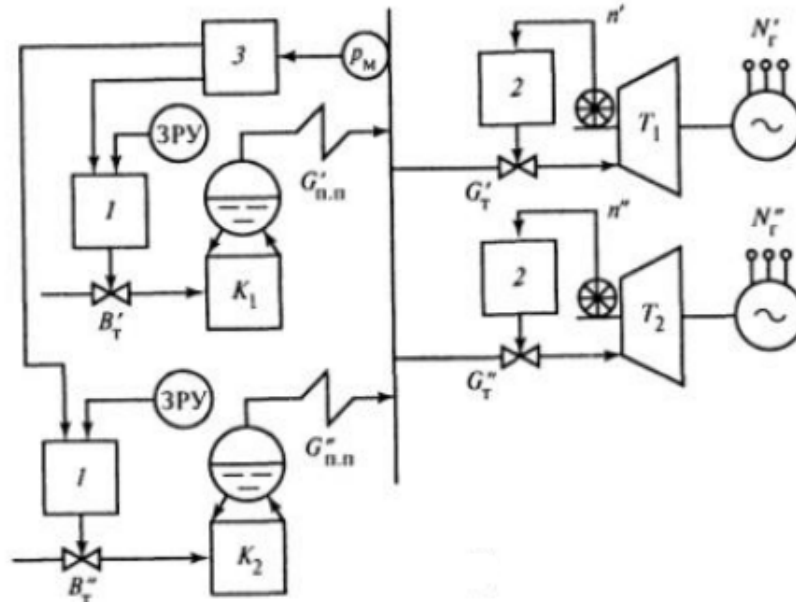


Рис. 1.5 Принципова схема регулювання тиску у загальному паропроводі з головним регулятором: 1 – регулятор подачі палива; 2 – регулятор частоти обертання турбіни; 3 – головний регулятор тиску пари; K_1 , K_2 – котли; T_1 , T_2 – турбіни.

Підтримка тиску пари в загальній магістралі поблизу постійного значення в сталому режимі забезпечує подачу заданої кількості палива в топку кожного котла. У перехідному режимі, викликаному зміною загального парового навантаження, тиск пари регулюють подачею палива в кожен котел або частину з них. При цьому можливі два випадки.

1. Усі котли працюють у регульовальному режимі. Відхилення тиску пари у загальному паропроводі призведе до появи відповідного сигналу на вході головного регулятора 3. Він керує регулятором подачі палива всіх котлів. Частка участі кожного з них у сумарному паровому навантаженні встановлюється за допомогою задатчиків ручного управління (ЗРУ).
2. Частину агрегатів переводять у базовий режим відключенням зв'язків регуляторів подачі палива з головним регулятором. Тиск пари в загальному паропроводі регулюють агрегати, зв'язки яких із головним регулятором не відключені. Таке рішення є доцільним при великій кількості паралельно працюючих котлів, коли немає необхідності тримати всі агрегати в регульовальному режимі.

У першому випадку забезпечують рівномірний розподіл навантажень з боку споживача пари між окремими агрегатами (котлами), у другому – стабільність парового навантаження котлів, що працюють у базовому режимі.

Проте, розглянута АСР має істотний недолік (особливо під час роботи групи котлів) – не враховує внутрішньотопкових збурень.

Прослідкуємо за роботою АСР з головним регулятором при внутрішньотопкових збуреннях, наприклад, що надходять через канал подачі палива. При зменшенні подачі палива в одному з котлів, наприклад V'_T , відбудеться перерозподіл сумарного парового навантаження між котлами за рахунок зменшення витрати пари $G'_{п.п.}$ із зазначеного котла та зростання $G''_{п.п.}$. Поповнення нестачі палива у першому котлі за допомогою АСР почнуть здійснювати два котли, але не з моменту зменшення витрати, а з моменту початку роботи головного регулятора, тобто це станеться із запізненням. Це призведе до суттєвого відхилення тиску пари в динаміці та перевантаженню одних котлів за рахунок неповного використання потужності інших.

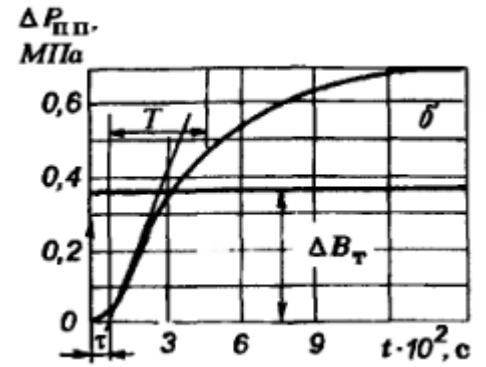


Рис. 1.6 Експериментальна крива перехідного процесу котла ТП-87 ($\Delta B_T=0,35 \text{ м}^3/\text{с}$; $\tau=60 \text{ с}$; $T=240 \text{ с}$)

Мимовільні зміни кількості палива, що надходить у топку, можливі і в котлах, що працюють на газі або мазуті. У зв'язку з цим на кожному котлі передбачають стабілізацію витрати палива, яка здійснюється за допомогою АСР, що працює за схемою завдання – паливо (рис. 1.7). Дана АСР є поліпшеним варіантом попередньої, за рахунок введення додаткового сигналу по витраті палива.

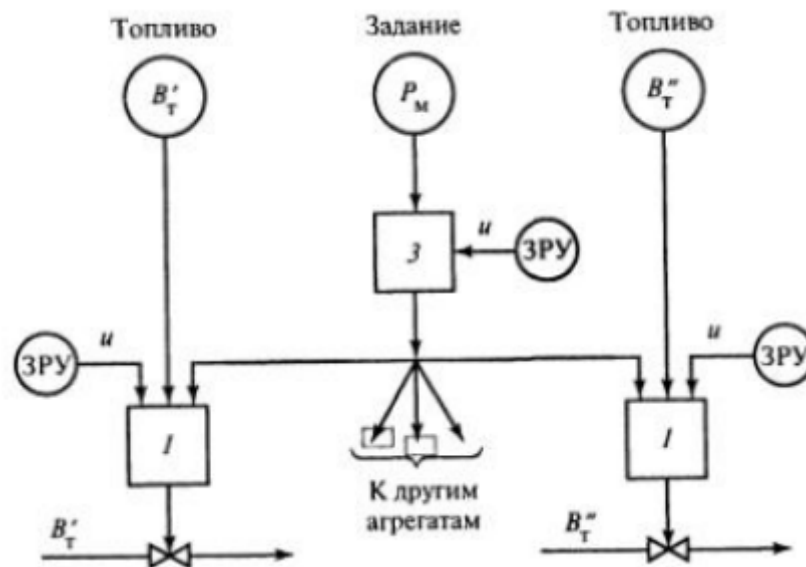


Рис. 1.7 Принципова схема регулювання тиску пари у загальному паропроводі зі стабілізацією витрати палива: 1 – регулятор подачі палива; 2 – регулятор частоти обертання турбіни; 3 – головний регулятор тиску пари.

На рисунку 1.7 у кружечках наведено завдання з витрат палива B'_T , B''_T та тиску пари в магістралі p_M . Головною відмінністю та перевагою даної схеми є те, що до регуляторів палива 1 додатково підводять сигнали витрати палива B'_T та B''_T . Це дозволяє стабілізувати витрату палива та суттєво покращити якість перехідних процесів за тиском пари при збуреннях витратою палива.

Головним недоліком схеми є обмежена сфера застосування через відсутність в даний час надійних способів безперервного вимірювання витрати твердого палива. Крім цього, ця АСР не реагує на зміну якості рідкого або газоподібного палива.

І найкращим варіантом регулювання теплового навантаження (витрати пари на турбіну) для котлів на всіх видах палива є схема АСР під назвою *теплота – паливо* (рис. 1.8). У ній використовується «сигнал по теплоті», який подається на регулятори палива 2 і 3, стабілізуючи таким чином подачу палива в топку котла.

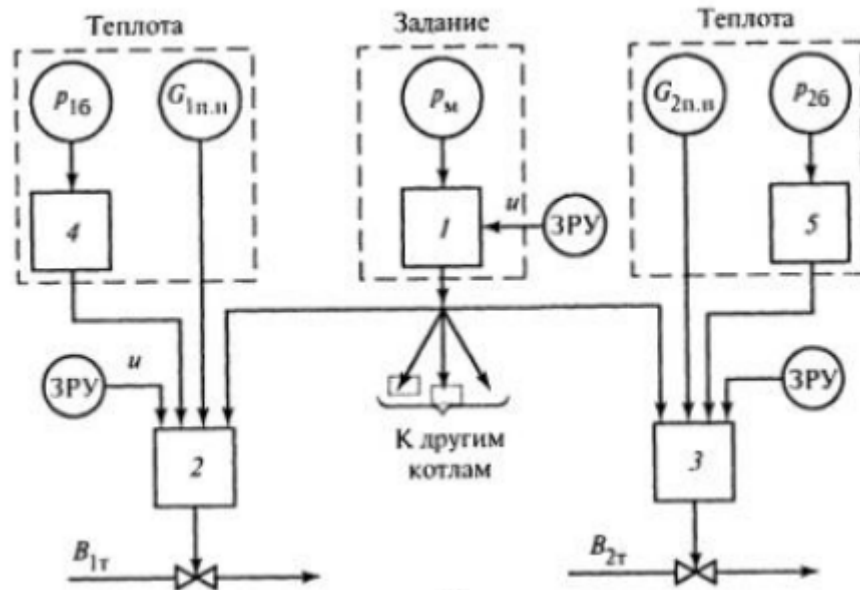


Рис. 1.8 Регулювання подачі палива за схемою «теплота – паливо»:

I, II – зовнішній та внутрішній контури; 1 – регулятор тиску пари; 2,3 – регулятори палива; 4,5 – диференціатори.

Витрату пари вимірюють за перепадом на звужуючому пристрої, а сигнал $\frac{dp_6}{dt}$ – за допомогою диференціаторів 4 і 5. Регулятор тиску пари 1 утворює зовнішній контур I та виконує функції автоматичного задатчика (коректора) щодо регуляторів палива 2 і 3, які утворюють внутрішній контур II. Частку участі кожного котла в загальному паровому навантаженні встановлюють за допомогою задатчиків ручного управління (ЗРУ). А коливання парового навантаження компенсують відповідною зміною завдання регуляторам палива за рахунок дії коригуючого регулятора (регулятор тиску). Однак дана схема не набула великого поширення у зв'язку зі складністю реалізації.

Головною перевагою АСР із «сигналом по теплоті» є менша інерційність і істотно менше запізнення при великій швидкості змінення тиску $\frac{dp_6}{dt}$.

1.3 Регулювання економічності процесу горіння

Економічність роботи котла оцінюють по ККД, рівному відношенню корисної теплоти, витраченої на генерування і перегрів пари, до теплоти, що може бути отримана при спалюванні всього палива.

Без урахування теплоти, що вноситься в топку з повітрям, і втрат на продування ККД котла можна визначити з виразу:

$$\eta_k = \frac{G_{п.п}(h_0 - h_{п.в})}{V_T Q_H^p} \quad (1.4)$$

де $h_0, h_{п.в}$ – ентальпії перегрітої пари і живильної води; V_T – витрати палива; Q_H^p – нижча робоча теплота згоряння палива.

Вираз визначення ККД парового котла можна також записати і через теплові втрати, що супроводжують процес спалювання палива:

$$\eta_k = 1 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5) \quad (1.5)$$

де q_2 – втрати теплоти, що уходять з продуктами згоряння; q_3, q_4 – втрати теплоти від хімічного та механічного недопалів палива; q_5 – втрати тепла у навколишнє середовище.

Втрата тепла від хімічного недопалу обумовлена або загальним недоліком кисню в топці, або поганим перемішуванням палива з повітрям. *Втрата тепла внаслідок механічного недопалу* пов'язана з виносом частинок палива з продуктами згоряння та шлаком.

Однак регулювання економічності безпосередньо за ККД або сумарною оцінкою теплових втрат поки не набуло широкого поширення через відсутність надійних засобів їх безперервного виміру.

Одним з найпоширеніших способів оцінки економічності процесу горіння служить аналіз складу топкових газів, що залишають топку. Таким показником є коефіцієнт надлишку повітря α , оптимальне значення якого $\alpha_{\text{опт}}$ визначається заводом виробником для кожного котельного агрегату індивідуально. Рекомендується підтримувати значення $\alpha_{\text{опт}}$ при якому ККД котла прагне максимального значення $\eta_k \rightarrow \eta_{\text{max}}$, а сумарні втрати тепла $\sum_2^5 q_i$ прагнуть до мінімуму.

Значення коефіцієнта надлишку повітря можна оцінити за вмістом вільного кисню в газах, що залишають камеру згоряння, за наближеною формулою:

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2} \quad (1.6)$$

Значення коефіцієнта надлишку повітря α в основному впливає на втрати теплоти з продуктами згоряння і втрати від хімічного та механічного недопалів палива.

Ділянка регулювання економічності процесу горіння за вмістом кисню в топкових газах складається з топкової камери і газоходу, що примикає до неї, конвективного пароперегрівача до місця вимірювання вмісту O_2 , %. Вхідний регулюючий вплив – витрата повітря, що надходить до топки Q_B ; вихідна (регульована) величина – вміст вільного кисню в поворотній камері газоходу за пароперегрівачем O_2 , %.

Оптимальне значення O_2 в поворотній камері при номінальному навантаженні та спалюванні пилоподібного палива лежить у межах 3...5 %, а при спалюванні мазуту та газу – від 0,05 до 2%.

Оптимальний надлишок повітря слід підтримувати не тільки у зв'язку з економічністю, але й інтенсивністю корозії поверхонь нагріву, утворення шкідливих сполучень (оксидів сірки та азоту) та ін.

Способи та схеми регулювання

Основним способом регулювання надлишку повітря за пароперегрівачем служить зміна його кількості, що подається в топку за допомогою дуттьових вентиляторів. Існує кілька варіантів схем автоматичного керування подачею повітря в залежності від способів прямої оцінки економічності процесу горіння за співвідношенням різних сигналів.

1. Регулювання економічності за співвідношенням паливо – повітря. При постійній якості палива його витрата та кількість повітря, необхідне для забезпечення необхідної повноти згорання, пов'язані прямою пропорційною залежністю, що встановлюється в результаті режимних випробувань заводом-виробником. Якщо вимір витрати пального виконують досить точно, то підтримання оптимального надлишку повітря можна реалізувати, використовуючи схему паливо – повітря (рис. 1.9).

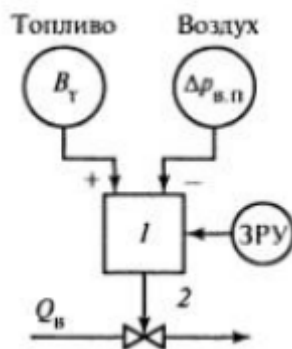


Рис. 1.9 Регулювання подачі повітря за співвідношенням паливо-повітря:

1 – регулятор подачі повітря; 2 – регулюючий орган; V_T – витрата палива;

$Q_в$ – витрата повітря; $\Delta p_{в.п}$ – перепад тиску на повітропідігрівачі.

При газоподібному паливі необхідне співвідношення між кількостями газу та повітря здійснюють порівнянням перепадів тиску на звужуючих пристроях, що встановлюються на газопроводі та на повітропідігрівачі $\Delta p_{в.п}$ (в якості пристрою, що створює перепад тиску повітря, використовують сам повітропідігрівач і виконують вимірювання тиску повітря на його вході та виході). Різниця цих сигналів подається на вхід автоматичного регулятора економічності, що управляє подачею дуттьових вентиляторів.

Безперервне вимірювання витрати твердого палива є невирішеною проблемою. Також такий спосіб регулювання не враховує якісної зміни складу та витрати палива, тому застосування даної схеми регулювання виправдане лише за наявності рідкого чи газоподібного палива постійного складу.

2. Регулювання економічності за співвідношенням пар – повітря. На одиницю витрати різного за складом палива потрібна різна кількість повітря. На одиницю теплоти, що виділяється при згорянні різних видів палив, потрібно одне й те ж саме його кількість.

Тому якщо оцінювати тепловиділення в топці за витратою пари і змінювати подачу повітря відповідно до змін цієї витрати, то в принципі можна досягти оптимального надлишку повітря. Цей принцип регулювання подачі повітря використовують у схемі пар – повітря (рис. 1.10).

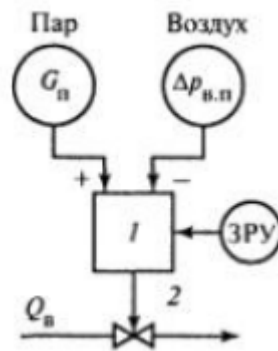


Рис. 1.10 Регулювання подачі повітря за співвідношенням пар – повітря.

3. Регулювання економічності за співвідношенням сигналів теплота – повітря (рис. 1.11). Якщо тепловиділення в топці Q_T' оцінювати за витратою перегрітої пари та швидкості зміни тиску пари в барабані, то інерційність цього сумарного сигналу (сигнал по теплоті) при топкових обуреннях буде істотно менше інерційності одного сигналу за витратою пари.

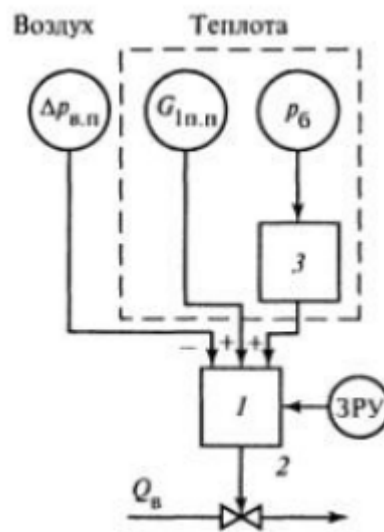


Рис. 1.11 Регулювання подачі повітря за співвідношенням теплота – повітря.
3 – диференціатор.

Відповідну заданому тепловиділенню кількість повітря вимірюють за перепадом тиску на повітропідігрівачі або за тиском повітря в напірному патрубку вентилятора. Різницю цих сигналів використовують як вхідний сигнал регулятора економічності.

4. Регулювання економічності за співвідношенням завдання – повітря з додатковим сигналом за вмістом O_2 у димових газах (рис. 1.12).

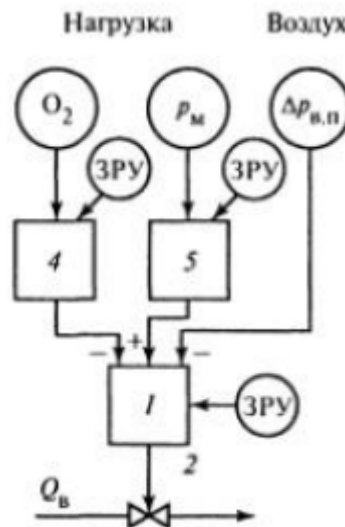


Рис. 1.12 Регулювання подачі повітря по співвідношенню завдання – повітря з корекцією по O_2 : 4 – коригуючий регулятор повітря; 5 – коригуючий регулятор тиску перегрітої пари (регулятор завдання по навантаженню).

Вміст O_2 у продуктах згоряння характеризує надлишок повітря та слабо залежить від складу палива. Отже, використання O_2 в якості вхідного сигналу автоматичного регулятора, що впливає на витрату повітря, цілком доцільно. Проте реалізація цього способу утруднена через відсутність надійних і швидкодіючих газоаналізаторів кисню. Тому в промисловості використовують схеми регулювання подачі повітря не з прямим, а з коригуючим впливом за O_2 .

Підтримання надлишку повітря за співвідношенням теплота – повітря і особливо пар – повітря відрізняється простотою і надійністю, але не є точними. Цього недоліку позбавлена схема регулювання економічності завдання – повітря з додатковою корекцією за O_2 .

Введення додаткового коригуючого сигналу за вмістом кисню O_2 у димових газах підвищує точність підтримання оптимального надлишку повітря у будь-якій системі регулювання економічності.

Способи та схеми регулювання

Регулювання розрідження зазвичай здійснюють за допомогою зміни кількості димових газів, що відсмоктуються димососами. При цьому їх подачу можна регулювати:

- ✓ поворотними багатовісними дросельними заслінками (рис. 1.14, а);
- ✓ напрямними апаратами (рис. 1.14);
- ✓ гідромуфтами, змінюючи число оборотів робочого колеса димососа, або первинним двигуном, змінюючи частоту обертання (1.14, б).

Гідромуфта пов'язує відучий вал електроприводу із веденим валом димососа. На відміну від механічних муфт, що реалізують цей зв'язок за допомогою жорсткого болтового з'єднання, в гідромуфтах вона реалізується за рахунок сил зчеплення частинок води або олії, що відкидаються відцентровою силою обертання електроприводу та розмішених між напрямними лопатками ведучого та веденого дисків. Муфта 1 передає обертання з ведучого валу 2 на ведений 3 наступним чином. Масло або вода надходить у муфту з напірного бака 4 через підвідну трубку 5. При обертанні ведучого диска, жорстко укріпленого на валу електроприводу, рідина відкидається на периферію, де розташовані кільцеві лопатки, що направляють цей потік на кільцеві лопатки веденого диска. При великій частоті обертання потік рідини, укладений між лопатками дисків, захоплює за собою ведений диск, вал та жорстко укріплене на ньому робоче колесо димососа.

Регулюючим органом у гідромуфті служить клапан 6, який переміщується під дією сервоприводу 7 і змінює витрату рідини у гідромуфту. При зростанні навантаження димососа ведений диск може "прослизати" відносно ведучого. Це прослизання виражається величиною $S = (n_1 - n_2)/n_2$ і зростає або зменшується зі зміною кількості рідини, що надходить у корпус муфти через регулюючий клапан 6. З корпусу муфти рідину видаляють по відвідній трубці 8 через систему охолодження 9 в бак 4.

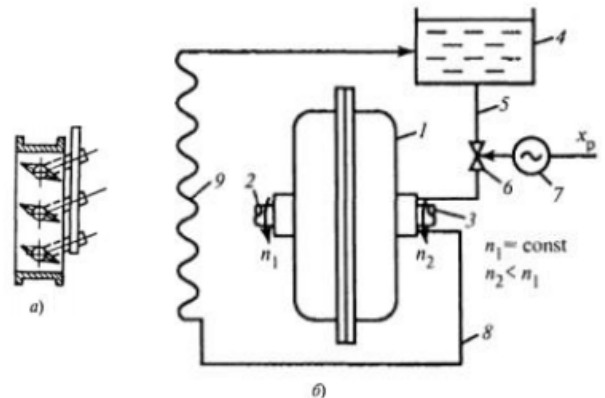


Рис. 1.14 Принципова схема

гідромуфти та поворотної заслінки димососу:

- 1 – муфта; 2,3 – ведучий і ведений вали;
4 – напірний бак; 5 – підвідна трубка;
6 – клапан; 7 – сервопривід; 8 – відвідна трубка; 9 – система охолодження.

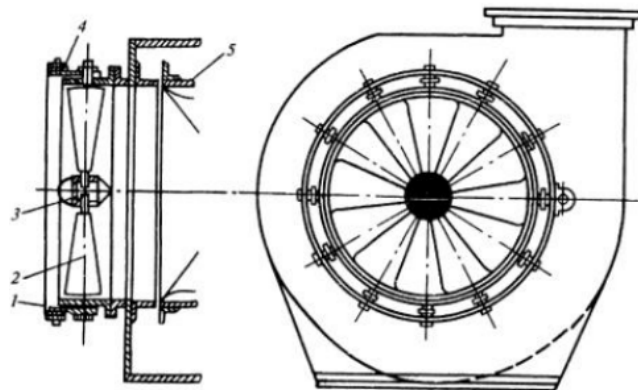


Рис. 1.15 Регулювання подачі димососів напрямним апаратом:

- 1 – кільцевий приводний важіль; 2 – поворотні лопатки; 3 – опора;
4 – приводні проміжні важелі; 5 – крильчатка димососу.

Найбільшого поширення набула схема регулювання розрідження з одноімпульсним ПІ-регулятором, що реалізує принцип регулювання за відхиленням. (рис. 1.16).

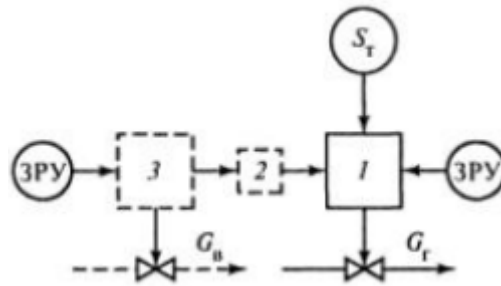


Рис. 1.16 АСР розрідження в топці

Потрібне значення регульованої величини встановлюють за допомогою ручного задатчика ЗРУ регулятора розрідження 1. Під час роботи котла в регульовальному режимі часто відбуваються зміни теплового навантаження, і, як наслідок, зміна витрати повітря. Робота регулятора повітря 2 призводить до тимчасового порушення матеріального балансу між повітрям, що надходить, і димовими газами, що покидають топкову камеру. Для попередження цього порушення та збільшення швидкодії регулятора розрідження рекомендують ввести на його вхід додатковий зникаючий вплив від регулятора повітря через пристрій динамічного зв'язку 3. Як пристрій динамічного зв'язку використовують аперіодичну ланку, вихідний сигнал якої надходить на вхід регулятора розрідження лише в моменти переміщення виконавчого механізму регулятора повітря.

1.5 Регулювання перегріву пари в барабанних парових котлах

Температура пари на виході котла відноситься до найважливіших параметрів, що визначають економічність та надійність роботи парової турбіни та енергоблока в цілому. У відповідності до вимог ПТЕ (правила технічної експлуатації) допустимі тривалі відхилення температури перегріву пари від номінального значення, наприклад, для параметрів пари $p_{п.п} = 13$ МПа і $t_{п.п} = 540$ °С складають в сторону збільшення 5 °С, а в сторону зменшення – 10 °С.

Конструктивно первинний пароперегрівач енергетичних котлів є рядом послідовно включених у паровий тракт трубних поверхневих теплообмінників, частина з яких – радіаційні (розміщені вгорі топки), інші – конвективні (знаходяться в газоходах поворотної камери П- або Т-образних котлів (рис. 1.17)).

Зміни парового навантаження котла призводять до перерозподілу тепловосприйняття конвективної (КПП) та радіаційної (РПП) поверхонь перегріву пароперегрівача.

Для барабанних котлів найбільш поширеним є спосіб регулювання температури пари на виході за допомогою пароохолоджувачів.

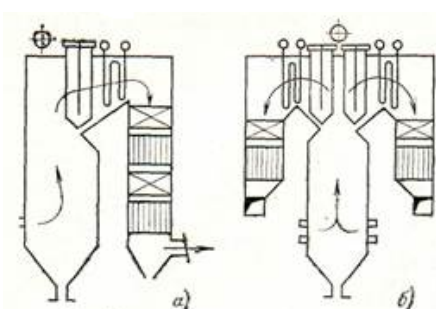


Рис. 1.17 Схеми компоновок котлів:
а) П-образна; б) Т-образна

Конструктивно ділянка регулювання первинного перегріву утворює частину поверхні нагрівання пароперегрівача від місця введення охолоджуючого агента до вихідного колектора, в якому необхідно підтримувати задану температуру $t_{п.п}$ (рис. 1.18).

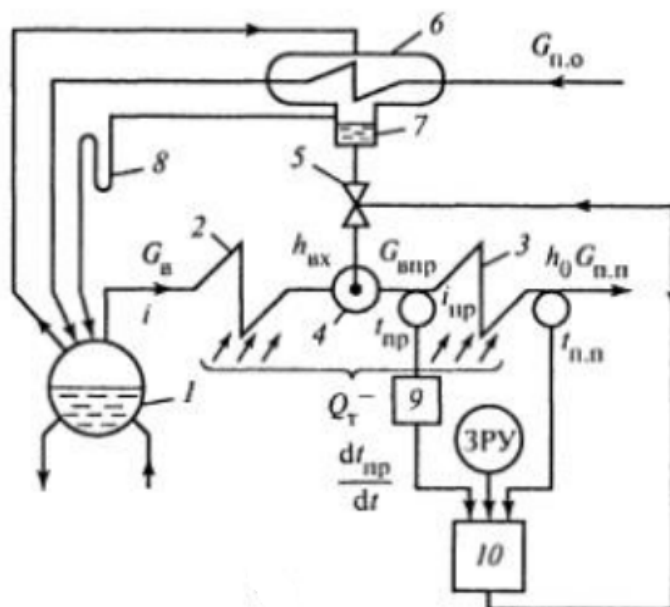


Рис. 1.18 Принципова схема регулювання перегріву пари:
1 – барабан; 2,3 – ступені пароперегрівача; 4 – пароохолоджувач; 5 – регулюючий клапан вприскування; 6 – охолоджувач пари; 7 – збірник конденсату; 8 – гідрозатвор;
9 – диференціатор; 10 – регулятор.

До збурюючих впливів відносять витрати споживаної пари $G_{п,п}$ і кількість теплоти, що сприймається від топкових газів Q_T . *Вхідною та вихідною величинами* ділянки служать ентальпії на вході в пароперегрівач $h_{вх}$ та на виході з нього h_0 . *Регулюючим впливом* є витрата охолоджуючого агента $G_{п,о}$.

Динамічні характеристики пароперегрівача за каналами збурюючих і регулюючих впливів різні, але мають загальну властивість – значну інерційність. Термоелектричні термометри (термопари), що вимірюють температуру перегріву пари, також мають істотну інерційність.

Існують два типи пароохолоджувачів: поверхневий та впорскувальний.

Поверхневий пароохолоджувач є паровим колектором, усередині якого розташовані змійовики з охолоджувальною водою. Температуру пари на виході з цього колектора регулюють зміною витрати холодоагенту через змійовик. Основним недоліком таких пароохолоджувачів є велика інерційність за температурою пари на виході при зміні витрати охолоджувальної води.

У сучасних енергетичних барабанних котлах встановлюють *впорскувальні пароохолоджувачі*, які являють собою теплообмінники змішувального типу. Принцип їх дії заснований на зміні ентальпії частково перегрітої пари за рахунок теплоти, що відбирається на випаровування охолоджувальної води, що впорскується в паропровід (рис. 1.19).

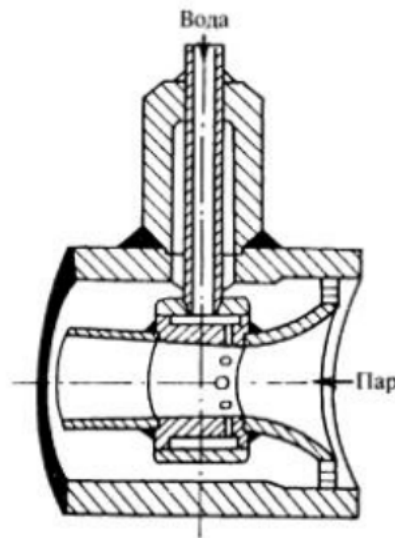


Рис. 1.19 Впорскувальний пароохолоджувач

Недоліком впорскувального пароохолоджувача є забруднення пари охолоджувальною водою. Цей недолік частково усувається використанням у ролі охолоджуючого агента власного конденсату (рис. 1.18). Для цього частина насиченої пари з барабана G_6 направляють в охолоджувач пари (конденсатор 6) і з конденсатозбірника 7 конденсат впорскується в пароохолоджувач 4.

Схеми автоматичного регулювання первинного перегріву пари

У загальноприйнятій схемі АСР температури перегріву пари (рис. 1.18) регулятор перегріву 10 отримує основний сигнал щодо відхилення температури пари на виході пароперегрівача $t_{п,п}$ і впливає на витрату охолоджувальної води. Додатковий сигнал, пропорційний швидкості зміни температури пари в проміжній точці (безпосередньо за

Наслідком цього може бути порушення міцності труб у місцях стикування з корпусом барабана, а у найважчих випадках – їх перепалювання.

Надмірне підвищення рівня може спричинити зниження ефективності роботи внутрішньобарабанних сепараційних пристроїв (рис. 1.20) та призвести до передчасного занесення солями пароперегрівача. Перепитування барабана та занесення частинок води в турбіну є причиною важких механічних пошкоджень її ротора та лопаток.

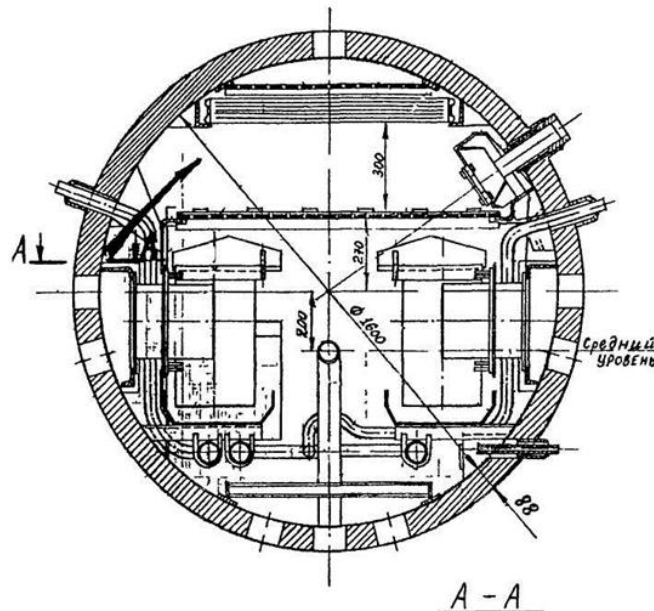


Рис. 1.20 Сепараційна схема барабана котла БКЗ-160-110

Живлення барабана водою здійснюють по одній і рідше по двох нитках трубопроводів живильної води, одна з яких служить резервною.

Відхилення рівня в барабані від середнього значення пов'язане з наявністю небалансу між кількістю живильної води, що надходить в барабан та витратою пари. Воно може відбуватися також внаслідок зміни вмісту пари в пароводяній суміші підйомних труб за рахунок коливань тиску пари в барабані або зміни теплосприйняття випарних поверхонь нагріву. Криві розгону за рівнем води в барабані при збуреннях витратою пари та живильної води для котла ТП-87 наведено на рис. 1.21.

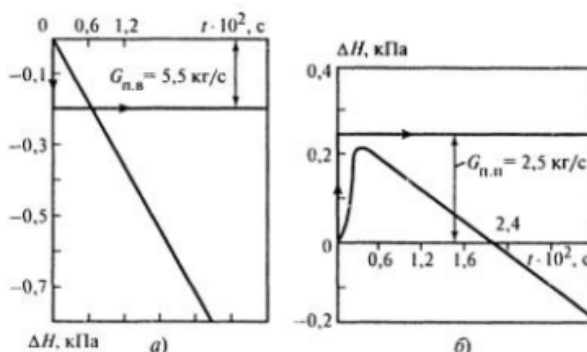


Рис. 1.21 Динамічні характеристики котла ТП-87 за рівнем води в барабані при збуренні:
а) – витратою живильного води; б) – витратою пари.

Випукла форма кривої зміни рівня при збуренні збільшенням витрати пари пояснюється тим, що в перший момент після нанесення збурення (збільшення витрати

пари) рівень води в барабані зростає внаслідок різкого зменшення тиску пари. Це, у свою чергу, призводить до збільшення паровмісту в підйомних трубах циркуляційного контуру (оскільки при нижчому тиску, вода закипає при більш низькій температурі) і зростанню рівня.

Зростання рівня в цьому випадку відбувається через те, що велика кількість бульбашок пари сильно збільшують об'єм пароводяної суміші в барабані при тій же самій кількості води. Після того як тиск пари в барабані прийме нове стає значення, рівень пароводяної суміші почне знижуватися, причому дуже стрімко. Це відбувається тому, що внаслідок різкого скіпання (через низький тиск) в барабані утворюється багато пари і тиск швидко зростає, як наслідок процес скіпання сповільнюється, доки не встановиться якесь нове значення тиску пари. Розглянуте явище зветься «**набуханням**» рівню.

Схема автоматичного регулювання

Виходячи з вимог до регулювання рівня води в барабані, автоматичний регулятор повинен забезпечити постійність середнього рівня незалежно від навантаження котла та інших збурюючих впливів. У перехідних режимах зміна рівня відбувається досить швидко, тому регулятор живлення для забезпечення малих відхилень рівня повинен підтримувати сталість співвідношення витрат живильної води та пари. Цю задачу добре виконує трьохімпульсний регулятор (рис. 1.22).

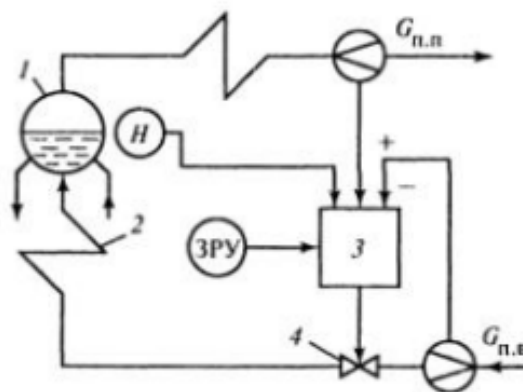


Рис. 1.22 Трьохімпульсна АСР живлення барабанного парогенератора:

1 – барабан; 2 – водяний економайзер; 3 – регулятор живлення (рівня); 4 – регулюючий клапан живильної води.

Водяний економайзер – це пристрій (теплообмінник), призначений для попереднього підігріву живильної води, що надходить у барабан парового котла (рис. 1.1 номер 8).

Регулятор переміщує клапан 4 при появі сигналу небалансу між витратами живильної води $G_{п.в}$ і пари $G_{п.п}$. Крім того, він впливає на положення живильного клапана при відхиленнях від заданого рівня значення. Така АСР живлення набула найбільшого поширення на потужних енергетичних барабанних котлах, оскільки вона дозволяє нейтралізувати явище набухання рівня ще до його появи, за рахунок додаткового сигналу з витрати пари. Таким чином, як тільки витрата пари змінюється, регулятор вже починає впливати на витрату живильної води, не чекаючи зміни рівня у барабані котла.

2. Прямоточний паровий котел як об'єкт управління

Принципова схема технологічного процесу, який протікає в прямоточному котлі, представлена на рис. 2.1.

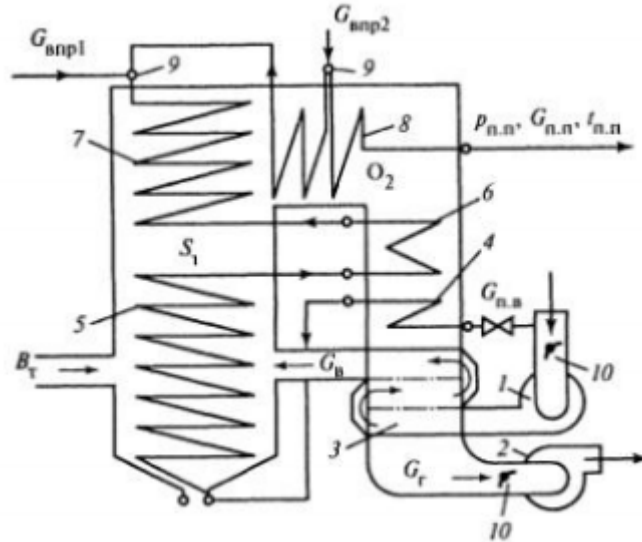


Рис. 2.1 Принципова технологічна схема прямоточного котла:

1 – дуттьовий вентилятор; 2 – димосос; 3 – повітронідогрівач; 4 – водяний економайзер; 5 – нижня радіаційна (випарна) частина; 6 – перехідна зона; 7, 8 – радіаційний та конвективний пароперегрівачі; 9 – парохолоджувач; 10 – регулюючі заслінки.

Послідовне з'єднання поверхонь нагріву прямоточного котла можна представити у вигляді змійовика, в один кінець якого надходить живильна вода, а з іншого виходить перегріта пара. Цей змійовик укрупнено поділено на три частини: водяну, водопарову та парову. Положення точки початку перегріву, що визначає межу між випарною і перегрівною частинами, може змінюватися в залежності від паропроодуктивності, кількості теплоти, що підводиться, і витрати живильної води, а за умовами температурного режиму її слід стабілізувати.

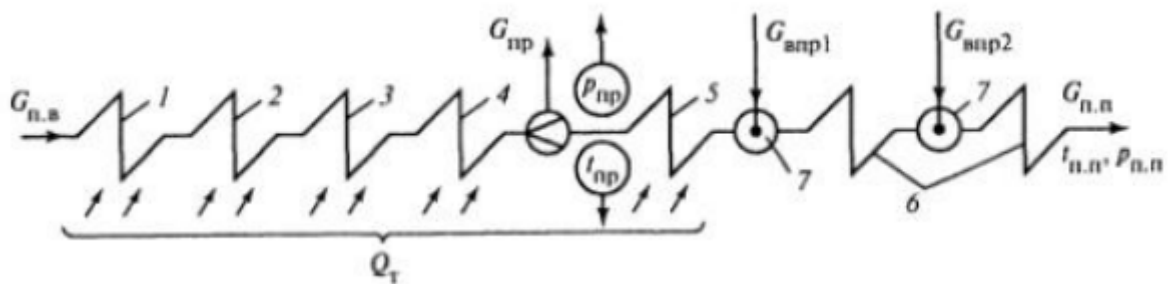


Рис. 2.2. Принципова схема пароводяного тракту прямоточного котла:

1 – водяний економайзер; 2 – випарна частина; 3 – перехідна зона; 4 – середня радіаційна частина; 5, 6 – ступені пароперегрівача; 7 – парохолоджувач.

У прямоточному котлі на відміну від барабанного витрата живильної води безпосередньо впливає на витрату, температуру і тиск пари на виході. У ньому тісно пов'язані регулювання теплового та матеріального балансів. Істотно ускладнюється і регулювання температури перегріву первинної пари. На неї одночасно впливають зміни витрати живильної води та подачі палива. Це призводить до необхідності збільшення числа

впорскування до трьох-чотирьох і витрати води на впорскування до 5% загальної кількості виробленої пари. Упорскування на прямоточному котлі мають помітний вплив на витрату і параметри перегрітої пари.

Спрощена схема зв'язків між вхідними та вихідними величинами прямоточного котла представлена на рис. 2.3.

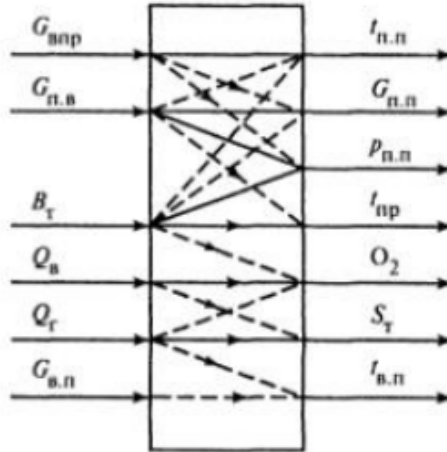


Рис. 2.3 Структурна схема вхідних та вихідних зв'язків у прямоточному котлі

Для прямоточних котлів зберігаються завдання регулювання процесу горіння, теплового навантаження та перегріву пари. Крім того, додається завдання регулювання температурного режиму пароводяного (первинного) тракту від початку до першого регульованого впорскування.

2.1 Регулювання теплового навантаження та температурного режиму первинного тракту

Регулювання теплового навантаження, що характеризується тиском та витратою пари, вимагає спільної та узгодженої зміни витрат палива V_T і живильної води $G_{п.в.}$. В свою чергу, температурний режим первинного тракту, що характеризується температурою пари в проміжній точці тракту до першого впорскування $t_{пр}$, залежить від співвідношення витрат води та палива, і впливати на нього також можна за допомогою будь-якої з цих регулювальних впливів. У зв'язку з цим АСР подачі палива та живильної води для прямоточних котлів слід розробляти та налагоджувати разом.

Схеми автоматичного регулювання подачі палива та живильної води поділяють по виду основних сигналів, що використовуються для підтримки заданого теплового навантаження та стабілізації температурного режиму первинного тракту.

В якості основного сигналу для системи регулювання температурного режиму первинного тракту використовують витрату живильної води $G_{п.в.}$, кількість теплоти Q_q або ж безпосередньо температуру пари у проміжній точці $t_{пр}$.

Як основний сигнал, який характеризує теплове навантаження прямоточного котла, застосовують витрату живильної води та витрату палива. Про навантаження котла, який працює в моноблоці з турбіною, можна судити також за потужністю турбогенератора N_3 .

На практиці найбільшого поширення набули **автоматичні схеми регулювання з безпосереднім контролем температури робочого середовища**, оскільки в таких схемах статична похибка (залишкове відхилення) суттєво менша (в 1,5 – 3 рази), ніж у інших схемах, що діють за співвідношенням завдання – вода. Це пов'язано із значно меншою допустимою похибкою датчиків температури у порівнянні з датчиками витрати. Температура пари на виході первинного тракту (перед першим впорскуванням) має суттєву інерцію ($\tau = 20 \dots 60$ с) по відношенню до збурень паливом та водою. Тому для підтримки її відхилень у допустимих межах у динаміці (у перехідних режимах) на вхід регулятора палива вводять випереджувальні сигнали, по виду яких розрізняють три основні варіанти схем регулювання.

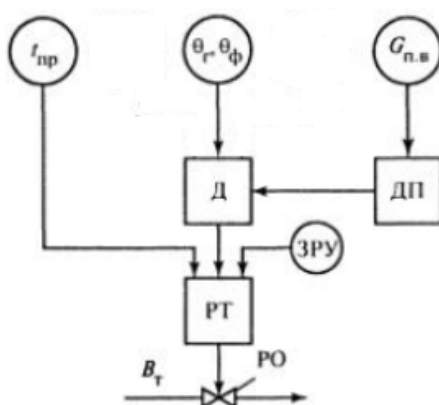


Рис. 2.4 Варіант I схеми регулювання температурного режиму з безпосереднім контролем температури пари у проміжній точці

Варіант I. В цьому варіанті схеми регулювання основним сигналом служить температура пари у проміжній точці тракту $t_{пр}$ (рис. 2.4). В якості випереджаючих сигналів, що надходять на вхід регулятора палива через диференціатор (Д) використовуються сигнали по температурі димових газів Θ_r (або факела Θ_ϕ) і за витратою живильної води $G_{п.в.}$.

Основними перевагами даного варіанта схеми є:

- ✓ швидка реакція на топкові збурювання;
- ✓ незалежність налаштування зовнішнього випереджувального сигналу;
- ✓ відносна простота налаштування регулятора палива та диференціатора за відпрацьованою відомою методикою.

Недоліком є швидке зношування газових термоприймачів, що контактують з агресивним середовищем, і пульсація сигналу за температурою газів Θ_r . У зв'язку з цим замість сигналу Θ_r застосовують менш інерційний сигнал з випромінюванням факелу Θ_ϕ . Його формують за допомогою кількох паралельно включених радіаційних пірометрів, що встановлюються у верхній частині топки і візуються на факел. Даний варіант схеми застосовується переважно на пиловугільних прямооточних котлах.

Варіант II. Відрізняється від першого лише тим, що замість сигналу за температурою газів Θ_r використовується сигнал за витратою палива V_r (рис. 2.5). Дана схема випробувана та впроваджена на котлах, що працюють на газомазутних паливах, витрату яких можна вимірювати безпосередньо, на відміну від пиловугільного палива.

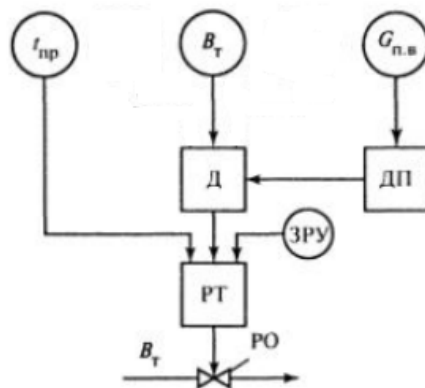


Рис. 2.5 II варіант схеми регулювання температурного режиму з безпосереднім контролем температури пари в проміжній точці

Варіант III. Відрізняється від перших двох застосуванням випереджувального сигналу за температурою води перед зоною максимальної теплоємності (ЗМТ) $\Theta_{ЗМТ}$ (рис. 2.6). Цей сигнал, хоч і є інерційнішим, ніж за температурою газів Θ_r і факела Θ_ϕ , але скоріше реагує на збурення витратою палива (15 с) і води (40 с). Такий вибір обумовлений тим, що температуру води виміряти простіше та точніше, ніж температуру топкових газів чи випромінювання факела.

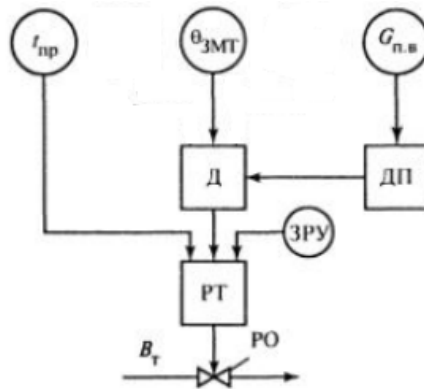


Рис. 2.6 III варіант схеми регулювання температурного режиму з безпосереднім контролем температури пари в проміжній точці

Недоліком цієї схеми є залежність динаміки ділянки за каналом витрата палива $B_T \rightarrow \Theta_{ЗМТ}$ температура води в зоні максимальної теплоємності від режимних факторів, які впливають на положення ЗМТ, і як наслідок – погіршення якості процесів регулювання в різко змінних режимах, викликаних збуреннями за навантаженням і температурою живильної води.

Вибір того чи іншого варіанту схеми регулювання визначається типом прямоточного котла, його параметрами та видом палива, що спалюється.

2.2 Регулювання економічності процесу горіння

Схеми регулювання економічності процесу горіння прямоочних котлів будують в залежності від обраних варіантів схем регулювання теплового навантаження та виду палива. Зокрема, можуть застосовуватися схеми *завдання-повітря* (рис. 1.12) або *паливо-повітря* (рис. 1.9) за умови, що котел працює на рідкому або газоподібному паливі, які застосовуються на барабанних котлах. А також *вода-повітря* (рис. 2.7) при регулюванні подачі палива з використанням сигналу за температурою у проміжній точці.

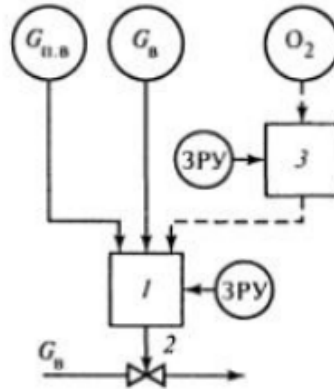


Рис. 2.7 Регулювання подачі повітря прямоочного котла за схемою вода - повітря з корекцією за O_2 :

1 – регулятор економічності процесу горіння; 2 – регулюючий орган; 3 – коригуючий регулятор за вмістом O_2 у газоході за конвективним пароперегрівачем.

Введення коригуючого сигналу за вмістом вільного кисню O_2 у всіх схемах забезпечує більш точне підтримання заданого значення коефіцієнта надлишку повітря. Розрідження у верхній частині топки регулюють так, як і в барабанних парових котлах (рис. 1.16).

2.3 Регулювання перегріву пари прямооточних котлів

Регулювання температури первинного перегріву.

Прямоточні котли мають більш розвинену перегрівальну частину водопарового тракту у порівнянні з барабанными. Крім того, за умовами температурного режиму металу поверхонь нагріву її слід стабілізувати по всій довжині пароперегрівача. Внаслідок цього регулювання температури перегріву пари в прямооточних котлах є складнішим завданням у порівнянні з барабанными. Перегрівальна частина прямооточних котлів складається з окремих послідовно включених ділянок, які розмежовані конструктивно і розміщені в різних температурних зонах газового тракту.

Поверхні нагрівання окремих ділянок, з'єднувальні трубопроводи та паросбірні колектори, а також пристрої упорскування охолоджувальної води утворюють об'єкт регулювання, що є складною динамічною системою, що піддається впливу внутрішньотопкових та зовнішніх збурень. Для первинної стабілізації температури перегріву $t_{п,п}$ у прямооточних котлах (у барабанных іноді теж) використовують принцип суміщення статичних характеристик конвективних (КПП) та радіаційних (РПП) частин пароперегрівача (рис. 2.8). Зміна парового навантаження котла призводить до перерозподілу теплосприйняття в конвективній КПП (розміщена в газоході поворотної камери) і радіаційній РПП (розташована у верхній частині топки) частин пароперегрівача.

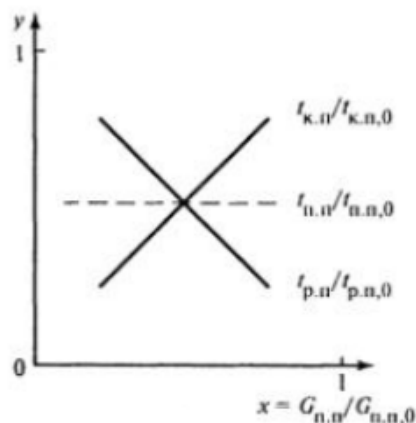


Рис. 2.8 Статичні характеристики пароперегрівача за температурою перегріву пари

Однак абсолютно точного їх суміщення досягти неможливо через вплив безлічі експлуатаційних факторів (різний ступінь забруднення внутрішніх та зовнішніх поверхонь нагріву, мінливість ентальпій та швидкостей потоків газу та пари, зміщення факела по висоті топки та ін.). Внаслідок цього і через відмінності теплової інерційності КПП і РПП температура пари на виході котла починає змінюватися при всіх зовнішніх і внутрішньопаливних обуреннях як у статиці, так і в динаміці.

Тому температуру пари на виході кожної ділянки стабілізують за допомогою автономних регуляторів, що впливають на впорскувальні пристрої, встановлювані між окремими поверхнями нагріву.

Способи та схеми регулювання

Регулювання температури пари послідовно включених перегріваних ділянок первинного тракту здійснюють за допомогою АСР впорскування, які працюють за двоїмпульсною схемою. Схема автоматичної системи регулювання температури первинної пари одного з циркуляційних контурів прямооточного котла з двома упорскуваннями представлена на рис. 2.9.

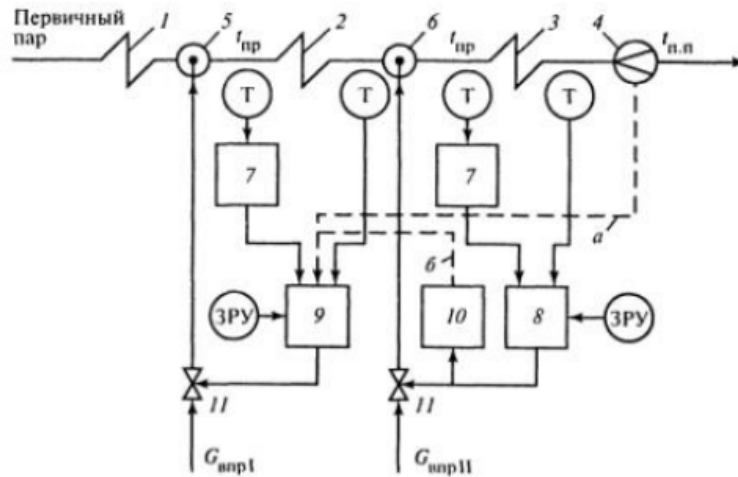


Рис. 2.9 *Схема автоматичної системи регулювання температури первинної пари:*
1-3 – ступені пароперегрівача; 4 – звужувальний пристрій для вимірювання витрати пари;
5,6 – парохолоджувачі; 7 – диференціатор; 8 – регулятор температури первинного перегріву пари на виході котла; 9 – передвімкнений регулятор температури перегріву пари;
10 – допоміжний коригуючий регулятор; 11 – регулюючий клапан.

Введення додаткового сигналу за завданням (витратою пари – лінія *a*) для регулятора 9, першого по ходу впорскування, дозволяє підтримувати температуру пари на виході проміжної ступені пароперегрівача відповідно до теплового навантаження котла. Змінний сигнал за завданням може бути сформований і по положенню регулюючого органу регулятора, другого по ходу пари впорскування (лінія *б*). В цьому випадку сигнал від датчика положення виконавчого механізму надходить на вхід допоміжного коригуючого регулятора, а з його виходу – на вхід регулятора першого впорскування 9.

Регулювання температури вторинного перегріву.

На сучасних потужних паротурбінних установках передбачають повторне перегрівання пари після ЦВД (циліндр високого тиску). Температуру вторинного перегріву пари також слід підтримувати з високою точністю в допустимих межах при різних навантаженнях турбіни та змінах топкового режиму котла. Конструктивні особливості ділянки регулювання, що включає поверхні нагріву в газоходах котла та з'єднувальні трубопроводи до місця вимірювання температури вторинного перегріву $t_{в.п.}$, а також його динамічні властивості визначаються вибраним способом регулювання.

Способи та схеми регулювання

Для регулювання вторинного перегріву застосовують різні способи. При цьому регулювання за допомогою вприскування виявляється неекономічним: пара, що утворилася в результаті випаровування охолоджувальної води, не проходить через циліндр високого тиску турбіни, що призводить до зниження ККД установки в цілому.

Крім того, останні ступені ЦНД (циліндр низького тиску) турбіни не розраховані на пропуск пари, що утворюється випаром охолоджуючої води. Для регулювання температури вторинного перегріву пари зазвичай використовують поверхневі теплообмінники.

1. Регулювання за допомогою паропарового теплообмінника (ПТО).

Конструктивно він є винесеним з газоходів котла корпусом, виконаним з труби великого діаметра (300...400 мм), всередині якого проходять змійовики труб малого діаметра, укріплені в трубних дошках. Усередині цих змійовиків проходить гріючий агент $G_{г.п}$ – частково перегріта пара (до 450...520 °С) первинного тракту. Усередині труби більшого діаметра зустрічно проходить пара вторинного тракту з температурою 320...350 °С. Дана схема регулювання наведена на рис. 2.10 лінія *a*.

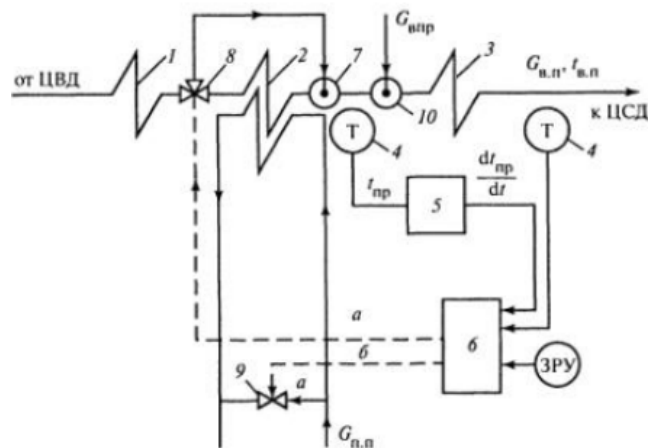


Рис. 2.10 Схеми АСР температури вторинної пари за допомогою паропарового (лінія *a*) або газопарового (лінія *б*) теплообмінників:

ЦВД – циліндр високого тиску; ЦСД – циліндр середнього тиску; 1, 3 – ступені вторинного пароперегрівача; 2 – паропаровий або газопаровий теплообмінник; 4 – термонара; 5 – диференціатор; 6 – регулятор температури пари на виході; 7 – пароохолоджувач; 8 – трьохходовий регулюючий клапан; 9 – обвідний клапан; 10 – аварійний вприскуючий пароохолоджувач

Регулювання температури вторинного перегріву пари здійснюється зміною його витрати через ПТО за допомогою трьохходового клапана 8 та обвідного паропроводу. В якості резервного засобу регулювання у разі надмірного підвищення температури вторинного перегріву $t_{в.п}$ передбачають аварійний вприск.

2. Регулювання за допомогою газопарового теплообмінника (ГТО).

Теплообмінник сконструйований за принципом труба в трубі і являє собою систему змійовиків із труб діаметром 60 x 3,5 мм, всередині кожної з яких проходять дві трубки діаметром 16 x 3 мм. По трубках малого діаметра рухається пар первинного тракту, що гріє, а назустріч йому по трубах більшого діаметра проходить пара вторинного тракту. Труби більшого діаметра обігріваються топковими газами зовні, що потребує їх надійного

охолодження. У зв'язку з цим через змійовики більшого діаметра пропускають весь пар вторинного тракту і регулювання його температури здійснюють зміною витрати грюючої пари (2.10, лінія б).

Способи регулювання за допомогою теплообмінників економічно доцільні, проте недолік їх полягає у появі суттєвих взаємозв'язків між системами регулювання первинного та вторинного перегріву пари. Крім того, ці способи не завжди забезпечують достатній діапазон регулювання.

3. Регулювання перепуском пари в об'єднання конвективної поверхні нагріву вторинного пароперегрівача – паровий байпас (рис. 2.11).

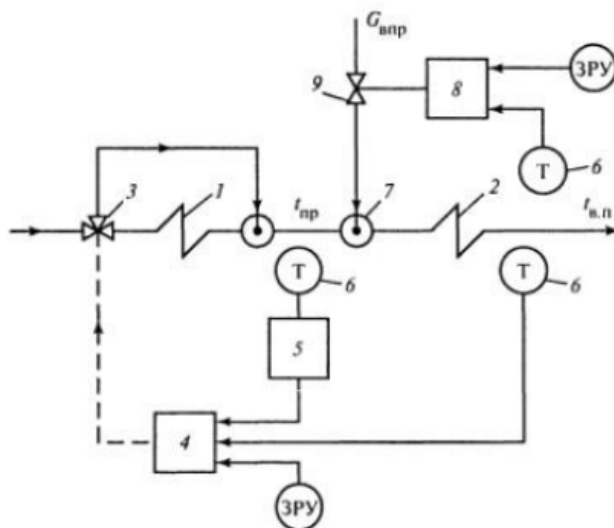


Рис. 2.11 Схема регулювання температури вторинної пари за допомогою парового байпасу:
 1 – холодний пакет; 2 – гарячий пакет; 3 – триходовий клапан; 4 – ПІ-регулятор температури;
 5 – диференціатор; 6 – датчик температури; 7 – додаткове вприскування (аварійне);
 8 – регулятор; 9 – клапан вприскування

Конструктивно «холодний пакет» 1 вторинного перегріву розміщується у зоні порівняно низьких температур газів. Теплосприйняття пароперегрівача регулюється триходовим клапаном 3, що перепускає частину «холодної» пари крім першого пакета на вхід другого. При такому способі регулювання температура вторинного перегріву пари практично не залежить від роботи АСР температури первинного перегріву. У той же час, діапазон регулювання стане досить широким.

Регулятор температури 4 (використовує ПІ-закон) діє від двох сигналів – за відхиленням температури на виході з вторинного пароперегрівача (основного) та додаткового (зникаючого), сформованого за допомогою диференціатора 5 та датчика температури 6, встановленого після змішування «холодного» та частково перегрітого пара.

На випадок надмірного підвищення температури вторинного перегріву $t_{в.п}$ передбачається додаткове вприскування (аварійний) 7, керований автоматичним регулятором 8. Задане значення $t_{в.п}$ (температури вторинно перегрітої пари) основного регулятора 4 встановлюється меншим, ніж у регулятора 8, для того, щоб клапан аварійного вприскування 9 в нормальному режимі роботи був закритий. Крім того, наявність блокування в електричній схемі управління передбачає можливість відкриття клапана 9 лише після повного відкриття триходового клапана 3.

4. Газове регулювання. Зміна теплосприйняття пароперегрівача вторинного тракту може бути досягнута за рахунок зміни кількості теплоти, що передається поверхням нагріву топковими газами. При цьому можна використати три способи.

Регулювання зміною кількості газів, що проходять через пакети вторинного пароперегрівача, за допомогою перерозподілу потоку газів між газоходами конвективного пароперегрівача та водяного економайзера (2.12, а).

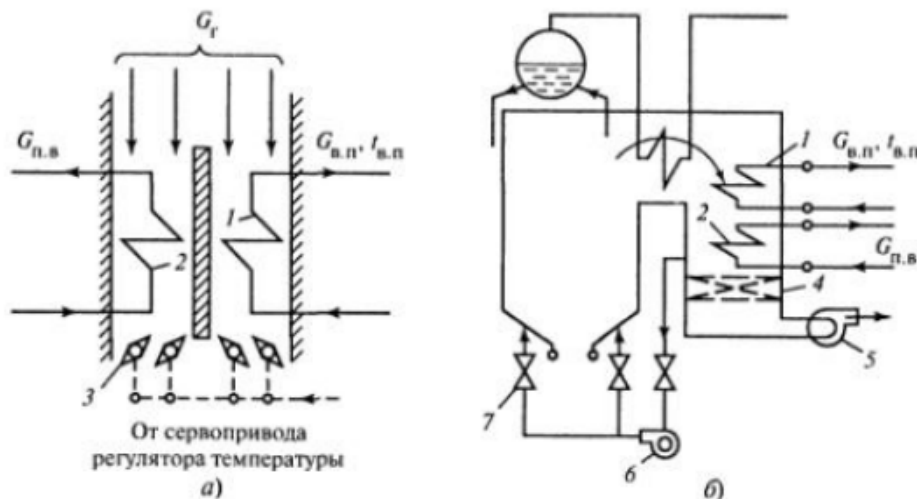


Рис. 2.12 Газове регулювання температури вторинного пароперегрівача:

а – перерозподілом потоку газів; б – рециркуляцією топкових газів; 1 – вторинний пароперегрівач; 2 – водяний економайзер; 3 – поворотні заслінки; 4 – повітропідігрівач; 5 – димосос; б – димосос рециркуляції; 7 – регулюючі заслінки

Регулюючі органи – поворотні заслінки, за допомогою яких здійснюється перерозподіл газового потоку, повинні бути виконані з жароміцного матеріалу та обладнані спеціальною системою повітряного охолодження.

Регулювання зміною температури топкових газів перед пароперегрівачем. Цей спосіб передбачає зміну температури топкових газів за допомогою поворотних пальників або перемикання ярусів працюючих пальників. Іншими словами, зміщенням ядра факела по висоті топки. Проте положення факела в топці залежить також від інших причин (нерівномірності подачі вугільного пилу, забруднення поверхонь нагріву, герметичності топки та інших) й у своє чергу впливає на всі параметри агрегату. Тому цей спосіб доцільно застосовувати лише при налагодженні режиму топки з метою стабілізації температури вторинного перегріву пари $t_{в.п}$ в статике.

Регулювання одночасною зміною кількості та температури топкових газів перед пароперегрівачем за допомогою рециркуляції топкових газів, в нижню частину топки (рис. 2.12, б). У цьому випадку частина потоку топкових газів спеціальним вентилятором рециркуляції 8 направляють в нижню частину топки. В результаті знижується температура факела, зменшується теплосприйняття радіаційних поверхонь нагріву, затягується процес згоряння палива, що призводить до збільшення температури та швидкості газів на виході з топки. Що зрештою призводить до збільшення теплосприйняття конвективних поверхонь нагріву первинного та вторинного пароперегрівачів.

Застосування рециркуляції призводить до деякого збільшення втрат з газами, що йдуть, і витрати електроенергії на власні потреби котла. Однак цей спосіб, крім можливості

регулювання температури вторинної пари, дозволяє зменшити поверхню вторинного перегрівача в порівнянні з іншими способами.

На вхід регуляторів вторинного перегріву пари при газовій рециркуляції подають два сигнали: перший основний – за $t_{в.п}$, другий упереджувальний (зникаючий) – за температурою газів перед вторинним пароперегрівачем.

Наявність проміжного пароперегрівача та небажаність підтримки температури вторинної пари за допомогою вприскування істотно ускладнюють завдання регулювання перегріву пари загалом.

Різні способи газового регулювання вторинної пари $t_{в.п}$ дозволяють розширити діапазон дії АСР, але порушують стабільність топкового режиму, впливають на умови теплообміну первинних пароперегрівачів. Тому їх використовують лише в комбінаціях з іншими способами регулювання або налагодження топкового режиму.

Для безперервного регулювання температури вторинного перегріву пари за допомогою автоматичних регуляторів найчастіше використовують теплообмінники та парове байпасування.

3. Автоматичне регулювання атомних реакторів

Завданням атомної електростанції є перетворення енергії, що виділяється в результаті розподілу атомних ядер пального, на електричну. Цей технологічний процес проходить наступним ланцюгом перетворення енергії: енергія поділу ядер – теплова енергія теплоносія і робочого тіла (пари) – механічна енергія ротора турбіни – електрична енергія, що виробляється генератором. Для здійснення цих перетворень енергії на АЕС є основні (реактори, парогенератори, турбогенератори) та допоміжні агрегати, з'єднані між собою трубопроводами та іншими технологічними лініями.

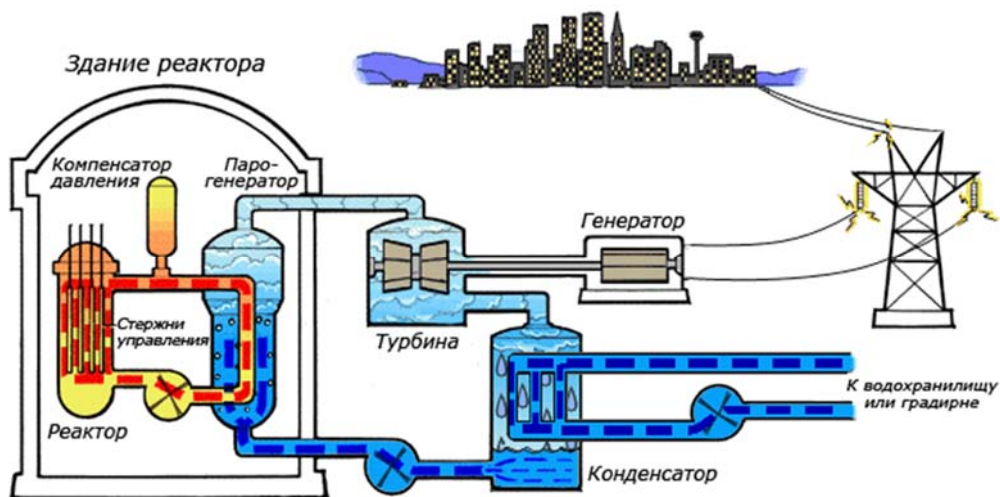


Рис. 3.1 Принципова схема роботи АЕС

Реактор. Розберемо влаштування реактора на прикладі найпоширенішого у світі типу ВВЕР (водо-водяний енергетичний реактор).

В активній зоні реактора знаходяться стрижні з паливом (найчастіше це оксид урану). При пуску реактора створюються умови, за яких із ядер урану вилітають нейтрони. У них досить висока швидкість, і частина їх вривається в сусідні ядра. Ці ядра розколюються на приблизно дві рівні частини, при цьому з'являються 2-3 нових нейтрона. Процес повторюється. Це і є ланцюгова реакція (її часто зображають як принцип доміно).

Осколки розподілу, що утворилися, мають велику кінетичну енергію, яка переходить у тепло при їх гальмуванні. Воно поглинається теплоносієм, який подається до активної зони циркуляційними насосами. Як теплоносій зазвичай використовується очищена вода (у реакторах на швидких нейтронах це рідкий метал – натрій). Для ефективності вода знаходиться під високим тиском (до 160 атмосфер) та нагрівається до 324 градусів (це дані для реактора ВВЕР-1000). Теплоносій, безпосередньо стикаючись з паливними збірками, стає радіоактивним. Тому він замкнутий у першому герметичному контурі і не покидає меж енергоблоку (на схемі червоно-помаранчева циркуляція).

Парогенератор. Усередині парогенератора також вода, але вже меншого тиску (60 атмосфер). Вона «знімає» тепло з першого контуру, але не стикається з водою всередині нього. Цього тепла достатньо, щоб утворилася пара. Пара надходить на турбіну, де змушує обертатися лопаті (це обертання і стає електричною енергією в генераторі). Далі пара надходить у конденсатор, де охолоджується і знову надходить у парогенератор. Це другий контур. Він також замкнутий, але на відміну від першого контуру вода/пар у ньому не є радіоактивними.

Конденсатор. По своєму устрою він нагадує парогенератор. Але є важливе АЛЕ: другий контур (пар з парогенератора) охолоджується за рахунок води ззовні. Ця вода надходить із ставка-охолоджувача (тепер ви розумієте, чому поряд з АЕС є водоймища). Іноді ставка замало, і тоді доводиться будувати величезні споруди – градирні. Їх часто називають трубами, але правильніше – охолоджувальними вежами. З конденсатора нагріта вода подається усередину градирні, де частково вода випаровується. За рахунок випаровування та конденсації на стінках вежі загалом вода остигає і знову потрапляє в конденсатор. *ВАЖЛИВО: з градирень в атмосферу потрапляє лише чиста пара, жодних шкідливих викидів немає.*

Системи безпеки.

Системи безпеки на АЕС постійно вдосконалюються. Інженери у всьому світі враховують аварійні ситуації на АЕС у різних країнах та враховують їх у своїх розрахунках. Наприклад, реакторні установки сьогодні будуються виключно в контейнентах — масивних герметичних оболонках, які у разі аварії запобігають викиду радіоактивних речовин в атмосферу. Це настільки міцні конструкції, що вони здатні витримати падіння літака вагою 20 т, урагани (при швидкості вітру до 56 м/с) і навіть ударну хвилю від вибуху з тиском 30 КПа.

Основною вимогою, що висуваються до технологічного процесу АЕС, є забезпечення безпеки та надійності її роботи. Під безпекою розуміється зменшення (практично до нуля) ймовірності радіаційного ураження персоналу АЕС та викиду радіоактивних речовин у навколишнє середовище у кількостях, які можуть завдати шкоди прилеглої території та населенню як у нормальних режимах роботи АЕС, так і в аварійних ситуаціях. Надійність АЕС означає зменшення кількості аварійних зупинок, можливість збереження часткової потужності блоку у разі виникнення аварій в основному технологічному обладнанні та швидкий набір повного навантаження після аварійної зупинки або зниження потужності. Іншою найважливішою вимогою є економічність роботи АЕС, тобто зменшення витрат пального, електроенергії власних потреб, допоміжних матеріалів, заробітної плати на вироблення 1 кВт-год електричної енергії.



Рис. 3.2 Внутрішня система безпеки контейменту реактора

Забезпечення безпеки, надійності та економічності технологічного процесу можливе лише за умови, що всі величини, що характеризують процес (температура, тиск, витрата, частота обертання тощо), знаходяться в заданих межах. Вихід за ці межі спричиняє зниження економічності, а при збільшенні відхилень може призвести до аварійної зупинки або навіть руйнування технологічного об'єкта. Тому необхідно постійно контролювати ці величини та впливати на технологічний процес таким чином, щоб підтримувати їх потрібні значення.

Збурення можуть бути зовнішніми та внутрішніми. Причиною зовнішніх збурень є процеси, що відбуваються поза технологічним об'єктом, що розглядається; для АЕС такими збуреннями є зміни частоти в енергосистемі, зміна температури охолоджувальної води в конденсаторах турбін тощо. Внутрішні збурення виникають у результаті процесів, що відбуваються в самому технологічному об'єкті: вигорання палива в реакторі, засмічення поверхонь теплообміну в парогенераторах, аварійного відключення різних насосів тощо. Дія внутрішніх і зовнішніх збурень призводить до відхилення величин від заданих значень, і для повернення їх у задані межі необхідно змінювати значення управляючих впливів. Зміна керуючих впливів проводиться за допомогою виконавчих органів (регулюючих клапанів, запірних засувок, регулюючих стрижнів реактора, електричних вимикачів). Керуюча система може також використовувати інформацію про збурення, якщо вимірювання цих збурень технічно можливе та доцільне для покращення якості управління.

3.1 Автоматизовані системи керування АЕС

Основною вимогою до технологічного процесу АЕС є забезпечення безпеки і надійності її роботи. Під безпекою розуміється зменшення (практично до нуля) ймовірності радіаційного ураження персоналу АЕС та викиду радіоактивних речовин у навколишнє середовище у кількостях, які можуть зашкодити прилеглий території та населенню як у нормальних режимах роботи АЕС, так і в аварійних ситуаціях. А також зменшення кількості аварійних зупинок, можливість збереження часткової потужності блоку у разі виникнення аварій в основному технологічному обладнанні та швидкий набір повного навантаження після аварійної зупинки або зниження потужності. Іншою найважливішою вимогою є економічність роботи АЕС, тобто зменшення витрат пального, електроенергії власних потреб, допоміжних матеріалів, заробітної плати на вироблення 1 кВт-год електричної енергії.

Забезпечення безпеки, надійності та економічності технологічного процесу можливе лише за умови, що всі величини, що характеризують процес (температура, тиск, витрата, частота обертання тощо), перебувають у строго заданих межах. Вихід за ці межі спричиняє зниження економічності, а при збільшенні відхилень може призвести до аварійної зупинки або навіть руйнування технологічного об'єкта. Тому необхідно постійно контролювати ці величини та впливати на технологічний процес таким чином, щоб підтримувати їх необхідні значення, тобто здійснювати процес управління.

Сутність управління полягає в отриманні інформації про керовані величини, переробці цієї інформації та передачі на регулятор, який змінює значення керуючих величин за допомогою виконавчих органів. Спрощена технологічна схема енергоблока з реактором ВВЕР показана на рис. 3.3. Ця схема є двоконтурною, оскільки охолодження реактора проводиться контуром теплоносія (перший контур), відокремленим від контуру робочого тіла (пари), що надходить на турбіну.

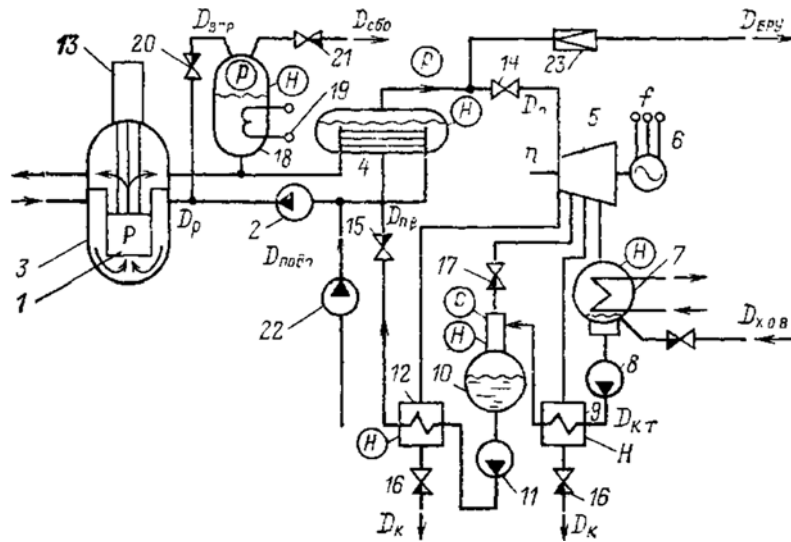


Рис. 3.3 Спрощена технологічна схема блоку з реактором ВВЕР та її основні керовані та керуючі параметри

Джерелом теплової енергії блоку є активна зона 1 реактора 3, через яку за допомогою головних циркуляційних насосів (ГЦН) 2 прокачується теплоносій першого контуру з якоюсь постійною витратою. У різних випадках технологічних схем є кілька (2 – 6) трубопроводів (петель), на рис. 3.3 умовно показано одну петлю. Пройшовши через активну зону, теплоносій нагрівається та подається в парогенератор 4. У парогенераторі теплоносій віддає свою теплоту робочому тілу (воді) другого контуру та повертається до ГЦН. Отриманий у парогенераторі пар другого контуру надходить у турбіну 5, що обертає генератор 6, який виробляє електроенергію. Відпрацьована в турбіні пара конденсується в конденсаторі 7. Конденсат конденсатними насосами 8 через регенеративні підігрівачі низького тиску 9 подається в деаератор 10. Очищена від газів в деаераторі живильна вода живильними насосами 11 через регенеративні підігрівачі високого тиску 12 подається парогенератор, замикаючи таким чином цикл.

Для нормального функціонування розглянутої складної технологічної схеми необхідно, щоб усі основні керовані параметри (тиску, витрати, рівню тощо) лежали у заданих технологічних межах.

Одним із основних завдань АСУ ТП АЕС є підтримання відповідності між потужністю реактора та турбіни (або турбін). У найбільш поширених варіантах систем управління як сигнал невідповідності потужностей (регульованої величини) вибирається тиск P пари перед турбіною; підтримка тиску здійснюється шляхом зміни потужності реактора переміщенням виконавчих органів 13 системи управління та захисту (СУЗ) реактора. Для поліпшення динамічних характеристик процесу управління використовується також сигнал нейтронного потоку в реакторі. Сигналом невідповідності виробленої та необхідної для енергосистеми потужності служить частота мережі f або частота обертання турбогенератора n . Регулятор, який підтримує ці величини, діє на регулюючі клапани 14 турбіни, змінюючи витрату пари D_n .

Ряд величин не впливає безпосередньо на вироблення електроенергії, проте відхилення їх від заданих значень може спричинити аварійну ситуацію. Однією з таких величин є рівень H у парогенераторах, що регулюється витратою живильної води $D_{нв}$ шляхом зміни положення регулюючого клапана 15. Також необхідне підтримання рівня

конденсату в регенеративних підігрівачах (що здійснюється зміною величини зливу конденсату через клапани 16), рівня в конденсаторі турбіни (зміною витрати конденсату, що відкачується Dk) та рівня в деаераторі (зміною подачі хімічно очищеної води $Dxov$). Для правильного перебігу деаерації тиск у деаераторі регулюється подачею пари через регулюючий клапан 17. Для підтримання тиску та маси теплоносія першого контуру є спеціальний пристрій – компенсатор об'єму (КО) 18, який являє собою посуд, сполучений з першим контуром по воді, в якому за рахунок теплоти електронагрівача 19 над рівнем води постійно підтримується парова подушка. Тиск у компенсаторі обсягу регулюється зміною потужності електронагрівача, а при різких підвищеннях тиску включаються клапани вприскування холодної води 20 або скидання 21. Сигналом зменшення маси води в першому контурі є зниження рівня компенсаторі об'єму, який відновлюється подачею підживлювальної води насосом 22.

Відповідно до розглянутої схеми, керовані величини вибираються виходячи з технологічних вимог. При виборі керуючих величин виходять з фізичної сутності процесів, що протікають, тобто керована величина повинна досить сильно змінюватися при зміні керуючої. Крім того, слід враховувати можливість технічної реалізації впливу на величину, що вибирається як керуюча, а також швидкість передачі впливу від керуючої до керованої величини, оскільки при повільній передачі впливу зазвичай важко отримати необхідну якість управління.

3.2 Автоматичне регулювання конденсатора

Рівень води в конденсаторі слід підтримувати, по можливості, постійним незалежно від навантаження турбіни. Зниження рівня води може призвести до кавітації конденсатних насосів, а підвищення – до затоплення частини теплообмінної поверхні, погіршення теплообміну та економічності енергоблоку.

Єдиним регулюючим впливом при стабілізації рівня може бути зміна продуктивності конденсатних насосів за допомогою регулюючого клапана 1 (рис. 3.4), який встановлений за конденсатними насосами 2 та охолоджувачами пари ежекторами 3.

Однак при зниженні навантаження турбіни і зменшенні витрати конденсату може порушитися робота як конденсатних насосів, так і холодильників пари ежекторів, що призведе до зриву вакууму в конденсаторі. З цією метою регулювання рівня води в конденсаторі здійснюється за допомогою триходового клапана та лінії рециркуляції 4, по якій частина конденсату скидається назад у конденсатор. Можливі два варіанти роботи лінії рециркуляції.

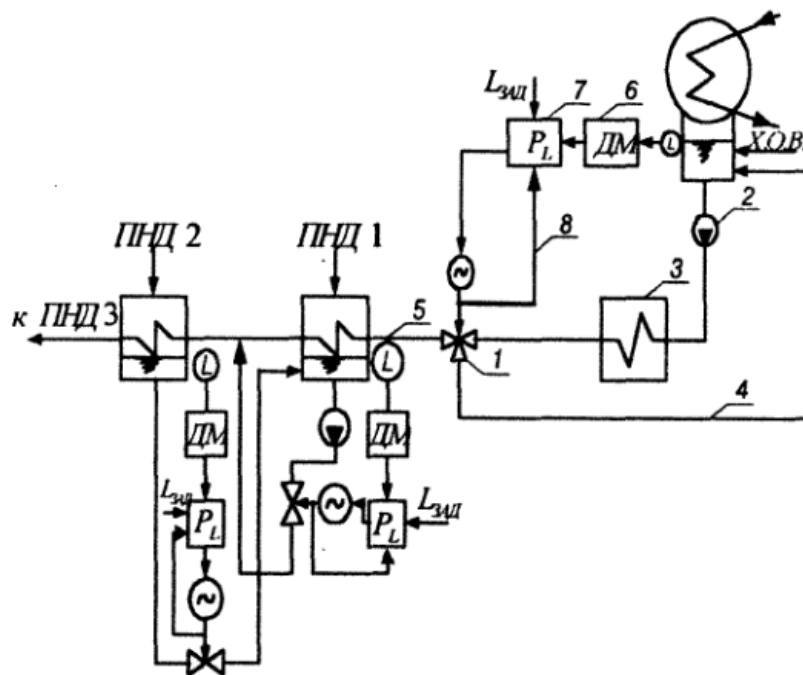


Рис. 3.4 Принципові схеми АСР рівня в конденсаторі та ПНД

У першому варіанті лінія відкривається при досягненні енергоблоком певного малого навантаження, коли забезпечується певний пропуск води до системи регенеративних підігрівачів. При цьому обидва клапани, основний та рециркуляції, виконані в одному корпусі.

У другому варіанті регулювання здійснюється за допомогою триходового клапана, характеристики якого підібрані так, що при будь-якому його положенні витрати через насос 2 і холодильники ежекторів 3 постійні, а змінюється співвідношення витрат через лінію рециркуляції 4 та основну магістраль 5. Таким чином, витрата конденсату в лінії 5 встановлюється рівною сумі витрат пари і хімічищеної води.

Як об'єкт регулювання рівня конденсатор представляє собою герметичний бак з насосом на сливі, тобто не має самовирівнювання і його динамічні властивості описуються передатною функцією виду $W(s) = k/s$. Застосування ПІ-закону до такого об'єкта призведе до тривалого коливального процесу регулювання, що є небажаним. Однак для конденсатора допустима нерівномірність регулювання рівня. У зв'язку з цим застосовують ПІ-закон регулювання, який реалізується охопленням ПІ-регулятора 7 жорстким зворотним зв'язком за положенням регулюючого органу 8. Рівень у конденсаторі вимірюється дифманометром 6 сигнал якого надходить на регулятор де порівнюється з сигналом завдання $L_{зад}$.

Таким чином, на вхід регулятора надходять два сигнали: за рівнем конденсату та за положенням клапана. Абсолютна нерівномірність регулювання рівня зазвичай становить 250 мм або 2,5 мм/% ходу клапана. Оскільки регулюючий орган знаходиться на стоку конденсату, положення рівня зі збільшенням навантаження блоку зростатиме. Для усунення нерівномірності в регулятор можна ввести імпульс, пропорційний тепловій потужності петлі $\Delta T \cdot \sqrt{\Delta P}$ першого контуру.

3.3 Автоматичне регулювання регенеративних підігрівачів

Регенеративні підігрівачі низького (ПНД) і високого (ПВД) тиску призначені для підігріву конденсату та живильної води парою, що надходить з відборів турбіни. Конденсат (дренаж) гріючої пари або відводиться самопливом в паровий простір попереднього по ходу води підігрівача, або подається насосом в лінію основного конденсату (рис. 3.4).

Величина підігріву води у кожному підігрівачі залежить від параметрів пари нерегульованих відборів турбіни та визначається із статичних розрахунків. Зі зміною навантаження турбіни параметри та витрата пари у відборах змінюються пропорційно навантаженню, що призводить до відповідних змін підігріву води в підігрівачах. Таким чином, температура води після підігрівачів не регулюється.

Єдиною регульованою величиною у підігрівачах є рівень конденсату пари. При підвищенні рівня затоплюється поверхня теплообміну, що погіршує конденсацію пари. Крім того, великий запас конденсату пари в підігрівачах небажаний, тому що при аварійному розвантаженні турбогенератора тиск у відборах різко знижується, що призводить до скипання конденсату і можливого попаданню через паропроводи в турбіну (для цього спеціально передбачають зворотні клапани).

Зниження рівня конденсату в підігрівачах небажано через можливий «проскок» пари або в нижчий (по тиску) підігрівач, що знижує ККД циклу, або в дренажний насос, що може викликати кавітацію.

Динамічні властивості підігрівачів з дренажним насосом на сливі подібні до конденсатора і описуються рівнянням інтегральної, астатичної ланки. Динамічні властивості підігрівачів зі зливом води самопливом формально описуються рівнянням інерційної ланки 1-го порядку, проте через великі значення постійної часу і коефіцієнта передачі такі підігрівачі можна наближено описувати рівнянням інтегральної ланки. З цієї причини для регулювання рівня води в підігрівачах застосовують П-закон регулювання (ПІ-регулятор, охоплений жорстким зворотним зв'язком по положенню РО).

При регулюванні рівня, наприклад ПНД-2 (рис. 3.4), змінюється злив конденсату з даного підігрівача, що є збурюючим впливом для ПНД-1.

3.4 Автоматичне регулювання деаераторних установок

Деаератор призначений для видалення розчиненого у живильній воді кисню. У нижню частину деаераторної головки, встановленої над акумуляторним баком живильної води, підводиться гріючий пар. (рис. 3.5).

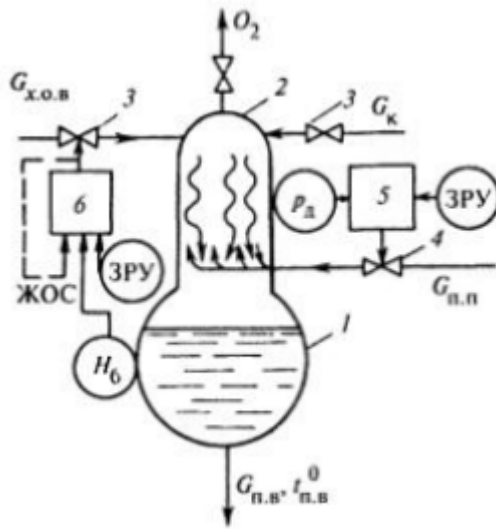


Рис. 3.5 Автоматичне регулювання деаераторної установки:

1 – акумуляторний бак; 2 – деаераторна головка; 3 – регулюючий клапан; 4 – поворотна заслінка;
5 – регулятор тиску; 6 – регулятор рівня

Потік пари $G_{п.п}$, прагнучи до виходу в атмосферу, який розташований у верхній частині головки 2, нагріває до температури кипіння живильну воду, що рухається назустріч йому. Кисень, що виділився з води в процесі кипіння, разом з надлишками пари скидається в атмосферу або розширювач. Для безперервного нагрівання та деаерування води в деаераторі підтримують надлишковий тиск пари p_d та відповідну їй температуру насичення t_n .

Таким чином, основними регульованими параметрами в деаераторі є рівень живильної води H_6 в акумуляторному баку 1 і надлишковий тиск пари p_d у деаераторній головці 2 (рис. 3.5).

Вхідним сигналом П- або ІІІ-регулятора рівня 6, що впливає на переміщення клапана 3 лінії хімічно очищеної води, служить рівень води H_6 . Зазвичай регулятор рівня охоплюють жорстким негативним зворотним зв'язком за положенням регулюючого клапана, що сприяє стабілізації витрати води.

Вхідним сигналом регулятора тиску 5, який впливає на регулюючу заслінку 4 лінії грюючої пари, служить тиск p_d . Через необхідність точної підтримки тиску p_d та температури насичення t_n у регуляторі тиску використовується ІІІ-закон регулювання.